Biblid: 0350-2953 (2016) 42(4): 207-216
UDK: 697; 661.9;

Originalni naučni rad
Original scientific paper

ANALIZA PROPISANIH OGRANIČENJA EMISIJE NO_x PRI SAGOREVANJU BIOMASE U ODABRANIM EVROPSKIM ZEMLJAMA I U SRBIJI

ANALYSIS OF PRESCRIBED LIMITS OF NO_x EMISSIONS FROM BIOMASS COMBUSTION IN SELECTED EUROPEAN COUNTRIES AND IN SERBIA

**Milica Mladenović, Stevan Nemoda, Milijana Paprika,
Ana Marinković, Branislav Repić**

Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke "Vinča",
Laboratorija za termotehniku i energetiku, 11351 Beograd, Mihaila Petrovića Alasa 12-14
Email: mica@vinca.rs

SAŽETAK

Usklađivanje potreba očuvanja životne sredine i rastućih energetske potreba savremenog društva promoviše primenu biomase kao zamene za fosilna goriva i održivu opciju za ublažavanje emisije gasova staklene bašte. Pored niza prednosti upotrebe iste u energetske svrhe, postoje i izvesni nedostaci, od kojih je i moguća relativno visoka emisija NO_x prilikom sagorevanje biomase. Kontrola emisije oksida NO_x, emitovanih u procesu sagorevanja biomase, postaje sve značajniji tehnički izazov zbog uvođenja sve striktnijih granica emisije. U radu je dat pregled i analiza domaćih normi vezanih za emisiju NO_x, kao i zakonskih normi i iskustva nekih od odabranih evropskih zemalja. Preporučuje se da se u domaćim propisima, koji se odnose na emisiju NO_x, posebno definišu granice u slučaju sagorevanja agro biomase, zbog njene izražene dostupnosti i visokog sadržaja azota.

Ključne reči: Biomasa, sagorevanje, NO_x emisija, analiza.

1. UVOD

Biomasa se smatra ekonomski i ekološki prihvatljivom za sagorevanje, jer je CO₂ neutralna i emisija zagađivača iz biomase je manje izražena u odnosu na sagorevanje uglja. Poznavanje emisije pojedinih opasnih materija iz sagorevanja biomase, njenih ekoloških i zdravstvenih efekata, kao i razumevanje kako da se ona minimizira je od suštinskog značaja. Emisija azotnih oksida (NO_x) je jedan od najvažnijih izazova u ovoj oblasti. Azotni oksidi igraju značajnu ulogu u problemima zagađenja. Među sedam različitih oksida azota identifikovanih u atmosferi, azot oksid (NO) i azot dioksid (NO₂) su najdominantniji zagađivači. Preko 90% oksida azota emitovanih usled procesa sagorevanja čini NO, dok ostatak čine NO₂ i N₂O, pri čemu su količine N₂O zanemarljive u odnosu na NO i NO₂, pa zakonska ograničenja ne postoje za njegovu emisiju. NO se u atmosferi konvertuje u NO₂ pa propisi iz oblasti zaštite životne sredine tretiraju sve okside azota kao NO₂.

Pored toga što je izbor tehnologije sagorevanje biomase i deNO_x sistema zasnovan na ekonomskim, tehničkim i lokalnim preduslovima, takođe u velikoj meri zavisi i od važećih zakonskih ograničenja koja se tiču zaštite životne sredine. Maksimalne vrednosti dozvoljene emisije (GVE-granične vrednosti emisije) za članice EU značajno variraju između zemalja što utiče na izbor tehnologije sagorevanja biomase. Potrebno je istaći da dozvoljene GVE iz stacionarnih izvora su različito definisane za postojeća i za nove i/ili postojeća ali značajno konstrukciono promenjena postrojenja u EU. Što se tiče poređenja GVE u zemljama EU i SAD, to nije moguće jer su one definisane različito. Za članice EU GVE su ustanovljene shodno propisima koji proističu iz Large Combustion Plants (LCP) (2001/80/EG, PB L 309) [1], kao i Waste Incineration Directive (WID) (2000/76/EG, PB L 332) [2]. Pri tome se 2001/80/EG primenjuje za biomasu koja se definiše kao produkt agrarne proizvodnje i šumarstva, otpad iz povrtarske proizvodnje, otpad iz drvno-prerađivačke i prehrambene industrije, netretiran drvni i otpad od kore, plute. Guideline [2] se primenjuje na sav otpad. Vrednosti GVE prema ovim dokumentima dati su u Tab. 1.

