

На основу Правилника о верификацији и валидацији техничко-технолошких решења и процедуре ИП 19 Израда и поступак верификације и валидације техничко-технолошких решења, Научно веће Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, на седници одржаној 24.06.2010. год., донело је

## ОДЛУКУ

Да се резултат истраживачког рада *Материјал на бази природног зеолита намењен за издвајање азот монооксида из отпадних гасова*, који је проистекао као резултат рада на Пројекту

ТР 21020

**Назив пројеката:**

*РАЗВОЈ ПОСТУПАКА, МЕТОДА И МАТЕРИЈАЛА ЗА ПРЕЧИШЋАВАЊЕ ОТПАДНИХ ИНДУСТРИЈСКИХ ГАСНИХ ТОКОВА И ПРАЂЕЊЕ УТИЦАЈА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ*

**аутора:**

- *мр Јелене Авдаловић, истраживач сарадник, ИТНМС, Београд,*
- *Лопичић Зорице, дипл. инж., истраживач сарадник, ИТНМС, Београд,*
- *Адамовић Владимира, дипл. инж., истраживач сарадник, ИТНМС, Београд,*
- *мр Александра Ђосовића, истраживач сарадник, ИТНМС, Београд,*
- *мр Тамјане Шоштарић, истраживач сарадник, ИТНМС, Београд,*

верификује као техничко решење према индикаторима научне компетентности (М84) у складу са Правилником о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача (Сл. гласник РС бр. 38/2008), а након усвајања рецензија рецензена Крстић Братислава, дипл. инж. техн., Инжењерска комора Србије и Новаковић Јовице, дипл. инж., Аеролаб, Београд.

**Доставити:**

- руководиоцу Пројекта,
- ауторима,
- архиви НВ.

**ПРЕДСЕДНИК НАУЧНОГ ВЕЋА**

*Слободан Радосављевић*  
др Слободан Радосављевић, научни саветник

**TEHNIČKO REŠENJE**

**MATERIJAL NA BAZI PRIRODNOG ZEOLITA NAMENJEN  
ZA IZDVAJANJE AZOT MONOKSIDA IZ OTPADNIH GASOVA**

**M<sub>84</sub> – Nov način upotrebe postojećeg proizvoda  
(bitno poboljššan postojeći proizvod ili tehnologija)**

***Autori:***

mr Jelena Avdalović, dipl. ing, istraživač saradnik,  
Zorica Lopičić, dipl. ing, istraživač saradnik,  
Vladimir Adamović, dipl. ing, istraživač saradnik,  
mr Aleksandar Čosović, dipl. ing, istraživač saradnik,  
mr Tatjana Šoštarić, dipl. biolog, istraživač saradnik.

Beograd,  
2010. godine

## **SADRŽAJ:**

1. Predmet	3
2. Oblast na koju se tehničko rešenje odnosi i problem koji se rešava tehničkim rešenjem	3
3. Stanje rešenosti problema u svetu	4
4. Opis i mogućnost primene tehničkog rešenja	5
5. Prilog	8

## 1. Predmet

Na osnovu istraživanja u oblasti materijala i hemijskih tehnologija, a u cilju zaštite životne sredine, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (ITNMS), je u okviru projekta TR 21020, koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, razvio nov način upotrebe postojećeg proizvoda, kao tehničko rešenje:

**„Materijal na bazi prirodnog zeolita namenjen za izdvajanje azot monoksida iz otpadnih gasova“**

Osnov za izradu ovog Tehničkog rešenja je Pravilnik o načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača, kojim je u Kriterijumima za određivanje kategorije naučnih publikacija definisan postupak dokumentovanja i verifikacije Tehničkih rešenja (M<sub>80</sub>).

**„Materijal na bazi prirodnog zeolita namenjen za izdvajanje azot monoksida iz otpadnih gasova“, predstavlja nov način upotrebe postojećeg proizvoda u kategoriji „bitno poboljšan proizvod i tehnologija“, klasifikovan kao rezultat M<sub>84</sub>.**

## 2. Oblast na koju se tehničko rešenje odnosi i problem koji se rešava tehničkim rešenjem

Stalni porast potrošnje energije u svetu, koja se pretežno dobija sagorevanjem različitih vrsta goriva, praćen je porastom emisije toksičnih polutanata koji zagađuju životnu sredinu. Azotovi oksidi, pored čvrstih čestica i sumpornih oksida predstavljaju glavne polutante životne sredine.

Azotovi oksidi učestvuju u stvaranju kiselih kiša, fotohemijskog smoga i pripadaju gasovima sa efektom „staklene bašte“. Azotovi oksidi u prisustvu isparljivih organskih jedinjenja i sunčevog zračenja dovode do stvaranja ozona u nižim slojevima atmosfere koji je veoma štetan i predstavlja glavnu komponentu fotohemijskog smoga. Takođe, NO<sub>x</sub> jako apsorbuje svetlost u plavo-zelenoj oblasti vidljivog spektra, tako da povećanje koncentracije azotovih oksida u vazduhu dovodi do smanjenja vidljivosti. NO<sub>x</sub> (zajedno sa ostalim polutantima) može preći velike razdaljine pre nego što formira ozon ili kisele kiše, što izaziva regionalne probleme zagađenja vazduha.

