



Српска академија наука и уметности

# ЕНЕРГЕТИКА И ЖИВОТНА СРЕДИНА



# ЕНЕРГЕТИКА И ЖИВОТНА СРЕДИНА

SERBIAN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS  
SCIENTIFIC MEETINGS  
Book CXLIII  
DEPARTMENT OF CHEMICAL AND BIOLOGICAL SCIENCES  
Book 4



ENERGY AND ENVIRONMENT

*Editor*  
Academician  
Marko Andjelkovic

Belgrade  
2013

СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ  
НАУЧНИ СКУПОВИ  
Књига СХLIII  
ОДЕЉЕЊЕ ХЕМИЈСКИХ И БИОЛОШКИХ НАУКА  
Књига 4



ЕНЕРГЕТИКА И ЖИВОТНА СРЕДИНА

*Уредник*  
академик  
Марко Анђелковић

Београд  
2013

На основу усвојених рецензија, примљено за штампу на I скупу Одељења хемијских и биолошких наука од 8. фебруара 2013. године

*Издаје:*

СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ

*Припрема за штампу:*

Студио Икона

*Превод на енглески језик:*

мр Сања Петровић

*Идејно решење корица:*

Горан Анђелић

*Тираж:*

300 примерака

*Штампа:*

Развојно-истраживачки центар графичког инжењерства  
Технолошко-металуршког факултета у Београду

ISBN 978-86-7025-609-5

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

620.9(082)(0.034.2)  
502/504(082)(0.034.2)

ЕНЕРГЕТИКА и животна средина [Електронски извор] / уредник Марко Анђелковић. - Београд : САНУ, 2013 (Београд : Развојно-истраживачки центар графичког инжењерства ТМФ). - 1 електронски оптички диск (CD-ROM) ; 12 cm. -

(Научни скупови / Српска академија наука и уметности ; #књ. #143. Одељење хемијских и биолошких наука ; #књ. #4)

Системски захтеви: Нису наведени. - Насл. са насловне стране документа. - Тираж 300. - Библиографија уз сваки рад. - Summaries.

ISBN 978-86-7025-609-5

1. Анђелковић, Марко [уредник]

а) Енергетика - Зборници б) Животна средина - Заштита - Зборници  
COBISS.SR-ID 199273484

## НАУЧНИ ОДБОР

академик Владан Ђорђевић, *председник*  
проф. др Драган Веселиновић, *иошпредседник*  
академик Пантелија Николић  
академик Владимир Стевановић  
проф. др Петар Пфендт  
проф. др Јасмина Вујић  
проф. др Иванка Поповић  
проф. др Павле Павловић  
проф. др Александар Поповић  
проф. др Томислав Павловић  
проф. др Драган Марковић

## ОРГАНИЗАЦИОНИ ОДБОР

академик Марко Анђелковић, *председник*  
др Зорка Вукмировић, *иошпредседник*  
проф. др Александар Јововић  
др Јагош Раичевић  
мр Драгољуб Антић  
Вера Батина, секретар

## СПИСАК РЕЦЕНЗЕНАТА

академик Владан Ђорђевић  
академик Владимир Стевановић  
др Зорка Вукмировић  
проф. др Јасмина Вујић  
проф. др Иванка Поповић (два рада)  
проф. др Петар Пфендт  
проф. др Павле Павловић (два рада)  
проф. др Томислав Павловић  
проф. др Драган Веселиновић  
проф. др Дејан Филиповић  
проф. др Милорад Бојић  
проф. др Драган Марковић (два рада)  
проф. др Мирослав Бенишек  
мр Драгољуб Антић  
проф. др Александар Јововић



# САГОРЕВАЊЕ ФОСИЛНИХ ГОРИВА: ЕМИСИЈЕ И ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ МЕРЕ ЗА СМАЊИВАЊЕ ЕМИСИЈЕ

А. ЈОВОВИЋ, Д. ТОДОРОВИЋ, Д. РАДИЋ  
М. СТАНОЈЕВИЋ, М. ОБРАДОВИЋ, М., Н. КАРЛИЧИЋ

Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд,  
ajovovic@mas.bg.ac.rs

## САЖЕТАК

Сагоревање чврстих горива представља извор емисије различитих компонената у животну средину. И поред знатних унапређења ефикасности сагоревања, увођења и развоја опреме за пречишћавање димних гасова, савремена постројења за сагоревање су и даље један од највећих извора емисије штетних и опасних материја, како у атмосферу, тако и у литосферу и хидросферу. Када се говори о техници сагоревања, онда је сагоревање угља у спрашеном стању доминантан начин сагоревања угља у великим постројењима за сагоревање која се користе за производњу електричне енергије. Многи технички и политички документи прописују начин рада и очекиване и дозвољене вредности различитих параметара рада постројења, укључујући ту и емисију загађујућих компонената. Термоелектране су у Републици Србији апсолутно доминантни произвођачи електричне енергије, при чему се уочава тренд повећања удела термоелектрана у укупној производњи електричне енергије. Обавезе проистекле из захтева домаћих прописа, али што је још важније, и потписаних и ратификованих међународних обавеза, налажу да се на постојећим термоелектранама у неколико наредних година спроведу значајни захвати у области заштите животне средине, који као крајњи циљ имају добијање интегрисаних дозвола. У раду су приказане основе сагоревања горива и настајања загађујућих компонената са посебним освртом на постројења за сагоревање која се користе за производњу електричне енергије у Републици Србији.



### Кључне речи



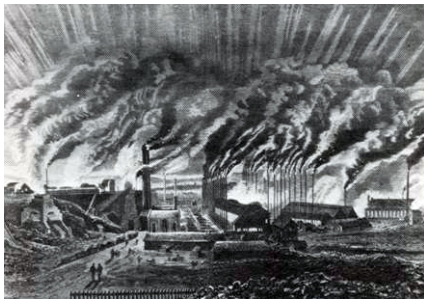
енергетика, термоелектране, угљ, емисија, пречишћавање гасова, моделирање, квалитет ваздуха

## УВОД

Прва сазнања о загађењу ваздуха продуктима сагоревања фосилних горива потичу из старог Рима, где у једном од текстова филозофа Сенеке 61. н.е. стоји: „Чим сам изашао из тешког ваздуха Рима и из смрада његових задимљених димњака који су, помешани, износили кухна испарења и чађ садржане у њима, осетио сам олакшање.”

У раном средњем веку, у записима сачуваним у Енглеској, остало је забележено да је Елеонора од Аквитаније, жена краља Хенрија II сматрала „неиздржљивим” загађење ваздуха од сагоревањем дрвета у замку Татбури у Нотингему, што ју је натерало да се одсели 1157. Већ 1306. енглески краљ Едвард I је издао краљевски указ којим је забрањена употреба „морског угља” у пећима у Лондону. Енглеска краљица Елизабета I је забранила сагоревање угља у Лондону за време заседања Парламента. Међутим, очигледно је да је угаљ и даље коришћен упркос овим указима јер је до 1661. загађење Лондона постало толико велико да је Џон Евелин (енгл. John Evelyn) поднео брошуру краљу Чарлсу II и Парламенту о томе [1].

Међутим, тек индустријска револуција доводи до драстичног повећања производње и потрошње енергије, углавном сагоревањем угља, а тиме и до тада непојмљивог загађења ваздуха (Слика 1).



*Слика 1. Сарска област крајем 19. века (гравура)*

Носилац загађења била је, као и носилац индустријског развоја, Велика Британија, из ког разлога постаје и носилац области борбе против загађења [2]. И поред тога, загађење ваздуха као по-

следица сагоревања чврстих горива не само да се не смањује, већ се значајно повећава, што за последицу има велики број оболелих поготово у градским срединама. Тек изузетно велике еколошке катастрофе (нпр. Лондон 1952.) са изузетно великим бројем оболелих и изгубљених живота условиле су убрзано доношење одговарајућих прописа са циљем смањења загађења, при чему је значајан напредак направљен тек деведесетих година прошлог века. Осим тога, последње деценије прошлог века обележиле су и убрзани развој међународне сарадње у погледу смањења загађења животне средине, првенствено кроз неколико конвенција и протокола УН (Монтреалски протокол, јул 1987. и Кјото протокол, децембар 1997.). Зато данас граничне вредности емисије и квалитета ваздуха постављају строге захтеве при пројектовању, изградњи и експлоатацији уређаја и постројења за сагоревање. Емисија загађујућих компонената зависи од технологије процеса, експлоатационих



карактеристика постројења и техничког стања уређаја у оквиру постројења. Контрола емисије обухвата процесе мерења и смањења концентрације чврстих, течних и гасовитих загађујућих компонената.

У раду су приказане основе сагоревања горива и настајања загађујућих компонената са посебним освртом на постројења за сагоревање која се користе за производњу електричне енергије у Републици Србији, тј. на термоелектране које као гориво користе угаљ, док су постројења која користе течна и гасовита горива, и емисије из њих само делимично помињана.

## САГОРЕВАЊЕ, ЕМИСИЈЕ И ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ МЕРЕ СМАЊЕЊА ЕМИСИЈЕ

### Процес сагоревања као узрок емисија

Сагоревање чврстих горива (у оквиру овог рада под појмом чврстог горива се подразумева само угаљ) је извор емисије различитих компонената у животну средину. У основи у сам процес сагоревања улази мешавина горивих елемената (угљеник, водоник и сумпор) и баласта (минералне примесе и вода), при чему у току процеса сагоревања од горива и оксидатора (ваздух) настају продукти сагоревања, чврсти, течни и гасовити. Појам загађујуће, штетне, опасне компоненте или материје је релативан, јер се са проширењем знања о утицају појединих компонената овај појам стално мења. На пример, некада је угљен-диоксид био третиран само као одличан индикатор квалитета процеса сагоревања (као крајњи производ сагоревања угљеника) и као такав није сматран штетним. Међутим, његов утицај као гаса са ефектом стаклене баште довео је до тога да се данас угљен-диоксид сматра загађујућом материјом чије емисије је потребно ограничити прописима и техничким стандардима. Упрошћен приказ настајања емисије загађујућих материја (практично само гасовитих, с изузетком најфинијих честица) из процеса сагоревања је дат на *Слици 2.* [3].



*Слика 2. Емисија загађујућих материја из процеса сагоревања*

И поред знатних унапређења ефикасности сагоревања, увођења и развоја опреме за пречишћавање димних гасова, савремена постројења за сагоревање су и даље један од највећих извора емисије штетних и опасних материја, како у атмосфери, тако и у литосфери и хидросфери.

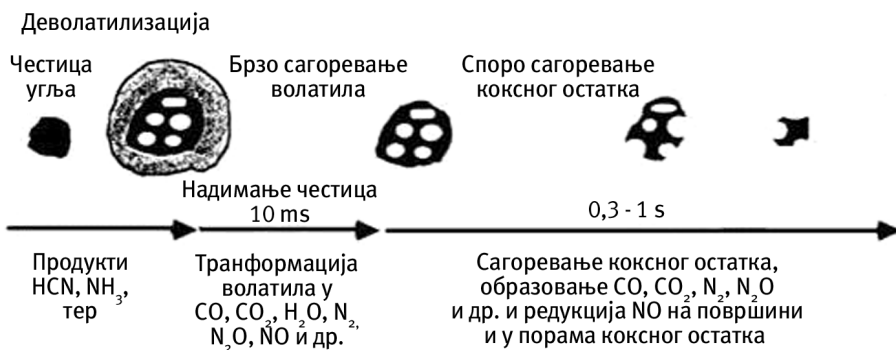
Када се говори о техници сагоревања, онда је сагоревање угља у спрешеном стању доминантан начин сагоревања угља у великим постројењима за сагоревање која се користе за производњу електричне енергије (у даљем тексту најчешће: термоелектране).

Самлевени и осушени угаљ се из млинова угља каналима за аеро-смешу преко горионика и заједно са секундарним ваздухом убацује у ложиште, при чему су горионици најчешће постављени у тзв. тангенцијални распоред. За снабдевање свежим ваздухом користе се вентилатори свежег ваздуха. Ваздух се преко парних загрејача и ротационих загрејача ваздуха греје до потребне температуре и преко система канала доводи до горионика угљеног праха и горионика мазута. Горионици мазута се користе при потпали и за подршку - стабилизацију ватре. Мазут се из резервоара преко система пумпи и загрејача допрема до горионика мазута у којима се врши механичка атомизација или атомизација мазута паром. За потпалу мазута користи се пропан бутан гас.

Сагоревање угља је углавном оксидација органског материјала у угљу и начелно се одвија у три процеса који се настављају или преклапају један с другим:

1. почетно загревање честице угља и ослобађање влаге,
2. ослобађање, паљење и сагоревање волатила (горивих испарљивих материја), и
3. паљење и сагоревање коксног остатка.

Шематски приказ процеса сагоревања уситљених честица угља је приказан на Слици 3, при чему број компонената које настају из процеса сагоревања зависи од више фактора, и мења се у зависности од врсте горива, услова сагоревања и сл.

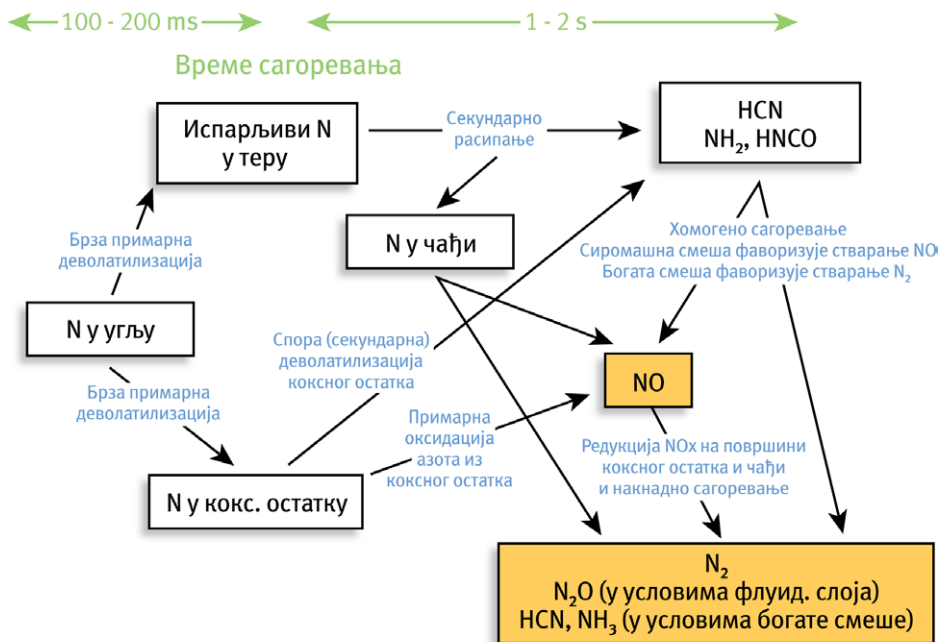


Слика 3. Сагоревање честице угља [4, 5]

Честице (прашкасте материје) настале и емитоване током сагоревања чврстог или течног горива потичу готово у потпуности од минералног дела горива. Осим тога, лоши услови током сагоревања течних горива доводе до стварања чађи, док сагоревање природног гаса није значајан извор ових емисија (уобичајено знатно испод  $5 \text{ mg/Nm}^3$  без примене додатних техничких мера). Њихова емисија углавном зависи од састава горива, начина сагоревања и сл., али са становишта заштите животне средине и здравља људи посебан значај има емисија чврстих честица димензија испод  $2,5 \mu\text{m}$  и  $10 \mu\text{m}$ , као и емисија чврстих честица са садржајем тешких метала. У највећем броју случајева управо су честице најмањих димензија услед повећаних адсорпционих способности и носиоци тешких метала и појединих токсичних органских компонената [6, 7].

Емисија сумпорних оксида из термоелектрана (великих постројења за сагоревање) је управно сразмерна садржају сумпора у угљу, тј. једине битне карактеристике угља које утичу на емисију  $\text{SO}_2$  су укупан садржај сумпора и пепела. Проблем при анализи и прорачуну очекиваних емисија представљају различити облици у којима се сумпор налази у гориву зато што они реагују на различите начине, усложњавајући једноставан прорачун емисије сумпор диоксида на основу стехиометријских једначина сагоревања сумпора. Упркос значајном раду на испитивању особина горива која утичу на емисију сумпора, када је у питању сагоревање угља у спрашеном стању (доминантно код термоелектрана), обим емисије сумпорних оксида је јасно дефинисан, тј. скоро сав сумпор у угљу се претвара у сумпор-диоксид.

