

**Александар Јововић¹, Мирослав Сјанојевић¹, Дејан Радић¹,
Марко Обрадовић¹, Душан Тодоровић¹, Горан Јанкес¹,
Драгослава Сјојиљковић¹, Владимир Јовановић¹, Небојша Манић¹,
Лин Рубов², Крисџофер Цексон², Георги Игњатов²,
Борђина Миловановић³, Сања Пејровић³, Павле Пашајлић⁴**

¹ Машински факултет, Универзитет у Београду, Београд, Србија

² Корпорација „WorleyParsons”, Балтимор, САД

³ Енергопројект – ЕНТЕЛ, Београд, Србија

⁴ РОСС, Београд, Србија

Анализа расподеле емисије загађујућих компонената из новог „влажног” димњака ТЕ „Костолац Б”

Стручни рад

UDC: 662.612/.613

Студија о процени утицаја на животној средини постројења за одсушоравање димних гасова ТЕ „Костолац Б” представља саставни део инвестиционо-техничке документације за ниво идејног пројекта. Израда Студије има за циљ да прикаже стање животне средине на том подручју, да сагледа и анализира појављивне и нејављивне утицаје на животној средини до којих ће доћи израдом овог постројења. Студија такође даје приказ техничких и организационих мера предвиђених у циљу сиречавања и смањења значајних ефеката рада построја на животној средини, посебно у односу на решења прикупљања и одлагања чврстог и течностног отпада, заштите земљишта и подземних вода, управљање отпадним водама, и др.

С циљем утврђивања утицаја будућег постројења за одсушоравање димних гасова на квалитет ваздуха у ужој и широкој околини локације урађен је модел загађења ваздуха. Спроведена анализа заснована је на испитивању утицаја различитих сценарија емисија штетних материја из блокова Б1 и Б2 ТЕ „Костолац Б” на квалитет ваздуха у централној Србији.

Кључне речи: термоелектрана, сагоревање, угаљ, моделовање, расподела емисије загађивача

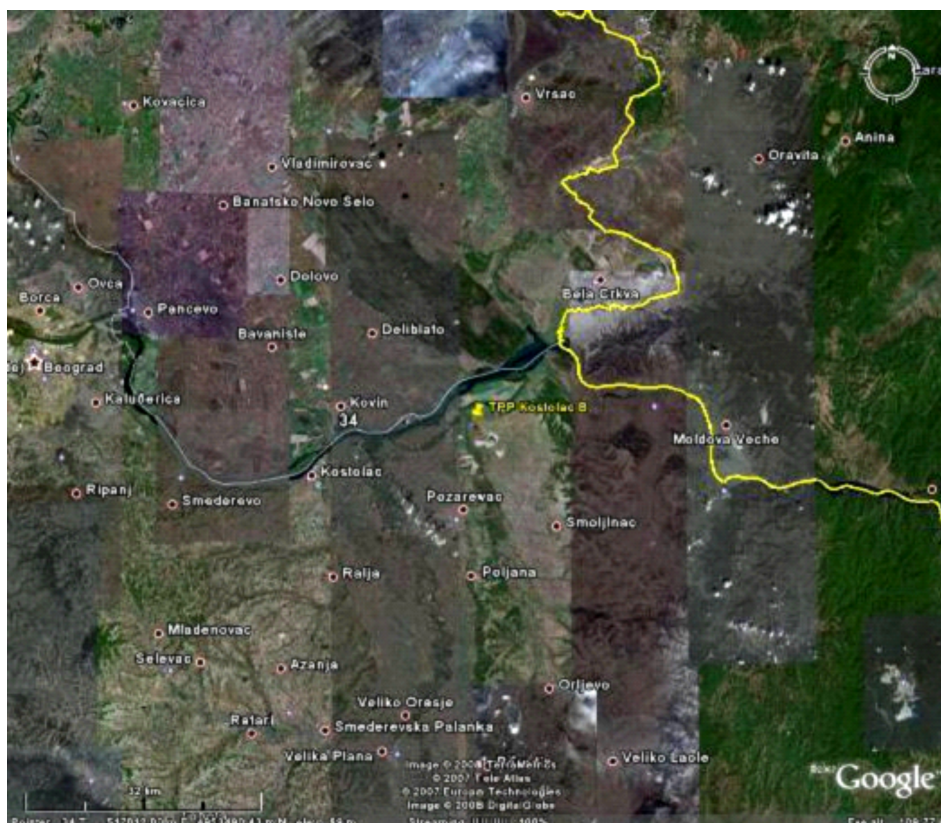
Увод

У складу са планираном изградњом постројења за влажно одсушоравање димних гасова (ОДГ) блокова Б1 и Б2 ТЕ „Костолац Б”, ЈП ЕПС је уговорио израду

пројектне документације решења ОДГ на ТЕ „Костолац Б”. Пројектну документацију сачињавају Претходна студија оправданости са генералним пројектом, Студија оправданости са идејним пројектом и Процена утицаја пројекта на животну средину. Пројектну документацију урадио је Конзорцијум кога чине Машински факултет, Београд, Корпорација „WorleyParsons”, САД, Рударски факултет, Београд и Енергопројект – ЕНТЕЛ, Београд [1, 2, 3 и 4].

На основу више могућих решења постројења, генералним пројектом је усвојено да се за будуће постројење предвиди влажни кречњачки поступак, у оквиру кога је предвиђена и изградња новог влажног димњака. На том нивоу пројектовања дошло се до почетне вредности висине новог димњака од 200 m, па је у следећој фази пројектовања извршено поређење утицаја емисија:

- при раду ТЕ „Костолац Б” са постројењем за ОДГ, при чему се сви димни гасови испуштају и кроз нови влажни димњак усвојене висине 200 m, и
- при раду ТЕ „Костолац Б” без постројења за ОДГ, при чему се сви димни гасови испуштају кроз постојећи, 250 m висок димњак.



