

8. УТИЦАЈ НЕОБНОВЉИВИХ И ОБНОВЉИВИХ ИЗВОРА НА КЛИМАТСКЕ ПРОМЕНЕ И ЖИВОТНУ СРЕДИНУ

АЛЕКСАНДАР ЈОВОВИЋ*

А п с т р а к т. – Процес производње и коришћења обновљивих и необновљивих извора енергије (експлоатација, транспорт, коришћење, третман остатка), утицај производних процеса на животну средину и климатске промене (закишељавање, емисије дуготрајних органских загађујућих компоненти и тешких метала, емисија гасова са ефектом стаклене баште, загађење мора и океана током транспорта, хемијско и топлотно загађење водотокова, бука и вибрације, прекомерне сече шума, страдање птица од ветропаркова), стратешкопланске и техничко-технолошке мере смањења утицаја, ризици и удесне ситуације и утицај на животну средину, социо-економске компоненте (ширење површинских копова и расељавање становништва, трошкови заштите животне средине и скривени трошкови заштите здравља људи, трошкови промене енергетске политике).

Кључне речи: енергија, емисија, загађење, горива, ваздух

1. УВОД

У последњих 50 година, загађење ваздуха је у индустријском свету претрпело огромне промене. После Другог светског рата најзначајније загађујуће компоненте урбаних подручја биле су сумпор-диоксид и чађ настали сагоревањем фосилних горива за производњу топлотне и електричне енергије. Овај проблем је у наредним годинама решаван пречишћавањем димних гасова и изградњом високих димњака. Са порастом броја возила загађење се померило на емисије азотних оксида и испарљивих органских једињења и формирање фото-хемијског смога, што је временом смањено

* Универзитет у Београду, Машински факултет, имејл: ajovovic@mas.bg.ac.rs

уградњом катализатора. У последње време, интересовање се померило у правцу честица малих димензија и појединих органских једињења, који су детектовани новим техникама у анализи загађења. Интересовање је обухватало, осим врсте, временски утицај и век трајања загађујућих компоненти, као и све већу географску проширеност деловања. У прво време пажња је била усмерена на прекогранични пренос загађујућих компоненти које током времена и у одређеним зонама утичу на животну средину, да би се затим пажња посветила оштећењима озонског омотача, као и утицају гасова са ефектом стаклене баште и климатским променама, и њиховом утицају на целокупну природу и свет у глобалу. Сви ови процеси одвијају се у танком слоју гасова који се налази око Земљине лопте, у атмосфери. Иако је смањење загађења најчешће усмерено само на један од ових ефеката, они су најчешће блиско повезани па их треба третирати као јединствен проблем.

Истраживање ових феномена данас је веома обимно и увек повезано са утицајем на здравље људи. Према различитим студијама и истраживањима, приближно 18.000 људи дневно прерано умре услед загађења ваздуха, што износи 6,5 милиона превремених смртних исхода годишње [1], а према неким извештајима и више од 8,3 милиона [2], што је према извештају Светске здравствене организације (енгл. World Health Organization, WHO) више од смртних исхода изазваних туберкулозом, саобраћајним незгодама и сидом заједно. Према истим истраживањима, загађење ваздуха се сматра четвртим највећим укупним ризиком по људско здравље, после високог крвног притиска, нездраве хране и пушења. Србија је, нажалост, на врху по смртности у Европи од последица загађења животне средине [3]. Тако загађење ваздуха постаје један од највећих трошкова за сваку привреду и једно од највећих загађења животне средине. Истраживања показују да је најважнији извор загађења ваздуха антропогеног порекла, производња и коришћење енергије. Ако се томе додају емисије из процеса сагоревања биомасе у кућним ложиштима, што је уобичајено за приближно 2,7 милијарди људи на свету, проблем постаје још већи. У исто време, енергетски системи имају витални значај у економском и друштвеном напретку било где у свету. Међутим, друштва са високим трошковима здравствене заштите, насталим као последица великог загађења ваздуха, не могу очекивати економски раст.

2. ОСНОВНИ ПОЈМОВИ ЕНЕРГЕТИКЕ

У области енергетике, користи се више термина:

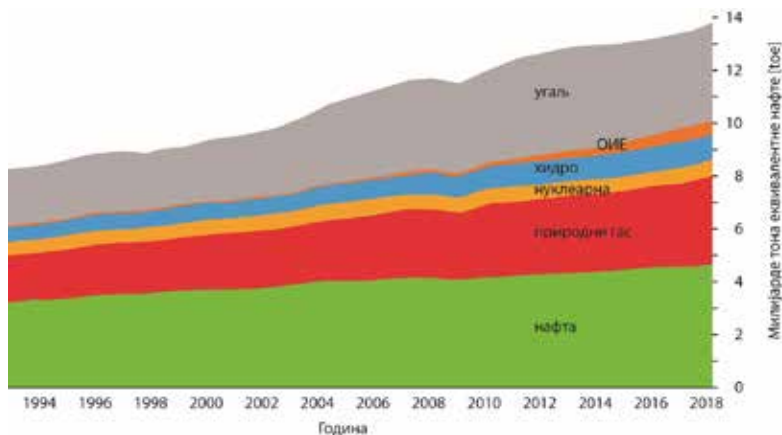
Извори примарне енергије – необновљиви и обновљиви (ОИЕ). **У необновљиве изворе енергије** спадају фосилна горива (чврста – угљеви, нуклеарна горива, и сл., течна – нафта и гасовита – природни и слични

гасови), а у **обновљиве**: сунчева, геотермална, хидро енергија, енергија ветра, плиме и осеке, морски таласи, биомаса, дрво и дрвени угаљ, отпад и продукти третмана отпада.

Укупна потрошња примарне енергије – најшири агрегатни показатељ потрошње енергије; са становишта извора балансира се као збир производње, нето увоза, промене залиха примарне енергије и нето увоза и промене залиха секундарне енергије; са становишта потрошње балансира се као збир финалне потрошње и потрошње приликом конверзије једног облика енергије у други (термин који се најчешће користи у релевантним документима је процес трансформација) (слика 1).

Финална потрошња енергије – део укупне енергије који је достављен потрошачима ван енергетског сектора, обухвата и енергетске производе који се користе као сировине.

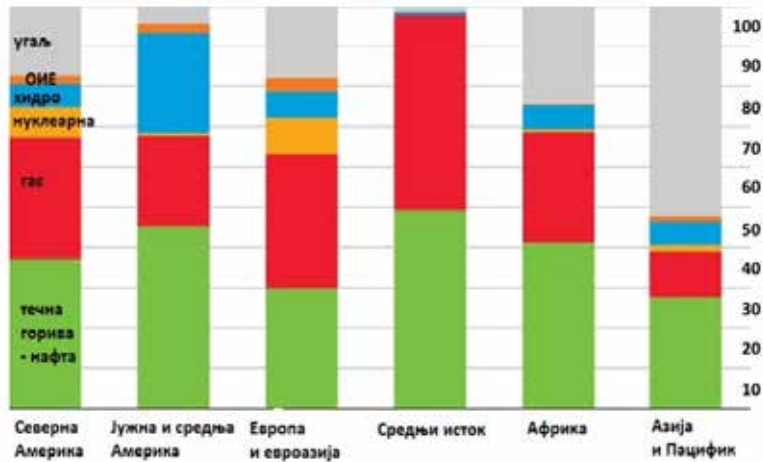
- **Категоризација и класификација енергетских резерви** – искористиве резерве могу се експлоатисати уз данашњу технологију, економски оправдано (скраћено *резерве*); у познате резерве, убрајају се све количине за које се може претпоставити да се налазе у познатим налазиштима којима су истражним радовима дефинисани квалитет и карактеристике лежишта (скраћено *ресурси*); укупне искористиве, познате резерве увећане за додатне или вероватне резерве које се добијају проценом (скраћено *пошеницијали*); годишња светска потрошња енергије износи приближно 0,5 ZJ (10^{21} J), а потврђене резерве фосилних горива износе: за угаљ 19,8 ZJ, природни гас 36,4 ZJ и нафту 8,9 ZJ.
- **Горива** – материје које сагоревањем (бурним сједињавањем са кисеоником), поред материјалних продуката процеса (продуката сагоревања), ослобађају одређену количину топлоте; да би се нека материја сматрала горивом потребно је да процесом сагоревања производи **знатну количину топлоте у кратком временском периоду**, да се у **природи** налази у **довољним количинама**, да је **експлоатација релативно лака и економична**, да је **производни процес технички остварљив** и рентабилан, да у себи **не садржи велику количину негоривих материја**, да **не мења битно свој састав** при складиштењу, транспорту и руковању [4].



Слика 1. Потрошња примарне енергије (по горивима) у свету, милијарде тона еквивалентне нафте (toe) [5]



Слика 2. Производња примарне енергије по горивима у свету, само комерцијална горива на светском тржишту (тј. без традиционалног коришћења биомасе) [5, 6]



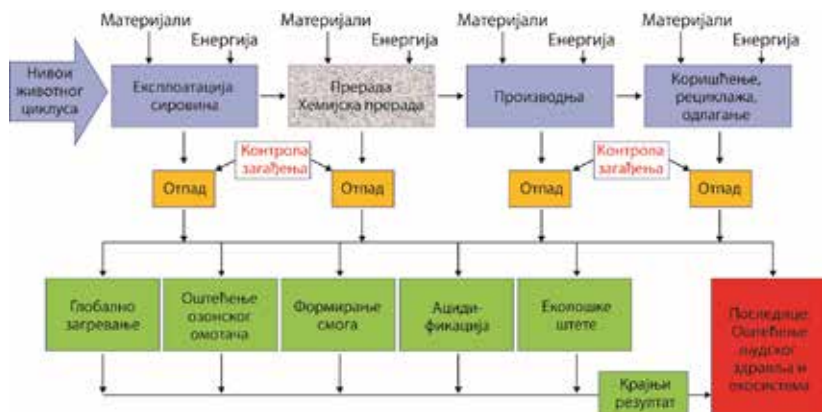
Слика 3. Потрошња примарне енергије (по горивима) по регионима, %, [5]

У складу са приказаном потрошњом Светски енергетски савет (енгл. World Energy Council) дефинисао је циљеве данашње енергетике:

- **Приступачност** – енергија мора бити доступна по ценама које су прихватљиве за све, али које омогућавају производњу, трансформацију и дистрибуцију, односно дају основу за даљи развој и одржавање енергетских система.
- **Расположивост** – континуално снабдевање енергијом у дугом временском периоду и са задовољавајућим квалитетом услуга.
- **Прихватљивост** – усклађености друштвених циљева и циљева заштите животне средине.