Хемијски процеси настајања азотних оксида, тј. процеси у којима учествује азот у пламену при сагоревању угља у спрашеном стању, су веома сложени. На ове процесе утичу три основне групе чинилаца: радни услови, конструкција ложишта и котла и карактеристике горива (угља). До сада су обављена многа истраживања, већином у лабораторијским, али и у реалним условима како би се боље разумео утицај услова сагоревања и карактеристика угља на образовање азотних оксида и механизма њиховог смањења. Међутим, због комплексних реакција (Слика 4) [4, 5, 8, 9] које се одигравају у овим процесима до сада није развијен једноставан и универзалан модел за предвиђање емисије азотних оксида из котлова реалне снаге на основу елементарног састава угља или података других стандардних анализа угља. Поред тога, због широког утицаја локалних услова сагоревања, тешко је екстраполирати резултате лабораторијских експеримената на постројења реалне снаге.



Слика 4. Хемијски механизми стварања азотних оксида при сагоревању уља

Осим ових, процеси сагоревања фосилних горива у термоенергетским постројењима, као и у многим индустријским процесима, представљају извор емисије и других компонената, као што су угљен-моноксид, једињења халогена, велики број органских једињења и сл.

Категорија ненамерно емитованих POPs хемикалија у складу са одредбама Стокхломске конвенције, Анекс С, обухвата [10]:

- полихлороване дибензо-*p*-диоксине (PCDD) и дибензофуране (PCDF), уобичајено познате као диоксини и фурани;
- хексахлорбензен (HCB);
- полихлороване бифениле (PCB).

У складу са одредбама Стокхломске конвенције, у групу ненамерно емитованих POPs хемикалија нису укључени полициклични ароматични угљоводоници (ПАН), али се они, као токсични органски микрополутанти, такође разматрају јер су обухваћени одредбама Конвенције о прекограничном загађењу ваздуха на велике удаљености, односно ПОПс протоколом, о чему ће више бити у даљем тексту.

Емисије ненамерно произведених POPs хемикалија и ПАН у ваздух су доминантне из постројења за сагоревање у резиденцијалном сектору (домаћинства), тј. из постројења за сагоревање мале снаге, као и од неконтролисаног сагоревања отпада на отвореном простору. Међутим, веома



значајан извор представљају и термоенергетска постројења, посебно она која као гориво користе биомасу.

### Очекиване емисије доминантних загађујућих компонената

У циљу прорачуна емисије појединих компонената из различитих процеса сагоревања за потребе израде различитих инвентара гасова, националних катастара, обрачуна плаћања у складу са политиком „загађивач плаћа” и сл., уобичајено је да се користе емисиони фактори, чије вредности препоручују многе међународне организације (УН, Светска банка и сл.), као и националне агенције за заштиту животне средине (УС ЕПА, Дефра и сл.). Ове вредности се делимично разликују од аутора до аутора, као и од временског периода када су објављене. Тако, на пример, вредност емисионог фактора за угљен-диоксид приликом сагоревања лигнита према Ревидованом ИПЦЦ упутству из 1996. године за израду инвентара гасова са ефектом стаклене баште [11, 12], износи 27,6 kgC/GJ, односно прерачунато на угљен-диоксид 101,3 kgCO<sub>2</sub>/GJ, док према [13, 14] износи 108 kgCO<sub>2</sub>/GJ. Вредности за друга горива су знатно ниже, што указује на неповољност лигнитних угљева када је у питању емисија угљен-диоксида. Оно што је још горе, лигнит из површинске експлоатације у Републици Србији, услед својих карактеристика, има значајно нижу доњу топлотну моћ, па је и срачуната национална вредност емисионог фактора већа у односу на међународно препоручену вредност (28 до приближно 31 kg C/GJ). Наравно, ако се за критеријум узму неке друге компоненте онда лигнит има боље карактеристике (нпр. емисиони фактор за оксиде сумпора у односу на камене угљеве), али у исто време и лошије (исти тај фактор али за мрке угљеве). Тако посматрано, редослед горива с позиције емисије оксида сумпора је природни гас, мрки угаљ, лигнит, мазут па тек на крају камени угаљ у зависности од удела сумпора у ова два последње набројана горива. Поређење емисионих фактора публикованих од стране [15] и [16] приказано је у Табlici 1 за лигнитне угљеве у спрашеном стању. За друге облике сагоревања вредности фактора за азотне оксиде могу бити и два пута већи.

Компонента	ЕМЕП-ЕЕА, g/GJ	УСА ЕПА, kg/t
NO <sub>x</sub>	286	3,55
SO <sub>x</sub>	820	15x(масени удео сумпора у гориву)

**Таблица 1.** Емисиони фактори за сумпорне и азотне оксиде према европским и САД изворима за лигнитне угљеве у спрашеном стању

Емисиони фактори за угљен-моноксид су реда величине 0,5 kg/t, а за угљеводонике мање од 0,5 kg/t, и не зависе од начина сагоревања лигнита (осим у случају ручног ложења), али зависе од врсте угља. Вредности предложене од Аустралијске владе, одељења за одрживост, животну средину, воде, становништво и заједнице су нешто ниже [17].

## Техничко-технолошке мере смањења емисије

По завршетку процеса сагоревања, вентилатор димних гасова извлачи продукте сагоревања (димне гасове) из ложишта и одржава притисак у ложишту. Димни гасови затим пролазе преко накнадних површина за размену топлоте: прегрејача и догрејача водене паре, загрејача воде, где одају део топлоте да би коначно у загрејачу ваздуха предали последњи део топлоте загревајући ваздух за сагоревање. Понекад, испред загрејача ваздуха се уграђује постројење/уређај за денитрификацију (одстрањивање азотних оксида или смањивање њихове концентрације на прописану вредност) димних гасова.

После загрејача ваздуха из димних гасова се издвајају чврсте честице с обзиром да чак 85-95% минералних материја из угља напусти ложиште као летећи пепео. Под најбољим доступним техникама (*енгл. Best available techniques-BAT*) за отпашивање димних гасова у новим и постојећим постројењима за сагоревање сматра се коришћење електрофилтара или врећастих филтара којим се уобичајено постиже ниво емисије испод  $5 \text{ mg/Nm}^3$  [7, 18, 36]. Циклони и механички одвајачи сами за себе нису БАТ, али се могу користити у фази предходног пречишћавања димних гасова. Очекиване емисије честица су ниже за постројења за сагоревање снаге изнад 100 MWh, а посебно изнад 300 MWh, с обзиром да влажни процеси одсумпоравања димних гасова такође доприносе смањењу концентрације честица.

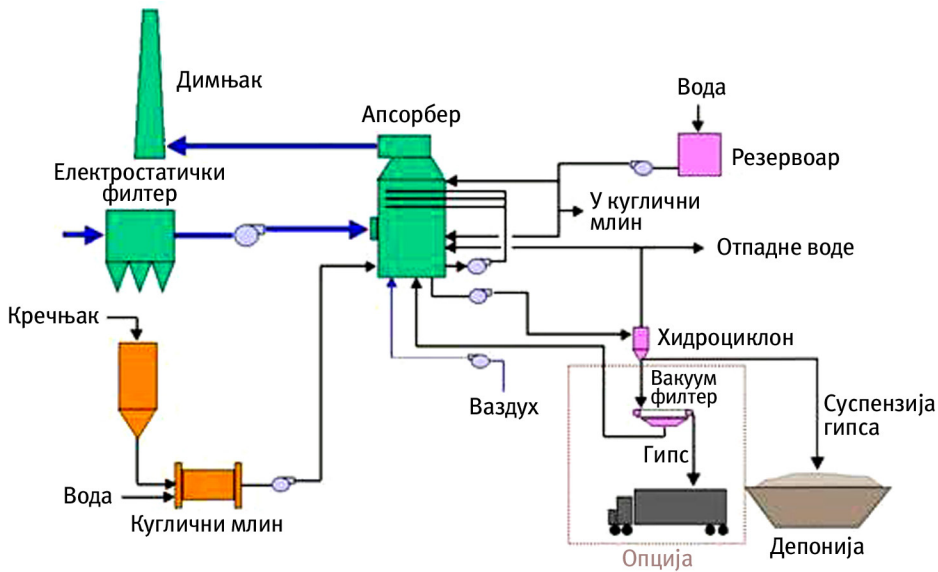
Како је највећи број тешких метала у облику одговарајућих једињења (нпр. оксиди, хлориди) везана на честицама, БАТ за смањење емисија тешких метала у принципу је примена високоефикасних уређаја за отпашивање, као што су електро- или врећасте филтри. Међутим, жива и селен су деломично присутни у парној фази, при чему жива има висок притисак паре при уобичајеној радној температури уређаја за смањење емисије и њено издвајање у уређајима за издвајање честица може значајно варирати. За отпашиваче који се користе у комбинацији са влажним и појединим сувим процесима одсумпоравања, може се постићи средњи степен издвајања од 75 % (50 % код филтара и 50 % код одсумпоравања), до чак 90 % уколико је постављен и уређај за селективну каталитичку редукцију. Међутим, треба повести рачуна и о томе да ће испарљиви метали, као нпр. жива, бити емитовани у зависности од њиховог удела у гориву, па ће свака повећана потрошња горива имати за последицу повећану емисију.

Код савремених котловских постројења димни гасови после електро-статичког филтера пролазе кроз постројење за одсумпоравање (ОДГ – одсумпоравање димних гасова) у којем се из њих одстрањују сумпорни оксиди или се њихов садржај смањује на прописану вредност. За постројења за сагоревање на чврста или течна горива, БАТ може бити и коришћење горива с ниским садржајем сумпора, али и класичан поступак ОДГ. Међутим,





коришћење горива с ниским садржајем сумпора за постројења с капацитетом изнад 100 MWh може се у већини случајева сматрати тек додатном мером за смањење емисија  $\text{SO}_2$  у комбинацији с осталим мерама. Степен издвајања оксида сумпора влажним кречњачким поступком (Слика 5) износи 92–98 %, а коришћењем уређаја за суво одсумпоровање са распршивачем 85–92 %. Ова два поступка представљају више од 90 % свих система на тржишту. Технике ОДГ сувим поступком као што је нпр. убризгавање сорбента користе се углавном за постројења са термичком снагом испод 300 MWh. Предност уређаја за влажно прање гасова је што уклања и  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ , честице и тешке метале. Због високих трошкова, уређај за влажно прање не сматра се БАТ за постројења капацитета испод 100 MWh.



Слика 5. Шема постројења за влажни кречњачки поступак одсумпоровања

БАТ за смањење емисије  $\text{NO}_x$  из постројења за сагоревање спрашеног угља је коришћење примарних и секундарних мера, као што је селективна каталитичка редуција са степеном издвајања 80-95 %. Недостатак каталитичких процеса је могућа емисија неизреагованог амонијака. Селективна некаталитичка редуција се, такође, сматра БАТ за смањење емисија за мала постројења за сагоревање чврстог горива, код којих нема честих промена оптерећења и с постојаним квалитетом горива [34]. Међутим, као БАТ се сматра и комбинација различитих примарних мера, као што је коришћење савремених горионика са ниским садржајем азотних оксида (тзв. *lowNO<sub>x</sub>* горионици) у комбинацији с другим примарним мерама, као што је рецикулација димних гасова, степенасто сагоревање (степенасто увођење ваздуха, ОФА), поновно сагоревање итд. Примена примарних мера често узрокује непотпуно сагоревање, што за последицу има већи ниво несагорелог угљеника у летећем пепелу и повећану емисију угљен-монооксида.

БАТ за смањење емисија угљен-моноксида је потпуно сагоревање што предпоставља добро конструисано ложиште, примену високоефикасних мера праћења и техника регулације процеса, као и одржавање система сагоревања, али и добру мењивост горива и сл. [7, 35, 37].

Међутим, као посебно значајан, истиче се претходни третман горива, тј. намешавање и мешање (хомогенизација) како би се осигурали стабилни услови сагоревања и смањиле вршне емисије. БАТ за течна горива сматра се коришћење уређаја за претходни третман, као што су уређаји за пречишћавање лаких и средњих течних горива које се користе у гасним турбинама и моторима. Третман тешког течног горива (мазути и сл.) састоји се од уређаја попут електричних или парних грејача, система за дозирање деемулгатора итд. Осим тога, ефикасност производње енергије представља важан индикатор рада и нпр. емисије гасова са ефектом стаклене баште. Један од начина за смањење емисија  $\text{CO}_2$  по јединици произведене енергије је оптимизација коришћења енергије и процеса производње енергије. Повећање топлотне/термичке ефикасности утиче на услове оптерећења, расхладне системе, емисије, употребу врсте горива итд.

Когенерација се сматра најефикаснијим начином смањења свеукупне количине испуштеног  $\text{CO}_2$ , па се препоручује да се при планирању и изградњи нових енергетских система, а где је локална потражња за топлотом довољно велика, изгради, иако скупље, когенерационо постројење уместо постројења које ће искључиво производити топлотну односно електричну енергију.

Не сме се превидети ни ефикасно управљање као веома значајна ставка еколошке ефикасности, која је уједно и важан саставни део предвиђених најбољих доступних техника и обавеза оператера.

## ВРЕДНОСТИ ЕМИСИЈА ИЗ ДОМАЋИХ ТЕРМОЕЛЕКТРАНА

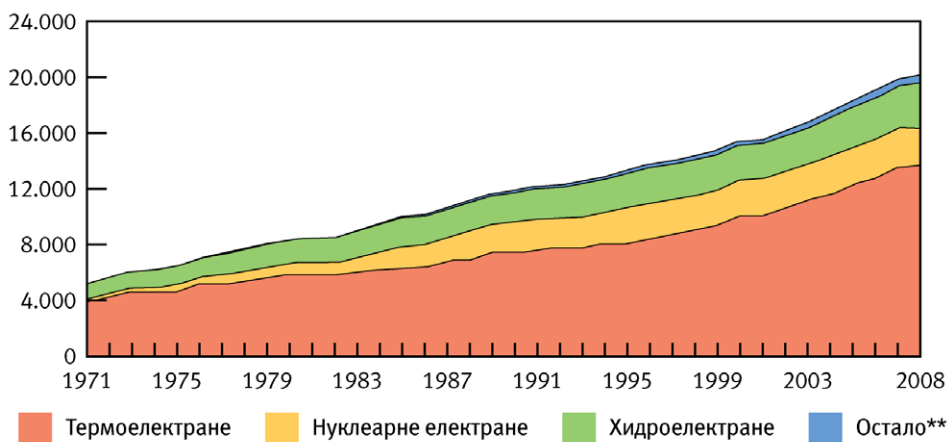
Термоелектране данас, у највећем броју земаља у свету, представљају носиоца производње електричне енергије (Слика 6) [19].

У тим постројењима користе се све три врсте фосилних горива, чврста, течна и гасовита, при чему значајано предњаче термоелектране на угљ (38,3% у 1973. години, односно 41,0% у 2008. години производње електричне енергије потиче из термоелектрана на угљ) [19]. И поред тога што су нафта и деривати нафте примарно гориво на глобалном нивоу, угљ има знатно већу улогу у сегменту производње електричне енергије.

Међутим, у области производње електричне енергије коришћењем угљева, мења се начин размишљања о систему управљања целокупном обла-



сти производње електричне енергије. Тако се од некадашњег приступа изградње термоелектрана у близини рудника угља, данас, захваљујући глобализацији тржишта и све већој брзи за очување сопствених резерви енергије, све више користе угљеви из увоза. На тај начин, проблеми заштите животне средине су додатно усложњени зато што котловска постројења која су била предвиђена за рад са одређеном врстом угља сада користе различите врсте угљева, различитих особина које значајно утичу на врсте и концентрације потенцијалних емисија загађујућих компонената у све медијуме животне средине.



\*\*Остало обухвата геотермалну, соларну, енергију ветра, обновљива горива и отпад

*Слика 6. Производња електричне енергије у свету (TWh) по начину појона у периоду од 1971. до 2008. [19]*

Производња примарне енергије (угља, нафте, природног гаса, обновљивих извора енергије) у Републици Србији обухвата експлоатацију, односно коришћење домаћих ресурса угља, сирове нафте, природног гаса и обновљивих извора енергије (хидропотенцијал, геотермална енергија и огревно дрво). У Србији је у 2010. години произведено 10539 Мтое примарне енергије, што задовољава око 65% укупних потреба Србије за енергијом. У оквиру домаће производње доминира производња угља, која чини 68% од укупне домаће производње примарне енергије, а остали део се односи на хидропотенцијал, производњу нафте, огревно дрво и природни гас. Увозна зависност Србије у 2010. години износила је 33,6%. Укупна потрошња примарне енергије у 2010. години износила је 15331 Мтое. У структури потрошње за процесе трансформација, доминира потрошња угља са 49%, затим сирове нафте и нафтних деривата 25%, природног гаса 12%, хидропотенцијала 7% и огревног дрвета 7% [20].