Tab. 1. Pregled granica NO_x emisije prema LCP i WID (mg/m³) za čvrstu biomasu

Tab. 1. Review the limits NO_x emissions to the LCP and WID (mg/m³) for solid biomass

	LCP (clean biomass)				Waste Incineration Directive				
	a	b			a		b		
O _{2ref} , %	6				11		6		
MW _{th}	≥50	50-100	100-300	>300	<6t/h	≥6t/h	50-100	100-300	>300
NO _x , mg/m ³	200	400	300	200	200	400	350	300 (350 za FB)	300

a – kosagorevanje/cocombustion; b – samostalno sagorevanje/individual combustion

2. ANALIZA GRANIČNIH EMISIJA NO_x U SVETU

U ovom poglavlju biće predstavljene dozvoljene granice emisije NO_x u odabranim Evropskim zemljama radi poređenja sa normama koje važe u Republici Srbiji.

2.1. Austrija

Dozvoljena emisija NO_x za stambene grejne kotlove na čvrstu biomasu nominalne snage do 300 kW, za ručno i automatsko doziranje goriva iznosi 150 mg/MJ_{L_{CV}}. Dozvoljene emisije NO_x (mg/m³_{0,ref. 13% O₂}) za parne (STB) i vrelovodne kotlove (HWB) u industrijskim i komercijalnim postrojenjima date su u Tab. 2.

Tab. 2. Dozvoljene emisije za parne (STB) i vrelovodne kotlove (HWB)

Tab. 2. The permitted emissions for steam (STB) and hot water boilers (HWB)

Nominalna snaga Nominal power	STB	HWB		
MW		Drvo Wood	Drvni ostaci Wood residues	Kontaminirani drvni ostaci Contaminated wood residues
0.15-5	-	250	300	500
5-10	-	250	300	350
10-50	-	200	200	350
50-300	300	200	200	350
>300	200	200	200	350

2.2. Danska

Preporuke za GVE su date u nacionalnim smernicama [3,4], a usvojene granice su u skladu sa saglašnošću lokalnih zajednica o uticaju postrojenja na životnu sredinu. Dozvoljene emisije NO_x za postrojenja nominalne snage >5 MW, za drvo, drvni pelet, piljevinu, drvenu sečku, zrnastu biomasu, slamu i dr. iznosi 300 (mg/ m³_{o,ref.} 10% O₂).

2.3. Finska

Opšta ograničenja NO_x emisije za biogoriva (drvo, drvni otpad, treset, slama) su prikazani u Tab. 3, s tim što lokalne vlasti mogu postaviti strožija ograničenja emisije.

Tab. 3. Dozvoljene emisije NO_x u Finskoj

Tab. 3. NO_x emissions permitted in Finland

Proizvedena toplota/Produced heat, MW	NO _x , mg/ m ³ _{o, ref. 6% O₂}
50-100	400
100-300	300
≥300	150

2.4. Nemačka

Važeća ograničenja emisije za goriva su prikazani u Tab. 4.