3. УТИЦАЈ ПРОИЗВОДЊЕ ЕНЕРГИЈЕ НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ

Практично сви енергетски извори и постројења имају већи или мањи утицај на околину. Не постоји еколошки потпуно чист извор енергије. Приликом производње примарне енергије најзначајнији утицаји настају при експлоатацији/производњи угља, уљних шкриљаца и нуклеарних сировина, док је мањи утицај експлоатације и коришћења течних горива и природног гаса и неких других извора енергије (слика 4 и табеле 1–5).



Слика 4. Шема утицаја фаза енергетског животног циклуса на животну средину [7]

Табела 1. Утицај употребе угља

Компоненте животне средине	Тип активности			
	експлоатација	прерада	транспорт	коришћење и одлагање
Атмосфера	подземна експлоатација нема утицај; површинска – емисија честица	емисија SO ₂ , и PAHs приликом прераде угљева у гасовита или течна горива	Емисије током транспорта	емисија SO ₂ , NOx, CO ₂ и чврстих честица
Хидросфера	загађење отпадним водама из рудника	загађење киселинама и металима; органска једињења настала добијањем „синтетичких горива”; муљеви	-	Загревање водотокова
Литосфера	заузимање земљишта за површ. копове	урушавање терена; одлагање шљаке	-	одлагање шљаке и летећег пепела
Утицај на људе	-	болести дисајних органа; опасности на рудницима	-	излагање емисији из сагоревања

Табела 2. Утицај употребе течних фосилних горива

Компоненте животне средине	Тип активности			
	експлоатација	прерада	транспорт	коришћење и одлагање
Атмосфера	емисија H_2S и $CmHn$ као резултат избијања на површину	емисија SO_2 , H_2S , CO_2 , NOx и $CmHn$ из рафинерија	-	емисија SO_2 , CO_2 и $CmHn$
Хидросфера	избијање на површину и прскање из бушотина на мору	избијање и прскање током бушења; загађење чврстим хемијским отпадом и отпадним водама из рафинерије	поморске несреће и хаварије танкера	загађење подземних вода процуривањем резервоара
Литосфера	избијање нафте на површину тла	избијање нафте на површину тла; одлагање муља	изградња нафтовода и хаварије на њима	одлагање отпадних уља и мазива
Утицај на људе	ремећење начина живота изградњом бушотина	ремећење рибарства	ремећење рибарства; коришћење земљишта	емисија $CmHn$ и $PAHs$ током сагоревања

Табела 3. Утицај употребе гасовитих горива

Компоненте животне средине	Тип активности			
	експлоатација	прерада	транспорт	коришћење и одлагање
Атмосфера	емисија гасова и H_2S током акцидентног избијања на површину	емисија SO_2 , H_2S и $CmHn$ из гасних постројења	-	емисија CO_2 и NOx
Хидросфера	избијање на површину	избијање и прскање током бушења; одлагање хемикалија	-	-
Литосфера	-	-	изградња гасовода и хаварије на њима	-
Утицај на људе	-	инциденти (удеси) са течним природним гасом; емисије H_2S	инциденти са течним природним гасом; рушење предела током изградње	-

Табела 4. Утицај хидроелектрана

Компоненте животне средине	Тип активности			
	експлоатација	прерада	транспорт	коришћење и одлагање
Атмосфера	-	-	-	-
Хидросфера	-	муљеве; промене у карактеристикама токова подземних и површинских вода	-	-
Литосфера	-	нестајање гла (одрони, клизишта), уништавање станишта животиња	далеководи	-
Утицај на људе	-	уништавање предела	-	-

Табела 5. Утицај нуклеарних електрана

Компоненте животне средине	Тип активности			
	експлоатација	прерада	транспорт	коришћење и одлагање
Атмосфера	-	инциденти; емисија радона из прераде руде	-	-
Хидросфера	-	инциденти; процедурне воде из прераде руде	-	термички ефекти
Литосфера	-	инциденти; контаминација приликом прераде руде	преносни (транспортни) путеви	одлагање истрошеног горива и отпада
Утицај на људе	-	инциденти и опасности од експлозија у постројењима за прераду	инциденти током транспорта горива	излагање отпаду; тероризам

Утицаји појединих обновљивих извора енергије (ОИЕ) су:

- Сунце – коришћење земљишта, губитак станишта, загађења током производње панела која су веома различита у зависности од врсте панела.
- Ветар – коришћење земљишта, утицај на птице и слепе мишеве, промена изгледа простора, штете током производње и изградње, вибрације и угрожавање станишта подземних животиња.
- Биогорива – емисије током гајења биомасе, промене намене земљишта, коришћење и загађење вода, коришћење агрохемијских средстава, ерозија.

У историјском смислу, извесно је да је прву примену имало коришћење дрвета, што би данас било у категорији обновљивих извора енергије. Међутим, не рачунајући ту најпримитивнију употребу, примена угља започела је још у Кини хиљаду година пре н.е., а масовнија употреба од 12. века у Енглеској. Од тада, па до половине прошлог века угаљ представља основни извор енергије. Примена нафте и природног гаса такође бележи почетке у Месопотамији пре 9.000 година, а гас у старој Персији и Кини пре око 2.200 године у религиозним ритуалима, са масовнијом применом од краја 19. века (патентирање мотора са унутрашњим сагоревањем, СУС, 1877. и дизел мотора 1897. године, односно изградњом првог гасовода у САД 1884. године). Развој примене нуклеарне енергије започео је 1942. године, а прва комерцијална електрана изграђена је 1956. у Великој Британији. Удеси у електранама Острво миље 1979. године, Чернобил 1986. године и Фокуши-ма 2011. године, значајно су успорили даљи развој нуклеарних капацитета за производњу енергије у мирнодопске сврхе.

Развој индустрије узроковао је пресељење становништва у градове, где је урбанизација (табела 6) довела до:

- Повећања стопе криминала,
- Изградње малих станова у пренасељеним четвртима (сламови) (слика 5),
- Повећан алкохолизам,
- Брже ширење болести,
- Загађење и прљавштину.



Слика 5. Илустрација пренасељености у великим индустријским градовима почетком 20. века

Табела 6. Утицај урбанизације на животну средину

Компонента животне средине	Компонента урбанизације			
	број становника и густина насељености	коришћење земљишта	транспорт	услуге
Атмосфера	повећана емисија CO ₂ , смањено настајање O ₂ , као резултат ширења градских средина крчењем шума	порастан средње температуре за већину урбаних средина	загађење ваздуха сагоревањем горива, стварање фото-хемијског смога, емисија олова из неких мотора СУС	емисије загађујућих компоненти из постројења за сагоревање, депоније отпада и сл.
Хидросфера	повећани захтеви за изворима воде	веће коришћење хидролошких ресурса што изазива веће загађење	падавине и површинске воде загађене оловом; загађење океана и река (пловни путеви)	загађење подземних вода процедним водама из депонија и канализације
Литосфера	повећано претварање обрадивог земљишта у урбано	велике промене због изградње објеката	уништавање предела изградњом путева и сл.	загађење тла депонијама отпада и сличним постројењима
Утицај на људе	психолошки утицаји начина живота у густо насељеним регионима	-	повећани ниво буке, здравствени проблеми због загађења ваздуха	-

4. ИЗВОРИ ЗАГАЂЕЊА ВАЗДУХА

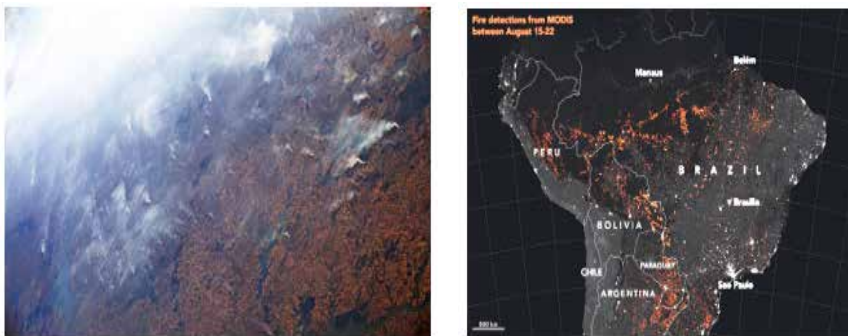
Загађујуће компоненте се у ваздух емитују из великог броја различитих извора, природног и антропогеног порекла (слика 6), који се деле и на стационарне и мобилне (слика 8):

1. пољопривреда;
2. постројења за сагоревање фосилних горива за производњу електричне и топлотне енергије, индустријска постројења, коришћење хемикалија, расхладних средстава;
3. природни извори, као што су вулкани, ветрови јаке снаге, шумски пожари (слика 7);
4. управљање отпадом;
5. транспортна средства;
6. становништво.



Слика 6. Извори загађења ваздуха [8]

1 – приближно 90% свих емисија амонијака и 80% метана потиче из пољопривредних активности; 2 – приближно 60% сумпорних оксида потиче из производње и дистрибуције енергије; 3 – многи природни феномени, укључујући вулканске ерупције и пешчане олује су извори емисија у атмосферу; 4 – депоније отпада, рудници угља, транспорт природног гаса су извори емисије метана; 5 – више од 40% емисије азотних оксида и најситнијих честица потиче из друмског транспорта; 6 – сагоревање горива је највећи извор загађења ваздуха, од домаћинства до употребе горива у енергетске или производне сврхе и саобраћај



Слика 7. Мапа активних пожара у Амазонским шумама током 2019. године (фотографија се односи на период 15–22. августа 2019. године) (Image©NASA Earth Observatory/Joshua Stevens)

На претходној слици види се огромна површина захваћена са више од 40.000 пожара, у којима је, у периоду јануар-октобар 2019. године, изгорело 906.000 хектара растиња. Сервис ЕУ о климатским промена „Коперник“ (енгл. Copernicus Climate Change Service) известио је тада о „приметном скоку емисије угљен-моноксида и угљен-диоксида насталих пожарима“ (<https://climate.copernicus.eu/>).