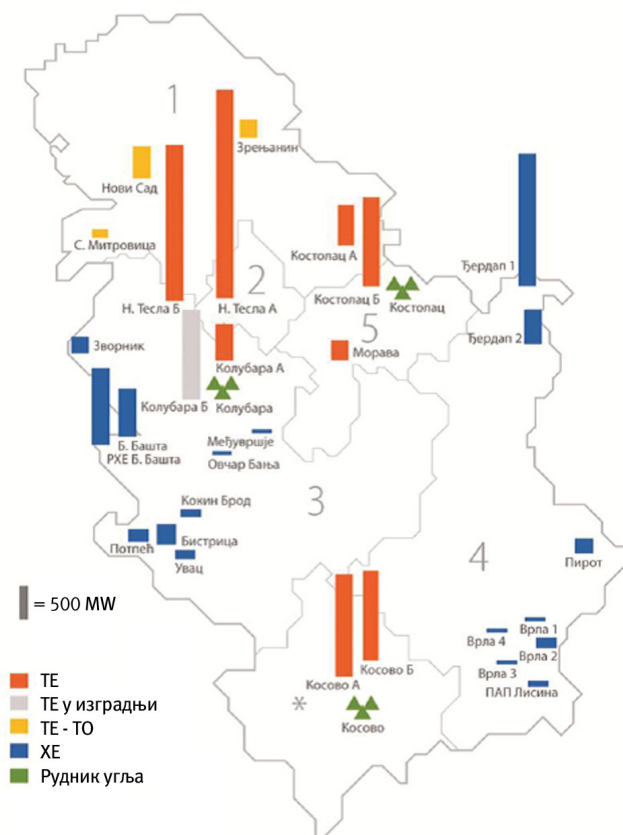
Укупна потрошња финалне енергије у Србији у 2010. години износила је 9698 Мтое, од чега се у неенергетске сврхе потрошило 0,809 Мтое, док је

потрошња финалне енергије у енергетске сврхе износила 8889 Мтое. По секторима потрошње финалне енергије највећа потрошња била је у сектору домаћинства 35%, затим индустрије 27%, саобраћаја 25%, док су остали сектори учествовали са 13%.

Капацитети за производњу електричне енергије у Републици Србији обухватају термоелектране (ТЕ), термоелектране-топлате (ТЕ-ТО), хидроелектране (ХЕ) и индустријске енергане

Највећи део ових капацитета је у саставу ЈП Електропривреда Србије (ЈП ЕПС). Укупна инсталисана снага електрана у саставу ЈП ЕПС износи 8359 MWel, односно 7144 MWel без термоелектрана на територији АП Косова и Метохије, и то према структури (Слика 7):

- Термоелектране 3936 MW (уз стално повећање капацитета реконструкцијама блокова)
- Хидроелектране 2835 MW
- Термоелектране-топлате 353 MW
- Мале електране у власништву ЈП ЕПС 20 MW



Слика 7. Производни капацитети ЈП ЕПС [21]



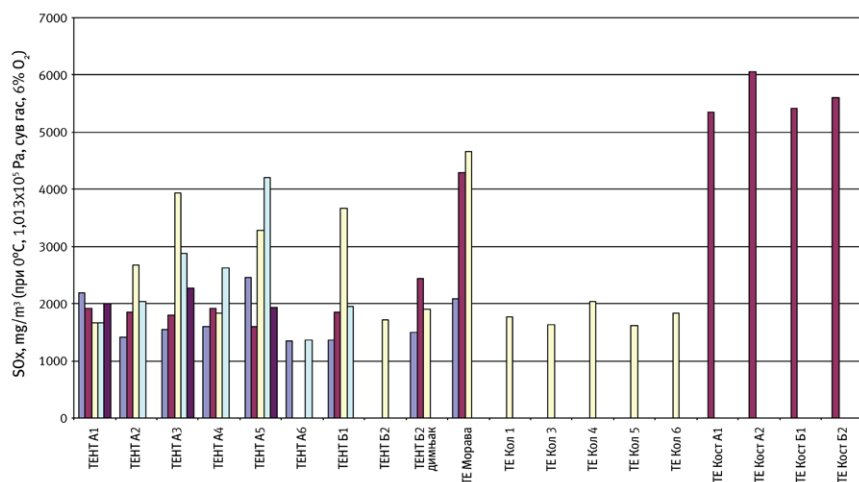
На основу приказаних података, термоелектране су у Републици Србији апсолутно доминантни произвођачи електричне енергије и представљају приближно 62 % укупно инсталиране снаге у ЈП ЕПС, и производе више од 70% укупне електричне енергије коју ЈП ЕПС производи. Шта више, у последњих десетак година уочава се тренд повећања удела термоелектрана у укупној производњи електричне енергије [22].

Ипак, просечна старост термоенергетских јединица на угаљ (без косовских електрана) износи тридесетак година, а старост се креће у распону од двадесетак до више од педесет година. Оваква старост и, с тим повезана, технолошка застарелост постројења, имајући у виду да најмлађе оригинално примењене технологије потичу из средине 80-их година прошлог века, уз све лошији квалитет чврстих горива, проузрокују високу специфичну потрошњу горива, и одговарајуће загађење животне средине.

Уважавајући значај термоенергетског сектора, као и неповољно техничко-технолошко стање постројења крајем 2000. године, остварена су значајна улагања у капиталне ремонте, рехабилитацију и модернизацију термоенергетских постројења у периоду од 2001. године. Реализовани су приоритетни програми на постројењима која су крајем 2000. године имала већа техничка ограничења, која су престала са радом или су радила са смањеним капацитетима, чиме је значајно повећана, пре свега, њихова расположивост. Она је у другој половини ове деценије достигла скоро 77%, што указује да су ови објекти изузетно поуздан и стабилан извор електричне енергије.

Међутим, овако значајна производња електричне енергије праћена је и одговарајућим загађењем животне средине, пре свега емисијом у ваздух како директно из термоенергетских постројења, тако и са депонија пепела. Термоелектране, посебно оне на лигнит, имају неповољан утицај на животну средину. Крајем 2000. године практично у свим термопостројењима у Републици Србији емисија чврстих честица, сумпорних и азотних оксида вишеструко је превазилазила дозвољене граничне вредности емисије (ГВЕ), а одлагање пепела и шљаке и третман отпадних вода није био решен на задовољавајући начин. Значајним улагањима извршене су бројне реконструкције углавном на постројењима за смањење емисије честица и системима за третман и одлагање летећег пепела, док улагања у постројења за одсумпоравање димних гасова и смањење емисије азотних оксида тек предстоје. Ови пројекти су посебно значајни ако се има у виду да је емисија  $SO_2$  из термоенергетских постројења ЈП ЕПС у 2011. години износила 369925 t/год. (218725 t из ПД ТЕ Никола Тесла и 149538 t из ПД ТЕ КО Костолац) [23], од укупно 408800 t оксида сумпора емитованих из стационарних постројења у Србији, као и да је на свим блоковима годинама изнад ГВЕ и према домаћој и према ЕУ регулативи, осим у случајевима сагоревања гасовитог горива у термоелектранама-топланама [24, 25, 26, 27] (Слика 8).

У оквиру израде [12] урађен је прорачун емисија сумпорних оксида као индиректног гаса са ефектом стаклене баште. Укупна емисија сумпорних оксида у 1990. години била је 490 Gg. Највећи део, 95,1% (466 Gg), био је резултат процеса сагоревања горива. Емисија азотних оксида за ту годину износила је 208 Gg од чега 197 Gg из процеса сагоревања горива. Укупна емисија азотних оксида (не рачунајући азот-субоксид) у 1998. години, била је 165 Gg; угљен-мооксида 446 Gg; NMVOC 113 Gg и сумпорних оксида 370 Gg. Сектор енергетике, сагоревањем фосилних горива, доминантно је учествовао у емисијама свих индиректних гасова са ефектом стаклене баште и то у емисијама азотних оксида са 94,55%; угљен-мооксида са 70,32%, NMVOC са 64,35% и сумпорних оксида са 98,2%. Сличне вредности емисија добијене су и прелиминарним прорачунима у оквиру [28].



**Слика 8.** Концентрације сумпорних оксида из термоелектрана у Србији у периоду 2008-2011. година

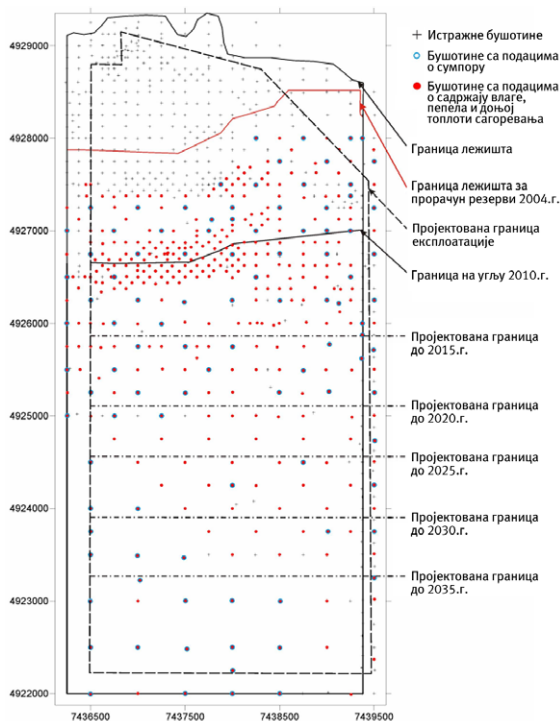
Према Уредби о ГВЕ која је усаглашена са Директивом 2001/80, ГВЕ за  $SO_2$  за постојећа постројења на чврсто гориво снаге  $\geq 500$  MWth износи  $400 \text{ mg/m}^3$ . Према новој Директиви о емисијама из индустрије 2010/75 [57], која је обухватила и ова постројења, ГВЕ вредност износи  $200 \text{ mg/m}^3$ . Приликом пројектовања система за ОДГ морају се узети у обзир ГВЕ вредности које су важеће у тренутку пројектовања, али и вредности које ће ступити на снагу и које ће важити у периоду рада постројења. С обзиром на сложеност система за пречишћавање димних гасова, за њихово пројектовање потребно је дефинисати и низ других пројектних параметара и то:

- карактеристике димног гаса који се пречишћава,
- захтевани степен издвајања загађујуће компоненте из димног гаса,
- пројектовани период рада постројења за пречишћавање,
- дозвољени садржај честица и других примеса у улазном димном гасу (за издвајање гасовитих загађујућих компонената),



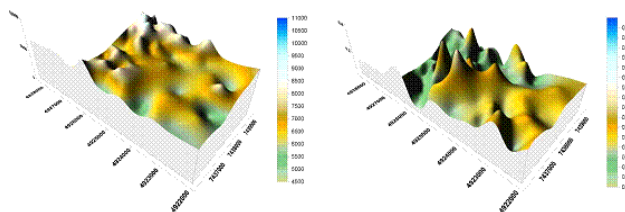
- захтевани (пројектни) квалитет средства за пречишћавање (сорбента),
- остале захтеве који се односе на заштиту животне средине
- захтевани (пројектни) квалитет нуспроизвода (нпр. гипса).

Карактеристике димног гаса који се пречишћава, што подразумева вредности протока, температуре, садржаја воде и кисеоника, концентрације и емисије загађујуће компоненте, су кључни улазни параметри за пројектовање. Систем за пречишћавање треба да обезбеди задовољење прописаних ГВЕ за различите квалитете угља који се користи у термоелектрани, па је приликом пројектовања система важно дефинисање референтних карактеристика угља [29, 30, 31]. Полазну основу при избору референтних карактеристика угља чине просторна диспозиција копа, планирана динамика откопавања угља на копу (за пројектовани период рада постројења, нпр. 25 година) и квалитет угља дефинисан резултатима техничких анализа истражних бушотина. На *Слици 9* приказан је пример ПК Тамнава Западно поље, као једно од поља колубарског басена са кога је у наредном периоду планирано снабдевање ТЕ Никола Тесла.



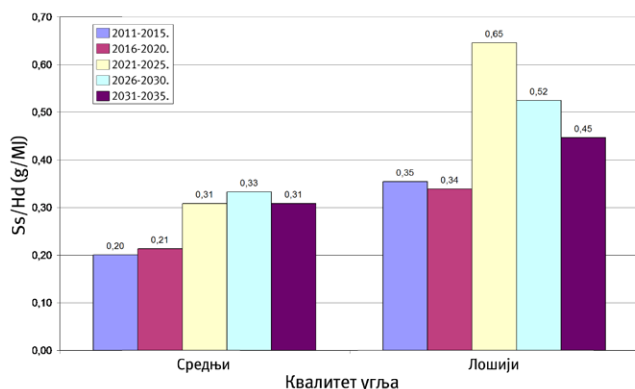
*Слика 9. Приказ просторне диспозиције која Тамнава Западно поље са позицијама истражних бушотина и пројектованим границама откопавања по периодима*

Резултати статистичке анализе обухватају одређивање статистичких показатеља (минимум, максимум, средња вредност, стандардна девијација) и хистограма за сваки од референтних података техничке и елементарне анализе угља. За одабране карактеристике угља (доња топлотна моћ и садржај сагорљивог сумпора) одређена је просторна расподела (*Слика 10*).



*Слика 10. Просторна расподела за доњу топлотну моћ угља и садржаја сагорљивог сумпора у угљу са која Тамнава Западно поље*

За даљу анализу карактеристика угља одређује се однос сагорљивог сумпора према доњој топлотној моћи са циљем да се одреди лошији квалитет угља (Слика 11).



