

REDUCIRANJE EMISIJE NO_x S PRERAZPOREJANJEM SEKUNDARNEGA ZRAKA

Igor KUŠTRIN, Primož GOSTINČAR

POVZETEK

Do konca leta 2007 je v Sloveniji mejna emisijska vrednost NO_x za velike kurilne naprave na trdna goriva znašala 650 mg/m³, od začetka leta 2008 naprej 600 mg/m³ za velike kurilne naprave z vhodno toplotno močjo od 50 MW do 500 MW. Od začetka leta 2016 dalje bo v dimnih plinih velikih kurilnih naprav med 300 MW in 500 MW na izstopu v ozračje smelo biti le še 200 mg/m³ NO_x. Tako nizke emisije iz kotlov na trdna goriva je mogoče doseči s kombinacijo primarnih in sekundarnih ukrepov za redukcijo emisije NO_x. S primarnimi ukrepi se omejuje nastajanje NO_x pri zgorevanju, sekundarni ukrepi pa obsegajo postopke za izločanje NO_x iz dimnih plinov oziroma denitrifikacijo.

Tokratni prispevek je namenjen predstavitvi nadgradnje primarnih ukrepov na kotlu 3 Termoelektrarne Toplarne Ljubljana, ki zajema prerazporeditev sekundarnega zraka med posamezne šobe gorilnikov. Trenutno so z omenjeno nadgradnjo in pod določenimi ostalimi pogoji emisije NO_x kotla 3 že pod bodočo mejno emisijsko vrednostjo.

ABSTRACT

Till the beginning of 2008 NO_x emission limit value for large solid-fuel-fired furnaces was 650 mg/m³. Since the beginning of 2008 it was lowered to 600 mg/m³ for large furnaces from 50 MW to 500 MW fuel-energy input. Since the beginning of 2016 only 200 mg/m³ of NO_x will be allowed in flue gas emitted from furnaces between 300 MW in 500 MW of fuel-energy input. This level of NO_x emissions can in most cases be attained by combination of primary and secondary measures for NO_x reduction. NO_x formation is targeted by primary measures while secondary measures are used for NO_x removal from flue gas.

The goal of the paper is to present the enhancements of primary measures on boiler 3 of Power plant Ljubljana. This enhancements cover redistribution of secondary air between respective burner nozzles. Currently the redistribution enabled operation of boiler 3 with emissions below the future limit value of 200 mg/m³.

1. UVOD

Kotel 3 je začel delovati leta 1984. Proizvaja 270 t/h pregrete pare s tlakom 95 bar in temperaturo 535 °C. Kot gorivo se uporablja uvožen rjavi premog s kurilnostjo okoli 19 MJ/kg in lesna masa. Kotel ima štiri mline. Vsak mlin pripravlja premogov prah in ga vpihuje v kurišče skozi tri šobe gorilnika. Zaradi kvalitete premoga in izgradnje rešetke za so-sežig lesne mase večino časa obratujeta dva mlina, dva pa sta v rezervi.

Pred letom 2000 se je zgorevalni zrak dovajal le gorilnikom delujočih mlinov. Zrak je bil razdeljen na primarni zrak za hlajenje mlinov, sekundarni zrak, ki se je dovajal pod in nad gorilnike ter zrak, ki se je dovajal v lijak kotla. Merjena sta bila le pretoka primarnega in sekundarnega zraka.

Leta 2000 so bili originalni gorilniki zamenjani z modernejšimi, ki omogočajo boljše mešanje zgorevalnega zraka s premogovim prahom. Sekundarni zrak se od takrat dalje dovaja vsaki šobi gorilnika ločeno. Njegov pretok je bilo mogoče razporejati med šobe z ročnimi loputami. Nad gorilniki je bil dodan še dogorevalni zrak.

Zaradi izgradnje rešetke za so-sežig lesne mase, s katero je mogoče v kotel dovesti do 25 % energije, je bil spremenjen dovod zraka v lijak kotla. Ker se ta zrak uporablja tudi za hlajenje rešetke, je enakomerno porazdeljen po celotnem horizontalnem preseku kurišča. Dodane so bile tudi meritve pretoka zraka dovedenega v lijak kotla.