Слика 8. Подела извора загађења ваздуха на стационарне и мобилне [8]

CO – угљен-моноксид, CO₂ – угљен-диоксид, SO₂ – сумпор-диоксид, NO – азот-моноксид, NO₂ – азот-диоксид, SO₃ – сумпор-триоксид, HNO₃ – азотна киселина, H₂SO₄ – сумпорна киселина, H₂O₂ – водоник-пероксид, O₃ – озон, PAN – пероксиацетилнитрат (саставни део смога), NO₃⁻ и SO₄²⁻ соли – соли азотне и сумпорне киселине

Једном када се испусте у атмосферу, загађујуће компоненте се подвргавају бројним физичким и хемијским променама док се временом депонују на земљиште, вегетацију и у водама, или их удишу људи и животиње. Утицај се повећава приликом појаве тзв. температурне инверзије (појава пораста температуре у релативно танком слоју ваздуха уместо уобичајене појаве снижавања), када се загађујуће компоненте задржавају у нижем слоју атмосфере.

5. ТРАНСПОРТ И ЕФЕКТИ ТРАНСПОРТА ЗАГАЂУЈУЋИХ КОМПОНЕНТИ У АТМОСФЕРИ

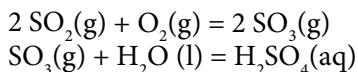
Један од најпознатијих ефеката загађења ваздуха је формирање смога, углавном у градским срединама (слика 9).



Слика 9. Формирање смога

NO_x – азотни оксиди, VOC_s – испарљива органска једињења

Смог представља токсичну мешавину дима (енгл. *smoke*) и магле (енгл. *fog*), и овај израз први пут је коришћен 1905. године. Разликују се две врсте смога: индустријски и фотохемијски. Индустријски смог обично настаје приликом сагоревања горива која садрже сумпор. Приликом сагоревања формира се сумпор-диоксид (SO_2) који у гасовитом стању или адсорбован на чврстим честицама бива емитован у атмосферу. У присуству влаге (воде) у ваздуху долази до хемијских реакција формирања сумпорне киселине:



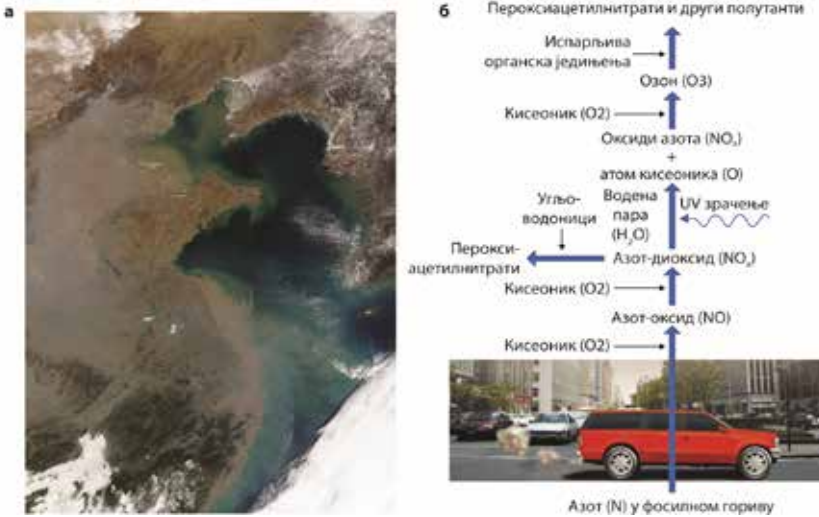
Сумпорна киселина је корозивна и напада бронхијалне делове организма, а посебно је штетна за људе оболеле од астме и сличних болести.

Фотохемијски смог је гас браонкасте боје (слика 10а) који обично настаје изнад великих градова и у хемијском смислу представља азот(IV)-оксид, NO_2 . Настаје оксидацијом азот(II)-оксида, компоненте која је продукт сагоревања, а у градовима најчешће као производ процеса сагоревања горива у моторима транспортних возила. Да би настао фотохемијски смог потребно је да буду задовољени следећи услови:

- Присуство сунчеве светлости
- Температура околног ваздуха релативно висока за одређено доба године
- Присуство азотних оксида
- Присуство испарљивих органских једињења.

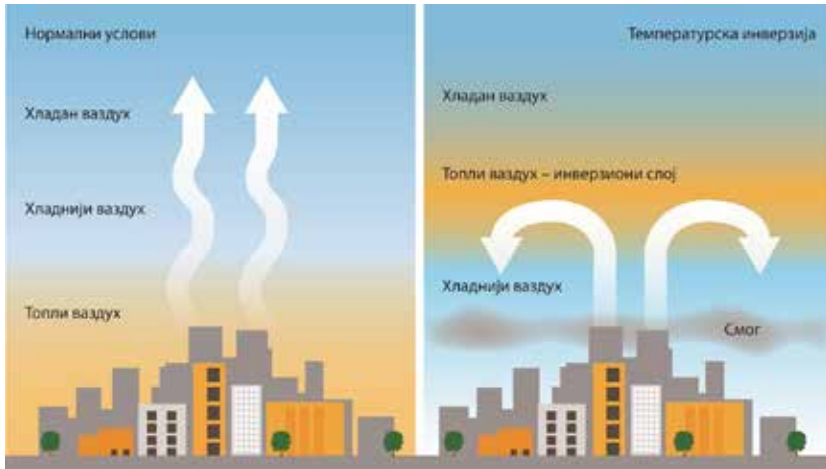
Азотни оксиди и испарљива органска једињења ступају у реакцију при наведеним условима формирајући пероксиацетилнитрат (ПАН) и друге компоненте, од којих је једна и приземни озон (енгл. *ground-level ozone*)

(слика 10б). Приземни озон је безбојан и иритантан гас, и за разлику од стратосферског озона има веома штетно дејство на здравље људи и усева. Управо због свог великог утицаја на усева, означен је као опасност за глобалну сигурност у области хране [9]. Међутим, управо у неразвијеним и земљама у развоју, где је производња хране кључна за даљи развој, највише су и концентрације озона у околном ваздуху. Процењује се да су годишњи губици у пољопривреди услед загађења озоном у Индији приближно 3,5 милиона тона мање произведене пшенице и 2,1 милион тона пиринча, количина довољних за прехрану 90 милиона људи [10].



Слика 10. а) Сателитски снимак фотохемијског смога изнад Азије; б) Шема формирања фотохемијског смога (Према: Broos/Cole, Cengage Learning)

Недостатак струјања ваздуха и мале промене температуре са висином у приземном слоју ваздуха утичу на то да се чврсте и гасовите загађујуће компоненте слабије преносе у више ваздушне слојеве, већ остају заробљене у нижим. При тим условима загађујуће компоненте се таложе у нижем слоју ваздуха, при чему им с временом концентрација расте превазилазећи све прописане дозвољене границе. Такође, инверзије температуре доводе још до једног ефекта, тј. смањене видљивости услед присуства страних примеса у облику суспензија, у приземном ваздушном слоју. Магле и сумаглице јављају се управо за време инверзија температуре, и тада је видљивост у границама од неколико десетина метара до 2–3 километра (слике 11 и 12).

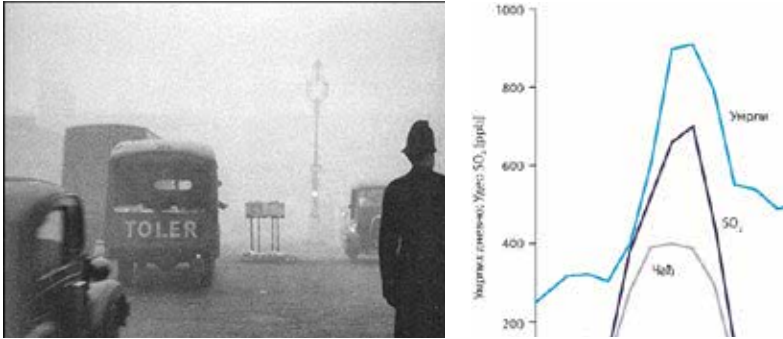


Слика 11. Појава температурске инверзије



Слика 12. Фотографије Сијетла у САД и Београда, без и са појавом фотохемијског смога

Овакви екстремни облици урбаног загађења ваздуха називају се епизоде, и могу трајати од неколико часова до више дана, када се бележе веома високе концентрације загађујућих компоненти. Најпознатији такав случај забележен је у Лондону 1952. године када је у веома кратком временском периоду од последица загађења умрло више хиљада људи (слика 13).



Слика 13. Епизодно загађење у Лондону 1952. године и последице [11, 12]

Иако се за већину врста загађења животне средине може рећи да је, по пореклу, локалног карактера, или бар националног, загађење ваздуха је најчешће прекограничног типа, па се транспорт загађујућих компоненти може сматрати:

- Локалним ~ 5 km,
- Урбаним ~ 50 km,
- Регионалним ~ 50–500 km,
- Континенталним ~ 500–1000 km,
- Глобалним – интерконтинентални транспорт.

Из разлога што поједине компоненте имају дуг век трајања у атмосфери и преносе се на велике раздаљине, оне могу имати и утицај на глобалну климу и време. Процеси који се при томе одвијају доводе до неколико глобалних феномена са огромним штетним утицајем на квалитет ваздуха.

Седамдесетих година прошлог века, сагоревање отпада у тадашњим постројењима довело је до открића емисија веома сложених органских једињења из групе тзв. ненамерно емитованих дуготрајних органских загађујућих супстанци, ПОПс, (енгл. persistent organic pollutants, POPs). ПОПс су у прво време сматрани изузетно корисним техничким производима (нпр. DDT, РСВ уља и сл.), али је убрзо утврђено да су веома отпорни на фотолитичку, хемијску и биолошку деградацију, што омогућава да у животној средини остану неразграђени дуго времена. Услед своје делимичне испарљивости, лако се транспортују кроз атмосферу на велике удаљености (слика 14). Све ове особине обезбеђују широку распрострањеност ових једињења у животној средини, чак и у оним регијама у којима никада нису биле коришћене.