*Слика 11. Упоредне карактеристике (однос садржаја сагорљивог сумпора и доње топлотне моћи) за средњи и лошији квалитет угља са које Тамнава Западно поље*

На основу извршених анализа за раматрани коп (Тамнава Западно поље), одређен је референтни квалитет угља - средњи и лошији квалитет. На основу извршеног избора референтних карактеристика угља могу се одредити карактеристике димног гаса који се пречишћава, а посебно важне карактеристике за пројектовање система за ОДГ - концентрације и емисије  $SO_2$ . Добијени резултати ( $900-2600 \text{ mg/m}^3$ ) показују да са овог поља нема неочекиваних вредности емисија, али указује неопходност пројектовања веома флексибилног система с обзиром на опсег концентрација. Још компликованији услови добијају се када се у прорачун уведу лигнити са поља на којима истраживања указују на знатно увећане садржаје сумпора који могу довести до вишеструко већих концентрација у димном гасу. Из наведеног се види значај и сложеност избора референтног квалитета угља (средњи и лошији) приликом пројектовања система за ОДГ. Карактеристике референтног угља имају утицај на битне делове система за ОДГ (апсорбер, систем за пријем кречњака и припрему кречне суспензије, систем гипса), што може утицати како на концепт техничког решења тако и на висину потребних инвестиционих улагања. Ово је посебно важно када се постројење за ОДГ уводи у постојећу термоелектрану, где се често као велики проблем јавља технолошки погодан смештај опреме у расположиви простор, што је случај посебно на објекту ТЕНТ А. За квалитетан избор референтног квалитета угља потребно је имати на располагању детаљне податке о копу/коповима са кога се термоелектрана снабдева угљем, укључујући и начин откопавања угља, односно експлоатације копа. Цео процес дефинисања референтног квалитета угља се додатно усложњава у случајевима када се снабдевање термоелектране не обавља само са једног копа, већ са више различитих копова, јер је у том случају потребно познавати и односе у којима се угљеви мешају за сагоревање у разматраном периоду рада електране. Додатно, све ове анализе треба да се сагледају и у случају увођења хомогенизације угља за потребе ЈП ЕПС, као и утицај процеса хомогенизације на оне карактеристике

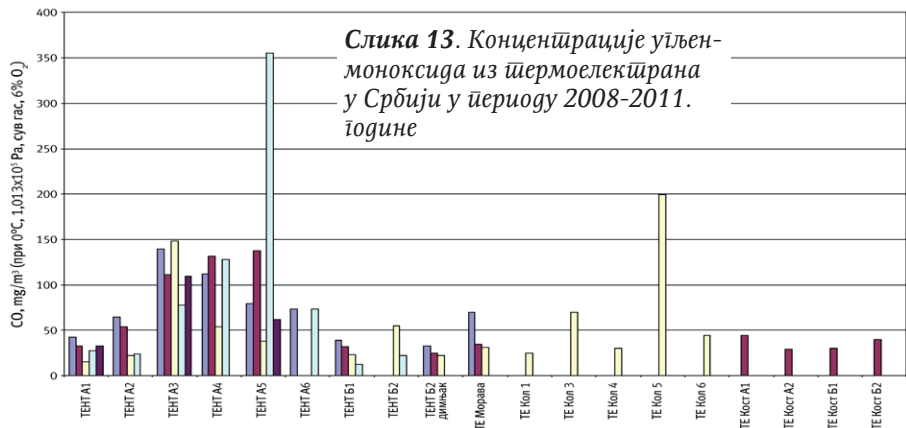
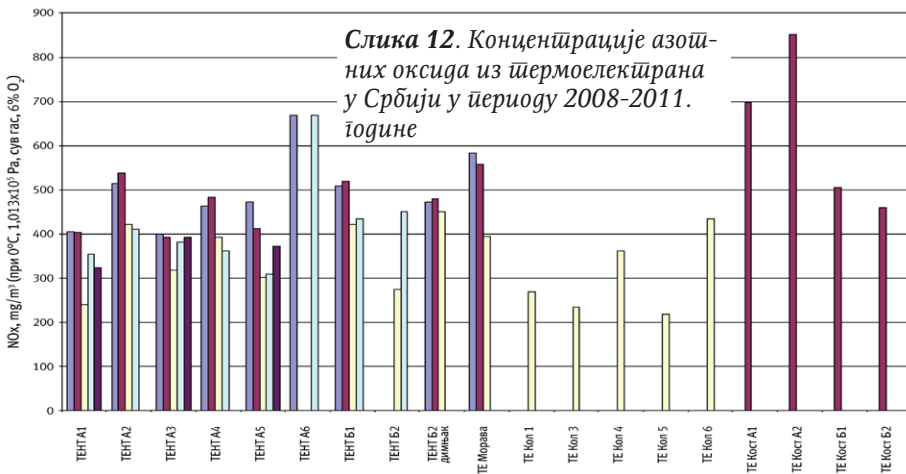


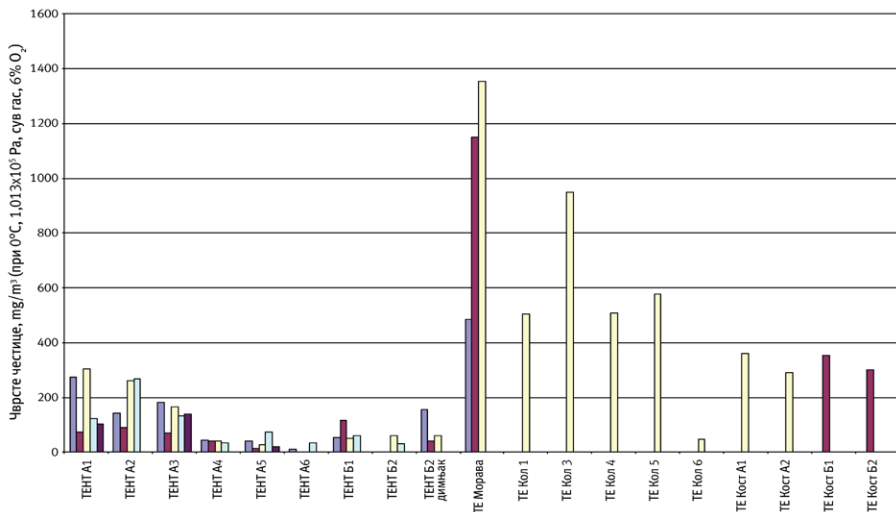


угља које су од посебног значаја за рад система за ОДГ (доња топлотна моћ, садржај сумпора – укупни и сагорљиви).

Емисије халогена, као што су HCl и HF, имају значај како као једињења која се испуштају у атмосферу, тако и као једињења која у процесу одсумпоровања брже реагују од оксида сумпора па се њихово издвајање мора обавезно предвидети. Постоје подаци који указују да хлор у апсорберу може значајно да смањи ефикасност постројења. Одсумпоровање од 80 % при 0-20 ppb хлора смањује се на 40 % при садржају хлора од 180 ppb. Концентрације реда величине 200 mg/Nm<sup>3</sup> HCl за, односно 20 mg/Nm<sup>3</sup> за HF колико су вредности за објекте који сагоревају колубарске лигните, ипак не представљају значајније вредности које утичу на биланс процеса одсумпоровања. Мерења обављена при сагоревању костолачких лигнита показују чак знатно ниже вредности [32, 33].

Концентрације азотних оксида, угљен-моноксида и чврстих честица из термоелектрана ЈП ЕПС у последњих неколико година приказане су на Сликама 12-14 [7].





Слика 14. Концентрације укујних честица из термоелектрана у Србији у периоду 2008-2011. године

Види се да с обзиром да нема других уређаја, осим уређаја за смањење честица, концентрације углавном нису у складу са прописима. Модернизација електрофилтерских постројења уследила је тек пошто је извршена реконструкција ложишта и повећана ефикасност постројења. Степен ефикасности свих котлова у систему ЈП ЕПС у складу је са захтевима БАТ, при чему је специфична потрошња горива приказана у Таблици 2 [7].

Година	2008.		2009.		2010.	
	kg угља/ kWh	kJ угља / kWh	kg угља/ kWh	kJ угља / kWh	kg угља/ kWh	kJ угља / kWh
ТЕНТ А1	1.45	11648	1.46	11590	1.52	11324
ТЕНТ А2	1.45	11642	1.46	11580	1.52	11319
ТЕНТ А3	1.48	11628	1.46	11545	1.52	11318
ТЕНТ А4	1.45	11623	1.46	11556	1.52	11308
ТЕНТ А5	1.45	11626	1.46	11563	1.52	11315
ТЕНТ А6	1.45	11659	1.46	11568	1.53	11420
ТЕНТ Б1	1,402	10681	1,419	10893	1,441	10698
ТЕНТ Б2	1,403	10771	1,423	10920	1,448	10750
ТЕ Морава	1,26	10734	1,29	11098	1,35	11348
ТЕ Кол1	2,004	15409	2,412	16511	2,294	15224
ТЕ Кол 2	1,988	15378	2,402	16474	2,24	14740
ТЕ Кол 3	0	0	2,019	14031	2,297	15306
ТЕ Кол 4	2,013	15574	2,282	15809	0	0
ТЕ Кол 5	1,627	12214	1,921	12851	1,749	11532

Таблица 2. Индикатори ефикасности котлова у систему ЈП ЕПС лојених уљем



Захваљујући реконструкцијама електрофилтара емисије честица је значајно снижена на великом броју објеката. На тај начин ће емисија честица, која је на нивоу свих постројења ЈП ЕПС пре реконструкција износила приближно 60000 t/god., после реконструкције свих постројења, бити снижена на приближно 6000 t/god. Садашња емисија честица из стационарних извора у Србији износи 24870 t за 2011. годину [26].

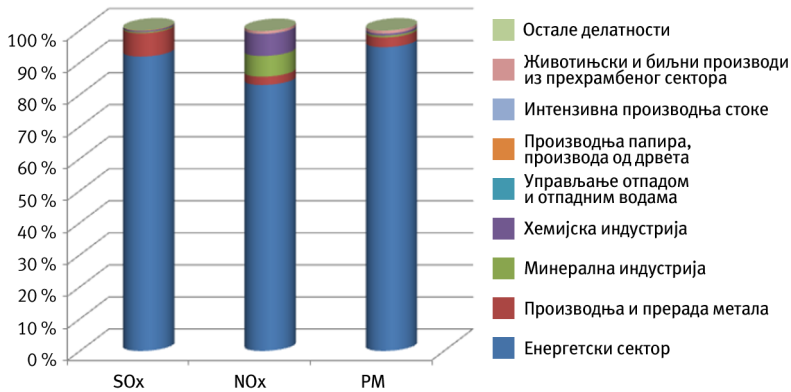
У току су радови на блоку ТЕНТ А5 у циљу редукације азотних оксида. У ту сврху уводе се тзв. примарне мере које подразумевају, пре свега, измене на горионицима угља, додавање терцијарног ваздуха. Могу се очекивати добри резултати, али не и смањење емисија испод 200 mg/m<sup>3</sup>. У зависности од резултата на овом блоку пројекат би се или применио и на осталим блоковима и постројењима ЈП ЕПС или би се морале применити скупљи поступци, највероватније поступак селективне каталитичке редукације. Својевремено уграђена опрема за смањење загађења у ТЕ Костолац Б и поред тога што је новијег датума (уграђена у периоду 1987-1991. година), не задовољава садашње захтеве, с обзиром да су данашњи захтеви знатно строжији од оних из времена изградње термоелектране. У циљу смањења емисије са депонија пепела у ТЕ Костолац Б, ТЕНТ Б, ТЕ Колубара изграђени су системи за маловодни транспорт, али и начин одлагања пепела чиме је значајно смањено развејавање пепела.

Мерење емисије загађујућих материја се обавља у складу са Уредбом о ГВЕ загађујућих материја у ваздух [24]. Наведеном уредбом су обухваћена периодична, контролна, гаранцијска, континуална и посебна мерења емисије. Периодична мерења емисије се врше редовно на основу Програма о појединачним мерењима емисије загађујућих материја у ваздух и обухватају:

- мерење емисије укупних прашкастих материја, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HCl и HF и то: масених концентрација загађујућих материја, (сведено на нормалне услове, сув гас и 6% O<sub>2</sub>) (mg/m<sup>3</sup>), масених протока загађујућих материја (kg/h) и одређивање фактора емисије загађујућих материја (kg/MWh),
- анализу физичко-хемијских параметара угља, шљаке и електрофилтерског пепела.

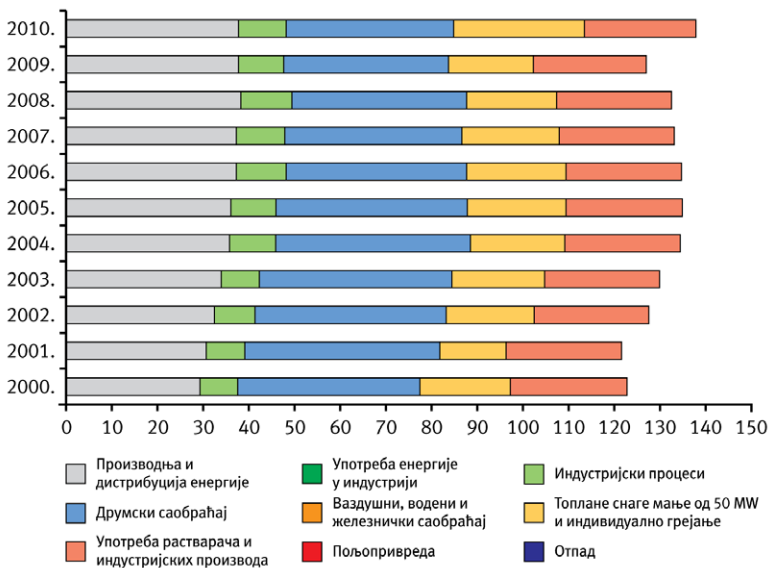
Континуално мерење емисије уведено је уградњом опреме за континуално мерење емисије на свим блоковима ТЕНТ А, ТЕНТ, Б, Колубара А5 у оквиру СЕМС (Continuous Emission Monitoring System) пројекта ЕУ или самосталним финансирањем ЈП ЕПС (ТЕ Морава, ТЕ Костолац Б, ТЕ-ТО у саставу ПД Панонске електране). Након уградње обављена су еталонирања уграђене опреме (тзв. QAL 2) у складу са СРПС ИСО 14181.

Утицај енергетског сектора на укупне емисије честица, сумпорних и азотних оксида приказан је на *Слици 15*.



Слика 15. Удео сектора у укупној емисији загађујућих материја у ваздух у 2011. години

Емисија NMVOC приказана је на Слици 16.



Слика 16. Емисије NMVOC по секторима између 2000. и 2010. године (Gg /100g)

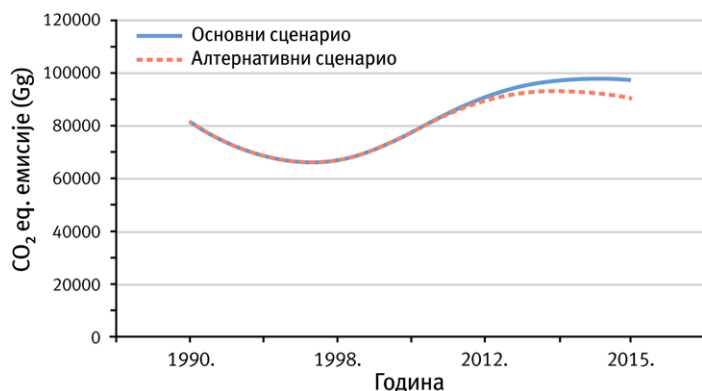
У погледу емисије ненамерно емитованих ПОПс компоненти и ПАХ, инвентар за 2006. годину је израђен у оквиру израде Националног имплементационог плана за спровођење Стокхолмске конвенције (2010.) [38]. У складу са тим инвентаром емисије су:

- диоксини и фурани – енергетика 27,5% (укупно сви сектори 397,99 g за 2006. годину)
- ПАХ - енергетика 59,1% (укупно сви сектори 40616 kg)
- ПЦБ - енергетика 55,3% (укупно сви сектори 199,4 kg)



Наравно, посебан значај данас представља емисија гасова са ефектом стаклене баште. У складу са својим статусом, Република Србија нема обавезу квантификованог смањења емисија гасова са ефектом стаклене баште у првом обавезујућем периоду (статус не-анекс I државе), али је ратификацијом Конвенције преузела обавезе утврђивања и спровођења акција које доприносе постизању њених циљева. Осим тога, поступак приступања ЕУ подразумева и знатно веће акције и постизање већих циљева. Због тога Србија за сада може користити само инвестиционо развојне предности Механизма чистог развоја. Због тога је 2009. године Министарство припремило Стратегију примене Механизма чистог развоја у енергетском сектору Републике Србије [39]. Иако међу последњима у Европи, 2010. године урађен је и Први извештај Републике Србије према Оквирној конвенцији Уједињених нација о промени климе [12], у оквиру кога и Инвентар гасова стаклене баште, према Ревидованом ИРСС упутству за израду инвентара из 1996. године, методи Тир 1, и то за 1990. као базну и 1998. годину. Према Инвентару емисија укупна емитована количина ових гасова за 1990. годину, не рачунајући нето одстрањене количине, износила је 80803 Gg CO<sub>2</sub>eq. Највећи део од око 78% од укупних емисија, односно 62776 Gg CO<sub>2</sub>eq, потиче из енергетског сектора. Укупна емисија за 1998. годину износила је 66346 Gg CO<sub>2</sub>eq, не рачунајући нето одстрањене количине CO<sub>2</sub> у шумском комплексу. Највећи проценат емисија од око 76% (50549 Gg CO<sub>2</sub>eq) од укупних емисија, потицао је из енергетског сектора.

Као што се види, укупна емисија гасова са ефектом стаклене баште током 90-их година 20. века смањена је у односу на емисију базне 1990. године, док се после 2001. године уочава стални тренд раста. Према основном сценарију, 2015. године укупне емисије гасова са ефектом стаклене баште достижу ниво од 120,41% емисија из 1990. године. Према алтернативном сценарију овакав тренд пораста емисија био би ублажен, тако да би емисије гасова са ефектом стаклене баште 2015. године биле на нивоу од 111,66% укупних емисија у односу на базну 1990. годину (Слика 17)



**Слика 17.**  
Пројекције емисија гасова са ефектом стаклене баште до 2015. године према основном и алтернативном сценарију

Поређењем укупне емисије гасова са ефектом стаклене баште, пројектованих према основном и алтернативном сценарију, очекивано повећање емисија у 2015. години може се смањити за око 7 милиона t CO<sub>2</sub>eq. До овог смањења може доћи пре свега под условом да се обезбеди трансфер савремених технологија и значајна инвестициона улагања кроз билатералну и мултилатералну сарадњу.