V letu 2012 so bile dodane meritve razporeditve premogovega prahu v prašnih kanalih in motorizirani pogoni loput sekundarnega zraka za vse šobe gorilnikov. Motorizacija pogonov loput pomeni bistven napredek pri optimiranju porazdelitve sekundarnega zraka. Porazdelitev zraka med šobe gorilnika se samodejno prilagaja porazdelitvi premogovega prahu.

Od začetka leta 2016 dalje bo v dimnih plinih velikih kurilnih naprav med 300 MW in 500 MW smelo biti le 200 mg/m³ NO_x. Vloga se precej truda, da bi se emisije NO_x zreducirale pod to mejo, če bi se le dalo samo s primarnimi ukrepi. Na ta način bi se izognili veliki investiciji v katalizator za denitrifikacijo dimnih plinov.

2. NASTAJANJE NOX PRI KURJAVAH NA PREMGOV PRAH

Dušikove okside označujemo s skupno oznako NO_x. V skupni količini NO_x prevladuje NO, ki ga je okoli 95 % vseh dušikovih oksidov. Ločimo tri osnovne procese nastajanja NO [1]: termični NO, promptni NO in NO iz goriva, ki nastaja iz dušikovih spojin v gorivu.

Pri kurjavah na premogov prah, navedeni trije procesi niso enakovredni. Iz rezultatov dosedanjih raziskav je razvidno, da vsebnost dušika v premogu vpliva na koncentracijo dušikovih oksidov v dimnih plinih. Premogi, ki vsebujejo 1 % dušika v primerjavi s premogi, ki vsebujejo 2 % dušika, povzročajo približno 50 % manjše emisije NO_x. Izkazuje se, da so pri kurjenju premoga plinaste spojine glavni vir dušikovih oksidov v dimnih plinih. Dušik vezan v plinastih spojinah je bolj nagnjen k oksidiranju kakor dušik, ki je trdno vezan v koksni strukturi premoga. Pri povezavi med vsebnostjo dušika v premogu in emisijami NO_x je torej

najbolj pomembno dejstvo, koliko dušika se nahaja v izparljivi masi premoga. Večji delež izparljive mase sam po sebi, kar je npr. lastnost bituminoznih premogov, neposredno ne vpliva na zvečanje emisij dušikovih oksidov. Vpliv je le posreden, saj je večja količina izparljive mase vzrok za višje lokalne temperature v plamenu, ki najprej povzročijo, da se upari več dušika potem pa pospešujejo oksidacijo dušika iz goriva in tudi dušika iz zgorevalnega zraka. Pri neugodnih pogojih se v NO lahko pretvori do 50 % dušika iz plinastih spojin v premogu.

Dejanska količina oksidirane dušika iz plinastih spojin je v praksi bistveno pogojena s mešanjem zraka in goriva v plamenu, z razporeditvijo in višino temperatur ter s stehiometričnimi pogoji pri zgorevanju. Končna koncentracija NO iz dušikovih spojin premoga je nižja pri zgorevanju z gorivom bogatih mešanic. Koncentracijo NO iz goriva znižuje tudi prisotnost drugih dušikovih spojin ker prihaja do medsebojnih reakcij in tvorjenja N_2 . Čeprav v tem procesu temperatura plamena ne igra tako pomembne vloge kot pri tvorjenju termičnega NO, se je vseeno potrebno izogibati pojavom lokalno visokih temperatur.

Okoliščine, ki nastanejo v kurišču po vzpostavitvi razmer za omejevanje nastajanja dušikovih oksidov niso v skladu z zahtevami za optimalno zgorevanje. Pričakujemo lahko, da se bodo, vzporedno z ukrepi za zniževanje NO, pojavili določeni nezaželeni stranski pojavi [2]. Lahko se poveča količina nezgorelega goriva v izgorkih, lahko nastanejo problemi s prenizko temperaturo pregrete pare, lahko se zviša temperatura izstopnih dimnih plinov. Možni so še korozijski pojavi, nestabilnost plamena in povečanje električne lastne rabe kotla.