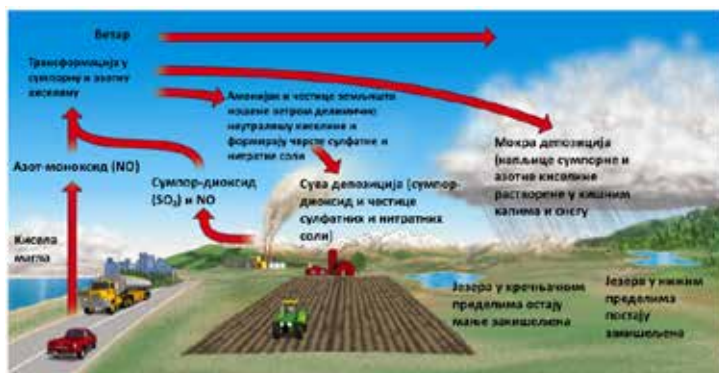
Слика 14. Пример транспорта ПОПс у атмосфери услед разлика у испарљивости; испарљиве супстанце: B[a]P – бензо-пирен, DDT – инсектицид дихлор-дифенил-трихлоретан, HCB/HCH – пестициди хексахлоробензол/хексахлороциклохексан, CFC/HCFC – фреони, хлорофлуороугљоводоник/хидрохлорофлуороугљоводоник [13]

Огромна распрострањеност, и веома штетне карактеристике по здравље људи (потенцијална канцерогеност и мутагеност) довела је до потребе за акцијом на глобалном нивоу. Као одговор међународне заједнице за системско глобално решење ових проблема, донета је Стокхолмска конвенција о ПОПс хемикалијама [14], као и Протокол о дуготрајним органским загађујућим супстанцама, уз Конвенцију о прекограничном загађивању ваздуха на великим удаљеностима из 1979. године [15].

Међутим, много већа пажња посвећена је киселим кишама седамдесетих година прошлог века, као регионални, па онда и континентални проблем, иако се помињу у неким чланцима још 1858. године. До њих долази када оксиди сумпора и азота, настали процесом сагоревања фосилних горива, реагују са водом (воденом паром) у атмосфери, формирајући капљице сумпорне и азотне киселина (слика 15 и 16).

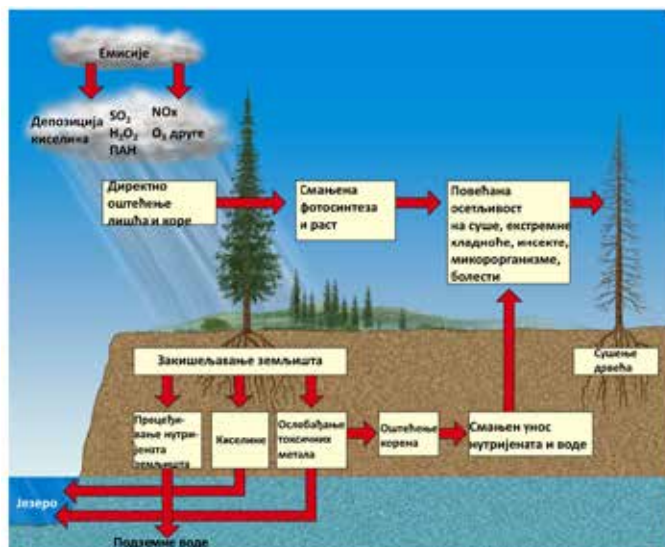


Слика 15. Настајање киселих киша и закишељавање предела



Слика 16. Настајање киселих киша и закишељавања животне средине (Према: Broos/Cole, Cengage Learning)

Падавине до којих у овом процесу долази неминовно доводе до загађења и оштећења вода, шума и земљишта (слика 17).



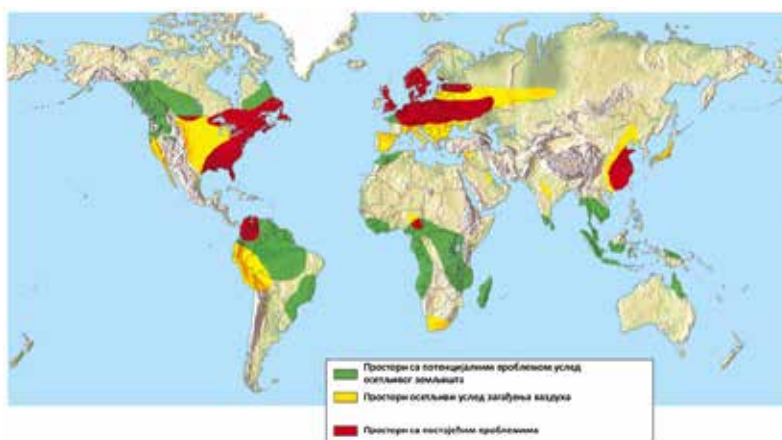
Слика 17. Утицај киселих киша на биљни свет, земљиште и воде (Према: Broos/Cole, Cengage Learning)

У периоду од тридесетих до седамдесетих година прошлог века, потпуно су ишчезле поједине рибаље врсте из више од 500 од 5.000 језера у Адирондак планинама, САД [16] и осушиле су се бројне шуме Европе [17], САД и Канаде. Осим штета у природи, киселе кише остављају бројне последице на споменицима културе (слике 18), грађевинским објектима, а посебно на људско здравље [18].



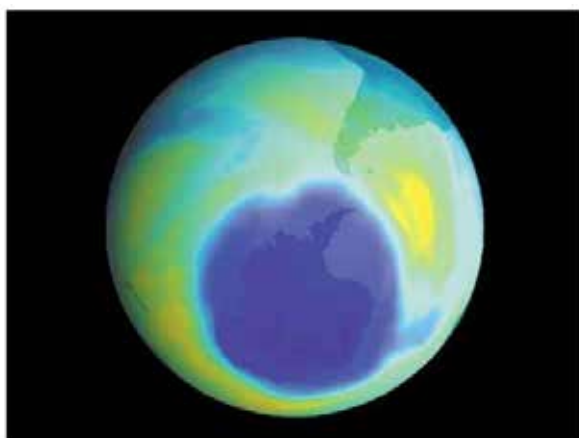
Слика 18. Штете на споменицима културе као последица закишељавања (глава скулптуре *Победник*, Иван Мештровић, Калемегдан, Београд, 1928. година, пре и после чишћења 2019. године)

Управо појава да је емисија штетних гасова, настала у једном делу континента, условила појаву киселих киша у другом делу, или чак стигла до другог континента, довела је до формирања и спровођења Конвенције о прекограничном загађењу ваздуха на великим удаљеностима (енгл. The Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, CLRTAP) [19] и Протокола о смањењу ацидификације (закишељавања), еутрофикације (појава тзв. цветања воде) и приземног озона (Гетеборшки протокол) [20]. Међутим, и даље су поједине области потенцијално веома угрожене киселим кишама (слика 19).



Слика 19. Потенцијално угрожена подручја услед ефекта закишељавања (Према: Broos/Cole, Cengage Learning)

Приближно у истом периоду, тј. седамдесетих година прошлог века, појавиле су се прве назнаке оштећења озонског омотача, чије је присуство на висинама изнад 12 km од тла кључно за апсорпцију сунчеве светлости високих фреквенција (ултраљубичаста светлост; engl. *ultraviolet*, UV), која је штетна за живи свет на Земљи, тиме што повећава ризик од карцинома коже, слаби имуни систем, оштећује водене системе и усеве. Супстанце које оштећују озонски омотач (ОДС) су халогени гасови који садрже хлор и/или бром и имају потенцијал за разградњу озона у стратосфери, а користе се у расхладним средствима (CFCs гасови), средствима за широку потрошњу, и сл. Коришћење ових хемикалија и њихова емисија у атмосферу, довела је до смањења садржаја озона у атмосфери и проширења тзв. „озонских рупа“ (слика 20).



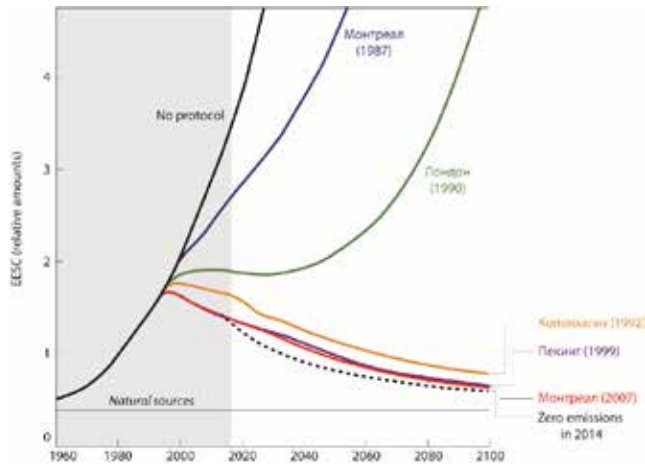
Слика 20. Озонска рупа изнад Антарктика, 17. 9. 2001. године.
(Извор: NASA/Goddard Space Flight Center)



Слика 21. Оштећење озонског омотача (стратосферског озона)

Из тог разлога, а у циљу спречавања даљег оштећења озонског омотача, донесена је Бечка конвенција [21], а затим и Монреалски протокол УН којим су ове супстанце стављене ван производње и на ограничено коришћење [22]. Доношењем наредних конвенција и протокола, поштрени су услови коришћења, па многи произвођачи данас користе алтернативне супстанце, тако да се количина употребљених ОДС константно смањује, уз

очекиван потпуни престанак њихове производње и коришћења (слика 22). После значајног смањења концентрације озона и раста озонске „рупе“, последњих петнаестак година дошло је до пораста концентрације и смањења површине оштећења (слика 23).



Слика 22. Утицај међународних конвенција и протокола на емисију ОДС [10]



Слика 23. Концентрација озона и површина озонске „рупе“ [10]

Међутим, жеља за смањењем и могућом елиминацијом коришћења ОДС довела је и до још једне користи, тј. смањења емисије гасова са ефектом стаклене баште (енгл. Greenhouse gas, ГХГ). Разлог лежи у чињеници да поједине ОДС имају тзв. потенцијал глобалног загревања (енгл. global warming potential, GWP) и до 10.000 пута већи од најпознатијег ГХГ, угљен-диоксида, чија је вредност GWP једнака 1. Тако чак и веома мале концентрације емитованих ОДС имају значајан утицај на смањење ефекта стаклене баште. Нека истраживања показују да је ефекат примене Монреалског протокола у борби против климатских промена већи пет до шест пута од ефеката примене Кјото протокола. [23, 24].

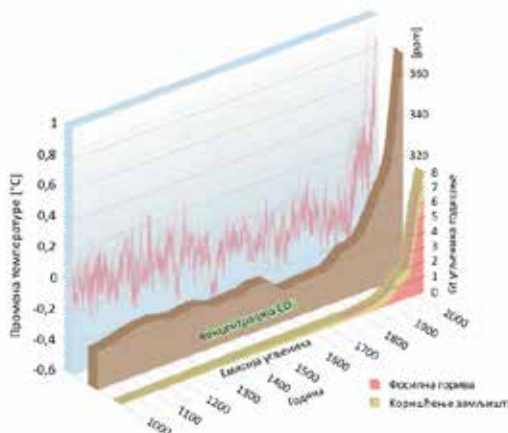
Сада се може уочити да посебан значај представља повећана емисија гасова са ефектом стаклене баште, што доводи до глобалног загревања. Поред азота и кисеоника, ови гасови, у које се убрајају водена пара, угљен-диоксид, метан, азотни оксиди, озон и други гасови, уобичајено су присутни у атмосфери, и обезбеђују да температура површине планете буде виша за приближно $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ него што би иначе била, чиме се омогућава живот на Земљи.