Utvrđeno je da oksidi azota i njihovi produkti reakcija razaraju pamučne materijale, utiču na boje tekstilnih materijala i ubrzavaju koroziju pojedinih metala. Ovi efekti su posebno izraženi pri povećanoj vlažnosti vazduha.

Efekti azotovih oksida na ljude ogledaju se u iritaciji nosa i očiju, zapaljenju pluća, bronhitisu itd. Osim toga, negativno dejstvo se ogleda i u tome što sa hemoglobinom reaguju stvarajući methemoglobin čime se smanjuje kapacitet krvi za prenošenje kiseonika.

Azotovi oksidi se uglavnom stvaraju kao nusprodukti sagorevanja fosilnih ili sintetičkih goriva koja sadrže azot. U sistemima za sagorevanje temperature izlaznih gasova su dovoljno visoke za oksidaciju atmosferskog azota u NO koji se dalje oksiduje u NO<sub>2</sub>. Stepem konverzije azota u njegove okside, pored temperature, zavisi i od odnosa goriva i vazduha, tako da sa viškom vazduha dolazi do povećane emisije azotovih oksida. Azotovi oksidi se javljaju najčešće u vidu azot-monoksida (NO), koji ima najveći udeo u ukupno emitovanim NO<sub>x</sub> (oko 95%), zatim azot-dioksida (NO<sub>2</sub>), i u vidu azot-suboksida (N<sub>2</sub>O) u tragovima.

Na globalnom nivou, emisija azotovih oksida je gotovo ravnomerno raspoređena na dva osnovna izvora: stacionarne izvore (termo-energetska i industrijska postrojenja) sa jedne strane i motorna vozila sa druge strane.

U okviru projekta Ministarstva za nauku TR 21020 ispitivana je mogućnosti primene prirodnih i modifikovanih zeolita u sorpcionim procesima uklanjanja i izdvajanja azotovih oksida (NO<sub>x</sub>) iz industrijskih gasnih tokova. Kako je udeo NO u nastalim oksidima azota najveći, pažnja je usmerena na razvoj i definisanje sorpcionog materijala kojim će se ovaj oksid izdvajati iz dimnih gasova. Jedan od pravaca ovog istraživanja bio je i ispitivanje mogućnosti smanjenja emisije azotovih oksida iz stacionarnih izvora emisije, upotrebom filterskog sistema na bazi amonijum-zeolita. Dosadašnja ispitivanja primene prirodnih zeolita dokazala su opravdanost upotrebe ovih minerala u različitim oblastima industrije. Dostupnost i relativno niska cena stimulišu dalja istraživanja vezana za njihovu primenu u prečišćavanju industrijskih otpadnih gasova.

### 3. Stanje rešenosti problema u svetu

Emisija toksičnih polutanata predstavlja aktuelan svetski problem, na šta ukazuju mnogobrojni dokumenti i direktive, koje usvajaju visoko razvijene zemlje, a kojima se definišu maksimalni sadržaji zagađujućih komponenata u dimnim gasovima, programi i strategije smanjenja emisije.

Iako su do sada razvijene mnoge tehnike za smanjenje emisije azotovih oksida, uklanjanje ovih polutanata ostaje aktuelan svetski problem. U Evropi, ovaj problem se rešava na nivou Evropske unije. Zemlje članice su obavezne da emisije gasovitih polutanata do 2010. godine svedu na procenjene vrednosti date u Direktivi 2001/81/EC Evropskog Parlamenta, odnosno Direktivi 2006/105/EC za gasovite polutante odgovorne za nastajanje kiselih kiša, eutrofikaciju i povećanje nivoa troposferskog ozona. Od četiri ključna polutanta, čije su granične vrednosti predviđene Direktivom, zemlje članice imaju najviše problema da ostvare zadate nivoe za azotove okside. Procenjuje se da će u 2010, samo šesnaest članica ostvariti predviđeno i svesti emisiju NO<sub>x</sub> ispod dogovorenih vrednosti. Iako, je od 1990. konstantno prisutan trend smanjenja emisije NO<sub>x</sub>, zbog primene novih metoda i procesa za kontrolu emisije, nivoi emisije su viši od očekivanih. U 2010, se očekuje da će Slovenija, Velika Britanija, i Švedska prekoračiti svoje dogovorene granične vrednosti za oko 5%. Međutim, procenjuje se da će ova prekoračenja za Španiju i Francusku iznositi 28 i 32%, odnosno 42, 43 i 47% za Austriju, Belgiju i Irsku. Direktive Evropske unije propisuju samo granične vrednosti i nivoe emisije do kojih treba stići, ali ne i metode i koje treba primenjivati. Na koji način će neka zemlja ostvariti postavljene ciljeve ostaje stvar izbora. Otuda je neophodno dalje usavršavati postojeće i razvijati nove metode, procese i materijale koji će omogućiti smanjenje emisije azotovih oksida.