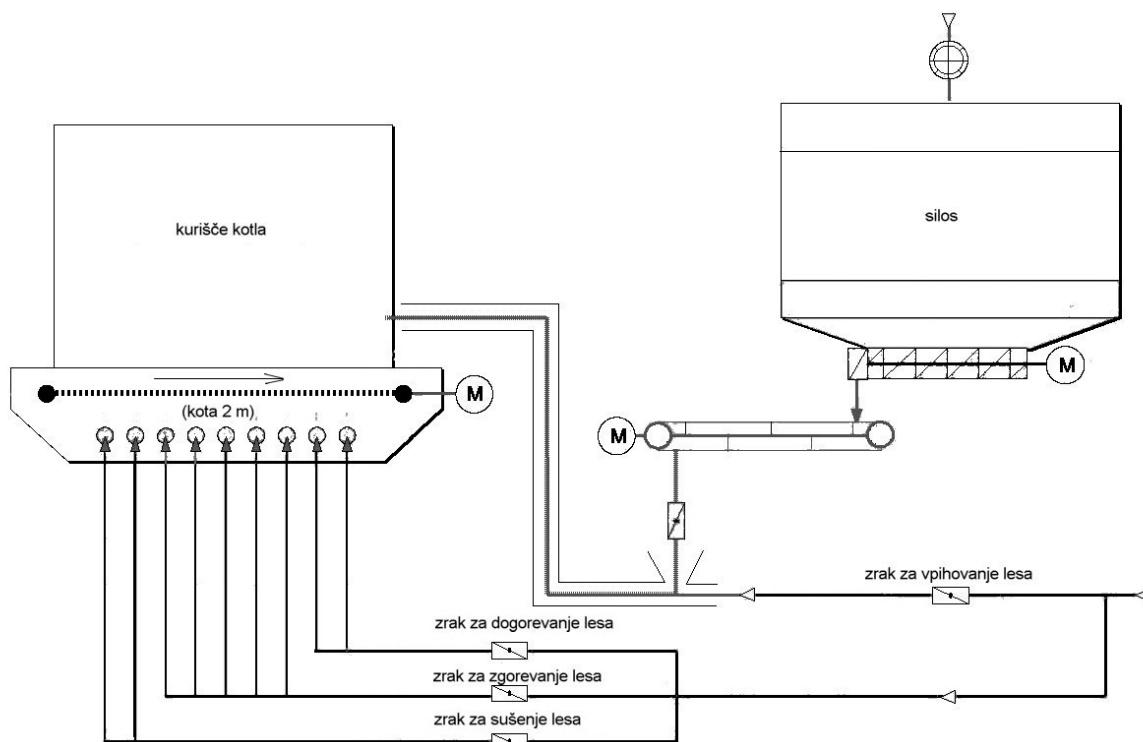
Pri rekonstrukcijah je potrebno upoštevati vse navedene možne slabosti, ter z dodatnimi ukrepi nevtralizirati morebitne kvarne vplive na kvaliteto in zanesljivost obratovanja kotlov.

3. RAZVOD ZGOREVALNEGA ZRAKA KOTLA 3

Trenutno se zgorevalni zrak se dovaja v kotel na treh različnih lokacijah oziroma geodetskih višinah. Razlogi za to bodo razloženi v naslednjih podpoglavjih.

3.1 Zgorevalni zrak za zgorevanje lesne mase in izgorkov premoga

Lesna masa v obliki sekancev se dozira v kotel iz silosa s polžnim transporterjem. Količina lesne mase, ki se dodaja na pomično rešetko se regulira s spreminjanjem hitrosti vrtenja polžnega transporterja. S polžnega transporterja se lesna masa stresa na verižni transporter s katerega pada v lijak na zračnem kanalu. Sekanci se nato z zrakom vpihujejo v kurišče. Količino zraka za vpihovanje se nastavi tako, da sekanci preletijo kurišče in padejo na rešetko nasproti odprtine za vpihovanje. Rešetka se pomika v smeri proti odprtini za vpihovanje. Zrak, ki se vpihuje pod rešetko (terciarni zrak), se razdeli med tri cone, ki so namenjene sušenju, gorenju in dogorevanju. Količino zraka za vsako cono je mogoče regulirati ločeno.