Слика 1. Поглед на предметну област

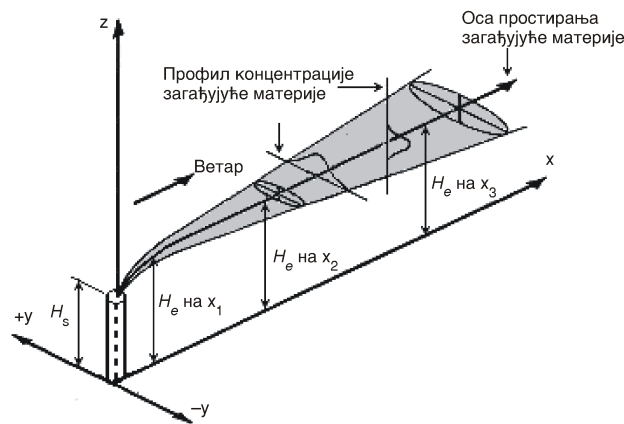
На основу тога, у раду су приказани добијени резултати дисперзије димног гаса и расподеле приземних концентрација SO_2 и NO_x . У спроведеној анализи блокови Б1 и Б2 ТЕ „Костолац Б” разматрани су као једини извори загађења. Анализа даје тренутне резултате прорачуна при одређеним претпоставкама, усвојеним током моделирања дисперзије и заснованим на прелиминарним закључцима донетим на основу расположивих података.

Пристап моделовању квалитета ваздуха

Спроведена анализа базира се на анализи утицаја различитих сценарија емисија штетних материја из блокова Б1 и Б2 ТЕ „Костолац Б” на квалитет ваздуха у централној Србији.

Израчунате су приземне концентрације SO_2 и NO_x на различитим удаљеностима од термоелектране. На сл. 1. приказана су растојања до 50 km, иако је прорачун захватио нешто већа растојања. Из тог разлога су на сликама 6 до 17 приказани резултати који се односе на предметни радијус, при чему се на удаљености од 0 km налази извор емисија тј. димњак, док је 50 km максимална удаљеност од извора загађења.

У анализи је коришћен опште познати Гаусов модел дисперзије са Бригсовим моделом облака димног гаса (једн. 1), који је шематски приказан на сл. 2,



Слика 2. Шематски приказ Гаусовог модела дисперзије облака димног гаса

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2 \omega \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{(z - H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) \exp\left(-\frac{(z + H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (1)$$

где су:

- Q – емисија загађујуће материје из извора, [gs^{-1}],
 ω – брзина ветра на висини извора емисије, [ms^{-1}],
 H_e – ефективна висина димњака, [m],
 σ_y – коефицијенти бочне дисперзије, [m], и
 σ_z – коефицијенти вертикалне дисперзије, [m].

Ефективна висина димњака се израчунава на основу израза:

$$H_e = H_s + h \quad (2)$$

где су:

- H_s – физичка висина димњака, [m], а
 h – висина до које се подиже облак димног гаса, [m].

Атмосферска стабилност изражена је преко Пасквил – Гифорд („Pasquill – Gifford”) система класификације стабилности, који идентификује шест класа стабилности, почевши од „А” (веома нестабилна) до „F” (веома стабилна) [5, 6 и 7].

SCREEN3 модел Америчке агенције за заштиту животне средине коришћен је за додатна поређења [8, 9 и 10].

Емисиони подаци

За потребе анализе коришћени су технички и билансни подаци из Идејног пројекта ОДГ (табл. 1).

Таблица 1. Емисија SO_2 при раду без и са инсталираним постројењем за ОДГ (угаљ лошијег квалитета)

Параметар	Ознака/Јединица	Без ОДГ стари димњак	Са ОДГ нови димњак
Висина димњака	H_s [m]	250	200
Излазни пречник димњака (исти за оба блока)	d_s [m]	9,8	9,9
Брзина димног гаса на излазу из димњака	v_s [ms^{-1}]	25,7	18,3
Температура димног гаса	T_s [$^{\circ}\text{C}$]	170	66
Емисија из извора (иста за оба блока)	Q [gs^{-1}]	6364	334

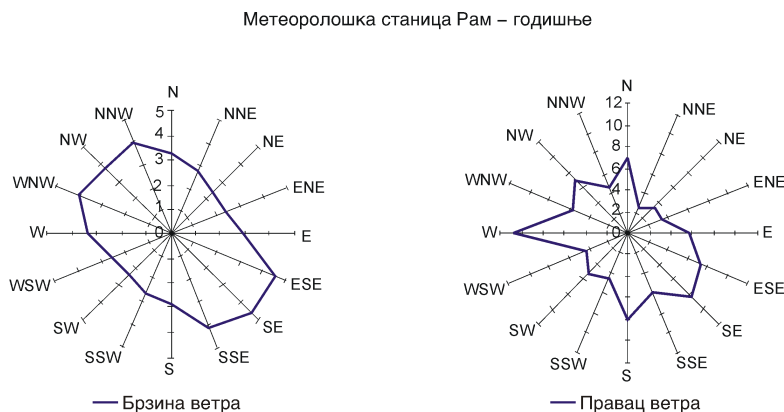
Емисија SO_2 при раду ТЕ без и са постројењем за ОДГ, израчуната је на основу материјалног биланса постројења.

Постројење за ОДГ у начелу не утиче на ниво емисија NO_x . Снижавање висине димњака и излазне температуре димног гаса утиче на повећање приземних концентрација NO_x приликом њихове дисперзије. Ниво емисија из извора загађења одређен је на основу резултата мерења емисија на ТЕ „Костолац Б”, спроведених у

периоду 15–18. јануар 2007. године. Примењујући конзервативни приступ у анализи, највиша измерена вредност емисија NO_x од 624 kg/h по блоку усвојена је као меродавна.