Smanjenje emisije NO<sub>x</sub> nastalih pri sagorevanju fosilnih goriva najčešće se ostvaruje primenom primarnih mera (koje podrazumevaju modifikaciju samog procesa sagorevanja) ili sekundarnih mera koje podrazumevaju tretman dimnih gasova nastalih pri sagorevanju.

Tretman dimnih gasova obuhvata procese selektivne katalitičke redukcije NO<sub>x</sub> i selektivne nekatalitičke redukcije (SNCR). SCR procesi podrazumevaju uvođenje amonijaka i primenu katalizatora kao što su TiO<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, WO<sub>3</sub>, MoO<sub>3</sub>, i SCR zeoliti, dok SNCR postupci uključuju upotrebu sorbenata na bazi amonijum soli i uree koji se dodaju na izlazu iz uređaja. Iako su navedeni postupci u komercijalnoj upotrebi, prati ih i niz nedostataka kao što su rizik od curenja NH<sub>3</sub> ili nepotpune reakcije između NH<sub>3</sub> i azotovih oksida, pa je neophodno voditi dalja istraživanja u ovoj oblasti.

Na osnovu pregleda dostupne literature, u našoj zemlji intenzivnije su vršena jedino istraživanja na temu uklanjanja azotovih oksida primenom primarnih mera (Mašinski fakultet u Beogradu).

Iako je komercijalna upotreba prirodnih zeolita u ovom trenutku manja u odnosu na sintetički dobijen zeolit, veliki broj svetskih istraživanja ukazuje da prirodni zeoliti zbog svojih fizičko-hemijskih i adsorpcionih svojstava nalaze sve širu primenu i u postupcima prečišćavanja kontaminiranih voda i vazduha.

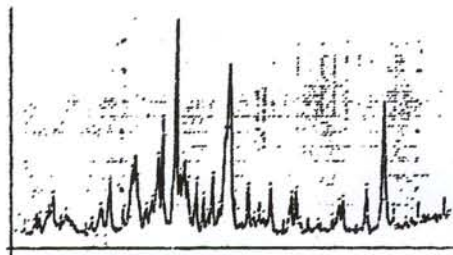
#### 4. Opis i mogućnost primene tehničkog rešenja

Polazna sirovina za sintezu materijala je prirodni zeolit. U osnovi kristala zeolita je mineral klinoptilolit od čijeg sadržaja zavisi kvalitet zeolitskog tufa. Primena zeolita zavisi, pre svega, od njihovih fizičko-hemijskih osobina koje su u direktnoj korelaciji sa njihovim sastavom i kristalnom strukturom. Primena zeolita bazira se na svojstvima molekularnih sita i fizičkim svojstvima – veličini i obliku zrna, poroznosti i tvrdoći i na vrsti izmenljivog katjona. Za ispitivanja izdvajanja azotovih oksida iz gasnih struja korišćeni su zeoliti sa visokim sadržajem minerala klinoptilolita. Zeolitski tuf sa lokaliteta Igroš-Kopaonik (K) i zeolitski tuf iz regiona Vranjska Banja (VB). Sa svake od ovih lokacija pravljen je kompozitni uzorak i izdvojene su klase granulacije: -2,83+0,80; -5,66+2,38 i -6,35+2,00 mm. Prosečan sastav elemenata oba zeolitska tufa dat je u tabeli 1.

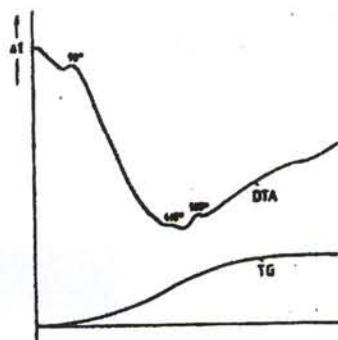
Tabela 1. - Hemijski sastav prosečnog uzorka dve vrste zeolitskog tufa

	Gub. žar.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
K	9,86	64,05	15,29	2,51	4,82	1,33	1,27	0,77
VB	9,58	66,24	14,02	2,05	4,34	1,96	1,11	1,32

Na slici 1. prikazan je X-Ray difraktogram uzorka zeolitskog tufa iz regiona Vranjska Banja (VB), a na slici 2. prikazana je termička analiza uzorka. Termička analiza, odnosno DTA dijagram pokazuje da je osnova uzorka sadržaj minerala iz grupe zeolita: hejlandit-klinoptilolit, dok TG dijagram pokazuje da ukupan gubitak mase do 1100 °C iznosi 13,36%.