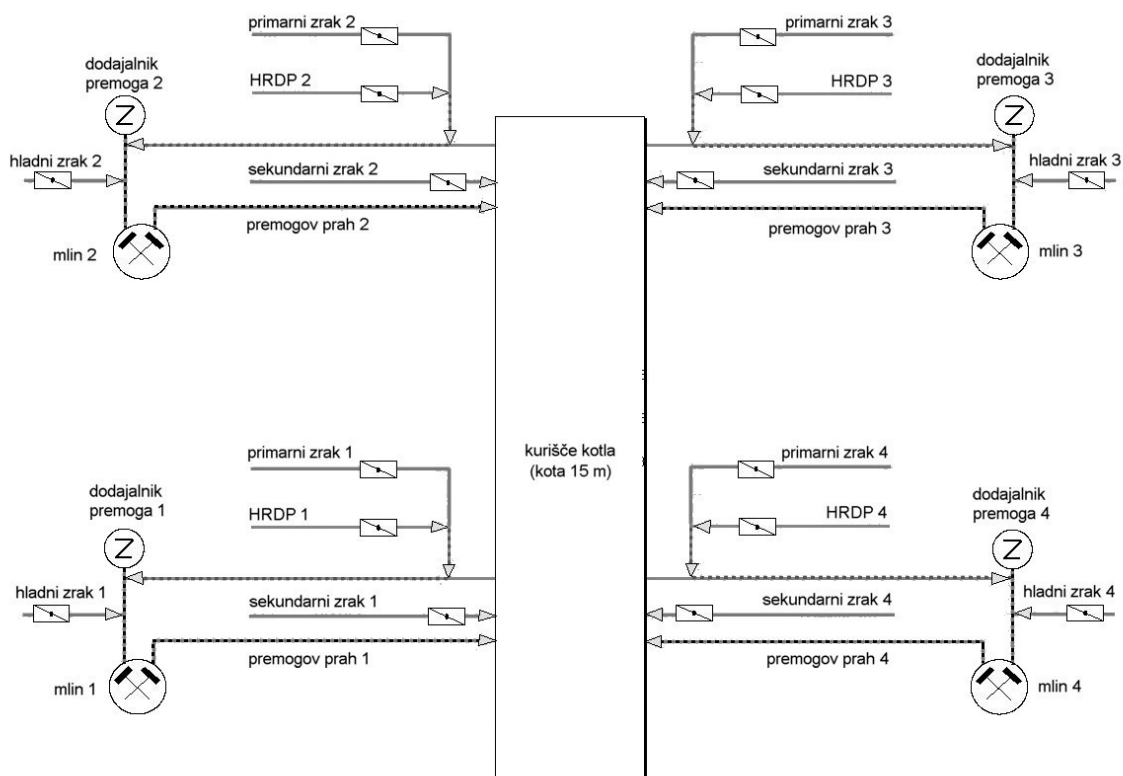
Slika 1: Zgorevalni zrak za lesno maso

Ker od proizvajalca rešetke in kotla ni bilo mogoče pridobiti podatkov o točni količini zraka za vsako cono, jo je bilo treba določiti s poskušanjem. Prevelika količina zraka pod rešetko povzroči odnašanje lažjih delcev lesa skozi kurišče, premajhna pa ne omogoči popolnega dogorevanja lesne mase in izgorkov premoga, ki padajo na rešetko. Pred vgradnjo rešetke so premogovi izgorki (žlindra) padali neposredno v vodo na dnu lijaka kotla, zaradi česar so bile izgube z gorljivimi snovmi v izgorkih mnogo večje kot so sedaj.

3.2 Zgorevalni zrak za zgorevanje premogovega prahu

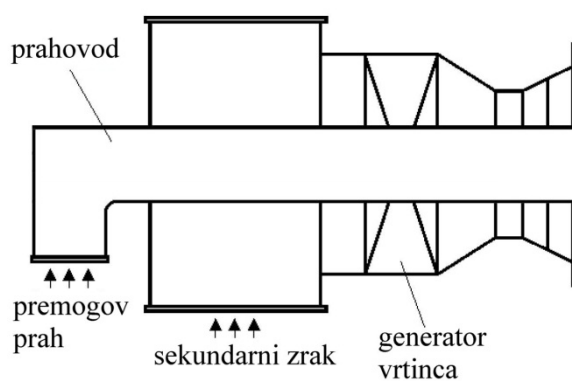
Šobe gorilnikov za premogov prah se nahajajo na višini 14 m do 16 m. Zrak za zgorevanje premoga je razdeljen na primarni in sekundarni zrak.