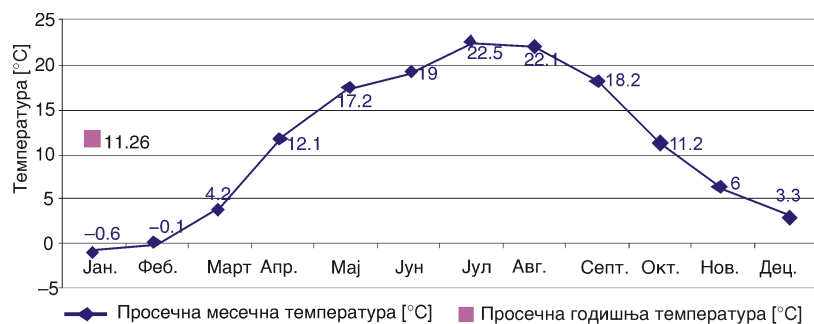
Метеоролошки подаци

Климатске карактеристике разматраног подручја имају одлике умерено континенталне климе, уз изражен утицај степско-континенталне климе суседног Баната. Релативна близина Ђердапске клисуре утиче на појачано дување југо-источног ветра – кошаве. Подаци о климатским условима, приказани на сл. 3–5,

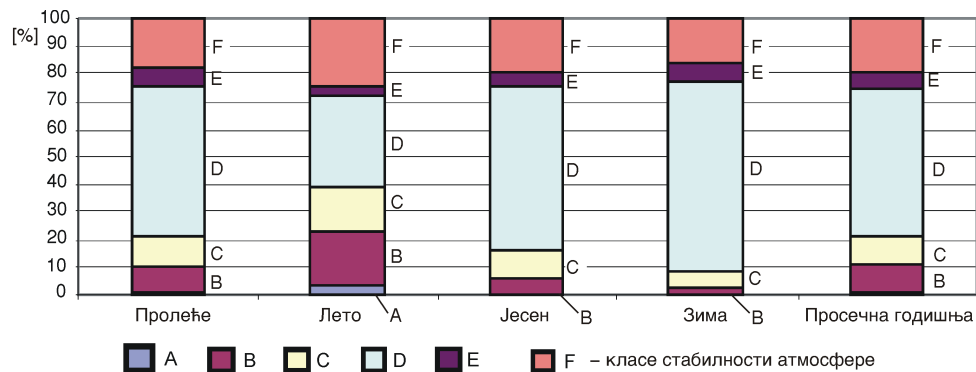


Слика 3. Брзине и правци дувања ветра у региону ТЕ „Костолац Б”

засновани су на вишегодишњим мерењима спроведеним од стране РХМЗ Србије на метеоролошким станицама Велико Градиште (25 km источно од термоелектране), Костолац (2 km југозападно од термоелектране) и Рам (13 km северо-источно од термоелектране) [3, 11].



Слика 4. Просечне годишње температуре у Костолачком региону

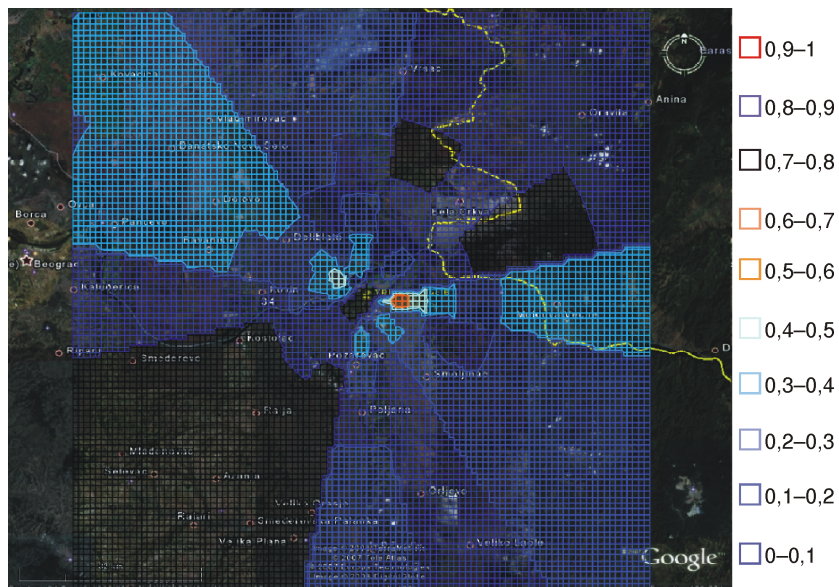


Слика 5. Просечне заступљености класа стабилности атмосфере у Костолачком региону

Резултати дисперзионих симулација

Приликом одговарајућих симулација дисперзије имисија SO_2 и NO_x , усвојене су и додатне претпоставке:

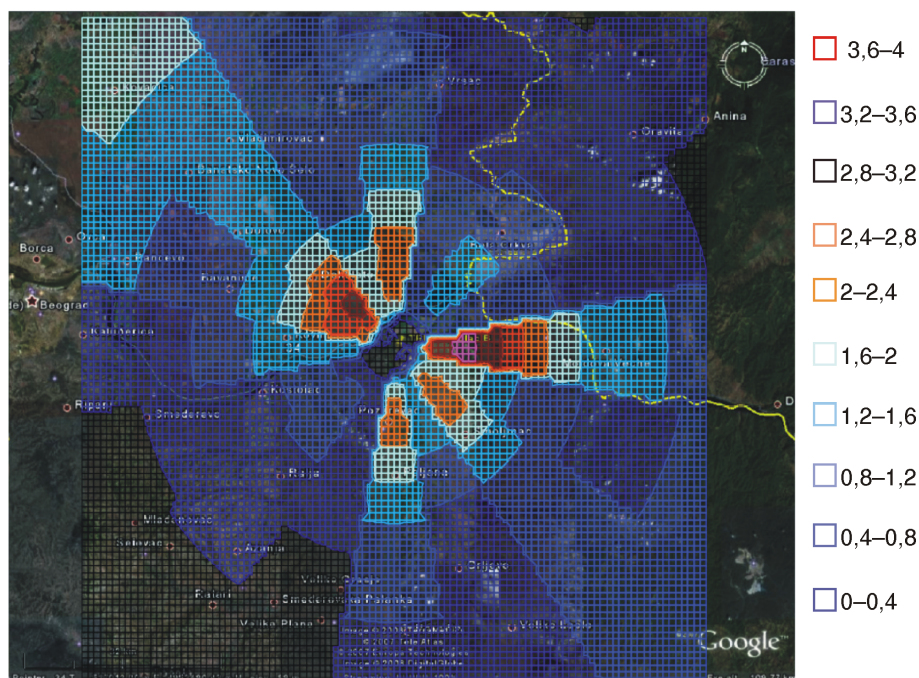
- није разматрано обарање облака димног гаса; типични услови који доводе до обарања облака димног гаса су велика брзина ветра (преко 9 m/s) и ниска брзина