Slika 1 - X-Ray difraktogram uzorka VB



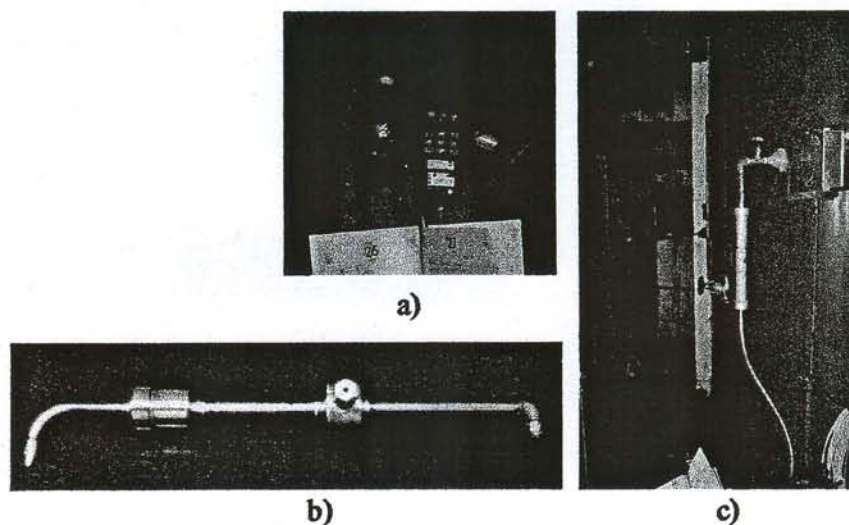
Slika 2 - Termička analiza uzorka VB

U prethodnim ispitivanja utvrđeno je da prirodan nemodifikovan zeolit nije pogodan za adsorpciju oksida azota. Hemijskom i termičkom modifikacijom moguće je poboljšati sorpcione karakteristike zeolita. Polazni materijal je modifikovan sa  $\text{NH}_4\text{Cl}$  i termički aktiviran na temperaturi od  $270^\circ\text{C}$ . Dobijanje materijala sa poboljšanim karakteristikama od polazne sirovine obuhvata sledeće faze:

- Nabavka sirovine od poznatog i proverenog dobavljača;
- Hemijska analiza sirovine;
- Grubo odstranjivanje primesa;
- Primarno usitnjavanje;
- Mlevenje;
- Prosejavanje;
- Impregnacija – hemijska modifikacija;
- Termička aktivacija,
- Pakovanje.

U cilju sagledavanja osobina dobijenog materijala i definisanja uticaja faza obrade, eksperimentalno je određivana efikasnost dobijenog materijala uporedo sa poluproizvodima koji se dobijaju u pojedinim fazama (termički aktivirani zeolit i termički aktivirani zeolit modifikovanim sa  $\text{HCl}$ ). Rezultati dobijeni u eksperimentu sa termički aktiviranim zeolitom predstavljali su referentne vrednosti sa kojima je poređena efikasnost ostalih materijala. Kao polazni materijal za ova ispitivanja izabran je uzorak prirodnog zeolita označen kao VB-2, veličine zrna od  $-2,83+0,80$  mm.

Eksperimenti su izvedeni na emiteru toplovodnog kotla u kotlarnici Instituta. Koncentracija gasa određivana je, najpre, direktno u dimnom kanalu, a zatim je deo struje „izvođen“ iz kanala i provoden je kroz nepokretni sloj zeolita. Za vreme merenja ulazne koncentracije  $\text{NO}$  su se kretale u rasponu od 40 do 50 ppm, a temperatura dimnog gasa se kretala oko  $110^\circ\text{C}$ . Protok kroz sloj je regulisan ručno, preko ventila, i u toku eksperimenta je iznosio 40 l/min. Aparatura na kojoj su vršena ispitivanja sastoji se od specijalno konstruisane čaure, izrađene od nerđajućeg čelika, u koju se stavlja nepokretni sloj materijala koji se ispituje, i sistema cevi i pumpe koji omogućava uzorkovanje gasa iz toka otpadnih gasova u emiteru (slika 3). Masa sorpcionog materijala koji staje u čauru prosečno iznosi 100 g. Koncentracija  $\text{NO}$  u gasnoj fazi, na ulazu i izlazu iz čaure određivana je automatskim gasnim analizatorom „Testo-300XL-I“.



Slika 3 – Aparatura za ispitivanje efikasnosti materijala: a) analizator gasova, b) čaura, c) eksperimentalni sistem

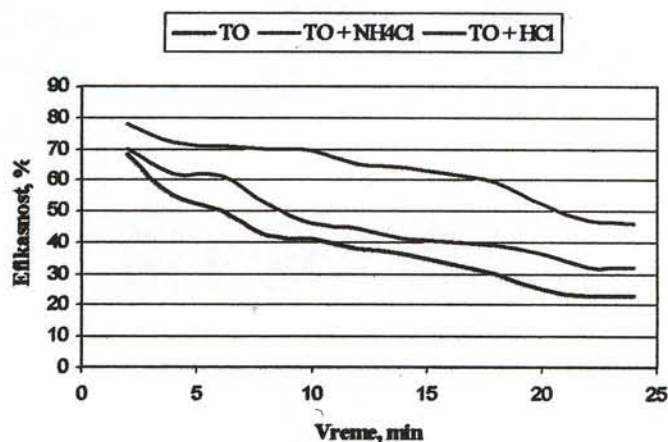
Rezultati ispitivanja u struji vlažnog gasa pod realnim uslovima prikazani su tabeli 2. i na slici 4, a dati su preko efikasnosti procesa izdvajanja dobijene od izmerenih vrednosti koncentracija NO na ulazu i izlazu iz sloja.