Међутим, од почетка индустријске револуције до данас, уочено је значајно повећање њихове концентрације, као последица људског деловања (слика 24). Посебно је порасла емисија CO_2 услед сагоревања фосилних горива и нестајања шума, али и емисија метана услед развоја пољопривреде (слика 25).



Слика 24. Настајање и емисија гасова стаклене баште, ГХГ, и њихов утицај

У циљу обезбеђивања поузданих научних сазнања о климатским променама, формиран је Међународни панел за климатске промене, који је до сада објавио више извештаја о стању ствари у овој области. У свом петом Извештају категорички се закључује да су климатске промене стварне и да им је главни изазивач људска ативност [25]. Указано је да је глобална температура виша за $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ у односу на преиндустријски период, што узрокује бројне, све веће проблеме по одрживи развој [26].

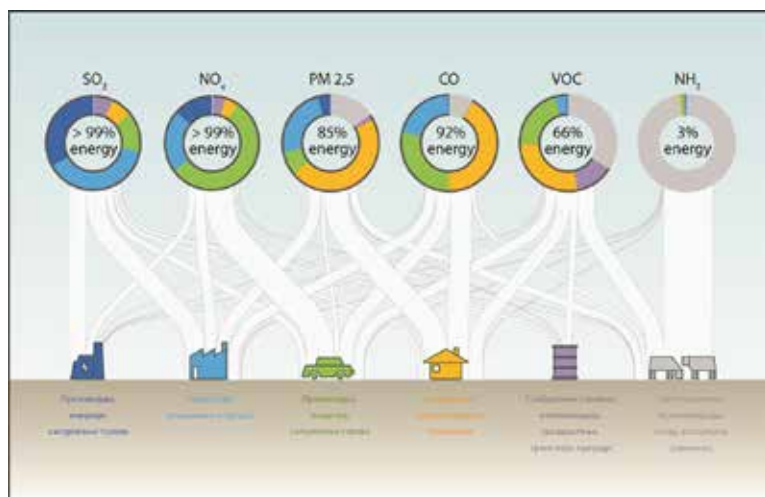


Слика 25. Промене емисије угљеника, температуре и концентрације CO_2 у атмосфери током последњих хиљаду година [11]

Као и у другим случајевима, показује се да је неопходно глобално деловање, тј. формирање међународних правила у циљу спречавања даљег пораста емисије. На Светском самиту 1992. године настала је Оквирна конвенција УН о климатским променама (енгл. *United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC*) [27], као први корак у потенцијалном решавању насталог проблема. Даљим преговорима дошло се до Кјото протокола, 1995. године [28], који је обавезао развијене земље на смањење емисије. Недовољна посвећеност смањењу емисије довела је до доношења Париског споразума, 2015. године, чији је централни циљ јачање глобалног одговара на климатске промене, одржавањем раста глобалне температуре на испод 2 °C у односу на преиндустријски период, уз потенцијал ограничења на 1,5 °C. У супротном, убрзани пораст температуре у наредном периоду, могао би довести до неповратних штета до 2100. године, када ће се постојеће климатске промене озбиљно осећати у свима деловима света, изражене као учестале поплаве, суше, јака невремена, пораст нивоа мора, поремећаје у екосистемима.

6. УЛОГА (ТЕРМО)ЕНЕРГЕТИКЕ У ЗАГАЂЕЊУ ВАЗДУХА

Енергетски сектор обухвата класичну термоенергетику, коришћење горива у индустрији, транспорт и резиденцијални сектор, тј. производњу енергије, конверзију и коришћење, односно целокупни ланац од експлоатације до коришћења. Као такав, овај сектор је далеко највећи антропогени извор загађења ваздуха. Загађење потиче углавном из процеса сагоревања фосилних горива у производњи електричне и топлотне енергије и индустријским постројењима, али и из процеса експлоатације свих врста горива и њиховог транспорта и индустријске прераде (слика 26). Производња и коришћење енергената, углавном из лоше контролисаног процеса сагоревања, одговорно је за више од 85% свих емисија честица и скоро целокупну емисију сумпорних и азотних оксида.

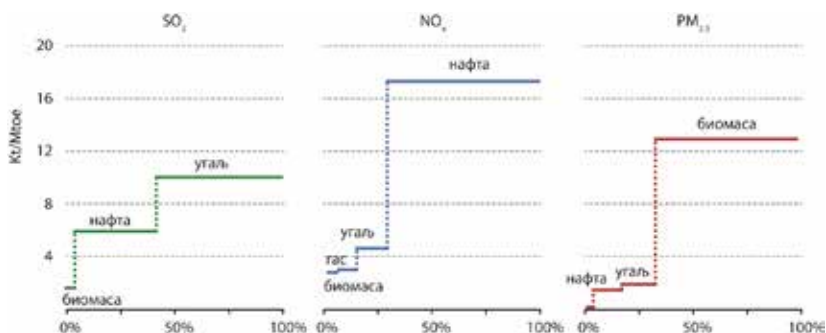


Слика 26. Извори емисије примарних загађујућих компоненти [1]

Процес сагоревања представља конверзију хемијске енергије горива, изузетно брзим процесом оксидације, у топлотну енергију, уз светлосни ефекат [29–31]. Процес сагоревања зависи од:

- састава горива,
- начина и квалитета мешања горива и ваздуха,
- конструкције горионика/коморе за сагоревање (ложишта),
- услова размене топлоте са околином.

У 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. Ови производи могу бити испуштени директно у атмосферу, као већ формиране загађујуће компоненте (примарна емисија) или поједине загађујуће компоненте могу настати накнадно као резултат хемијских реакција уз присуство различитих прекурсора. У зависности од врсте горива, ослобађају се различите загађујуће компоненте у различитим нивоима, па се квалитет појединих горива може поредити коришћењем тзв. емисионог фактора (слика 27).



Слика 27. Емисија појединих загађујућих компоненти сведена на милион тона еквивалентне нафте [1]

Релације између горива, начина коришћења и насталих емисија из тих процеса нису једнозначне. Не емитују сва горива све загађујуће компоненте, па се и квалитет горива може на тај начин оцењивати. Такође, удео ових компоненти се може значајно смањити припремом горива пре сагоревања (нпр. прање горива, хомогенизација и сл.), самим процесом сагоревања (нпр. утицај температуре сагоревања) или процесима после процеса сагоревања (нпр. каталитичка конверзија и сл.). То значи да нема јединичног нивоа емисија по јединици сваког горива, већ, много чешће, широког опсега који зависи од претходно поменутих променљивих карактеристика и горива и процеса. И поред тога, јасно је да нека горива ипак имају одлучујућу улогу у емисијама појединих компонента, као што је угаљ у емисији сумпор-диоксида или течна фосилна горива у емисијама азотних оксида или биомаса у емисијама честица.

Према Специјалном извештају Међународне агенције за енергију из 2016. године [1], укупан енергетски сектор је у 2015. години емитовао нешто више од 80 милиона тона SO₂, од чега више од 45% из индустријских постројења и око 33% из класичног термо-енергетског сектора. Једна четвртина емисија потиче из Кине (22 милиона тона), у којој на индустријска постројења отпада приближно 2/3 укупних емисија, с обзиром на то да је класична термоенергетика значајно смањила емисије уградњом одговарајуће опреме за одсумпоравање димних гасова. Следећи највећи емитер је Индија са приближно 9 милиона тона, где се развој супротставља регулаторним напорима у циљу смањења емисија првенствено из постројења која као гориво користе угљеве.

У погледу емисије азотних оксида на светском нивоу, енергетски сектор доминира, уз стални пораст емисије. Током 2015. године емитовано је 107 милиона тона NO_x, и то из транспорта 50%, индустрије 26% и класичне термоенергетике 14%. Међутим, пораст емисије у многим земљама у развоју веома је брз, и тај пораст далеко превазилази смањења остварена у

многим развијеним земљама. Једна трећина свих емисија потиче из Кине (23 милиона тона) и САД (13 милиона тона), при чему је, за разлику од других земаља, у Кини највећи емитер индустријски сектор.

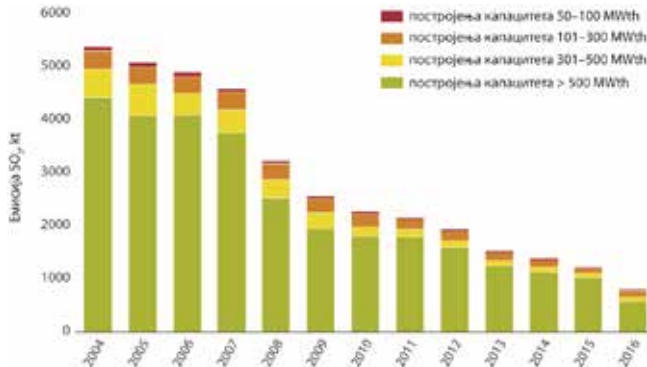
Када су честице у питању, више од половине глобалне емисије, која износи приближно 30 милиона тона, потиче из резиденцијалног сектора, тј. домаћинства, односно кућних ложишта. Приближно 80% емисије потиче из Африке и Азије (Кина и Индија углавном), и везује се за неквалитетно сагоревање енергената у домаћинствима, првенствено за припрему хране (биогорива), грејање (биогорива и угаљ) и осветљење (течна горива).

Из многих разлога, примарни загађивачи ваздуха се често карактеришу као локални, док се секундарни полутанти и озон најчешће третирају као прекогранични или глобални феномен, иако то, као што је већ објашњено, није случај.