## ПОВЕЗАНОСТ ЕМИСИЈА И КВАЛИТЕТА ВАЗДУХА

До не тако давно једна од ретких мера заштите ваздуха је била висина димњака, односно веома високи димњаци који су захваљујући управо својој висини обезбеђивали распрострањавање загађујућих компонената на великим површинама и тиме њихово разблажење до потребних вредности. Данас, техничке мере смањења емисија морају да задовоље прописе који се односе на ГВЕ. Међутим, и тада се пречишћени гасови испуштају у атмосферу коришћењем димњака, који по својој технологији рада могу бити тзв. влажни и суви, а по начину градње бетонски, челични и сл. Њихова висини зависи од параметара емитованог гаса, метеоролошких услова на терену, али посебно од прописа који се односе на квалитет ваздуха. Да би се „упариле” мере које се односе на границе емисија и квалитет ваздуха и данас се приступа прорачунима распрострањавања компоненти у атмосфери, чиме се посредно израчунава или порверава висина димњака, али и вредност компоненти у атмосфери. Израдом одговарајућег модела распрострањавања загађујућих материја кроз ваздух, из свих посматраних емитера, добија се потврда утицаја пројектованих система на квалитет ваздуха.

### Дисперзиони модели

Да би се створила могућност предузимања адекватних превентивних, просторно-планерских и еколошких мера за заштиту ваздуха од прекомерног загађења потребно је обезбедити систем за праћење квалитета ваздуха, са циљем да се добије прецизна слика загађености ваздуха на територији посматраног подручја. У случајевима када се не располаже подацима мерења квалитета ваздуха са терена (у фази пројектовања нових индустријских објеката), приступа се математичком моделирању, то јест симулацији процеса у атмосфери уз помоћ математичких модела. Квантитативно одређивање атмосферских ефеката врши се моделирањем атмосферске дисперзије, дисперзионим моделима. Најдоминантнији фактори који утичу на дисперзију загађујућих материја кроз ваздух су:

- карактеристике извора загађујућих материја,
- врста загађујућих материја,
- метеоролошки услови,
- географске и геофизичке карактеристике терена.



Како дисперзиони модели представљају математички израз деловања атмосферских процеса на загађујуће материје у атмосфери, основни проблем код њиховог коришћења је врста, количина и тачност података који су потребни да би се извршила нека симулација. У пракси најчешће се могу срести Гаусови дифузиони модели. Гаусов модел уноси бројне претпоставке и прилично је емпиријски. Главни разлози који иду у прилог примени ових модела су, пре свега, једноставност примене као и релативно добро слагање са физичким експериментима. Гаусови модели полазе од претпоставке да расподела концентрације пасивне супстанце у перјаници има одређени математички облик, тако да садрже Гаусову једначину дифузије која, уствари, представља решење Фикове дифузионе једначине са константним коефицијентима. У основи Гаусовог модела димне перјанице лежи једначина:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi i U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\},$$

где су:

$C(x, y, z)$  – имисиона вредност у тачки  $(x, y, z)$   $g/m^3$

$Q$  – емисија загађујуће материје,  $g/s$

$U$  – брзина ветра,  $m/s$

$\sigma_y, \sigma_z$  – девијације перјанице,  $m$

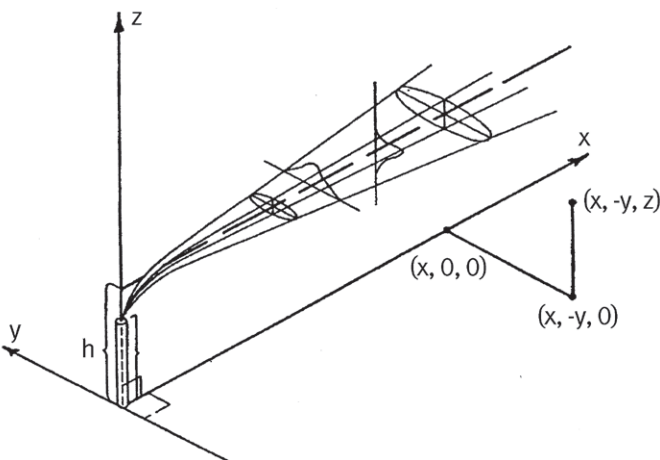
$H$  – ефективна висина димњака,  $m$

$x$  – удаљеност од извора у правцу дувања ветра,  $m$

$y$  – хоризонтална удаљеност од центра перјанице,  $m$

$z$  – висина рецептора,  $m$

Шематски приказ принципа дисперзије загађујућих материја на основу Гаусових модела, односно координатни систем који се употребљава у њима, дат је на *Слици 18*. У овим моделима као координатни почетак подразумева се сам испуст тј. емитер, док се рачунање концентрације и ширење димне перјанице посматра у простору [40].



**Слика 18.** Шематски приказ принципа дисперзије загађујућих материја на основу Гаусових модела

## Подаци о коришћеном моделу

У сврху анализе утицаја изградње постројења за одсумпоравање димних гасова на ТЕ Никола Тесла А и ТЕ Костолац Б коришћен је стандардни модел ЕРА-а (U.S. Environmental Protection Agency) AERMOD, заснован на Гаусовом моделу. Модел AERMOD укључује широк опсег могућности за моделовање утицаја загађујућих материја на загађење ваздуха [41].

Резултати приказани у овом раду добијени су моделирањем којим су обухваћене емисије сумпор диоксида из блокова А1-А6 ТЕНТ А и блокова Б1 и Б2 ТЕ Костолац Б, за постојеће стање и стање са постројењем за одсумпоравање димних гасова. Моделима нису обухваћени остали извори емисија, нити је урачунато позадинско загађење. Циљ ових модела није да покажу квалитет ваздуха на посматраним подручјима, већ да да репрезентативну процену утицаја постројења за одсумпоравање димних гасова на квалитет ваздуха на посматраном подручју.

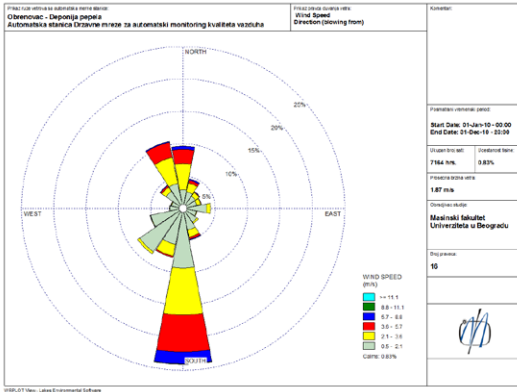
AERMOD има могућност узимања у разматрање рељефа терена као и висине рецептора. Приликом моделирања, за потребе анализе постројења за одсумпоравање димних гасова, коришћене су дигиталне мапе *SRTM3 - Shuttle Radar Topography Mission* (резулације ~90m, односно 3 arc-sec).

Модел израђени у циљу анализе утицаја постројења за одсумпоравање димних гасова обухватио је зону утицаја од 50 km x 50 km, односно површину од 2500 km<sup>2</sup>, у чијем се центру налази посматрани објекат. Метеоролошки подаци уносе се кроз податке о параметрима површинског граничног слоја и податке о профилу променљивих метеоролошких параметара у које се укључује брзина ветра, правац ветра и параметри турбуленције. Наведена два типа метеоролошких параметара за AERMOD модел генеришу се AERMET-ом, метеоролошким претпроцесором. За потребе израде модела у сврху анализе утицаја постројења за одсумпоравање димних гасова коришћени су метеоролошки подаци са аутоматска станица „Обреновац - Депонија пепела” (подаци за 2010. годину), ова аутоматска станица је у надлежности Агенције за заштиту животне средине Републике Србије и саставни је део Државне мреже за аутоматски мониторинг квалитета ваздуха, као и подаци засновани на вишегодишњим мерењима спроведеним од стране РХМЗ Србије на метеоролошким станицама Велико Градиште (25 км источно од ТЕ „Костолац Б”), Костолац (2 км југо-западно од ТЕ „Костолац Б”) и Рам (13 км северо-источно од ТЕ „Костолац Б”). Помоћу AERMET-а, такође, су обрађени подаци о брзини и правцу дувања ветра са ових метеоролошких станица. Резултати, са свим релевантним подацима, су приказани путем руже ветрова на *Сликама 19 и 20*.

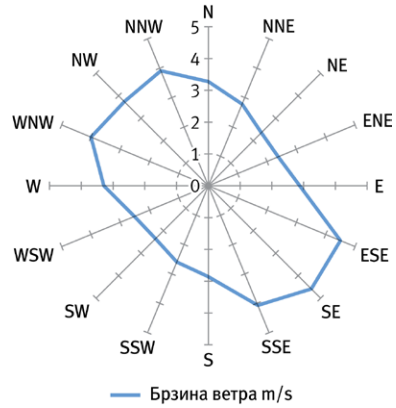
Подаци о изворима емисија загађујућих материја који су коришћени као улазни параметри за моделе приказани су у [42, 43].





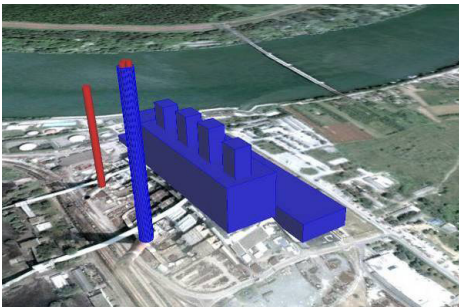


Слика 19. Ружа ветрова на аутоматској станици „Обреновац - Дејонија џејела“ за 2010. годину.

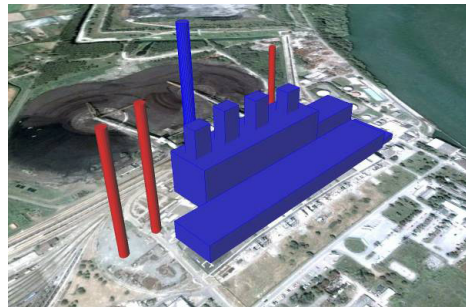


Слика 20. Ружа ветрова на метеоролошкој станици Рам (13 km северо-источно од ТЕ „Косиловац Б“).

За потребе ове анализе, такође применом AERMOD-а, израђени су 3D модели посматраних постројења. Моделима су обухваћени само емитери и објекти значајни за моделирање дисперзије, односно објекти код којих се може јавити ефекат надимљавања (*downwash*). На сликама 21 и 22 приказан је 3D модел „ТЕНТ А“ са постојећим и будућим емитерима.



Слика 21. 3D модел ТЕНТ А са постојећим емитерима



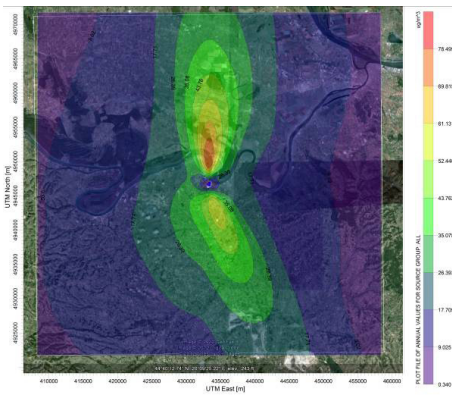
Слика 22. 3D модел ТЕНТ А са будућим емитерима

Процедура израде модела обухватала је следеће поступке:

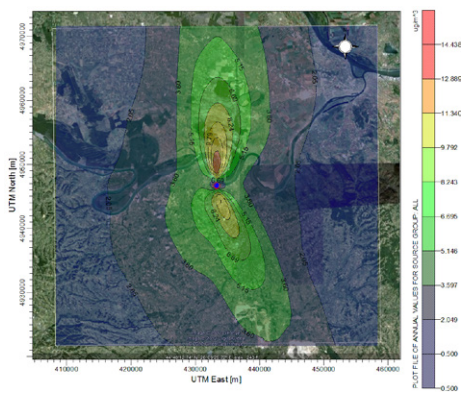
1. Израду план постројења, укључујући изворе, објекте и границу поседа;
2. Дефинисање домена модела и локације рецептора;
3. Израду инвентара емисија свих посматраних извора емисија;
4. Карактеризовање врсте извора;
5. Унос и анализа податка о зградама;
6. Процесуирање потребних метеоролошке податка;
7. Процесуирање податка о терену;
8. Моделовање и анализа резултата.

## Резултати моделирања

На *Сликама 23 и 24*, респективно, дати су резултати моделирања распрострања сумпорних оксида из ТЕНТ А приказани као сумпор диоксид, без постројења за одсумпоровање димних гасова, односно са постројењем за одсумпоровање димних гасова [43, 44]. Максимална добијена вредност за период усредњавања од једне године износи  $78,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , без постројења за одсумпоровање димних гасова, док је за случај са постројењем за одсумпоровање димних гасова та вредност  $24,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ове вредности су забележене северно од термоелектране на удаљености од око 4 km. Ако упоредимо добијене резултате, може се увидети да је максимална концентрација готово три пута мања у случају постојања система за одсумпоровање димних гасова. Треба напоменути да су резултати добијени моделом већи од реалних вредности, јер је приликом моделирања узета претпоставка да термоелектрана ради пунум капацитетом током читаве године и да су емисије константе, што представља најнеповољније услове.



*Слика 23. Приказ резултата моделирања распрострања сумпорних оксида приказаних као  $\text{SO}_2$  из постојећих димањака 1 и 2, односно за постојеће стање без постројења за одсумпоровање димних гасова.*

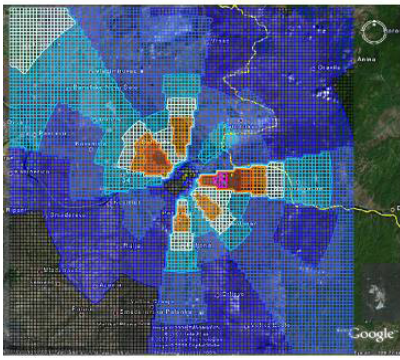


*Слика 24. Приказ резултата моделирања распрострања сумпорних оксида приказаних као  $\text{SO}_2$  из будућих димањака 1, 2 и 3, односно за будуће стање које предвиђа постројење за одсумпоровање димних гасова.*

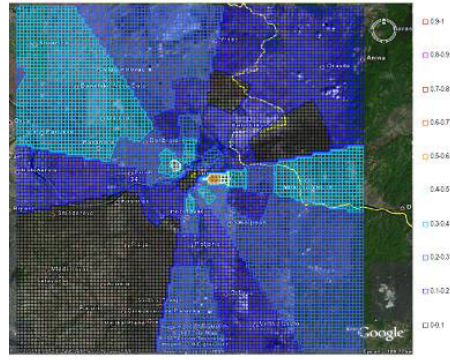
Резултати добијени моделовањем распрострања загађујућих материја из ТЕ Костолац Б, приказани на *Сликама 25 и 26*, показују да предложени нови, 200 m висок влажни димњак као и постројење за одсумпоровање димних гасова знатно утичу на снижавање приземних концентрација  $\text{SO}_2$  на ширем подручју око извора загађења [42, 45].

Имајући у виду конфигурацију терена у оба случаја, који је равничарског типа без већих узвишења, и метеоролошке услове, посебно карактеристика ветра, који, ако посматрамо дефинисане границе модела, има пресудну улогу за дисперзију, може се закључити да је висока концентрација сумпор диоксида у овом случају искључиво директна последица високих емисионих вредности.





**Слика 25.** Приказ резултата моделирања распростирања сумпорних оксида приказаних као  $SO_2$  при раду електричне без постројења за одсумпоровање димних гасова.



**Слика 26.** Приказ резултата моделирања распростирања сумпорних оксида приказаних као  $SO_2$  при раду електричне са постројењем за одсумпоровање димних гасова.

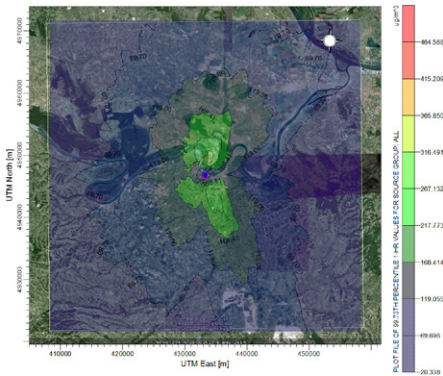
Према [24] гранична вредност за сумпор диоксид за период усредњавања од једне календарске износи  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , па се може закључити да утицај ових извора загађења, при постојећем стању, без система за одсумпоровање димних гасова, неповољно утиче на квалитет околног ваздуха. Такође, може се закључити да би се изградњом система за одсумпоровање димних гасова, позитивно утицало на квалитет ваздуха, односно утицај термоелектране на овом подручју би се свео далеко испод граничне вредности за сумпор диоксид, која је прописана Уредбом.