Tabela 2 - Rezultati ispitivanja u struji vlažnog gasa pod realnim uslovima

Modifikacija	Termička obrada	Termička obrada + NH <sub>4</sub> Cl	Termička obrada + HCl
Vreme, min	Efikasnost procesa, %		
2	68	78	70
4	55	72	62
6	50	71	61
8	42	70	52
10	41	69	46
12	38	65	44
14	36	64	41
16	33	62	40
18	30	59	39
20	25	52	36
22	23	47	32
24	23	46	32

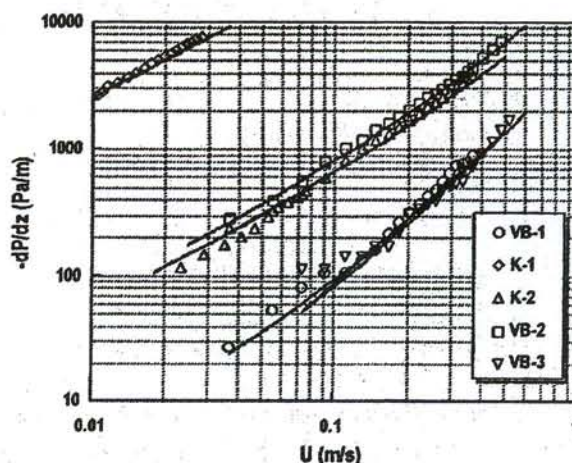
U realnom sistemu sa vlažnim gasom na kapacitet materijala za izdvajanje gasovitog polutanta utiče sadržaj vlage u gasu. Eksperimentalnim putem, u protočnom sistemu, određen je specifični kapacitet adsorpcije vlage za izabrani tip zeolita. Za termički pripremljen materijal iznosi 43,75 g H<sub>2</sub>O/kg.





Slika 4 - Rezultati ispitivanja u struji vlažnog gasa pod realnim uslovima

Takođe, radi boljeg sagledavanja performansi filtera na bazi dobijenog sorpcionog materijala i definisanja projektnih parametara urađena su i ispitivanja strujanja gasovite faze kroz pakovani filterski sloj. Hidrodinamički otpor koji nastaje pri strujanju gasovitih fluida kroz sloj materijala dat je preko zavisnosti gradijenta pritiska ( $-dP/dz$ ) od brzine fluida ( $U$ ) na slici 5.



Slika 5 - Rezultati ispitivanja strujanja gasovitih fluida

Na osnovu rezultata sprovedenih ispitivanja, može se zaključiti da se dobijeni materijal može uspešno koristiti za izdvajanje azot monoksida iz realnih vlažnih gasnih struja. Materijal se preporučuje za upotrebu u tretmanu otpadnih gasnih struja sa umerenim sadržajem vlage i za opseg temperatura otpadnog gasa do  $150^{\circ}\text{C}$ .

##### 5. Prilog - Ostali rezultati vezani za razvoj i primenu tehničkog rešenja

- Jelena Avdalović, Aleksandar Čosović, Vladimir Adamović, Zorica Lopičić, Tatjana Šošćarić, *Ispitivanje mogućnosti smanjenja emisije azotovih oksida*, IV Simpozijum „Reciklažne tehnologije i održivi razvoj“, 3.-6.11.2009, Kladovo, Srbija, 471-475.

Naučno veće Instituta za tehnologiju  
nuklearnih i drugih mineralnih sirovina

Beograd  
Fransa d Eperea 86

**Predmet: Recenzija tehničkog rešenja «Materijal na bazi prirodnog zeolita namenjen za izdvajanje azot monoksida iz otpadnih gasova».**

Tehničko rešenje predstavlja nov način upotrebe materijala na bazi prirodnog zeolita, namenjen za izdvajanje azot monoksida iz otpadnih gasova, i predstavlja nov način upotrebe postojećeg proizvoda u kategoriji „bitno poboljšan proizvod i tehnologija“, klasifikovan kao rezultat M84, od autora:

mr Jelene Avdalović, dipl. ing, istraživač saradnika i  
Zorice Lopičić, dipl. ing, istraživač saradnika,  
Vladimira Adamovića, dipl. ing, istraživač saradnika,  
mr Aleksandara Čosovića, dipl. ing, istraživač saradnika,  
mr Tatjane Šoštarić, dipl. biolog, istraživač saradnika,

prezentirano je kroz 5 poglavlja na 8 strana:

1. Predmet
2. Oblast na koju se tehničko rešenje odnosi i problem koji se rešava ovim tehničkim rešenjem
3. Stanje rešenosti problema u svetu
4. Opis i mogućnosti primene tehnološkog rešenja
5. Rezultati realizovanih istraživanja o efikasnosti uklanjanja NO iz otpadnih gasnih tokova

U poglavlju 1. je istaknuto da je navedeno tehničko rešenje proisteklo angažovanjem autora u realizaciji projekta Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije (TR 21020). Navedeno tehničko rešenje predstavlja nov proizvod koji je nastao modifikacijom zeolitskog tufa, a osnovna namena mu je da njegovim korišćenjem, u adsorpcionom sistemu, smanji emisiju NO u atmosferu.