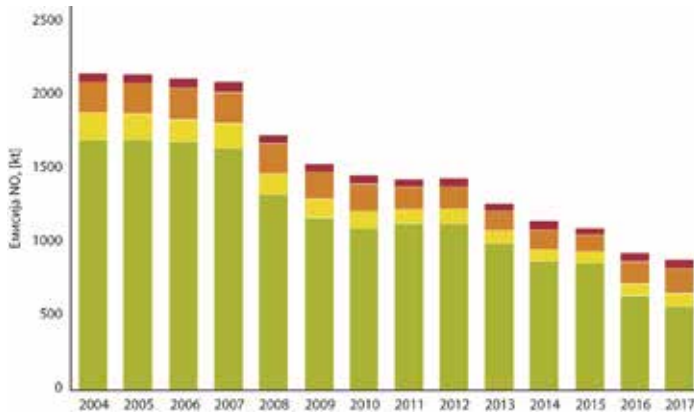
Међутим, јасно се може сагледати да су, у области термоенергетског сектора, велика постројења за сагоревање (енгл. *large combustion plants*), која се углавном користе за производњу електричне енергије и топлотне енергије у даљинским системима грејања, највећи емитер загађујућих компоненти, одговорна, како за климатске промене, тако и за закишељавање и друге појаве загађења ваздуха. У земљама Европске уније, ЕУ-28, током 2017. године 50% свих емисија сумпорних оксида, азотних оксида и честица потицало је, редом, из 68, 141 и 58 од укупно 3664 великих постројења за сагоревање, иако су техничке карактеристике свих ових постројења стално унапређиване (слике 28, 29 и 30). Ова унапређења су довела до тога да је у периоду 2004–2017. година емисија сумпорних оксида опала за 86%, азотних оксида за 59% и честица за 84% [32].



Слика 28. Емисија честица из великих постројења за сагоревање (ЕУ 28), по капацитетима [32]



Слика 29. Емисија SO₂ из великих постројења за сагоревање (ЕУ-28), по капацитетима [32]



Слика 30. Емисија NO_x из великих постројења за сагоревање (ЕУ 28), по капацитетима [32]

Међутим, поређење емисије загађујућих супстанци из термоелектрана ложених угљем, у земљама ЕУ-28 и Западног Балкана, указује на нерешен проблем емисије у овом региону (табела 7) [33].

Табела 7. Укупне емисије из термоелектрана на угаљ у ЕУ и Западном Балкану

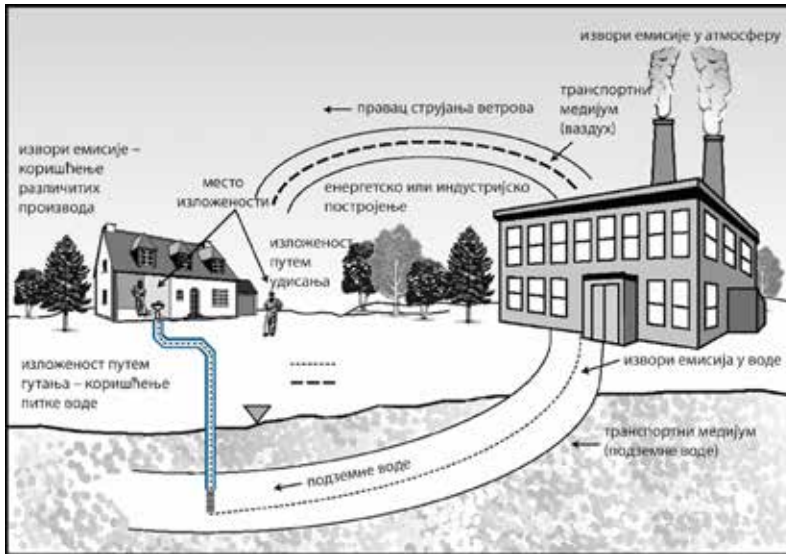
	SO ₂ [тона/години]	NO _x [тона/години]	PM _{2,5} [тона/години]
ЕУ-28*	992.248	795.358	11.946
Западни Балкан**	750.893	120.012	20.188

* само 22 ЕУ чланице имају термоелектране на угаљ

** без Албаније која нема термоелектране на угаљ

7. ИЗЛОЖЕНОСТ ЕМИСИЈИ И УТИЦАЈ НА ЉУДСКО ЗДРАВЉЕ

С обзиром на то да човек у току 24 часа удахне просечно 26.000 пута и утроши 10 m^3 ваздуха, јасно је да је потенцијални утицај загађеног ваздуха на људско здравље огроман. Ако се овоме дода присуство загађујућих компоненти у води и храни као последица таложења током струјања у ваздуху, утицај је још већи. Према томе, изложеност људског организма загађењу ваздуха остварује се на више начина, појединачно или заједнички (слика 31).



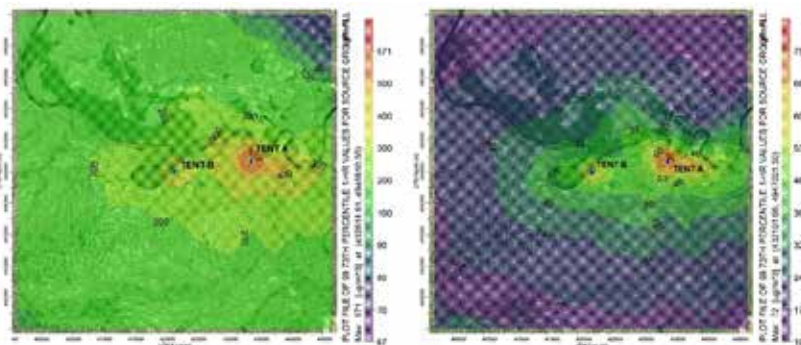
Слика 31. Пuteви уноса загађујућих компоненти у људски организам [7]

Иако је људски организам делимично припремљен за одбрану од загађујућих компоненти из ваздуха кијањем, кашљањем, као и структуром плућа у којима одлучујућу улогу играју цилије и слуз, дуготрајно излагање оставља последице.

Утицај извора загађења зависи од везе између локације извора загађивања, начина испуштања у атмосферу и расподеле загађујућих компоненти на изложену популацију.

Утицај локације извора загађивања и висине димњака је посебно значајан у случају примарних загађујућих компоненти, честица, као и сумпорних и азотних оксида. Већина термоенергетских и индустријских постројења налази се ван градских зона и има изграђене високе димњаке, па се загађење, које испуштају, распростире и разређује у атмосфери путујући и стижући и до веома удаљених средина. У зависности од тога да

ли имају или немају уграђену опрему за смањење емисије, њихов допринос квалитету ваздуха је различит што се најбоље види на слици 32. У случају постројења без одсумпоравања димних гасова, максимална добијена вредност за период усредњавања од једног сата износи $571 \mu\text{g}/\text{m}^3$, док у случају када постројења имају уграђено постројење за одсумпоравање максимална добијена вредност за исти период усредњавања износи $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

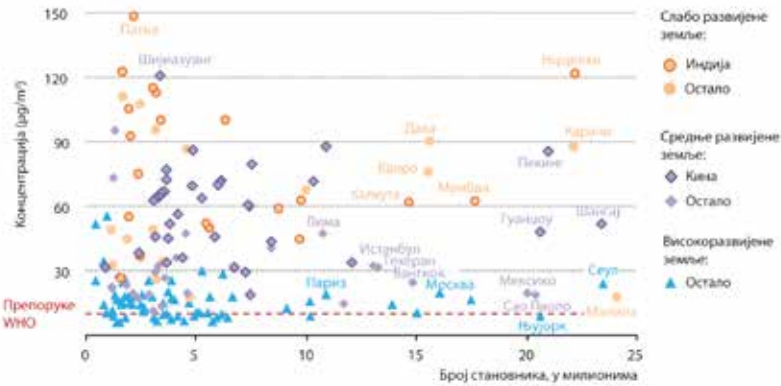


Слика 32. Приказ распрострања SO_2 (а) без уграђене опреме за одсумпоравање и (б) са уграђеном опремом за одсумпоравање [34]

С друге стране, возила емитују загађујуће компоненте скоро директно у ваздух који људи удишу. Из тог разлога, на пример, килограм честица од $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) које испуштају возила у граду величине Париза, има два пута већи утицај на здравље него исти килограм испуштен преко високих димњака из постројења у околини града. Међутим, овакво поређење не може да се направи у случају гасовитих полутаната као што је озон, а посебно не у случају нитрата и сулфата, с обзиром на то да се хемијске реакције њиховог настајања одвијају далеко од извора загађења.

Осим тога, све већа насељеност урбаних зона и све већа потрошња енергије у тим зонама, су главни, али не и једини фактор пораста загађења ваздуха у градовима и у њиховој околини. Више од 3,9 милијарди људи (54% укупне светске популације) живи у урбаним срединама, а обавља приближно 80% укупних привредних активности. Данас више од осам од десет људи у свету живи у урбаним срединама у којима су концентрације загађивача ваздуха изнад вредности које прописује Светска здравствена организација (енгл. World Health Organization, WHO), или национални прописи [35]. Ниво загађења у многим градовима високо развијених земаља превазилази ове вредности. Приближно 90% грађана Европе, који живе у урбаним срединама, је изложено нивоима загађења изнад препорука WHO, али мање од 10% живи у градовима у којима је загађење изнад прописа ЕУ, што говори о различитим стандардима схватања граница за-

гађења [36]. Ситуација је много озбиљнија у земљама у развоју, посебно Кини и Индији, где ниво загађења више пута превазилази стандарде WHO (слика 33). Овако високи нивои загађења, међутим, указују на мешавину загађења из индустрије, енергетике, транспорта, домаћинства и отвореног горења на депонијама.