### Провера висине влажних димњака постројења за одсумпоровање димних гасова

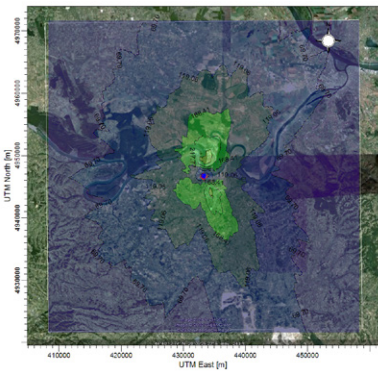
На основу добијених резултата моделирања за пројектну висину будућих влажних димњака „ТЕНТ А“ од 170 m, а у циљу провере степена утицаја висине влажних димњака на расподелу емисионих вредности сумпордиоксида на посматраном подручју, као и могућности евентуалне корекције висине емитера, урађена су и моделирања за две додатне висине од 140 и 200 m. Ова моделирања су урађена за период усредњавања од једног сата, и приказана на 99,73 перцентилиној карти (Слике 27, 28 и 29). Код ових модела само се висине влажних димњака разликују од карактеристика емитера и емисионих вредности приказаних у Таблици 3.

Висина влажних димњака, m	140	170	200
Максимална концентрација сумпордиоксида добијена моделирањем, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	289,68	286,73	284,92

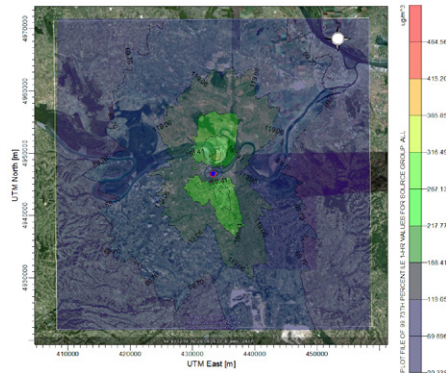
**Таблица 3.** Максималне концентрације сумпордиоксида добијене моделирањем у зависности од висине влажних димњака



Слика 27. Резултати моделирања распростирања сумпор диоксида (за период усредњавања од једног сатња на 99,73 перцентилној карти) за случај пројектне висине влажних димњака од 170 m



Слика 28. Резултати моделирања распростирања сумпор диоксида (за период усредњавања од једног сатња на 99,73 перцентилној карти) за случај висине влажних димњака од 140 m.



Слика 29. Резултати моделирања распростирања сумпор диоксида (за период усредњавања од једног сатња на 99,73 перцентилној карти) за случај висине влажних димњака од 200 m.

Иако је распон посматраних висина 60 m (140-200 m), резултати показују да је, за дате услове, утицај висине влажних димњака занемарљив. На основу ових резултата и граничних вредности прописаних Уредбом, изводи се закључак да је могуће извршити корекцију висине, без последица по значајно повећање имисионих вредности сумпордиоксида на посматраном подручју.

## АНАЛИЗА ИЗАЗОВА И ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

Проблеми животне средине у енергетици су следећи: ограничен квантитет и лош квалитет домаћих енергетских сировина, висока зависност од увоза течних фосилних горива, и даље слабо стање, тј. непостојање постројења за заштиту животне средине, ниска ефикасност у производњи и потрошњи енергије, као и неодговарајући правни и институционални оквир у појединим сегментима.



Обавезе проистекле из захтева домаћих прописа, али што је још важније, и потписаних и ратификованих међународних обавеза, налажу да се на постојећим

термоелектранама у неколико наредних година спроведу значајни захвати у области заштите животне средине, који као крајњи циљ имају добијање интегрисаних дозвола. У погледу међународних обавеза Република Србија је потписала Уговор о енергетској заједници којим се обавезала да ће применити Директиву 2001/80/ЕЗ о великим постројењима за сагоревање (великим ложиштима) до краја 2017. године. Предвиђене измене овог Уговора додатно ће искомпликовати већ довољно сложено стање у енергетском сектору. Због тога су у претходном периоду покренуте бројне активности, а реализација најзначајнијих пројеката тек предстоји. Примена Националног плана за смањење емисија и сличних механизма може допринети смањењу притиска на енергетски сектор и омогућити равномернији инвестициони план у области повећања енергетских капацитета и смањења емисије.

Још значајније, Република Србија је 22.12.2009. године званично поднела пријаву за приступање Европској унији, чиме је и формално започет процес приступања кроз који ће Србија пролазити све до чланства у ЕУ. Битан део процеса придруживања за Србију јесте онај део који се односи на усклађивање прописа, организације институција и надлежних органа и организација, као и самог начина рада и пословања са стандардима који важе у ЕУ.

Током протекле деценије учињен је велики напредак у побољшању заштите животне средине у Србији, иако кључни технички део посла, а тиме и финансијски најзахтевнији, тек предстоји. Висок ниво заштите животне средине представља основне циљеве уткане у Споразум о ЕУ, заједно са принципима одрживог развоја и интеграција заштите животне средине на свим политичким и друштвеним нивоима. Међутим, Србија и даље сноси последице наслеђа деградације животне средине. На пример, емисије  $\text{NO}_x$  су у Србији више за 35% *per capita* него у ЕУ, док су емисије  $\text{SO}_2$  *per capita* преко 5,5 пута веће него у ЕУ (Таблица 4) [46].

Упоредни показатељи (базне године за податке 2006-2010.)				
Показатељ	Јединица	Србија	ЕУ 27	Србија у односу на ЕУ просек
Број становника	милиона	7,5	502,5	1,49%
БДП по глави становника	еур	4528	23296	19,44%
Инфлација	%	6	2	-
Издвајање за ж.с.	% БДП	0,4	1,76	22,73%
Енергетски интензитет	kg екв. нафте/ становнику	225	167	134,73%
Емисије $\text{NO}_x$	kg/становнику	27,73	20,59	134,71%
Емисије $\text{SO}_x$	kg/становнику	65,33	11,62	562,35%
Емисије $\text{CO}_2$	t/становнику	5,13	9,90	51,82%

**Таблица 4.** Упоредни показатељи параметара загађења ваздуха

При томе, прокламовани циљеви ЕУ су еквивалентни вредности од 17,8 kgNOx/становнику и 11,5 kgSOx/становнику, уз смањење емисије угљен-диоксида за 20% у 2020. години. Такође, циљ ЕУ је и смањење енергетског интензитета за 20%.

Закон о заштити ваздуха (2009) [47], Закон о интегрисаном спречавању и контроли загађења (2004) [48] и Уредба о граничним вредностима емисије (2010) [24] засновани су између осталог и на одредбама Директиве о великим постројењима за сагоревање (2001/80) [25]. Спровођење ових прописа отежано је, и скоро онемогућено (као што је био случаји и са Правилником о ГВЕ из 1997. године) баш у сектору тзв. велике енергетике, тј. у области великих постројења за сагоревање која се користе за производњу електричне енергије и топлотне енергије за даљинско грејање, и која су скоро сва у власништву јавних предузећа, тј. државе. Услед недостатка средстава, али и одсуства озбиљне политичке воље да се препозна значај заштите животне средине и потреба за смањењем загађења ваздуха, нити су усаглашене емисије из тих постројења са ГВЕ нити су израђени детаљни планови усаглашавања. Такође, Србија још није законски успоставила циљеве смањења у области емисија азотних и сумпорних оксида, дефинисаних, на међународном нивоу, Гетеборшким протоколом уз Конвенцију о прекограничном загађењу ваздуха на великим удаљеностима (ЦЛРТАП), односно у оквиру ЕУ Директивом о националним квотама емисије (2001/81) [49]. Статус ратификација међународних протокола уз ЦЛРТАП приказан је у Таблици 5 [50].

Конвенција / Протокол	Потписан од страна потписница	На снази од	Ратификована у РС
Конвенциј о прекограничном загађењу ваздуха на великим удаљеностима (ЦЛРТАП)	1979.	1983.	1991.
Протокола о дуготрајном финансирању заједничких програма за праћење и евалуацију загађивачима ваздуха на великим удаљеностима у Европи	1984.	1988.	2001.
ПОПс протокол	1998.	2003.	2012.
Протокол о тешким металима	1998.	2003.	2012.
Протокол о смањењу ацидфикације, еутрофикације и приземног озона (Гетеборшки протокол)	1999.	2005.	У припреми

**Таблица 5.** *Статус ратификације протокола уз ЦЛРТАП*

Ратификацијом Гетеборшког протокола, тј. транспозицијом Директиве о националним квотама емисије и уношењем утврђених вредности у одговарајући закон испуниће се важне цивилизацијске обавезе Србије у погледу заштите ваздуха и смањења емисије [51, 52]. Међутим, једно



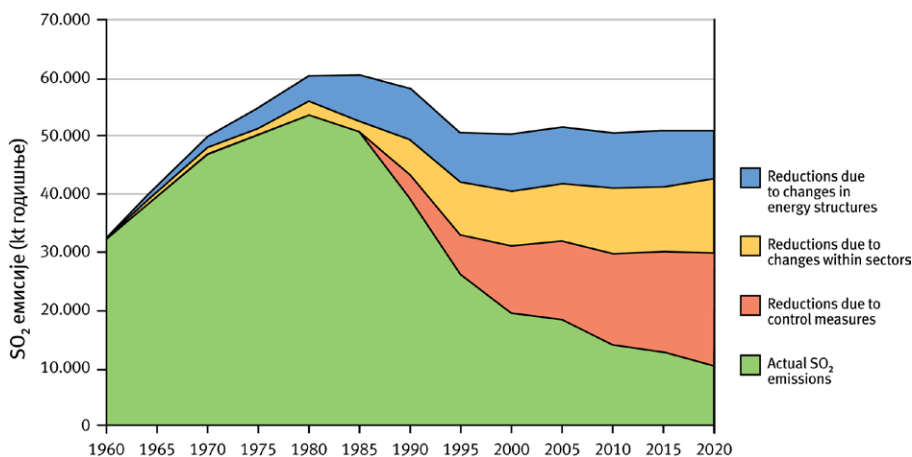
од кључних питања је успостављање поузданих података о тренутним вредностима емисије, и као што је већ речено, потенцијалних смањења уз постизање договора око временског периода током којег захтевана смањења могу бити постигнута на приступачан начин. У оквиру [28] предложене су вредности емисија и вредности потенцијалних смањења емисија сумпорних и азотних оксида, испарљивих органских једињења и амонијака (Таблица 6). Овде треба имати у виду да се приказане вредности не односе само на стационарне изворе, већ и на мобилне, тј. на утицај квалитета горива (нпр. садржаја сумпора) на укупне емисије. Осим тога, не сме заборавити ни планирана изградња термоенергетских постројења, дефинисаних у стратешким документима надлежних министарства, развојним плановима ЈП ЕПС и других јавних предузећа републичког и локалног нивоа. Само у сектору производње електричне енергије, предвиђена је изградња неколико термоенергетских јединица, укупне снаге од приближно 1750 MWel на колубарски и косточачки угљ, односно приближно 400 MWel на гасовита и течна горива, што ће имати утицај на укупне националне емисије.

Загађујућа материја	Нивои емисија		Горње границе емисија за 2010.	Горње границе емисија за 2020.	Смањење емисија за 2010. годину у процентима (у односу на 1990.)	Смањење емисија за 2020. годину у процентима (у односу на 1990.)
	1980	1990				
Оксиди сумпора	406	500	400	160	-20%	-68%
Азотни оксиди	200		170	175	-15%	-12,5%

**Таблица 6.** Прелиминарна анализа нивоа емисија наведених полутањана, горњих граница емисија и проценуална смањења (у хиљадама тона годишње)

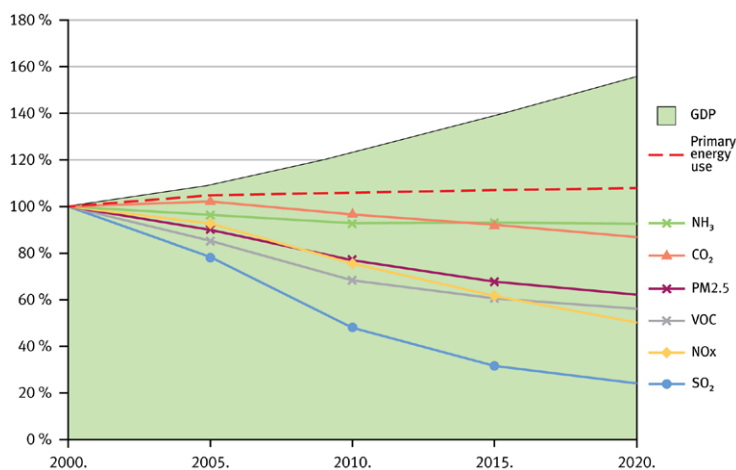
Спровођењем међународних протокола и ИППЦ Директиве (Директива 96/61) емисије SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, испарљивих органских једињења (VOC) и прашкастих материја (PM) на територији ЕУ значајно су смањене. На основу података метеоролошког центра установљеног у оквиру Програма сарадње за праћење и процену прекограничног преноса загађујућих материја у ваздуху на велике удаљености у Европи (European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP), у 2004. години укупне емисије SO<sub>2</sub> свих земаља потписница конвенције на географском подручју обухваћеном ЕМЕР моделом износиле су приближно 15 милиона тона. Наведена вредност укупних емисија представља смањење од 65% у односу на ниво емисија из 1990. године, чиме су, шест година пре рока, испуњени захтеви протокола у погледу прописане редукције емисија за период 1990–2010. година. Ипак, око 10% земаља које су ратификовале протокол мора спровести додатне мере како би своје емисије SO<sub>2</sub> усагласиле са захтевима протокола и одговарајућим емисионим лимитима дефинисаним за 2010. годину. Укупне емисије NO<sub>x</sub> су у периоду 1990–2004. година смањене за 30%, чиме су сведене на ниво од 18 милиона тона. Детаљна анализа фактора који су довели до за-

бележеног смањења емисија  $\text{SO}_2$  у Европи указује на чињеницу да је након потписивања Гетеборшког протокола, приближно 1/3 регистрованога смањења остварена као резултат реструктурирања великих индустријских постројења у земљама Европе. Додатна 1/3 смањења емисија реализована је као последица замене угља или нафте чистијим горивима, док је преостало смањење остварено применом мера контроле емисија штетних материја на крају производног циклуса (*end-of-pipe*) (Слика 30).



**Слика 30.** Емисије  $\text{SO}_2$  у Европи у периоду 1960 до 2020. године: избегнуће емисије у поређењу са хипотетичким нивоима услед раста потрошње енергије; смањење емисије је уследило увођењем додатних мера (*add-on*), али и изменама у квалитету горива и горивих мешавина, као и секторским променама (извор: IIASA) [28]

Пројекције извршене коришћењем GAINS модела, указују да ће, упркос очекиваном економском расту, емисије свих штетних материја и даље бележити тренд опадања, првенствено као последица структурних промена које се одвијају у секторима енергетике и пољопривреде, као и примене законске регулативе у области спречавања загађења и контроле емисија загађујућих материја у ваздух (Слика 31).



**Слика 31.** Приказ значајног смањења које се може постићи спровођењем постојећих прописа, осим у случају амонијака и  $\text{CO}_2$  (извор: IIASA) [28]





Међутим, с обзиром да је Гетеборшки протокол у фази ревизије, у наредном периоду се могу очекивати само већи изазови, како по питању ГВЕ, тако и по питању нових компоненти које ће бити под ограничењима (нпр. чврсте честице и сл.). У том циљу су и урађене нове процене емисија, потенцијални сценарији смањења и ефекти тих смањења по животну средину и здравље људи. ГАИНС модел је обухватио ЕУ 27 и 11 не-ЕУ земаља, укључујући и Србију. Узимајући у обзир усвојене националне прописе и потписане и ратификоване међународне уговоре из области енергетике и заштите ваздуха, израчунато је да би у 2020. години емисије сумпорних оксида могле бити снижене чак до 92 kt (базни сценарио), односно 55 kt (сценарио максималних смањења), а азотних оксида до 91 kt, односно 63 kt. Може се приметити да су ове вредности знатно испод оних које су приказане у Таблици 14, што Србију потенцијално ставља пред нове изазове, како техничке тако и финансијске природе. Једно од могућих решења у области енергетике је и примена Националног плана за смањење емисија из великих постројења за сагоревање. Осим тога, прорачун је обухватио и друге компоненте, као што су честице испод 2,5 µm, амонијак, испарљиве органске компоненте и сл., али оне, осим честица, углавном нису последица рада енергетског сектора [28].