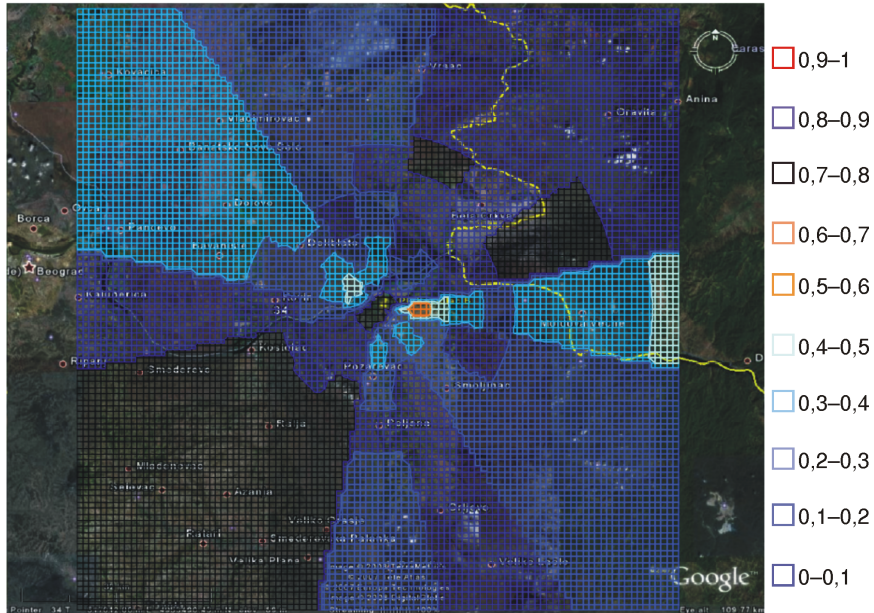
Слика 6. Расподела средњогодишњих концентрација SO_2 при раду електране са инсталисаним постројењем за ОДГ; приземне концентрације SO_2 у g/m^3

- димног гаса (нпр. заједнички димњак, али само један блок у погону). Наведени неповољни метеоролошки услови нису разматрани. У оквиру новог димњака предвиђена је засебна димна цев за сваки котао/абсорбер ОДГ постројења. Постојећи димњак има заједничку димну цев за оба блока;
- усвојен је раван терен разматраног подручја; већи део разматране области одликује се равним тереном. На удаљености од 15 km од извора емисија не постоји значајно узвишење изнад нивоа земље, док се након 20-ог километра у источном правцу налазе брдовити предели, али без високих врхова. Потребно је нагласити да узвишење терена може да доведе до повишених концентрација штетних материја, нарочито у условима стабилне атмосфере (класе стабилности „D”, „E” и „F”). Максималне вредности концентрација за тачке које су 200–400 m изнад нивоа на ком се налази локација ТЕ „Костолац Б” (за наведене класе стабилности атмосфере) могу и више пута премашити вредности добијене на основу претпоставке заступљености равног терена;
 - усвојено је да се извор загађења налази у руралном подручју, с обзиром да се ТЕ „Костолац Б” налази у руралној области.

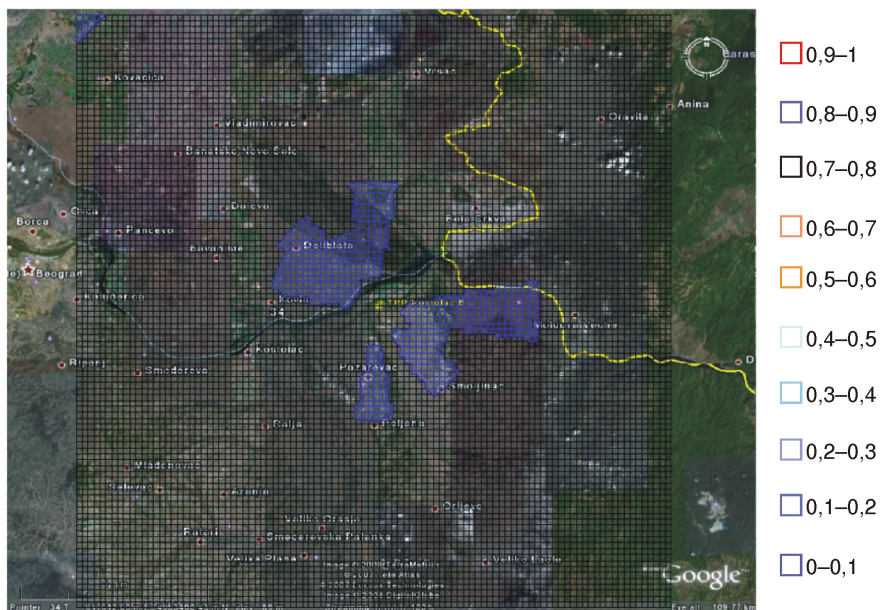
На основу свих приказаних параметара, на сл. 6–9 је приказан модел расподеле годишњих концентрација SO_2 и NO_x са и без постројења за ОДГ.