Tab. 4. Dozvoljene emisije NO_x u Nemačkoj

Tab. 4. NO_x emissions permitted in Germany

Izvor Reference	Nominalni kapacitet Nominal power, MW	NO _x mg/m ³ ₀
Slama i sl./Straw at sim. (ref.13%O ₂) 1.BImSchV [5]	<0.1	-
Slama i slično	0,1-1	500
Straw at similar, (ref.11%O ₂) TA-Luft 5.4.1.3 [6]	1-50	400
Čisto drvo	1-2.5	250
Clean wood (ref.11%O ₂) TA-Luft 5.4.1.2.1	2.5-5	250
	5-50	250
Čisto drvo/Clean wood, (ref.13%O ₂) 1.BImSchV	0.015-1	-
Korišćeno drvo, lako kontaminirano	0.05-1	-
Used wood little contamin., (ref.13%O ₂) 1.BImSchV		
Korišćeno drvo, lako kontaminirano	1-50	400
Used wood little cont (ref.11%O ₂) TA-Luft 5.4.1.2.1		
Korišćeno drvo, teško kontaminirano	Sve	200
Used wood much contam. (ref.11%O ₂) 17.BImSchV	All	

2.5. Holandija

Pri definiciji granica NO_x emisije (Tab. 5) holandsko zakonodavstvo pravi razliku između čiste biomase (kao što je definisano u evropskom LCP) i sve druge vrste biomase, koja se tretira kao otpad (WID). Opšte smernice koja se legislativa primenjuje su sledeće:

a) Za sagorevanje ili ko-sagorevanje čiste čvrste biomase iz poljoprivrede, šumarstva i operacije održavanja pejzaža kao što je definisano u Evropskoj LCP direktivi (kao što čisto drvo, pokošena trava, ostaci od kompostiranja, itd), primenjuje se takozvani BEES-A.

b) Za sva ostala čvrsta goriva na bazi biomase, primenjuje se BVA (izvedeno iz Evropske WID direktive). Ovo se odnosi na ostatke prerade povrća, voća i baštenski otpad, pomije, životinjski stajnjak, mešoviti industrijski otpad, itd.

c) BEES-B važi za gasovita goriva proizvedena iz anaerobne digestije ili toplotnom gasifikacijom biomase koja sagorevaju u gasnom motoru.

d) Izuzetak je napravljen za sagorevanja otpada u vidu čistog drveta u industrijskoj instalaciji manjoj od 5MWth u vlasništvu proizvođača drvne građe. U takvim slučajevima se primenjuje NER-BR za otpadno čisto drvo.

Tab. 5. Definisanе granice NO_x emisije u Holandiji [7]**Tab. 5.** The defined boundaries of NO_x emissions in the Netherlands [7]

Izvor Reference	Snaga Power	NO _x mg/m ³ ₀
BEES-A: Čista čvrsta biomasa	<300 MW _{th}	100
Clean solid biomass, 6% O _{2dry}	>300 MW _{th}	200
NER: Čisto otpadno drvo	>250 MW _{th}	400
Clean waste wood, 11% O _{2dry}		
BVA: Sagorevanje kontaminirane čvrste biomase	$\eta_{el,eq} > 40\%, < 20 \text{ MW}_{th}$	130
Combustion of contaminated solid biomass, 11% O _{2dry}	Ostalo/others	70
BVA: Kosagorevanje kontaminirane čvrste biomase	<300 MW _{th}	100
Cocombustion of contaminated solid biomass, 11% O _{2dry}	>300 MW _{th}	200

2.6. Belgija

U francuskom govornom delu Belgije, Valoniji, granice emisije su definisane građevinskom dozvolom kako ne postoje zvanična opšta ograničenja emisije. Vrednosti u tabeli su uglavnom one prema kojima lokalni organi vlasti odobravaju građevinske dozvole. Vrednosti date u Tab. 6 se odnose na postrojenja za čisto drvo i referentni O₂ od 11%.