На основу последњих прорачуна процењује се да укупни трошкови за испуњавање свих правних тековина ЕУ у области животне средине износе 10,6 милијарди евра (за период до 2030. године), од чега се на област индустријског загађења, квалитета ваздуха и климатских промена односе инвестициони трошкови од 1,3 милијарде евра. Само трошкови опреме за смањење емисије честица, азотних и сумпорних оксида износе више од 600 милиона евра, а укупни инвестициони трошкови неопходни за постизање захтева у складу са националним прописима у области ГВЕ у ваздух, односно Директиве ЕУ о великим постројењима за сагоревање (2001/80) приказани су у Таблици 7 [53]. У случају прихватања максималних смањења емисија дефинисаних ГАИНС моделом, само трошкови смањења емисије сумпорних и азотних оксида, честица испод 2,5 µm, амонијака и испарљивих органских компонента премашиће 2 милијарде евра, и то само за период до 2020. године.

Технички захтев	Инвестициони трошкови, милиони евра
Електрофилтри у ТЕ	37,5
Смањење емисије азотних оксида у ТЕ	47,7
Одсумпоравање у ТЕ	548,5
Технологије одлагања пепела у ТЕ	63,7
Градске топлане	227,1
Остали радови у ТЕ (15% укупних трошкова у ТЕ)	104,6
Укупно	1029,1

**Таблица 7.** Инвестициони трошкови за постизање циљева у складу са националним прописима, односно Директивом о великим постројењима за сагоревање (2001/80)



Значајан део трошкова представљају оперативни трошкови (оперативни и административни трошкови се за период до 2030. године процењују на приближно 700 милиона евра) за чије финансирање су потребна домаћа средства, било да је у питању државни буџет, средства приватног сектора или накнаде које су до скоро ишле у брзоплето угашен Фонд за заштиту животне средине. Оно што се мора разумети је да унапређена заштита животне средине у складу са захтевима правних тековина Европске уније даје економске користи кроз побољшање здравља људи и ниже стопе смртности и продужетак животног века људи, као и кроз смањење штете која се наноси пољопривреди и имовини услед загађења. Директне економске користи у области за период до 2030. године би требало да надмаше трошкове за скоро 2,4 пута.

Осим тога, Пред Републиком Србијом је велики изазов имплементације Европске шеме трговања емисијама гасова са ефектом стаклене баште (ЕУ ЕТС) у своје законодавство. Искуства других земаља, која се већ налазе у систему трговине емисијама, говоре да је потребна велика припрема како надлежних институција тако и самих оператера, пре отпочињања трговине емисијама. Стога првенствено треба радити на едукацији кадрова, те њиховом оспособљавању у складу са њиховим будућим улогама у овом ни мало једноставном, али јако ефикасном систему за смањивање емисија гасова са ефектом стаклене баште. Са становишта оператера ЕУ ЕТС представља нову обавезу према надлежним институцијама и свакако нови изазов на пољу заштите животне средине и одрживог развоја. Иако поред, чини се, релативно хомогене структуре енергетике и индустрије са гледишта врста инсталација које су извор гасова са ефектом стаклене баште, тренутна ситуација у Републици Србији говори другачије. У складу са тиме и релативни трошак смањења емисија разликоваће се од инсталације до инсталације [54].

Према томе, да би се побољшало садашње стање у Србији, неопходно је наставити са транспозицијом прописа ЕУ, као и међународних, глобалних докумената у национално законодавство, при чему сваку такву активност треба подвргнути врло прецизним и осетљивим технокономским анализама, са циљем утврђивања техничких могућности, трошкова спровођењ, оптерећења привреде и целокупног друштва, ефеката смањења и сл. Осим тога, неопходно је знатно унапредити постојеће административне капацитете, њихово знање и стручност, уз одговарајуће јачање одговорности свих структура и успостављање инфраструктуре неопходне за поштовање и спровођење прописа. Ово се не односи само на надлежне органе свих нивоа, него и на капацитет запослених у јавним предузећима и сличним компанијама и организацијама.

Овакав приступ је више него неопходан, с обзиром да су трошкови припреме и примене прописа из области животне средине прилично високи.

Управо је зато важно да се на оптималан начин испланирају активности како би се ограничени ресурси искористили на економичан, ефикасан и ефикасан начин, постижући тако најбољу вредност новца. Осим тога, потребно је формирати озбиљне, стручне, и технички и финансијски тимове стручњака који би у фази преговора могли да изборе и најбоље услове за земљу али и одговарајућа финансијска средства неопходна за спровођење нових прописа. Посебно треба обратити пажњу на прописе и захтеве који су тек у фази доношења и чије спровођење ће се тек одразити на националну економију, а посебно на енергетски сектор.

Стратешки циљеви у енергетици детаљно су наведени у Стратегији развоја енергетике Републике Србије до 2015. године [55] и у Програму остваривања Стратегије развоја енергетског сектора [56]. Упркос томе, као и учињеним великим напорима на побољшању стања у јавним предузећима, пре свега у ЈП ЕПС, енергетика у Републици Србији остаје кључно поље за инвестирање у унапређење животне средине, те главни правац кретања ка одрживом развоју. Осим тога, у изради је нова Стратегија енергетике која би требало да у потпуности одреди правце развоја овог сектора привреде у наредних двадесетак година, уважавајући како постојеће стање тако и стремљења националне привреде, европских стратешких докумената, међународних конвенција и протокола, и тиме сагледа све могућности енергетике Србије, и у сектору термоенергетике, обновљивих извора, нуклеарне енергије, енергетске ефикасности и сл. Међутим, и поред добре жеље ресорних министарства и саме владе, као и стручњака који раде на овом проблему, тешко је очекивати неки значајнији помак с обзиром да у Србији не постоје кључни договори око виталних питања као што су стратегија привредног развоја и будућност европских или неких других интеграција.

## РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] Evelyn, J., *Fumifugium; Or, the Inconvenience of the Aer and Smoake of London Dissipated (together with some remedies humbly proposed)*, London, 1661.
- [2] Boubel, R., Fox, D., Turner, B., Stern, A., *Fundamentals of Air Pollution*, 3<sup>rd</sup> ed., Academic Press, San Diego, California, USA, 1994.
- [3] Beer, M. J., Combustion technology developments in power generation in response to environmental challenges, *Progress in Energy and Combustion Science*, 26, p. 301–327, 2000.
- [4] Јовановић, В., *Истраживање могућности процене емисије сумпорних и азотних оксида из термоелектрана у Србији*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Машински факултет, 2012.
- [5] Стојиљковић, Д., *Образовање азотних оксида при сагоревању домаћих линишта у сирашеном стању*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, 1999.
- [6] Јововић, А., *Утицај састава и процеса прераде отпада на емисију полихлорисаних уљоводоника*, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, 2002.
- [7] Избор најбоље доступних техника (БАТ) исказаних кроз БРЕФ у термоелектранама и термоелектранама топланама – ИППЦ постројењима (Елаборат), Извештај бр. 506/707/2012, Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, 2012.
- [8] Thoma LB, Francisco C, Stanislas P, Sebastien C, Jacques B, Bernard B. Coal combustion modeling of large power plant for NOx abatement, *Fuel*, 86, 2213-2220, 2007.
- [9] Boyd, R. K., Nelson, P.F., McEwan, B.R., Nguyen, T.H., Review of NOx formation in PF combustion, Technical Assessment Report 15, Cooperative Research Centre for Black Coal Utilisation, Newcastle, Australia, 2000.
- [10] Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs), УНЕП, 2001.
- [11] IPCC, 1996: Ревидирано Упутство IPCC из 1996. године за националне инвентаре ГХГ, са пратећим софтвером (Revised 1996 IPCC guidelines for national GHG inventories)
- [12] Први извештај Републике Србије према Оквирној конвенцији Уједињених нација о промени климе, Министарство животне средине, рударства и просторног планирања, 2010.
- [13] Calvert, S., Englund, H., *Handbook of air pollution technology*, John Willey & Sons, 1984.
- [14] Кубуровић, М., Јововић, А., Каран, М., Станојевић, М., Радић, Д., Обрадовић, М., Миловановић, Ђ., *Граничне вредности емисија за ваздух*, Министарство иностраних послова Републике Финске, Министарство спољних послова Србије и Црне Горе, Ramboll-Finnconsult Oy, Espoo, Финска, Ramboll-Natura АВ, Стокхолм, Шведска, РЕЦ-Регионални



центар за животну средину, Београд, Министарство за науку и заштиту животне средине Републике Србије, Министарство за заштиту животне средине и уређење простора Републике Црне Горе, 2005.

- [15] ЕМЕР/ЕЕА emission inventory guidebook, 2009.
- [16] Method 19, Determination of sulfur dioxide removal efficiency and particulate, sulfur dioxide and nitrogen oxides emission rates, Code of Federal Regulations (CFR), Title 40: Protection of Environment, PART 60-Standards of performance for new stationary sources, Appendix A-7 to Part 60-Test Methods 19 through 25E, 2011
- [17] National Pollution Inventory, Emission estimation technique manual for Combustion in boilers, Version 3.6, Australian Government, December 2011
- [18] BAT referance dokument on Large Combustion Plants, July 2006
- [19] Key World Energy Statistics 2010, International Energy Agency, 2010
- [20] Енергија у Србији 2010., Министарство за инфраструктуру и енергетику Републике Србије, 2010.
- [21] Технички годишњак за 2010. годину, ЈП Електропривреда Србије, 2010.
- [22] Збирни енергетски биланс, Министарство за инфраструктуру и енергетику Републике Србије, Републички завод за статистику, 2010.
- [23] Извештај о стању животне средине у ЈП Електропривреда Србије за 2011. годину, ЈП Електропривреда Србије, Заштита животне средине, стр. 234, Београд, 2012.
- [24] Уредба о граничним вредностима емисија загађујућих материја у ваздух, Сл. Гл. РС 71/10
- [25] Directive 2001/80/EC on Large Combustion Plant
- [26] Извештај о стању животне средине у Републици Србији за 2011. годину, Агенција за заштиту животне средине, Београд, 2012.
- [27] Јововић, А., Радић, Д., Станојевић, М., Обрадовић, М., Тодоровић, Д., Радовановић-Јовин, Х., Георгијев, З., Вујић, Б., Шандин, З., Ђурић, Т., Попин, Д. (2011): Елементи животне средине, Ваздух, стр. 40-93, у Пузовић, С. и Радовановић-Јовин, Х. (едс.) *Животна средина у Аутономној покрајини Војводини: Стање-изазови-перспективе*, Покрајински секретаријат за урбанизам, градитељство и заштиту животне средине, Нови Сад
- [28] Национални акциони план за имплементацију и ратификацију Протокола о тешким металима, Протокола о дуготрајним органским загађујућим супстанцама и Гетеборшког протокола уз Конвенцију о прекограничном загађивању ваздуха на великим удаљеностима из 1979. Године, Министарство животне средине и просторног планирања Републике Србије, 2010.
- [29] Стојиљковић Д., Јововић А., Јовановић В., Манић Н., Миловановић Ђ., Петровић С., Rubov L., Гаврић М., Жбогар З.: Избор оптималног техничког решења постројења за одсумпоравање димних гасова на ТЕ „Костолац Б”, *Термотехника*, XXXV, 2, стр. 177-195, 2009.



- [30] Миловановић, Ђ., Стојиљковић, Д., Петровић, С., Јововић, А., Утицај улазних параметара на избор техничког решења постројења за ОДГ код постојећих термоелектрана ЕПС, *Зборник радова II међународне конференције термоенергетика и одрживи развој, ТЕНОР 2011*, стр. 138-147, Угљевик, 2011.
- [31] Стојиљковић, Д., Животић, Д., Миловановић, Ђ., Јововић, А., Манић, Н., Јовановић, В., Значај дефинисања референтних карактеристика угља за пројектовање система за ОДГ, *Зборник радова I симпозијума „ОДСУМПОВАЊЕ ДИМНИХ ГАСОВА”*, стр. 2-11, Привредна комора Србије, Палић, 2012.
- [32] Студија допунска геолошка истраживања на површинском копу Дрмно – III фаза, Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, 2008.
- [33] Стојиљковић Д., Јовановић В., Манић Н., Јововић А: Садржај хлора и флуора у угљу као утицајни чинилац на пројектовање постројења за одсумпоровање димног гаса, *Зборник радова међународног симпозијума Електране 2008*, Врњачка бања, 2008.
- [34] Обрадовић, М., Радић, Д., Јововић, А., Станојевић, М., Тодоровић, Д., Ћосић, И., Прорачун постројења за смањење емисије азотних оксида поступком СНЦР (Design of installation for nitrogen oxides emission reduction by SNCR technique), *Зборник радова са 23. међународног конгреса о процесној индустрији Processing 2010*, стр. 1-9 (број рада 32), СМЕИТС, Тара, 2010
- [35] Houshfar, E., Skreiberg, Ø., Тодоровић, Д., Skreiberg, A., Løvås, T., Јововић, А., Sørum, L., NOx emission reduction by staged combustion in grate combustion of biomass fuels and fuel mixtures, *Fuel*, vol. 98, p. 29-40, 2012
- [36] Ђурић, С., Станојевић, П., Ђаковић, Д., Јововић, А., Study on the effect of fractional composition and ash particle diameter on ash collection efficiency at the electrostatic precipitator, *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly CI&CEQ* (2010) vol. 16, No. 3, pp. 229-236, 2010.
- [37] Радић, Д., Обрадовић, М., Станојевић, М., Јововић, А., Стојиљковић, Д., A Study of the Grindability of Serbian Coal, *Thermal Science*, 15, 1, pp. 267-274, 2011
- [38] Национални имплементациони план за спровођење Стокхолмске конвенције, Министарство заштите животне средине и просторног планирања Републике Србије, 2010.
- [39] Карамарковић, В., Стефановић, П., Стевановић, В., Јанкес, Г., Јововић, А., Илић, М., Митрушић, Љ., Добријевић, Ч, Симовић, Ј., Мојик, И., *Стратегија примене механизма чистог развоја у енергетском сектору Републике Србије*, Министарство рударства и енергетике, Београд, 2009.
- [40] Robins, A. G., Apsley, D. D., Carruthers, D. J., McHugh, C. A., Dyster, S. J., Plume rise model specification, ADMS 3 documentation (P11/02N/05), Cambridge Environmental Research Consultants Ltd, 2005
- [41] User's guide for industrial source complex (ISC3) dispersion model –

- volume 1 – User instructions, 1995, and volume 2 – Dispersion of model algorithms, 1999
- [42] Студија о процени утицаја на животну средину увођења постројења за одсумпоравање димних гасова ТЕ Костолац Б, 541-3/707/МФ, Универзитет у Београду, Машински факултет, ИнСиту, Београд, WorleyParsons, USA, Енергопројект, Ентел, Београд, 2008.
- [43] Студија о процени утицаја на животну средину пројекта одсумпоравања димних гасова у ТЕ „Никола Тесла А”, Обреновац, 503/707/2012, Универзитет у Београду, Машински факултет, ИнСиту д.о.о., Београд, Рударски институт, Београд, Енергопројект Ентел, Београд, 2012.
- [44] Јововић, А., Стојиљковић, Д., Радић, Д., Тодоровић, Д., Обрадовић, М., Јовановић, М., Манић, Н., Миловановић, Ђ., Одсумпоравање димних гасова у термоелектранама на лигнитни угаљ – Анализа утицајних параметара и избор техничког решења, Процесна техника, 24, 1, стр. 12-17, 2012,
- [45] Јововић А., Станојевић М., Радић Д., Обрадовић М., Тодоровић Д., Јанкес Г., Стојиљковић Д., Јовановић В., Манић Н., Rubov L., Jackson K., Миловановић Ђ., Петровић С., Пашајлић П., Анализа расподеле емисије загађујућих компонената из новог „влажног” димњака ТЕ „Костолац Б” (Pollution distribution from new wet stack on TPP Kostolac B), *Термошехника*, XXXV, 3-4, стр. 231-249, 2009.
- [46] Национална стратегија за апроксимацију у области заштите животне средине Републике Србије, Београд, 2011.
- [47] Закон о заштити ваздуха, Сл. Гл. РС 36/09
- [48] Закон о интегрисаном спречавању и контроли загађења, Сл. Гл. РС 135/04
- [49] Directive 2001/81/EC on National Emission Ceilings for certain pollutants
- [50] The Republic of Serbia Informative Inventory Report to LRTAP Convention, Environmental Protection Agency, 2012
- [51] Јововић А., Законска регулатива из области заштите животне средине у Србији и обавезе индустрије, *Индустријска енергетика и заштитна животне средине у земљама Југоисточне Европе*, 22-26. јун 2010., Златибор
- [52] Јововић, А., Тодоровић, Д., Обрадовић, М., Радић, Д.: Спречавање и контрола индустријских загађења - ратификација Гетенбуршког протокола и обавезе домаће индустрије (Emission reduction and control – Ratification of Gothenburg protocol and obligations of national industry), *Зборник радова са Треће регионалне конференције Индустријска енергетика и заштитна животне средине у земљама југоисточне Европе – ИЕЕП 2011*, 21-25 Јуне 2011., Копаоник, ISSN 978-86-7877-022-7
- [53] Стратегија за апроксимацију за сектор индустријског загађења и буке за Републику Србију, 2012.
- [54] Тодоровић, Д., Јововић, А., Божанић, Д., Радић, Д., Обрадовић, М., Станојевић, М., Трговина емисија ГХГ као нова обавеза оператера – Регионална конференција о захтевима заштите животне средине и њиховом утицају на савремену менаџмент теорију и праксу-ЕСОМАН

- I, Факултет за менаџмент Сремски Карловци, Привредна комора Србија, Форум квалитета, Београд, 2012
- [55] Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2015. године, Влада Републике Србије, 2004.
- [56] Програм остваривања стратегије развоја енергетике Републике Србије до 2015. године, 2008.
- [57] Directive 2010/75/EU on industrial emission (integrated pollution prevention and control)

## ЗАХВАЛНИЦА

Рад је једним делом настао као резултат истраживања на пројекту Смањење аерозагађења из термоелектрана у ЈП ЕЛЕКТРОПРИВРЕДА СРБИЈЕ, бр. III 42010 и пројекту Правно-институционални одговор РС на потребу изградње одрживог система спречавања и контроле загађивања медија животне средине у контексту придруживања ЕУ, бр. 179072, Министарства просвете и науке Републике Србије Министарства просвете и науке Републике Србије.