Primarni zrak, ki se je včasih v večji meri uporabljal za hlajenje mlinov, se sedaj uporablja le minimalno. Uporaba primarnega zraka za hlajenje mlinov namreč spodbuja nastajanje termičnih NO_x . Premogov prah pomešan s primarnim zrakom ob vstopu v kurišče zgoreva pri tako visoki temperaturi, da nastaja več NO_x kot, če se zrak dovaja postopoma. Z nižanjem mejnih emisijskih vrednosti NO_x se za hlajenje mlinov pretežno uporabljajo hladni recirkulirani dimni plini (HRDP).



Slika 2: Zgorevalni zrak za premog

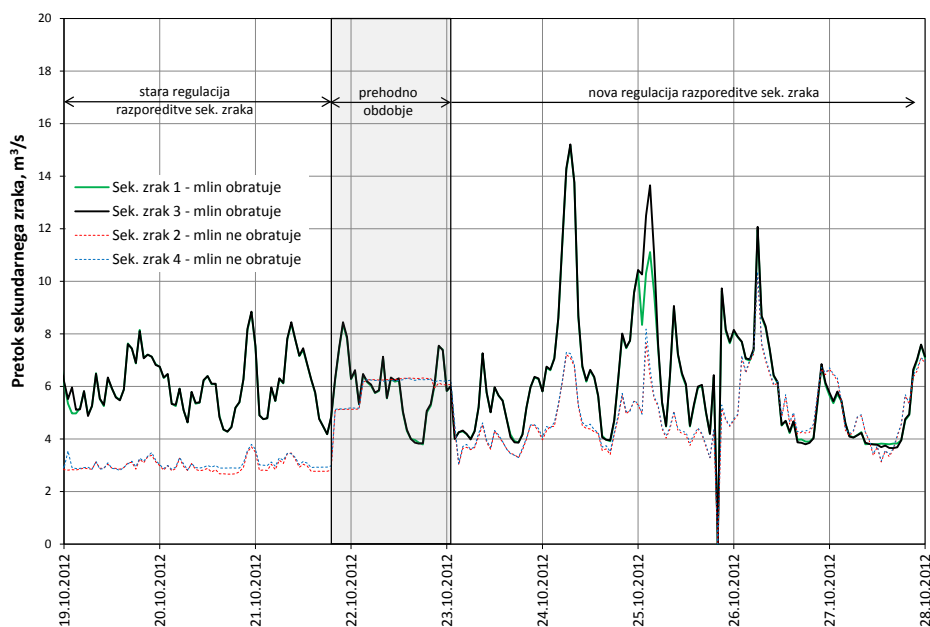
Sekundarni zrak vstopa v kurišče skozi zunanji kolobar vsake šobe gorilnika (Slika 3) in obliva premogov prah. S premogovim prahom se meša postopoma po vstopu v kurišče.



Slika 3: Skica šobe gorilnika

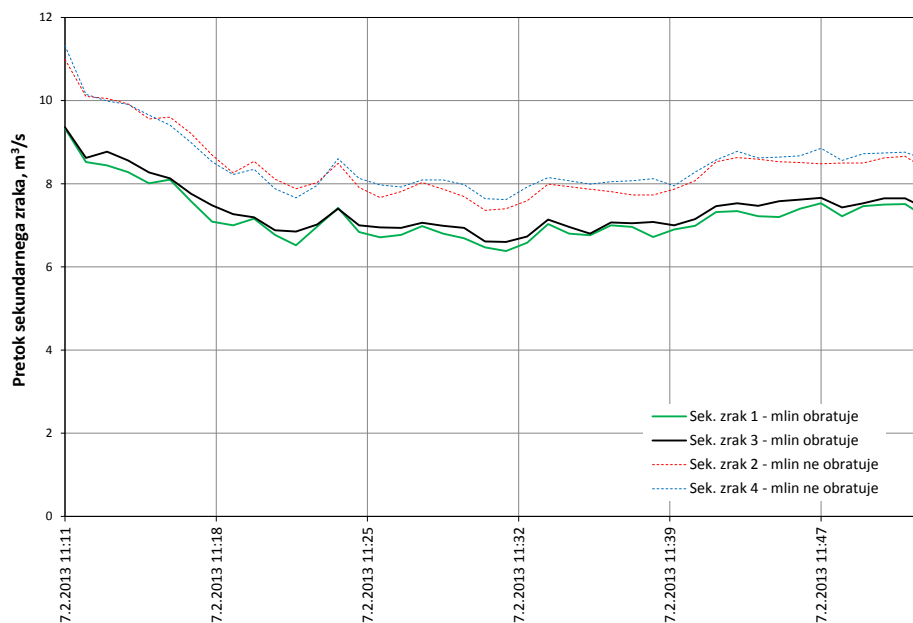
Ker se uporablja premog, katerega kurilnost je višja od kurilnosti, za katero je bil kotel projektiran in zaradi sosežiga lesne mase običajno zadoščata za obratovanje dva mlini. Dva mlini sta v rezervi. Skozi šobe gorilnikov teh dveh mlinov se v kurišče ne dovaja