Tab. 6. Definisanе granice NO_x emisije (mg/m³₀, ref. 11% O₂) u Belgiji**Tab. 6.** Defined limits of NO_x emissions (mg/m³₀, ref. 11% O₂) in Belgium

Proizvedena toplota Produced heat, MW _{th}	Postojeća postrojenja Existing plants	Nova postrojenja New plants
0.5-1	500	500
1-5	500	250
5-50	400	250

2.7. Norveška

Za instalacije za sagorevanje koji prelaze oko 5 MW izdaju se pojedinačne dozvole. Stepен specifikacije ograničenja emisije variraju zavisno od tipа goriva, veličine postrojenja i datuma izdavanja licence. Novije licence koje regulišu emisiju su preciznije i rigoroznije nego starije. Broj izdatih dozvola sa specifičnim ograničenjima emisije nije dostupna. Instalacije za sagorevanje obuhvaćene direktivom za integrisano sprečavanje i kontrolu zagađivanja životne sredine (IPPC) [8] se generalno regulišu na osnovu najboljih raspoloživih tehnologija (BAT - The **B**est **A**vailable **T**echniques). Sledeća ograničenja emisije su indikatori ograničenja emisije u postojećim instalacijama za sagorevanje biomase manjim od 50 MW a koja nisu pokrivena IPPC Direktivom. Granice emisije daju smernice za tela koja izdaju dozvole, a o konačnim GVE za instalacije se odlučuje izdavanjem individualnih dozvola. U izvesnim slučajevima odobravaju se više vrednosti emisije. Stoga postojeće vrednosti granica NO_x emisije (Tab. 7) su privremene; međutim, one se aktivno koriste u skladu sa *Norwegian Pollution Control Authority* (SFT) [9].

Tab. 7. Definisanе granice NO_x emisije (mg/m³_o, ref. 11% O₂) u Norveškoj

Tab. 7. Defined limits of NO_x emissions (mg/m³_o, ref. 11% O₂) in Norway

Snaga Power, MW _{th}	Postojeća postrojenja Existing plants	Nova postrojenja New plants
0.5-1	-	250
1-5	-	250
5-20	300	200
20-50	300	200

2.8. Švedska

Ograničenja emisije se generalno izdaju dozvolom od strane resorne vlasti.

a) Za male uređaje u domaćinstvu do 300 kW, reguliše se emisija organskih gasnih jedinjenja (OGC) i ugljen monoksida (CO).

b) Za postrojenja od 300kW - 50MW Emisija azotnih oksida se u praksi ograničava preko sistema za NO_x-takse, i odnosi se na postrojenja veća od 25 GWh godišnje.

c) Postrojenja veća od 50 MW. Granične vrednosti emisija date su u Tab. 8.

2.9. Švajcarska

Za instalacije manje od 70kW, granična vrednost emisije odnosi se samo na test ispitivanja i nije predmet kontrola emisija u praksi. Granična vrednost emisije NO_x za postrojenja veća od 70 kW koje treba da budu zagarantovana u praksi i koja su planirana da se realizuju (Tab. 9).

Tab. 8. Definisanе granice NO_x emisije (mg/m³_o, ref. 6% O₂) u Švedskoj

Tab. 8. Defined limits of NO_x emissions (mg/m³_o, ref. 6% O₂) in Sweden

Snaga Power, MW _{th}	Postojeća postrojenja Existing plants	Nova postrojenja New plants
50-100	600	400
100-300	600	300
300-350	600	200
350-500	600	200
> 500	500	200

Tab. 9. Definisanе granice NO_x emisije u Švajcarskoj [10]

Tab. 9. Defined limits of NO_x emissions in Switzerland [10]

Kapacitet/Power, MW _{th}	Ref. O ₂ % _{vol}	NO _x , mgNO ₂ /m ³ _o
0.07-1	13	250 ¹
1-10	11	250 ¹
>10	11	150

2.10. Španija

U Španiji ne postoje nacionalna ograničenja emisije za mala i srednja postrojenja za sagorevanje biomase. Kraljevski dekret 430/2004 utvrđuje GVE za postrojenja za sagorevanje biomase (velika >50 MW), u skladu sa LCP. Ministarstvo industrije, turizma i trgovine je izdalo dokument "Tehnički vodič za kotlove na biomasu za grejne instalacije u zgradama", što ukazuje da produkti sagorevanja u ovim instalacijama moraju biti u skladu sa ekološkim zahtevima utvrđenim od strane nacionalnih, regionalnih i lokalnih organa vlasti, u skladu sa standardom EN 303-5 za specificirane granične vrednosti. Potonji, međutim, ne definiše NO_x granice, već samo granice emisija za CO, OGC i čestica.