Слика 7. Расподела средњогодишњих концентрација SO_2 при раду електране без инсталисаног постројења за ОДГ; приземне концентрације SO_2 у g/m^3



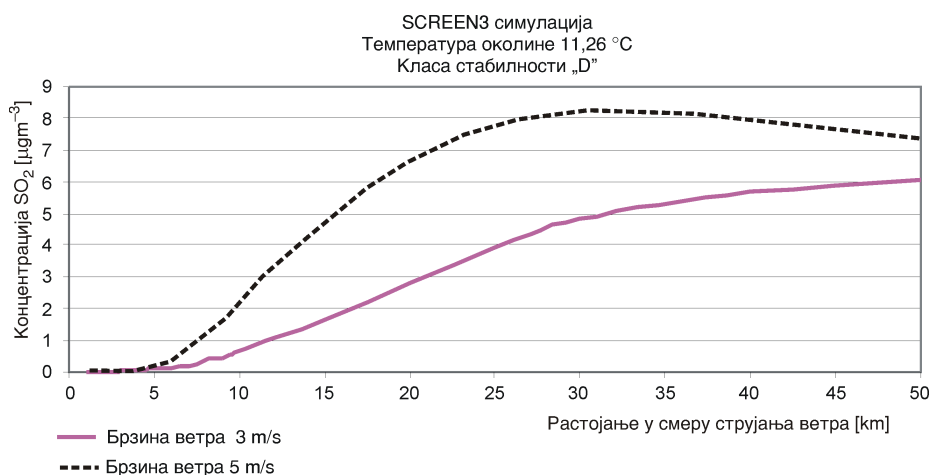
Слика 8. Расподела средњогодишњих концентрација NO_x при раду електране са инсталисаним постројењем за ОДГ; приземне концентрације NO_x у g/m^3



Слика 9. Расподела средњогодишњих концентрација NO_x при раду електране без инсталисаног постројења за ОДГ; приземне концентрације NO_x у g/m^3

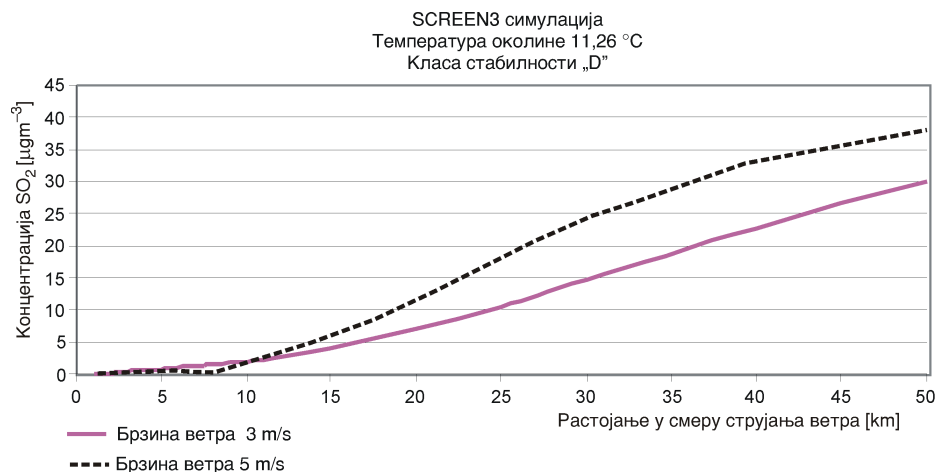
Расподела средњочасовних концентрација по Гаусовом моделу дисперзије облака димног гаса

Модел Америчке Агенције за заштиту животне средине SCREEN3 коришћен је за поређење утицаја који на квалитет ваздуха (средње једночасовне концентрације) има један извор, али у различитим условима рада, нпр. рад термоелектране са постројењем за ОДГ и новим влажним димњаком (висина 200 m) и рад термоелектране без изграђеног постројења за ОДГ и са испуштањем димних гасова кроз постојећи димњак (висина 250 m). Поређење је рађено за шест класа стабилности атмосфере и две спољне температуре – средњу годишњу температуру од 11,26 °C и најгори сценарио са температуром околине од 30 °C. На сл. 10–17 дати су примери резултата извршене упоредне анализе за две најчешће класе стабилности, док се целокупни прорачун налази у одговарајућој пројектно-техничкој документацији.



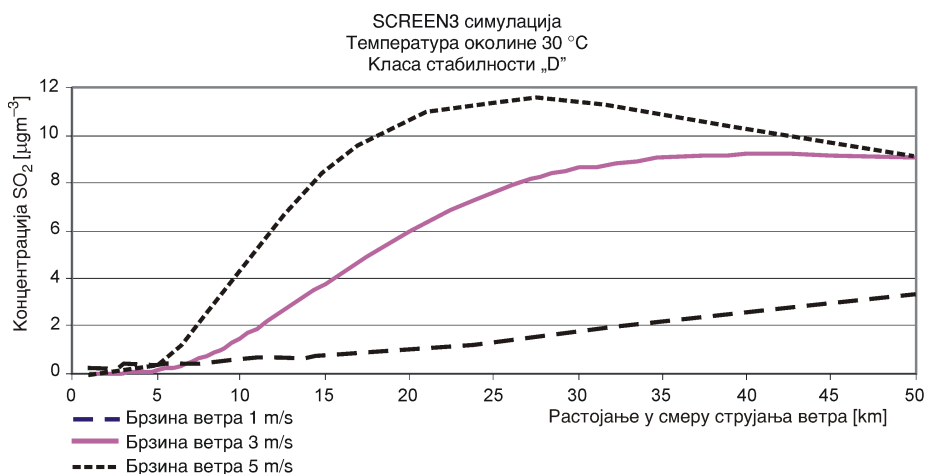
Слика 10. Расподела концентрација SO₂ за класу стабилности „D”, температуру 11,26 °C и рад ТЕ са постројењем за ОДГ

Приказане расподеле представљају уобичајене резултате моделоване дисперзије. На пример, повећање температуре околине доводи, као што је и очекивано, до повећања максималних концентрација штетних материја у поређењу са вредностима на нижој температури. Иако би веће брзине требало да доведу до нижих концентрација у складу са једн. (1), утицај других фактора је преовладавајући. Присуство постројења за ОДГ драматично снижава максималне вредности емисија SO₂. Конкретно, у свим разматраним симулацијама дисперзије SO₂, облак димног гаса који излази из 200 m високог димњака резултује нижим једночасовним концентрацијама и утицајем на квалитет ваздуха него у случају димног гаса који се испушта кроз