premogovega prahu, so pa na razpolago za dovod zraka. Obstaja torej veliko različnih možnosti razporeditve sekundarnega zraka, izmed katerih se je s poskušanjem poiskalo najbolj optimalno.



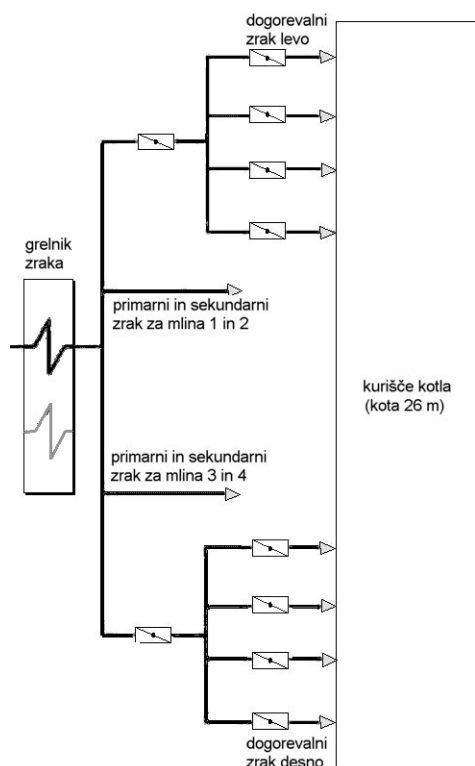
Slika 4: Prehod na novo porazdelitev sekundarnega zraka

Skupna količina sekundarnega zraka se je pred spremembo in se še vedno prilagaja skupni hitrosti dodajalnikov premoga. Spremembo in učinek nove porazdelitve sekundarnega zraka prikazuje obdobje od 19. do 28. oktobra 2012, ko se je spremenila logika porazdelitve sekundarnega zraka (Slika 4). Graf je razdeljen na tri obdobja: obdobje s staro razporeditvijo zraka, prehodno obdobje in obdobje z novo razporeditvijo zraka. Pred spremembo se je večina sekundarnega zraka dovajala gorilnikom delujočih mlinov. Po spremembi se je postopoma začela povečevati količina sekundarnega zraka, ki se dovaja nedelujočim gorilnikom in zmanjševati količina zraka, ki se dovaja delujočim gorilnikom.



Slika 5: Trenutna porazdelitev sekundarnega zraka

Trenutno se nedelujočim gorilnikom dovaja celo več zraka kot delujočim, kot je razvidno iz grafa porazdelitve sekundarnega zraka posnetega 7. februarja 2013 (Slika 5). Pri tem večina zraka dovedena nedelujočim gorilnikom vstopa skozi zgornjo šobo od treh, kar zagotavlja večjo vstopno hitrost in penetracijo zraka v plamen.