Слика 33. Средња вредност концентрација $PM_{2.5}$ у ваздуху градова у свету [1]

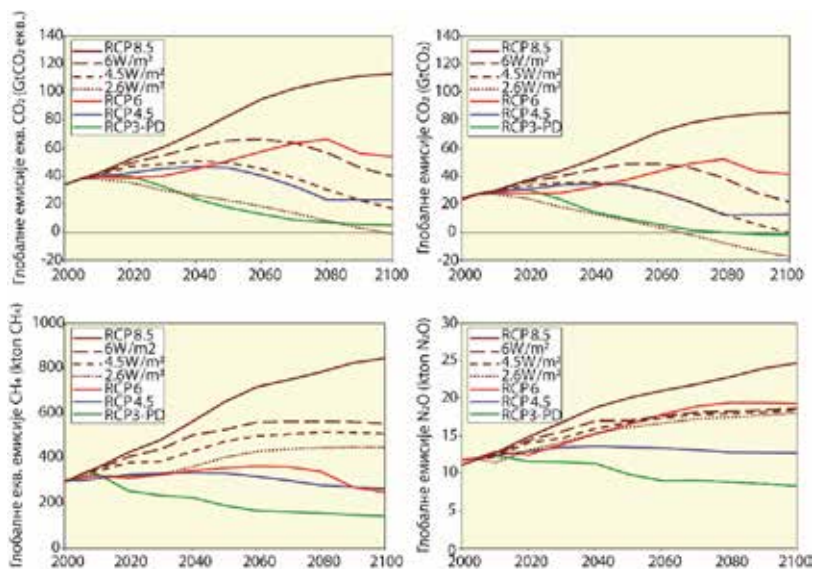
Чак и релативно ниски нивои загађења ваздуха имају ризик за здравље људи, а посебно угрожене групе су деца, старији и болесни. Земље Азије и Африке су земље са највећим бројем прерано изгубљених живота услед загађења ваздуха, али и поједине земље Источне Европе (слика 33). Нажалост, једна од загађенијих земаља је и Србија, где анализе говоре о 175 прераних смрти на 100.000 становника, од чега је 68% последица загађења ваздуха [37]. Међутим, од укупног броја прерано изгубљених живота, највећи део, око 4,3 милиона, потиче од унутрашњег загађеног ваздуха као последица коришћења отворених ложишта у домаћинствима и светиљки на течна горива, при чему предњаче Кина (1,5 милиона), Индија (1,25 милиона), Индонезија (165.000) и Пакистан (120.000). Као последица класичног загађења спољашњег ваздуха, годишње се у свету изгуби приближно 3 милиона живота [36], као и 200.000 као последица утицаја приземног озона [39]. Као и у претходном случају, предњаче Кина (1 милион) и Индија (620.000), у којима највећи ефекат имају честице из процеса сагоревања, док су честице и приземни озон одговорни за 190.000 прерано изгубљених живота у земљама ЕУ [36].

Постојеће студије о економским последицама загађења ваздуха знатно се разликују међусобно, али су јединствене у оцени да трошкови последица нечињења по питању загађења ваздуха далеко превазилазе трошкове улагања у мере смањења емисије. У ЕУ, вредност здравствених трошкова као последица загађења ваздуха процењује се на 440–1250 милијарди аме-

ричких долара (USD) у 2010. години [40], али и до 1.500 милијарди USD на нивоу земаља Организације за економску сарадњу и развој, OECD-а [41], док је на нивоу света ова вредност приближно 3.000 милијарди USD или 5,6% светског бруто дохода, тј 430 USD по глави становника света. За приближно половину ових трошкова одговорно је загађење из транспортних средстава, посебно у развијеним земљама. Међутим, у слабо развијеним и земљама у развоју најодговорнији је термоенергетски сектор и индустрија која користи чврста горива. Студија рађена за простор земаља Енергетске заједнице показала је да су тзв. екстерни трошкови загађења из термоелектрана на угаљ већи и до 50 пута у односу на трошкове инвестиција у системе пречишћавања димних гасова [42].

8. МЕРЕ СМАЊЕЊА ЕМИСИЈА И УТИЦАЈА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ

С обзиром на показатеље утицаја емисија различитих компоненти на животну средину и климатске промене, у претходним годинама урађене су бројне студије са различитим сценаријима развоја у циљу утврђивања најефикаснијих процеса смањења емисија различитих загађујућих компоненти и ГХГ (слика 34).



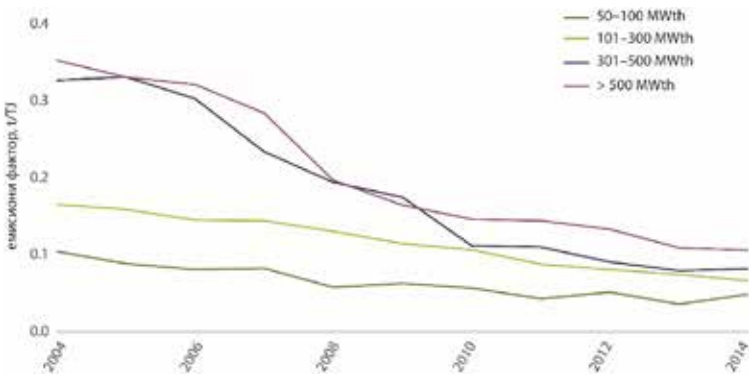
Слика 34. Развој емисија ГХГ за различите сценарије смањења [43]

Сценарију даљег раста ГХГ емисије (браон линија, сценарио RCP8.5) услед све већег коришћења фосилних горива, као последице повећања

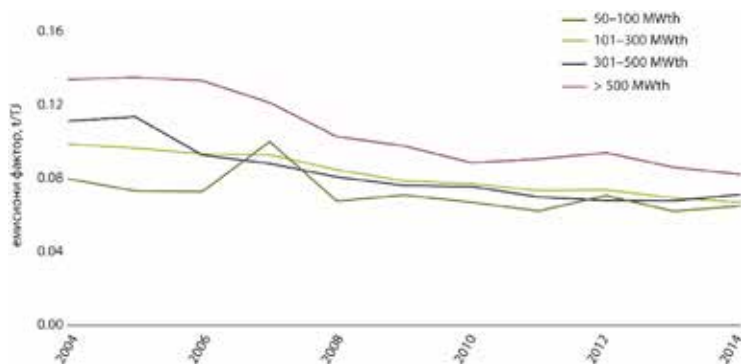
броја становника и одговарајућих захтева у области енергетике (приближно $\frac{3}{4}$ укупног повећања емисија), транспорта, производње хране, претпостављени су сценарији смањења емисије, засновани на ефикаснијем коришћењу енергената, првенствено природног гаса, уз коришћење технологија за елиминацију и складиштење угљеника (енгл. carbon capture and storage, CCS) у кратко- и средњорочном периоду. Међутим, у дугорочним сценаријима, значајна смањења се постижу једино захваљујући ефикаснијем коришћењу енергије, и применом поред обновљивих извора и нуклеарне енергије.

Иако емисија у атмосферу изазива загађење ваздуха, смањење емисије не доводи увек до аутоматског смањења концентрација загађујућих компоненти у атмосфери, тј. не доводи одмах до побољшања квалитета ваздуха. Веома је сложена интеракција емисије загађујућих компоненти и квалитета ваздуха. Ова веза обухвата величину емисије, хемијске реакције, реакције у присуству сунчевог зрачења, додатне природне утицаје и утицаје ваздушних маса, метеоролошке податке и топографију. Међутим, значајна смањења емисије представљају основну меру побољшања квалитета ваздуха.

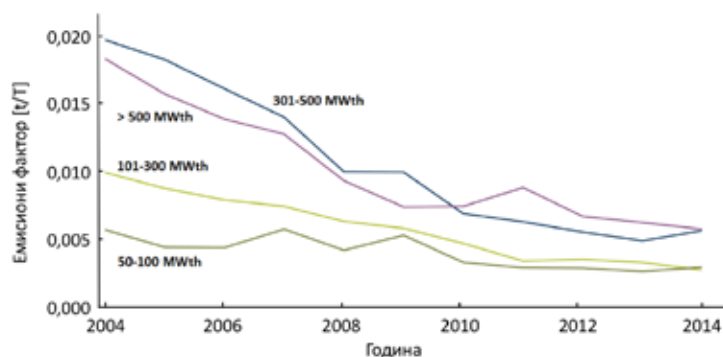
Један од индикатора „еколошке“ карактеристике великих постројења за сагоревање је однос емисије гасова и потрошње горива, и та вредност за ове три загађујуће компоненте опада значајно у последњих двадесетак година у земљама ЕУ-28 (слике 35, 36 и 37).



Слика 35. Емисиони фактор – однос емисије SO_2 и потрошње горива [32]



Слика 36. Емисиони фактор – однос емисије NOx и потрошње горива [32]



Слика 37. Емисиони фактор – однос емисије чврстих честица и потрошње горива [32]

До ових смањења дошло се озбиљним поштравањем граничних вредности емисије у атмосферу из енергетских и индустријских постројења и стриктном применом најбољих доступних технологија (енгл. *best available technology*, BAT), а као резултат дугогодишње политике против загађења ваздуха.

Примена стандарда и прописа утицала је на изградњу ефикаснијих и боље опремљених нових термоенергетских постројења и значајне реконструкције постојећих, као и, не тако ретко, замену горива. Мере су углавном подељене на примарне и секундарне. Док се примарне мере односе на промене у процесима сагоревања како би се спречило настајање загађујућих компоненти, дотле су секундарне мере, тзв. „технологије на крају цеви“ (енгл. *end-of-pipe technologies*), чији је задатак да издвоје или модификују настале загађујуће компоненте пре испуштања димних гасова у атмосферу (слика 38 и табела 8) [1, 44, 45].



Слика 38. Типични системи за смањење емисије у термоелектранама [1]

Табела 8. Ефикасност смањења емисије за примарне загађујуће компоненте из термоенергетских постројења

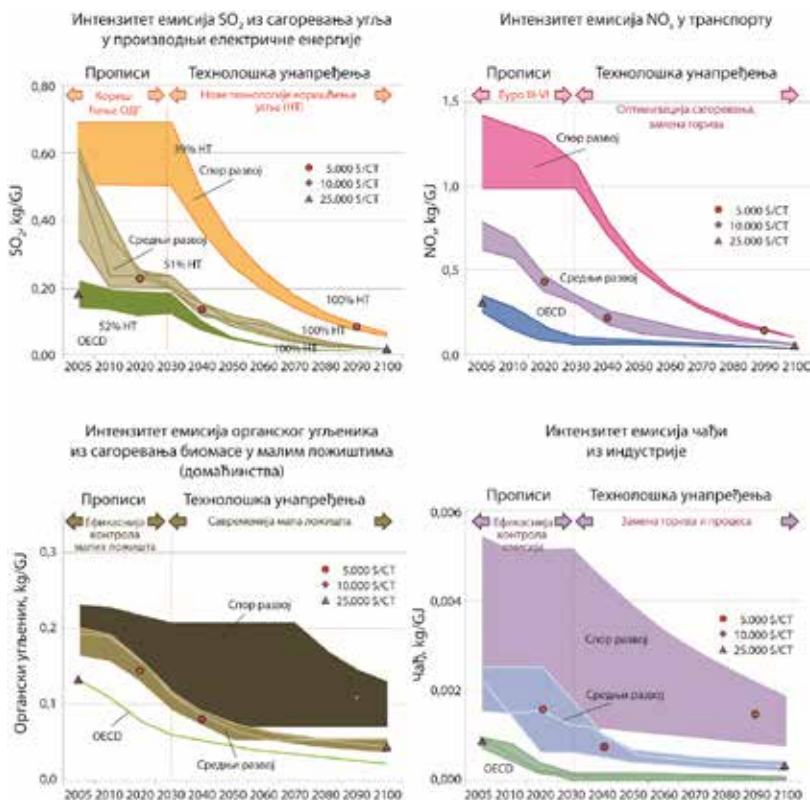
Загађујућа компонента	Техника смањења	Тип технологије – мере	Ефикасност процеса
SO ₂	Влажни/мокри поступак одсумпоравања димних гасова	Секундарна мера	70–98%
	Убризгавање сорбента у димне гасове (суви или полусуви поступци)	Секундарна мера	50–70%
NO _x	Горионици са ниском или ултра ниском продукцијом NO _x	Примарна мера	20–30%
	Селективна каталитичка редуција	Секундарна мера	90%
	Селективна не-каталитичка редуција	Секундарна мера	<50%
PM _{2,5}	Врећасте филтри	Секундарна мера	>99%
	Електрофилтри	Секундарна мера	>99%