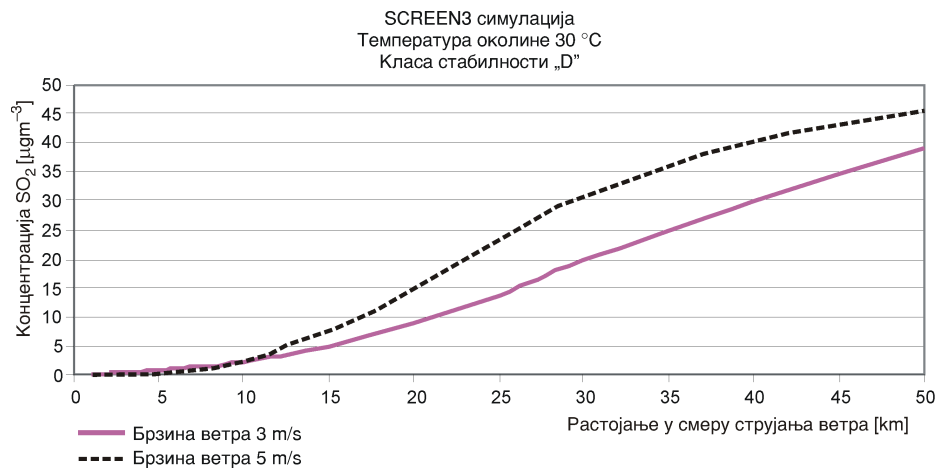


Слика 11. Расподела концентрација SO_2 за класу стабилности „D”, температуру 11,26 °C и рад ТЕ без постројења за ОДГ

250 m висок димњак. У симулацијама дисперзије NO_x , максималне концентрације NO_x битно су више за случај испуштања димног гаса кроз 200 m висок димњак. На свим сликама, концентрација загађујуће материје дата је у зависности од брзине ветра. За све класе стабилности, максималне концентрације NO_x јављају се на истим удаљеностима од извора емисија, као и максималне концентрације дисперзије SO_2 .

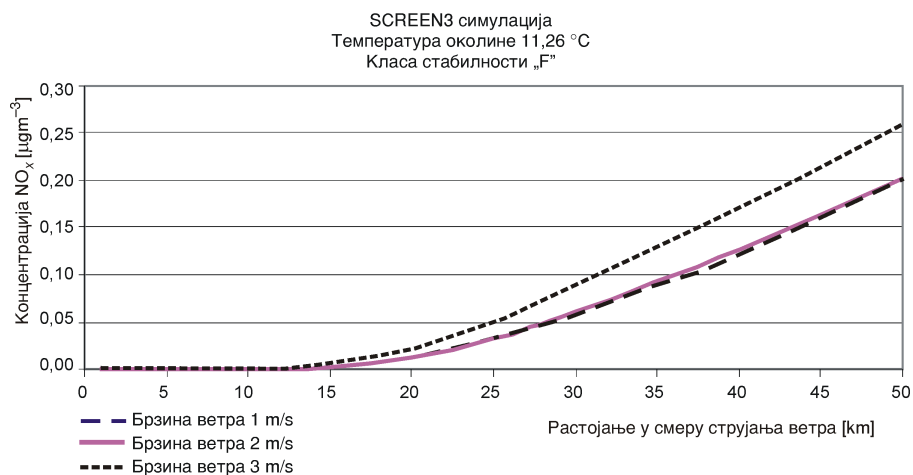


Слика 12. Расподела концентрација SO_2 за класу стабилности „D”, температуру 30 °C и рад ТЕ са постројењем за ОДГ

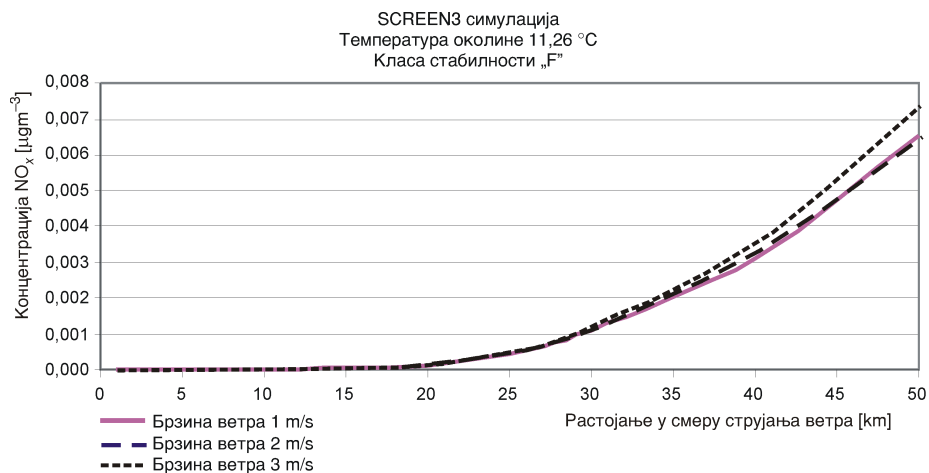


Слика 13. Расподела концентрација SO_2 за класу стабилности „D”, температуру 30 °С и рад ТЕ без постројења за ОДГ

Симулација распрострањања загађујућих материја при класи стабилности атмосфере „А”, за испуштање димног гаса кроз нови, 200 m висок, влажни димњак и при раду ТЕ са постројењем за ОДГ, указује да се максималне приземне концентрације јављају на удаљеностима од око 1,2–1,8 km од извора емисија (димњак), при одговарајућим брзинама ветра. Симулација у истој класи стабилности атмосфере, али