# FOSSIL FUELS COMBUSTION: EMISSIONS AND TECHNICAL MEASURES FOR CONTROL

A. JOVOVIĆ, D. TODORVIĆ, D. RADIĆ  
M. STANOJEVIĆ, M. OBRADOVIĆ, N. KARLIČIĆ

*University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade,  
ajovovic@mas.bg.ac.rs*

## SUMMARY

The paper presents basics of fuel combustion and pollutant formation, with special consideration of electricity-generating combustion facilities in the Republic of Serbia i.e. coal fired thermal power plants.

Combustion of solid fuels is associated with emissions of various pollutants. In spite of considerable improvements made with respect to combustion efficiency as well as development and implementation of pollution treatment equipment, modern combustion facilities still represent one of the largest sources of harmful and dangerous pollutant emissions, both with respect to air pollution as well as water and soil pollution.



When discussing combustion technologies, combustion of pulverized coal represents a predominant coal combustion technology implemented in large power plants.

Calculation of pollutant emissions released as a result of different combustion processes is most commonly performed using specific emission factors. Although internationally adopted values of emission factors provide good basis for emission calculations, some situations require specific "national values" of emission factors to be determined. For example, due to its properties, lignite excavated in Serbian open pit mines is characterized by considerably lower net heating value, causing a calculated national emission factor to be higher than internationally recommended value (ranging from 28 to approx. 31 kg C/GJ).

Electricity generation facilities in the Republic of Serbia include thermal power plants (TPP), combined heat and power plants (CHP), hydropower plants (HPP) and industrial energy generation plants. Total installed capacity of all power plants operating within the Public Utility Enterprise in charge of power generation i.e. "Elektroprivreda Srbije" (PE EPS) equals 8,359 MW<sub>e</sub> i.e. 7,144

MW<sub>el</sub> without taking into account thermal power plants located in the Autonomous Province of Kosovo and Metohija. Total installed production capacity of each identified group of facilities is as follows:

- thermal power plants: 3,936 MW (with continuously increasing capacity as a result of numerous refurbishment measures),
- hydro power plants: 2,835 MW,
- combined heat and power plants: 353 MW,
- small-scale energy generation plants owned by PE EPS: 20 MW.

However, power generation activities carried out in the Republic of Serbia are accompanied by considerable environmental pollution, particularly air pollution caused by pollutants directly emitted from thermal power plants as well as those originating from ash disposal sites. Based on the late 2000 data, emissions of sulphur and nitrogen oxides, as well as particulate matters released from almost each thermal power plant in the Republic of Serbia have considerably exceeded the prescribed emission limit values. Disposal of fly and bottom ash and waste water treatment is not appropriately handled. Considerable investments have been made in numerous power plant reconstructions, mostly targeting dedusting systems and fly ash handling and disposal systems. Still, measures aimed at erection of flue gas desulphurization plants and nitrogen oxide reduction systems are yet to be implemented. The projects mentioned are particularly important having in mind that out of 408,800 t of SO<sub>2</sub> released from stationary sources in the Republic of Serbia during 2011, thermal power plants were responsible for 369,925 t of SO<sub>2</sub> emitted (218,725 t were emitted by facilities operating within the Corporate Enterprise TPP Nikola Tesla and 149,538 t were emitted by facilities operating within the Corporate Enterprise TPP Kostolac, both being constituent members of PE EPS).

While preparing the First National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change (2010), total national sulphure oxide emissions were calculated in order to account for emissions of oxides recognized as indirect greenhouse gases. Total sulphure oxide emissions recorded in 1990 were at the level of 490 Gg, with majority i.e. 95.1% (466 Gg) attributed to fuel combustion processes. Overall emission of nitrogen oxides in 1990 was calculated to be 208 Gg, with 197 Gg resulting from fuel combustion processes. Total emission of nitrogen oxides (without taking into account nitrogen suboxide emissions) in 1998 reached 165 Gg, emission of carbon monoxide equalled 446 Gg, emission of NMVOC equalled 113 Gg, while emission of sulphur oxides was 370 Gg. Due to predominant reliance on fossil fuels, national energy sector was identified as the major contributor to emissions of all indirect greenhouse gases, participating with 94,55% in total emissions of nitrogen oxides, with 70,32% in total emissions of carbon monoxide, with 64,35% in total NMVOC emissions and with 98,2% in total emissions of sulphur oxides.



Since any flue gas treatment system is expected to reduce pollutant emissions below legally prescribed emission limit values, as well as to enable that the said reduction is to be achieved for different quality of lignite used in the power plant, the paper presents procedure for defining reference coal characteristics, as well as demonstration of adopted procedure and results achieved in case of coal excavated in Open Pit Mine Tamnava Zapadno Polje. In general, selected reference coal characteristics enable flue gas parameters to be determined, where parameters deemed crucial for FGD system design - SO<sub>2</sub> concentrations and emissions are usually given particular attention. Emission values obtained in the case examined (900-2600 mg/m<sup>3</sup> in case of coal supplied from the Open Pit Mine Tamnava Zapadno Polje) showed that emission values determined in case of coal originating from the considered Open Pit Mine were as expected. However, results obtained have also indicated that the broad range of outlet SO<sub>2</sub> concentrations require quite flexible flue gas desulphurization system to be designed. The situation becomes even more complex if lignite excavated in other fields of the considered open pit mine, which have been found to have even higher sulphur content, is addressed. Emissions associated with combustion of lignite varieties characterized by higher sulphur content may lead to even higher emissions of sulphur oxides. Reference coal properties have a direct impact on design of crucial FGD system components (absorbers, limestone unloading and storage system, limestone slurry preparation system, gypsum handling system), which may affect both selection of appropriate technical solution and associated investment costs. This is particularly important when FGD plant needs to be integrated into existing power plant where limitation associated with available space may impose a considerable constraint for FGD plant layout. This was found to be the problem with integration of FGD plant into TPP Nikola Tesla A.

Halogen emissions, such as HCl and HF emissions, are important both when considered as compounds released into the atmosphere, as well as compounds which are found to be more reactive during the desulphurization process when compared to reactivity of sulphure oxides. For the said reason, halogen compounds must be removed through the use of appropriate treatment technology. Still, concentrations of 200 mg/Nm<sup>3</sup> in case of HCl and 20 mg/Nm<sup>3</sup> in case of HF, as measured in facilities burning coal excavated in Kolubara Coal Basin, do not represent considerably high values which would have an impact on FGD related mass balances. Concentrations of nitrogen oxides, carbon monoxide and particulates emitted from PE EPS over the last couple of years are presented in Figures 12-14. Efficiency of boilers utilized in PE EPS thermal power plants was found to be in line with BATs, whereby related specific fuel consumption is presented in *Table 2*. Thanks to the reconstructions of electrostatic precipitators carried out in the thermal power plants, particulate emissions are significantly reduced in most of the plants. In such manner, after all planned reconstructions of electrostatic precipitators are completed, total particulate emissions, which initially reached approximately 60,000 t/a

when considering all PE EPS thermal power plants, shall be reduced down to app. 6,000 t/a. Current level of particulate emissions released from stationary sources in the Republic of Serbia, as determined based on 2011 data, equal 24,870 t in total. With respect to unintentionally emitted POPs and PAH, a 2006 inventory of considered substances was assembled within the scope of Stockholm Convention National Implementation Plan (2010). Based on the inventory data, POPs and PAH emissions were determined to be as follows:

- dioxins and furans – 27.5% originated from the energy sector (total from all sectors equalled 397,99 g in 2006),
- PAHs – 59.1% originated from the energy sector (total from all sectors equalled 40,616 kg)
- PCBs – 55.3% originated from the energy sector (total from all sectors equalled 199.4 kg).

Emissions of greenhouse gasses represent a particularly important issue. Based on data provided in the GHG Emission Inventory, total quantity of considered gases released to the atmosphere in 1990 equalled 80,803 Gg CO<sub>2</sub>eq, without taking into account net removed quantities. The main portion of indicated emissions i.e. 78% or 62,776 Gg CO<sub>2</sub>eq represented emissions released from the energy sector. Total emissions recorded in 1998 equalled 66,346 Gg CO<sub>2</sub>eq, without taking into account net CO<sub>2</sub> quantities removed by the forest areas. Major portion of indicated emissions i.e. about 76% (50,549 Gg CO<sub>2</sub>eq) originated from the energy sector.

As presented above, total GHG emissions during the '90s of the last century were reduced when compared to the base 1990 emission levels. However, following 2001, a continuous increase in the GHG emission level has been recorded. Based on the estimates defined in the Base Scenario, total GHG emissions in 2015 are expected to reach a value equalling 120.41% of the 1990 emission level. Alternative Scenario predicts more moderate increase in GHG emissions, specifying that 2015 GHG emission level is to be 111.66% of the 1990 emission level (Figure 17).

By comparing GHG emission projections defined in the Base and Alternative Scenarios, it is concluded that GHG emission level expected to be reached in 2015 may be reduced by approximately 7 million tonnes of CO<sub>2</sub>eq. This reduction may be achieved primarily through the transfer of new and clean technologies, as well as provision of considerable investments that need to be secured through bilateral and multilateral cooperation.

In order to "match" measures implemented in order to fulfil requirements related to obligatory emission limits values with air quality control activities, calculation and modeling of pollutant dispersion in the atmosphere are used as the best tool currently available. Dispersion calculations/modeling enables



the stack height to be calculated or checked and atmospheric air pollutant concentrations to be determined. In order to examine effects of FGD plant construction and integration in TPP Nikola Tesla A and TPP Kostolac B on the ambient air quality, standard EPA AERMOD modeling software based on the Gaussian dispersion model has been used. Results presented in Figures 23-19 have been obtained by computer simulation and dispersion modeling of sulphur dioxide emissions released from units A1-A6 of TPP Nikola Tesla A and units B1 and B2 of TPP Kostolac B. The figures depict both the present state as well as the future state following the FGD plant integration into the plants considered.

Obligations imposed by national regulations as well as signed and ratified international agreements, require significant environmental protection measures to be carried out in Serbian power plants over the course of the next couple of years. The end result of these measures needs to enable Serbian thermal power plants to be granted integrated permits, necessary for their continued operation.

With respect to international obligations, Republic of Serbia has signed the Energy Community Treaty, therefore accepting to implement provisions of Directive 2001/80/EC on large combustion plants until the end of 2017. For the said reason, numerous activities have been initiated over the last years, with the most important projects still waiting to be implemented in the years ahead. Even more important is the fact that on 12 December 2009 the Republic of Serbia has submitted an official application to join the European Union, thereby formally initiating the EU accession process. Important aspects of this process concern the necessary harmonization of national legislation, organization of institutions and authorized bodies, as well as the working and operating principles which are to be brought into accordance with EU standards. Over the last decades, an important step forward has been made in the field of environmental protection in the Republic of Serbia, although the key technical improvements, which also represent financially the most challenging measures, are yet to be made. Serbia is still suffering from consequences of decades-long environmental degradation. For the said reason, NO<sub>x</sub> emissions per capita are 35% higher than in the EU, while SO<sub>2</sub> emissions per capita are more than 5.5 times higher than in the EU.

Having in mind that Gothenburg Protocol is presently under revision, even more challenging tasks may be expected in the future, both with respect to the more stringent emission limit values, as well as new compounds that are expected to be included in the list of substances with emission limitations (particulates and similar). For the said reason, new estimates of pollutant emission levels and potential emission reduction scenarios, aimed to reduce environmental impact of pollutant emissions and related effects on human health, have been made. Taking into account adopted national regulations

and signed and ratified international agreements in the field of energy and air protection, it was determined (GAINS model) that emission of sulphur oxides in 2020 could be reduced down to 92 kt (Base Scenario) i.e. 55 kt (Minimum Reduction Scenario), while emissions of nitrogen oxides could be reduced down to 91 kt i.e. 63 kt. The indicated values are significantly lower than the values proposed in National Action Plan for Implementation and Ratification of the Protocol on Heavy Metals, Protocol on Persistent Organic Pollutants and Gothenburg Protocol to the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution from 1979 (2010). This imposes additional challenges on the Republic of Serbia, both with respect to technical as well as financial actions that need to be taken.

Based on the most recent calculations it is estimated that total investment costs needed in order to meet all the requirements imposed by EU legislation in the field of environmental protection equal 10.6 billion Euros (for the period until 2030), with 1.3 billion Euros to be allocated to the fields of industrial pollution, air quality control and climate change. The costs of particulate, nitrogen and sulphur oxide emission reduction equipment require investments of 600 million Euros alone. In case that maximum emission reductions defined by GAINS model are to be adopted, reduction of nitrogen and sulphur oxide emissions, as well as emissions of particulates smaller than 2.5  $\mu\text{m}$ , ammonia and volatile organic compounds would require investments of more than 2 billion Euros, for the period until 2020 alone.

Apart from all of the above, Republic of Serbia is faced with a great challenge of introducing European Emission Trading Scheme (EU ETS) in the national legislation.

Accordingly, in order to improve the present situation in the fields considered, Republic of Serbia needs to continue with transposition of EU norms and requirements into national legislation, as well as transposition of provisions defined in numerous adopted and ratified international and global agreements and conventions. Each such activity should be assessed in detail techno-economic analysis so as to determine technical possibilities, implementation costs, economic and social burden, emission reduction effects and similar implementation aspects. In addition, it is necessary to significantly improve existing administration capacities, knowledge base and expertise, as well as to increase responsibility of all parties involved and develop infrastructure needed for the compliance with legal requirements to be achieved. This applies not only to authorities acting at different levels of the government, but to employees of public and similar companies and organizations as well.

Such approach is more than necessary having in mind that costs associated with preparation and implementation of regulations in the field of environmental protection are determined to be quite high. It is for that exact reason



why optimal activity planning is deemed crucial if limited resources are to be used in the most economical, effective and efficient manner, thereby enabling the best value for the money to be achieved. Apart from all this, it is necessary to gather reputable and competent technical and financial expert teams which would be able to negotiate the best national conditions for the accession to the EU, as well as to obtain funds necessary for implementation of newly adopted regulatory provisions. Special attention should be given to regulations and requirements which are presently under development, whose implementation is yet to reflect on national economy and particularly on the situation in the energy sector.