2.11. Velika Britanija

Direktiva - Integrisano sprečavanje i kontrola zagađenja (IPPC) je regulatorni sistem implementiran u Velikoj Britaniji koji koristi integrisani pristup za kontrolu ekoloških uticaja industrijske aktivnosti. Da bi dobili dozvolu, investitori moraju da dokažu da je predložena tehnologija BAT za njihovo postrojenje, i da ispunjavaju i druge specifične uslove, uzimajući u obzir relevantne lokalne faktore. Suština BAT je da izabrana tehnologija sa stanovišta zaštite životne sredine je ona kojom se postiže odgovarajuća ravnoteža dobiti između životne sredine i troškova nastalih od strane investitora. Međutim, bez obzira na troškove investicije, ne može se dozvoliti instaliranje postrojenja ukoliko bi rad istog prouzrokovao značajno zagađenje.

3. ANALIZA GRANIČNIH EMISIJA NO_x U SRBIJI

Granična vrednost emisije azotnih oksida (NO_x) za Republiku Srbiju izražene kao NO₂ prikazane su u Tab. 10 i definišu se u skladu sa Pravilnikom o graničnim vrednostima emisije zagađivača vazduha [11].

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu predstavljenih nacionalnih GVE NO_x u nekim evropskim zemljama, može se zaključiti da su uglavnom velika i srednja postrojenja podvrgnuta strogim propisima emisije. Izuzetak su zemlje kao što su Austrija, Nemačka, Belgija i Norveška, koje definišu GVE za postrojenja manja od 1 MW. Srpska Uredba o GVE zagađivača vazduha kojom se definišu dozvoljene vrednosti emisije jasno regulišu GVE pri sagorevanju čvrste biomase, dok to nije slučaj sa tečnim gorivima. Naime, nigde nije izričito rečeno da tečna goriva mogu biti porekla od biomase, dok se biogas može svrstati u kategoriju "gasova osim prirodnog gasa". Dozvoljene GVE iz velikih i srednjih postrojenja za sagorevanje biomase su uglavnom usklađene sa regulatornim standardima u navedenim evropskim zemljama. Prema vrednostima ovog pravilnika, Srbija je jedna od onih sa strožim ograničenjima po pitanju emisije NO_x pri sagorevanje biomase u malim postrojenjima. Treba napomenuti da Uredba ne definiše GVE NO_x za sagorevanje biomase koja nije od drvne prirode, što se može smatrati propustom, posebno kada se uzme u obzir da 63%

raspoloživih resursa biomase u Srbiji je agro biomasa. Poljoprivredna biomasa se odlikuje visokim sadržajem azota zbog svog intenzivnog đubrenja, kao i činjenice da ista služi za ishranu ljudi i stoke zbog izrazitog sadržaja proteina.

Tab. 10. Granične vrednosti emisije azotnih oksida u Republici Srbiji

Tab. 10. Limited emissions values of nitrogen oxides in the Republic of Serbia

Veličina Plants	Kapacitet Power, MW _{th}	Gorivo Fuel	Ref. O ₂ % vol	NO _x mg/m ³ _o
Velika Large	50 -100	Čvrsta biomasa	6	400
	100 – 300			300
	> 300			200
	50 -100	Tečna goriva	3	400
	100 - 300			200
	> 300			200
	>50	Gasovi različiti od prirodnog gasa	3	200
Srednja Medium	1-50	Drvo i drveni otpatci	11	250
	1-50 (SFS)			300
	5-50	Tečna goriva	3	350
	10-50	Gasovi različiti od prirodnog gasa	3	200
Mala Small	0.1-1	Druga čvrsta goriva različita od uglja i briketa od uglja i koksa	13	250
	<5	Postrojenja sa temperaturom vode <110°C i nad pritiskom <0.05 MPa	3	100
		Postrojenja sa temperaturom vode >110°C i <210°C i nad pritiskom >0.05 MPa i <1.8 MPa		200
		Postrojenja sa temperaturom vode >210°C i nad pritiskom >1.8 MPa		250