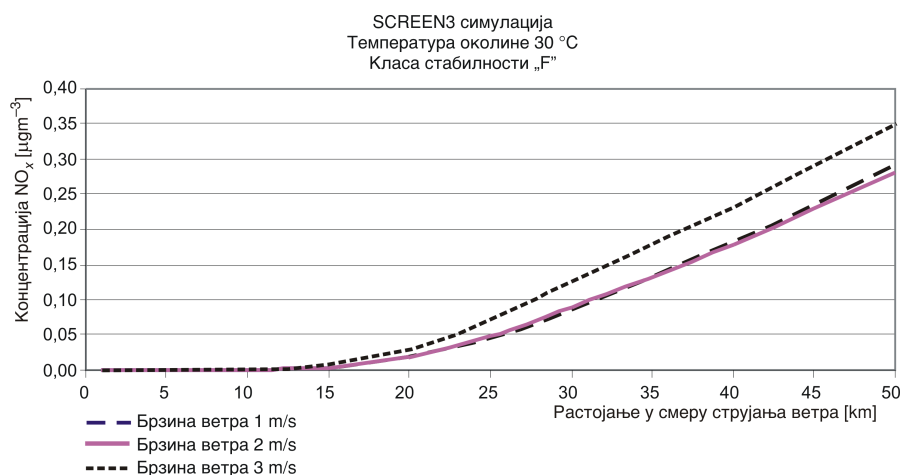
Слика 14. Расподела концентрација NO_x за класу стабилности „F” температуру 11,26 °С и рад ТЕ са постројењем за ОДГ



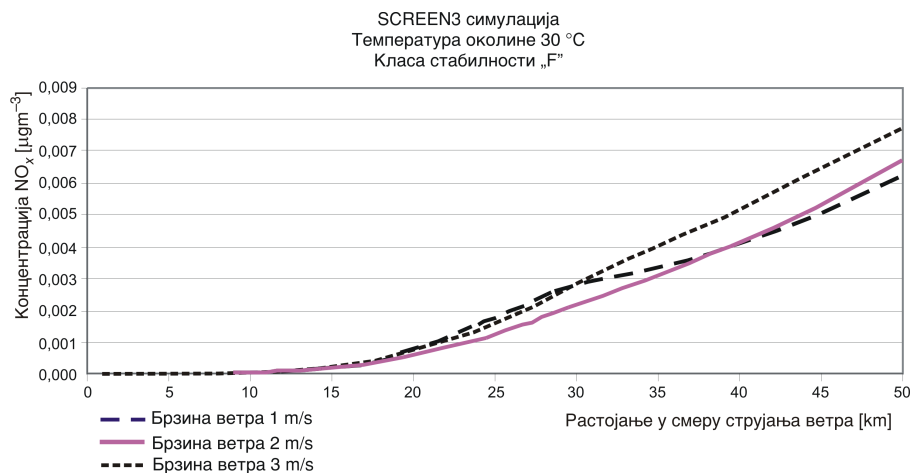
Слика 15. Расподела концентрација NO_x за класу стабилности „F”, температуру 11,26 °C и рад ТЕ без постројења за ОДГ

при испуштању димног гаса кроз постојећи 250 m висок димњак и без постројења за ОДГ, показује да се максималне приземне концентрације јављају на удаљеностима од око 1,6–2,3 km од извора загађења (димњака), при одговарајућим брзинама ветра.

Симулација распрострањања загађујућих материја при класи стабилности атмосфере „B”, за испуштање димног гаса кроз нови, 200 m висок, влажни димњак и



Слика 16. Расподела концентрација NO_x за класу стабилности „F”, температуру °C и рад ТЕ са постројењем за ОДГ



Слика 17. Расподела концентрација NO_x за класу стабилности „F”, температуру 30 °С и рад ТЕ без постројења за ОДГ

при раду ТЕ са постројењем за ОДГ, указује да се максималне приземне концентрације јављају на удаљеностима од око 3,9–9,4 km од извора загађења, при одговарајућим брзинама ветра. Симулација у истој класи стабилности атмосфере, али при испуштању димног гаса кроз постојећи 250 m висок димњак и без постројења за ОДГ, показује да се максималне приземне концентрације јављају на удаљеностима од око 6,4–16,3 km од извора загађења, при одговарајућим брзинама ветра.

Симулација распрострањања загађујућих материја при класи стабилности атмосфере „С”, за испуштање димног гаса кроз нови, 200 m висок, влажни димњак и при раду ТЕ са постројењем за ОДГ, указује да се максималне приземне концентрације јављају на удаљеностима од око 5,5–10,9 km од извора загађења, при одговарајућим брзинама ветра. Симулација дисперзије у истој класи стабилности атмосфере, али при испуштању димног гаса кроз постојећи 250 m висок димњак и без постројења за ОДГ, показује да се максималне приземне концентрације јављају на удаљеностима од око 10,2–16 km од извора загађења, при одговарајућим брзинама ветра.

Симулација распрострањања загађујућих материја при класи стабилности атмосфере „D”, за испуштање димног гаса кроз нови, 200 m висок, влажни димњак и при раду ТЕ са постројењем за ОДГ, указује да се максималне приземне концентрације јављају на удаљеностима од око 27–74 km од извора загађења, при одговарајућим брзинама ветра. Симулација дисперзије у истој класи стабилности атмосфере, али при испуштању димног гаса кроз постојећи 250 m висок димњак и без постројења за ОДГ, показује да се максималне приземне концентрације јављају на удаљеностима од око 69–74 km од извора загађења, при одговарајућим брзинама ветра.

Симулација распрострањања загађујућих материја при класи стабилности атмосфере „E”, за испуштање димног гаса кроз нови, 200 m висок, влажни димњак и

при раду ТЕ са постројењем за ОДГ, указује да се максималне приземне концентрације јављају на удаљеностима од око 50–69 km од извора загађења, при одговарајућим брзинама ветра. Симулација у истој класи стабилности атмосфере, али при испуштању димног гаса кроз постојећи 250 m висок димњак и без постројења за ОДГ, показује да се максималне приземне концентрације јављају на удаљеностима од око 74 km од извора загађења, при одговарајућим брзинама ветра.