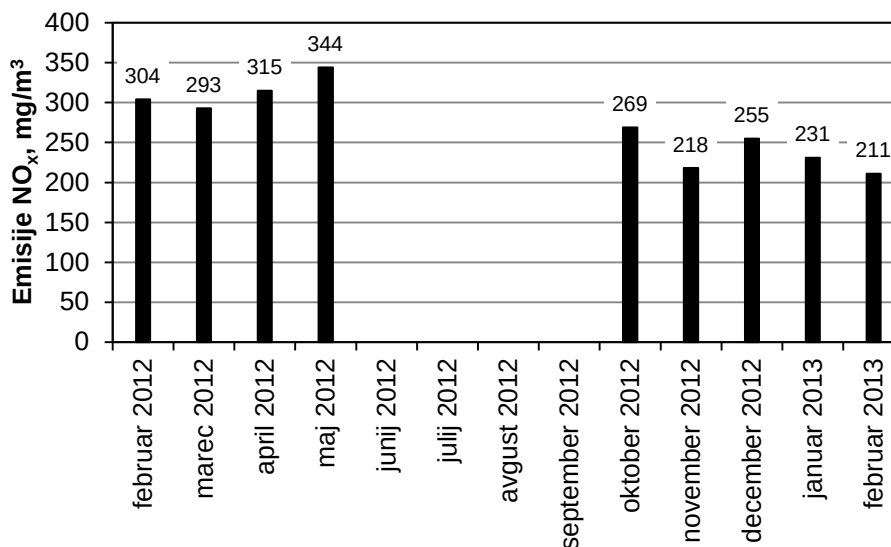


Slika 6: Dogorevalni zrak za premog

Približno 10 m nad zgornjimi šobami gorilnikov se dovaja v kurišče dogorevalni zrak skozi osem šob. Štiri šobe se nahajajo na levi in štiri na desni stranici kotla. Pretok dogorevalnega zraka za vsako stran kotla je merjen in ga je mogoče daljinsko nastavljati. Mogoče je tudi daljinsko zapirati in odpirati vsako posamezno šobo. V prihodnje se načrtuje modifikacija razporeditve šob dogorevalnega zraka, ki naj bi pripomogla k nadaljnji optimizaciji zgorevanja in k nadaljnjemu zmanjšanju emisije NO_x .

4. POVPREČNA MESEČNA EMISIJA NO_x

Slika 7 prikazuje povprečno mesečno emisijo NO_x kotla 3 od februarja 2012 do februarja 2013. Od začetka junija do konca septembra kotel 3 ni obratoval. Iz grafa je razvidno, da je nivo emisije NO_x od začetka oktobra, ko se je začela kurilne sezone 2012/2013, bistveno nižji kot je bil v pretekli kurilni sezoni. Ker je mesečna emisija NO_x odvisna tudi od povprečne obremenitve kotla, je najbolj merodajno primerjati iste mesece leta, ko je tudi obremenitev kotla podobna. Februarja 2012 je povprečna emisija NO_x znašala 304 mg/m^3 februarja 2013 pa 211 mg/m^3 , kar predstavlja znižanje za skoraj 100 mg/m^3 oziroma za tretjino.

Slika 7: Povprečna mesečna emisija NO_x

5. ZAKLJUČEK

Z optimiranjem zgorevalnih sistemov obstoječih kurišč na trdna goriva, ki zajema izbiro goriva, pripravo goriva, doziranje goriva v kurišče in doziranje zgorevalnega zraka je mogoče izboljšati izkoristek goriva in znižati emisije škodljivih plinov skoraj do vrednosti, ki se včasih zdijo dosegljive le z najmodernejšimi rešitvami vgrajenimi v nove kurilne naprave.

6. LITERATURA

- [1] Żelkowski, J. (1986). Kohleverbrennung, Band 8. der Fachbuchreihe kraftwerkstechnik, VGB-Kraftwerkstechnik, Essen.
- [2] Oman, J., I. Kuštrin, I. Bole, P. Gostinčar (2005). Zniževanje emisij dušikovih oksidov z rekonstrukcijo zgorevalnega sistema kotlov v Termoelektrarni toplarni Ljubljana. Strojniški vestnik, v tisku.

NASLOVI AVTORJEV

dr. Igor Kuštrin, univ. dipl. inž.

Fakulteta za strojništvo, Ljubljana

Aškerčeva 6

SI-1000 Ljubljana

e-pošta: igor.kustrin@fs.uni-lj.si

Primož Gostinčar, dipl. inž.

Termoelektrarna Toplarna Ljubljana

Toplarniška 19

SI-1000 Ljubljana

e-pošta: primoz.gostincar@te-tol.si