Visok sadržaj proteina implicira i visok sadržaj azota. Uzimajući u obzir značajne rezerve agro biomase i činjenicu da se, po pravilu, pri njenom sagorevanju emituje veća količina NO_x oksida, kao i zbog činjenice da je za mala postrojenja uvođenje sistema sa sekundarnim merama denitrifikacije obično ekonomski neisplativo, neophodno je, da se definišu blaža ograničenja emisije za sagorevanje biomase ove vrste. U tom smislu, korisno je ugledati se na praksu i iskustva razvijenih agrarnih zemalja kao što su Danska, Velika Britanija ili Nemačka.

5. LITERATURA

- [1] Directive 2001/80/EC, Council Directive 94/66/EC
- [2] Directive 2000/76/EC
- [3] MILJØSTYRELSEN (2001). Luftvejledning, Begrænsning af luftforurening fra virksomheder, Miljø-og Energiministeriet, København, National guideline for emission limits issued by the Danish Environmental Agency, Copenhagen.

- [4] Van Loo, S., Babu S, Baxter L. (2002). Workshop on biomass cofiring, organized by IEA Bioenergy. Amsterdam, the Netherlands.
- [5] Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen - 1.BImSchV), 26.01.2010.
- [6] Technical Instructions on Air Quality Control – TA Luft, of 24 July 2002, http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmuimport/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ta_luft_engl.pdf
- [7] INFOMIL (2006). Wetswegwijzer bio-energie, available at www.infomil.nl
- [8] Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008 concerning Integrated Pollution Prevention and Control.
- [9] <http://www.miljodirektoratet.no/no/Regelverk/Forskrifter/Regulations-relating-to-pollution-control-Pollution-Regulations/>
- [10] Jansen U. (2006). Aktionsplan Feinstaub des Bundes im Bereich Holzfeuerungen und verschärfte Emissionsgrenzwerte. In Feinstaubminderung und Stromerzeugung im Rahmen der zukünftigen Energieversorgung, 9. Holzenergie-Symposium, 20 October, ETH Zürich, Zürich, Verenum, Zürich und Bundesamt für Energie, Bern.
- [11] Regulation on emission limit values of air pollutants. (Official Gazette of RS, No. 71/2010, 6/2011- correction, 2010/11)

ANALYSIS OF PRESCRIBED LIMITS OF NO_x EMISSIONS FROM BIOMASS COMBUSTION IN SELECTED EUROPEAN COUNTRIES AND IN SERBIA

Milica Mladenović, Stevan Nemoda, Milijana Paprika, Ana Marinković, Branislav Repić

SUMMARY

Aligning the need to preserve the environment and the growing energy needs of modern society promotes the use of biomass as a replacement for fossil fuels and viable option to mitigate greenhouse gas emissions. Besides a number of advantages of using the biomass for energy purposes, there are certain disadvantages, one of which is possible relatively high level of NO_x emissions during the combustion of biomass. Control of NO_x emissions emitted during biomass combustion is becoming increasingly important because of the technical challenge of introducing stricter emission limits. This paper provides an overview and analysis of national standards related to NO_x emissions, as well as legal norms and experience some of the selected European countries. It is recommended that the local regulations relating to the NO_x emission, specifically define the boundaries in the case of agro biomass combustion, due to its availability and expressed a high nitrogen content.

Keywords: Biomass, combustion, NO_x emission, analysis.

Napomena: Rad predstavlja deo istraživanja na projektu „Razvoj i unapređenje tehnologija za energetski efikasno korišćenje više formi poljoprivredne i šumske biomase na ekološki prihvatljiv način, uz mogućnost kogeneracije“ (III42011) koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Primljeno: 17. 02. 2016. god.

Prihvaćeno: 08. 03. 2016. god.