Симулација распрострањања загађујућих материја при класи стабилности атмосфере „F”, за испуштање димног гаса кроз нови, 200 m висок, влажни димњак и при раду ТЕ са постројењем за ОДГ, указује да се максималне приземне концентрације јављају на удаљеностима од око 74 km од извора загађења, при одговарајућим брзинама ветра. Симулација у истој класи стабилности атмосфере, али при испуштању димног гаса кроз постојећи 250 m висок димњак и без постројења за ОДГ, показује да се максималне приземне концентрације јављају на удаљеностима од око 74 km од извора загађења, при одговарајућим брзинама ветра.

Закључци моделовања дисперзије димног гаса

Резултати добијени моделовањем распрострањања загађујућих материја из ТЕ „Костолац Б” показују да предложени нови, 200 m висок влажни димњак, у потпуности задовољава захтеве прописане законском регулативом, као и то да ОДГ постројење утиче на снижавање приземних концентрација SO_2 у подручју око извора загађења.

Све приказане симулације распрострањања загађујућих материја урађене су помоћу скрининг метода и уз коришћење средњих годишњих метеоролошких података карактеристичних за регион ТЕ „Костолац Б”.

Симулације расподеле часовних/дневних концентрација загађујућих материја могуће је урадити уколико се располаже детаљнијим метеоролошким подацима као што су часовни/дневни метеоролошки извештаји и подаци о специфичном узвишењу терена. Ови подаци омогућили би детаљније поређење са одговарајућим максималним вредностима прописаним законом. Из тог разлога, омогућавање спровођења ових врста симулација био би наредни корак у анализи.

На крају, потребно је напоменути да су овом анализом разматране само емисије из блокова Б1 и Б2 ТЕ „Костолац Б”, док емисије из блокова ТЕ „Костолац А” и осталих индустријских извора и домаћинстава у разматраној области, који додатно доприносе повећању нивоа загађења животне средине, нису узете у обзир.

Литература

- [1] ***, Претходна студију оправданости са генералним пројектом одсумпоравања димних гасова ТЕ „Костолац Б”, Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, Worley Parsons, Resources and Energy, USA, Енергопројект-Ентел, Београд, 2007.
- [2] ***, Студија оправданости са идејним пројектом одсумпоравања димних гасова ТЕ „Костолац Б”, Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, Worley Parsons, Resources and Energy, USA, Енергопројект-Ентел, Београд, 2008.
- [3] ***, Студија о процени утицаја на животну средину увођења постројења за одсумпоравање димних гасова ТЕ „Костолац Б”, Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, WorleyParsons, Resources and Energy, USA, Енергопројект-Ентел, Београд, 2008.
- [4] ***, Правци оптималног смањења емисија сумпорних оксида из термоелектрана ЕПС-а, Студија, ЈП ЕПС, 2006.
- [5] Beychok, M., Fundamentals of Stack Gas Dispersion, 1984
- [6] Briggs, G. A., Plume Rise and Buoyancy Effects, Atmospheric Science and Power Production, 1984
- [7] Robins, A., Apsley, D., Plume Rise Model Specification, 2005
- [8] ***, <http://www.epa.gov/>
- [9] ***, User’s Guide for Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Model, Vol. 1, User Instructions, 1995
- [10] ***, User’s Guide for Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Model, Vol. 2, Dispersion of Model Algorithms, 1999
- [11] ***, http://www.sepa.ar.gov.yu/download/Environment_in_Serbia_Full.pdf, Environment in Serbia and Indicator-Based Review

Abstract

Pollution Distribution from New Wet Stack on TPP “Kostolac B”

by

*Aleksandar JOVOVIĆ¹, Miroslav STANOJEVIĆ¹, Dejan RADIĆ¹,
Marko OBRADOVIĆ¹, Dušan TODORVIĆ¹, Goran JANKES¹,
Dragoslava STOJILJKOVIĆ, Vladimir JOVANOVIĆ¹, Nebojša MANIĆ¹,
Lynn RUBOW², Christopher JACKSON², Georgi IGNJATOV²,
Djordjina MILOVANOVIĆ³, Sanja PETROVIĆ³, Pavle PAŠAJLIĆ⁴*

¹ Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

² WorleyParsons, Resources and Energy, Baltimore, Md., USA

³ Energoprojekt – ENTEL, Belgrade, Serbia

⁴ ROSS, Belgrade, Serbia

Environmental Impact Assessment of FGD plant operation at TPP “Kostolac B” is an integral part of technical documentation on Development of Investments, pre-

pared for the Basic Design of the future FGD plant. The Study is developed with a goal to show the current state of the environment in the area of interest, to consider and analyse positive and negative environmental effects resulting from the future construction of FGD plant. The Study also proposes technical and organizational measures aimed at prevention and mitigation of environmental impact of the future plant operation, especially with respect to collection and disposal of solid and liquid waste, soil and groundwater protection, wastewater management *etc.*

In order to determine effects of the future FGD plant on the air quality over the closer and broader area of the TPP “Kostolac B”, appropriate air pollution model has been developed. Analysis has been based on investigation of the effects of different pollutant emissions scenarios from both units of TPP “Kostolac B” on the air quality in central Serbia.

Key words: thermal power plant, combustion, coal, modeling, pollution distribution

Одговорни аутор / Corresponding author (A. Jovović)
E-mail: ajovovic@mas.bg.ac.yu

CIP – Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

621.36

ТЕРМОТЕХНИКА : часопис термичара Србије =
Journal of Thermal Engineers of Serbia /
главни и одговорни уредник Љубомир Јовановић. –
Год. 1, бр. 1 (1975)- . -Београд: Друштво термичара
Србије : Институт за нуклеарне науке „Винча”,
Лабораторија за термотехнику и енергетику, 1975-. - 24 cm

Тромесечно
ISSN 0350-218X = Термотехника
COBISS.SR-ID 829700