U poglavlju 2. ukazano je na problem sve većeg zagađivanja vazduha različitim zagađujućim polutantima, koji neminovno nastaje u mnogim procesima u životnoj sredini, a najviše u procesu sagorevanja fosilnih goriva

Azotovi oksidi se uglavnom stvaraju kao nuzprodukti sagorevanja fosilnih ili sintetičkih goriva koja sadrže azot. U sistemima za sagorevanje temperature izlaznih gasova su dovoljno visoke za oksidaciju atmosferskog azota u NO koji se dalje oksiduje u NO<sub>2</sub>. Stepem konverzije azota u njegove okside, pored temperature, zavisi i od odnosa goriva i vazduha, tako da sa viškom vazduha dolazi do povećane emisije

azotovih oksida. Azotovi oksidi se javljaju najčešće u vidu azot-monoksida (NO), koji ima najveći udeo u ukupno emitovanim NO<sub>x</sub> (oko 95%), zatim azot-dioksida (NO<sub>2</sub>), i u vidu azot-suboksida (N<sub>2</sub>O) u tragovima.

U okviru realizacije ovog tehničkog rešenja ispitivana je mogućnosti primene prirodnih i modifikovanih zeolita u sorpcionim procesima uklanjanja i izdvajanja azotovih oksida (NO<sub>x</sub>) iz industrijskih gasnih tokova. Kako je udeo NO u nastalim oksidima azota najveća, pažnja je usmerena na razvoj i definisanje sorpcionog materijala kojim se ovaj oksid izdvaja iz dimnih gasova upotrebom filterskog sistema na bazi amonijum-zeolita.

U poglavlju 3 istaknuto je da su do sada razvijene mnoge tehnike za smanjenje emisije azotovih oksida, ali da i dalje uklanjanje ovih polutanata ostaje aktuelan svetski problem.

Smanjenje emisije NO<sub>x</sub> nastalih pri sagorevanju fosilnih goriva najčešće se ostvaruje primenom primarnih mera (koje podrazumevaju modifikaciju samog procesa sagorevanja) ili sekundarnih mera koje podrazumevaju tretman dimnih gasova nastalih pri sagorevanju.

Tretman dimnih gasova obuhvata procese selektivne katalitičke redukcije NO<sub>x</sub> i selektivne nekatalitičke redukcije (SNCR). SCR procesi podrazumevaju uvođenje amonijaka i primenu katalizatora kao što su TiO<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, WO<sub>3</sub>, MoO<sub>3</sub>, i SCR zeoliti, dok SNCR postupci uključuju upotrebu sorbenata na bazi amonijum soli i uree koji se dodaju na izlazu iz uređaja. Iako su navedeni postupci su u komercijalnoj upotrebi, prati ih i niz nedostataka kao što su rizik od curenja NH<sub>3</sub> ili nepotpune reakcije između NH<sub>3</sub> i azotovih oksida, pa je neophodno voditi dalja istraživanja u ovoj oblasti.

U poglavlju 4 dat je detaljan opis i karakteristike tehničkog rešenja i način kako je realizovan.

Za ispitivanja adsorpcije azotovih oksida iz gasnih struja korišćeni su zeolitski tuf sa lokaliteta Igroš-Kopaonik (K) i zeolitski tuf iz regiona Vranjska Banja (VB). Sa svake od ovih lokacija pravljen je kompozitni uzorak i izdvojene su klase granulacije: -2,83+0,80; -5,66+2,38 i -6,35+2,00 mm. Utvrđen je prosečan sastav elemenata i urađene ostale fizičke karakteristike koje su relevantne za praktičnu primenu u adsorpcionim sistemima.

Sva ispitivanja su izvođena u realnom sistemu sa vlažnim gasom, pri čemu je kvantifikovan i uticaj sadržaja vlage u gasu na kapacitet materijala za adsorpciju. Kao polazni materijal za ispitivanja procesa izdvajanja i uklanjanja NO izabran je uzorak prirodnog zeolita označen kao VB-2, veličine zrna od -2,83+0,80 mm. Eksperimentalnim putem, u protočnom sistemu, određen je specifični kapacitet adsorpcije vlage za izabrani tip zeolita. Za termički pripremljen materijal iznosi 43,75 g H<sub>2</sub>O/kg. Polazni materijal je modifikovan sa NH<sub>4</sub>Cl i termički aktiviran na temperaturi od 270°C. Radi određivanja efikasnosti dobijenog materijala uporedo su vršeni eksperimenti sa termički aktiviranim zeolitom i zeolitom modifikovanim sa HCl. Rezultati dobijeni u eksperimentu sa termički aktiviranim zeolitom predstavljali su referentne vrednosti u odnosu na koje su poređene efikasnosti ostalih materijala.

U tabeli 2. dati su rezultati ispitivanja stepena efikasnosti uklanjanja NO iz realnih gasnih tokova, korišćenjem različitih modifikovanih zeolitskih materijala. Ispitivanja su izvršena sa termički obrađenim zeolitskim materijalom, zeolitskim materijalom termički obrađenim i aktiviranim sa NH<sub>4</sub>Cl i termički obrađenim zeolitskim materijalom modifikovanim HCl.

Rezultati sveobuhvatnih ispitivanja primene zeolitskih materijala, za uklanjanje NO iz gasnih tokova, ukazuju da se zeolitski materijal modifikovan sa  $\text{NH}_4\text{Cl}$  može uspešno koristiti za smanjenje emisije NO iz gasnih tokova ili na drugim mestima njegovog nastanka gde može doći do lokalnog zagađenja. Korišćenje ovakvog materijala u sorpcionim procesima za smanjenje NO u emisiji dalo bi novu upotrebnost vrednost relativno jeftinim materijalima, a omogućilo bi brzu i jednostavnu primenu sorpcionih sistema za korišćenje «in situ».

#### Zaključak i predlog

Tehničkog rešenja «Materijal na bazi prirodnog zeolita namenjen za izdvajanje azot monoksida iz otpadnih gasova » predstavlja rezultat naučno istraživačkog rada njegovih autora. Navedeno tehničko rešenje je verifikovano kroz prihvaćene izveštaje o realizaciji projekta Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije u predhodnom periodu.

Dokumentacija tehničkog rešenja pripremljena je u skladu sa Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata koje je doneo Nacionalni savet za naučni i tehnološki razvoj (SI.GI.RS. 38/08), date su potrebne informacije o oblasti na koje se tehničko rešenje odnosi i koji se problem njegovom primenom rešava, sa osvrtom na stanje njegove rešenosti u svetu. Takođe su prikazana ispitivanja vezana za proces koji je predhodio razvoju tehničkog rešenja oko izbora vrste zeolitskog materijala i njegove modifikacije, njegove efikasnosti u procesu adsorpcije NO u realnim sistemima kao i preporuke za njegovu primenu.

Polazeći od značaja tehnološkog rešenja, a posebno njegove aktuelnosti sa aspekta zaštite životne sredine, predlažem Naučnom veću ITNMS da predloženo tehničko rešenje verifikuje i svrsta u kategoriju koju su predložili autori: M84 – nov način upotrebe postojećeg proizvoda (bitno poboljšan postojeći proizvod ili tehnologija).

Beograd, 08.06.2010.

Recenzent  
Братислав  
Б. Крстић  
дипл. инж. тех.  
371 С790 06  
Братислав Крстић, dipl. ing. tehn.



Институт за технологију нуклеарних и других  
минералних сировина (ITNMS) инст. беог 396

Научном већу

Београд  
Франше D'Eperea 86

**Предмет:**      **Recenzija Tehničkog rešenja „Materijal na bazi prirodnog zeolita namenjen za izdvajanje NO iz otpadnih gasova“**

Tehničko rešenje „Materijal na bazi prirodnog zeolita namenjen za izdvajanje NO iz otpadnih gasova“ delo je autora mr Jelene Avdalović, dipl. ing Zorice Lopičić, dipl. ing Vladimira Adamovića, mr Aleksandra Ćosovića i mr Tatjane Šoštarić. Tehničko rešenje je prezentovano u okviru pet poglavlja, na osam strana.

➤ I poglavlje „Predmet“ – u okviru ovog poglavlja navedeno je da je Tehničko rešenje proisteklo iz istraživanja u oblasti materijala i hemijskih tehnologija sprovedenih u okviru projekta TR 21020, koje finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije. Osnov za izradu ovog Tehničkog rešenja je *Pravilnik o načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača* prema kome „Materijal na bazi prirodnog zeolita namenjen za izdvajanje azot monoksida iz otpadnih gasova“ predstavlja nov način upotrebe postojećeg proizvoda u kategoriji „bitno poboljšan proizvod i tehnologija“ i klasifikovan je kao rezultat M84.

➤ U II poglavlju „Oblast na koju se tehničko rešenje odnosi i problem koji se rešava tehničkim rešenjem“ je dat prikaz štetnih efekata koji nastaju pri povećanim koncentracijama azotovih oksida u vazduhu. Takođe, obrađeni su načini nastanka i izvori emitovanja azotovih oksida. U ovom poglavlju ukratko je dat osvrt na mogućnosti primene prirodnih i modifikovanih zeolita u sorpcionim procesima uklanjanja i izdvajanja azotmoksida (NO) iz industrijskih gasnih tokova. Ukazano je na prednosti primene prirodnih zeolita za primenu u prečišćavanju industrijskih otpadnih gasova koje se odnose, pre svega, na njihovu dostupnost i relativno nisku cenu.

➤ III poglavlje „Stanje rešenosti problema u svetu“ govori o aktuelnosti ove problematike u svetu. Navedeno je da je Evropska Unija sa svoje strane donela direktive kojima su zemlje članice u obavezi da emisije gasovitih polutanata odgovornih za nastajanje kiselih kiša, eutrofikaciju i povećanje nivoa troposferskog ozona, u koje spadaju i emisije NOx, svedu na određene vrednosti i date su procene nivoa ispunjenosti ovih obaveza u zemljama EU. Ovim direktivama su propisane granične vrednosti, ali ne i metode kojima će se ove emisije ostvariti, što ostavlja prostora za razvijanje novih materijala i metoda.

Dalje je navedeno da smanjenje emisije NOx može da se izvede primenom primarnih mera koje podrazumevaju modifikacije samog procesa sagorevanja i sekundarnih mere koje se odnose na tretman dimnih gasova nastalih pri sagorevanju. Na osnovu dostupne literature, zaključeno je da se istraživanja na temu uklanjanja azotovih oksida primenom primarnih mera u našoj zemlji do sada bavio jedino Mašinski fakultet u Beogradu.

U ovom poglavlju su razmotreni procesi selektivne katalitičke redukcije NOx i selektivne nekatalitičke redukcije, koji spadaju u sekundarne postupke smanjenja emisije NOx i obrazloženi su nedostaci ovih postupaka. Iako se sintetički dobijeni zeolit više koristi, ukazano je na niz prednosti upotrebe prirodnih zeolita u postupcima prečišćavanja kontaminiranih voda i vazduha.

➤ U IV poglavlju „Opis i mogućnost primene tehničkog rešenja“ su navedene osobine zeolita od kojih zavisi njegova primena. Ispitivanja izdvajanja azotovih oksida iz gasnih struja su obavljena sa zeolitima koji imaju visok sadržaj minerala klinoptiolita i to na zeolitskom tufu sa lokaliteta Igroš-Kopaonik i zeolitskom tufu iz regiona Vranjska Banja. Date su njihove granulacije i tabelarno je prikazan hemijski sastav prosečnog uzorka zeolitskih tufova sa dve pomenute lokacije. Takođe, dat je X-Ray difraktogram i DTA dijagram uzorka zeolitskog tufa iz regiona Vranjska Banja. Iz ovih ispitivanja je zaključeno da prirodan, nemodifikovan zeolit nije pogodan za adsorpciju oksida azota. Međutim, kako je hemijskom i termičkom modifikacijom moguće poboljšati sorpcione karakteristike zeolita, polazni materijal je modifikovan sa NH<sub>4</sub>Cl i termički aktiviran na temperaturi od 270 °C. Zatim su pobrojane faze za dobijanje materijala sa poboljšanim karakteristikama.

Efikasnost uklanjanja NO je eksperimentalno ispitivana na termički aktiviranom zeolitu iz uzorka sa lokaliteta Vranjska Banja, koji je poslužio kao referentna vrednost sa kojim je poređena efikasnost termički aktiviranog zeolita aktiviranog sa NH<sub>4</sub>Cl i sa HCl. Način izvođenja eksperimenata i oprema koja je korišćena su detaljno opisani u ovom poglavlju. Takođe, priložene su i fotografije korišćene aparature i eksperimentalnog sistema. Efikasnost procesa izdvajanja NO iz struje vlažnog gasa u realnim uslovima predstavljena je tabelarno i grafički. Ova ispitivanja su pokazala da najbolje sorpcione osobine među ispitivanim materijalima ima termički aktivirani zeolit aktiviran sa NH<sub>4</sub>Cl. Takođe, dat je i grafik zavisnosti gradijenta pritiska (-dP/dz) od brzine fluida (U) radi boljeg sagledavanja performansi filtera na bazi dobijenog sorpcionog materijala.

➤ U V poglavlju „Pirlog“ dat je rad autora tehničkog rešenja koji je saopšten na naučnom skupu i u kome su prezentovani rezultati efikasnosti filtera na bazi prirodnog zeolita za izdvajanje NO iz otpadnih gasova.

## Zaključak i predlog

Tehničko rešenje „Materijal na bazi prirodnog zeolita namenjen za izdvajanje NO iz otpadnih gasova“ predstavlja rezultat naučnoistraživačkog rada autora mr Jelene Avdalović, dipl. ing Zorice Lopičić, dipl. ing Vladimira Adamovića, mr Aleksandra Čosovića i mr Tatjane Šoštarić koji je proizašlo iz istraživanja u oblasti materijala i hemijskih tehnologija sprovedenih u okviru projekta TR 21020, koje sufinansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije i verifikovano je preko usvojenih godišnjih izveštaja i objavljenog naučnog rada.

Dokumentacija Tehničkog rešenja je pripremljena u skladu sa Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata (Nacionalni savet za naučni i tehnološki razvoj, Sl. glasnik RS, br. 38/08). Date su informacije o oblasti na koju se tehničko rešenje odnosi i koje su prednosti i problemi njegove primene. Takođe, dat je i prikaz stanja rešenosti ovog problema u svetu i tendencija u bliskoj budućnosti.

Polazeći od kvaliteta Tehničkog rešenja „Materijal na bazi prirodnog zeolita namenjen za izdvajanje NO iz otpadnih gasova“, predlažem Naučnom veću Instituta za tehnologiju nukleatnih i drugih mineralnih sirovina (ITNMS) da isti verifikuje i svrsta u kategoriju M84, kako je predloženo od strane autora, kao nov način upotrebe postojećeg proizvoda u kategoriji „bitno poboljšan proizvod i tehnologija“.

U Beogradu,

21.06.2010.



Recenzent

*Jovica Novaković*  
Jovica Novaković, dipl. ing  
„Aerolab“ d.o.o.