Главни инструмент ЕУ политике за смањење загађења ваздуха из енергетских постројења су серија директива о стандардима квалитета ваздуха, започета још Оквирном директивом 96/62/ЕЦ (енгл. Air Quality Framework Directive 96/62/ЕЦ) [46] и тзв. директивама ћеркама о специфичним полутантима. Значајни помаци направљени су израдом Тематске стратегије против загађења ваздуха (енгл. Thematic Strategy on Air Pollution) [47], чији је циљ био да се „постигне ниво квалитета ваздуха који неће имати неприхватљив утицај и ризик по људско здравље и животну средину“. Овај циљ је постао саставни део свих каснијих акционих програма ЕУ о заштити

животне средине, а на основу Тематске стратегије израђена је нова свеобухватна Директива о квалитету амбијенталног ваздуха 2008/50/ЕС (енгл. Ambient Air Quality Directive 2008/50/EC) [48]. Доношењем јединствене директиве о индустријским емисијама (енгл. Industrial emission directive 2010/75) [49], која је обухватила и енергетски и индустријски сектор, и нове директиве о максималним националним емисијама (енгл. National Emission Ceilings Directive, NEC Directive 2016/2284) [50], дефинисана су и очекивања и циљеви до 2030. године на територији ЕУ:

- Смањити емисије SO_2 за 79%, NO_x за 63%, амонијака за 19%, VOC за 40% и честица испод 2,5 μm за 49%,
- Избећи 58.000 прераних смртних случајева као последица загађења ваздуха,
- Сачувати 123.000 km^2 екосистема услед смањења загађења азотним једињењима,
- Сачувати 56.000 km^2 заштићених Натура 2000 подручја (Натура 2000 је мрежа заштићених простора у којима се налазе највредније и најугроженије врсте и станишта Европе),
- Сачувати 19.000 km^2 шумских екосистема од последица закишељавања.

Као и у случају смањења емисија гасова које утичу на озонски омотач, и њиховог посредног, али веома значајног утицаја на емисију ГХГ, тако је и анализа могућих сценарија смањења емисије ГХГ утицала и на смањење других загађујућих компоненти (слика 39). Смањење емисије ГХГ не може се остварити без преласка на тзв. безугљеничне и обновљиве енергетске технологије, што опет доводи до нижих емисија других загађујућих компоненти. Чак и даље коришћење техничких решења са угљем као енергентом, уз коришћење CCS , захтева знатно „чистије“ технологије сагоревања, што опет доводи до смањења емисија других компонената. И вероватно најважније, висок степен енергетског искоришћења (енергетска ефикасност) води до изразито високе уштеде енергије, па на тај начин доводи до смањења коришћења енергената и смањења емисије загађујућих компоненти [43].



Слика 39. Пример развоја емисија различитих загађујућих компоненти [43]

Дијаграми на слици 41 такође јасно указују да даље поштравање прописа, представљају алат за смањење емисије штетних гасова у атмосферу до 2030. године, увођењем одговарајућих техничких решења. За даље смањење емисија неопходна је промена енергетских и процесних технологија.

Данас се у том погледу препознаје нискоугљенична будућност, која подразумева:

- Очување и ефикасност – потрошњу мање енергије, као и ефикасније коришћење у зградарству, транспорту и индустрији;
- Декарбонизација – смањење коришћења фосилних горива, првенствено угља, у енергетском сектору, са циљем потпуне елиминације до 2050. године;
- Замена горива – увођење обновљивих извора енергије уместо фосилних горива, уз могућност увођења и нових нуклеарних техничких решења;
- Смањење настајања и боље коришћење отпадних материјала;

- Секвестрација – заштита и повећање природних понора емисије штетних гасова, као што су шуме, пољопривредно земљиште, вегетација;
- Смањење емисија метана – постављање нових емисионих стандарда и техника за смањење емисије метана из прераде горива, управљања отпадом и пољопривреда.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Energy and air pollution*, World Energy Outlook, Special Report, International energy agency, 2016.
- [2] Murray, C. J. L. et al, *Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017*, Lancet, 392 (2018) 1789–1858, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32279-7/](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32279-7/)
- [3] IHME Global Health Data Exchange Tool. <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool> (accessed Aug 21, 2018).
- [4] Радовановић М., *Горива*, Машински факултет, 1994.
- [5] *BP Statistical Review of World Energy*, British Petroleum, 2019.
- [6] Ritchie, H., Roser, M., *Fossil Fuels*, Published online at OurWorldInData.org, 2020., <https://ourworldindata.org/fossil-fuels/> датум приступања 19.12.2022.
- [7] Shonnard, D., *Module 1: Environmental Literacy: Environmental Issues, Risk, Exposure, and Regulations*, University of Texas at Austin Michigan Technological University, 2016.
- [8] *Air pollution sources*, European Environmental Agency, 2017.
- [9] Tai, A. P. K., Val Martin, M. and Heald, C. L., *Threat to Future Global Food Security from Climate Change and Ozone Air Pollution*, Nature Climate Change, 4 (2014) 817–821, <https://doi.org/10.1038/nclimate2317>
- [10] Ghude, S. D., Jena, C., Chate, D. M., Beig, G., Pfister, G. G., Kumar, R., Ramanthan, V., *Reductions in India's crop yield due to ozone*, Geophysical Research Letters, 41 (2014) 5685–5691, <https://doi.org/10.1002/2014GL060930>
- [11] Brimblecombe, P., *The Big Smoke. A History of Air Pollution in London Since Medieval Times*, Methuen, London, 1987.
- [12] Fenger, J., *Air pollution in the last 50 years – From local to global*, Atmospheric Environment, 43 (2009) 13–22, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.061>
- [13] ACIA, *Impacts of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, 2004.
- [14] <http://www.pops.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/2232/Default.aspx> датум приступања 19.12.2022
- [15] https://www.unece.org/env/lrtap/pops_h1.html/ приступања 19.12.2022
- [16] Baker, J. P., Warren-Hicks, W. J., Gallagher, J., Christensen, S. W., *Fish population losses from Adirondack Lakes: The role of surface water acidity and acidification*, Water Resources Research, 29 (1993) 861-874, <https://doi.org/10.1029/92WR02329>

- [17] de Vries, W., Dobbertin, M. H., Solberg, S. et al. *Impacts of acid deposition, ozone exposure and weather conditions on forest ecosystems in Europe: an overview*, Plant Soil, 380 (2014) 1–45, <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2056-2>
- [18] Kucer, V., CHAPTER 6, *The Effect of Acidification on Corrosion of Structures and Cultural Property*, in: Acidification in Tropical Countries, Eds. Rodhe, H, Herrera, R., John Wiley & Sons, 1988.
- [19] <http://www.unece.org/fileadmin//DAM/env/lrtap/welcome.html/> приступања 19.12.2022
- [20] https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2013/air/eb/ECE.EB.AIR.114_ENG.pdf/ приступања 19.12.2022
- [21] <https://ozone.unep.org/treaties/vienna-convention/vienna-convention-protection-ozone-layer/> приступања 19.12.2022
- [22] https://treaties.un.org/doc/Treaties/1989/01/19890101%2003-25%20AM/Ch_XXVII_02_ap.pdf/ приступања 19.12.2022
- [23] Velders, G. J., Ravishankara, A. R., Miller, M. K., Molina, M. J., Alcamo, J., Daniel, J. S., & Reimann, S., *Preserving Montreal Protocol climate benefits by limiting HFCs*. *Science*, 335 (2012) 922–923, DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1216414>
- [24] Hegglin, M. I. et al., *Twenty Questions and Answers about the Ozone Layer 2014 Update: Scientific Assessment of Ozone Depletion*, World Meteorological Organisation, 2015, https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone_2014/documents/2014%20Twenty%20Questions_Final.pdf/ приступања 19.12.2022
- [25] *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014.
- [26] *Global warming of 1.5°C*, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018.
- [27] <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf/> приступања 19.12.2022
- [28] <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/cop3/107a01.pdf/> приступања 19.12.2022
- [29] Јововић, А., Тодоровић, Д., Радић, Д., Станојевић, М., Обрадовић, М., Карличић, Н., *Сагоревање фосилних горива: Емисије и техничко-технолошке мере за смањивање емисије*, у: Енергетика и животна средина (уредник Анђелковић, М.), 117–163, Српска академија наука и уметности, Београд, 2013, ISBN 978-86-7025-607-1
- [30] Антић, М., Петров, А., Кубуровић, М., Јововић, А., *Ушицајни фактори на избор ложишта малог капацитета (ложиште за сагоревање кукурузовине и сламе)*, у: Биомаса, обновљиви извор енергије (уредник Ока, С., Јовановић, Љ.), 81–112, Југословенско друштво термичара, Београд, 1997, ISSN 86-7877-004-X.
- [31] *Webster's New World Dictionary*, Webster's New World, New York, 1988.
- [32] <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/large-combustion-plants-operating-in-europe-3/assessment>
- [33] *Investing in clean energy in the western balkans*, Western Balkans Investment Framework, 2019.

- [34] *Студија о процени утицаја на животну средину пројекта постројења за одсушоравање димних гасова блокова 1 и 2 у ТЕ „Никола Тесла Б“, Обреновац, Машински факултет, Београд, 508/906/2019, 2019.*
- [35] *Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide – Global Update 2005*, World Health Organization, 2006.
- [36] *Air Quality in Europe: 2015 Report*, European Environment Agency, 2015.
- [37] *Pollution and health metrics*, Global, Regional and Country Analysis, 2019.
- [38] *Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease*, World Health Organization, 2016.
- [39] Forouzanfar, M. et. al., *Global, Regional and National Comparative Risk Assessment of 79 Behavioural, Environmental and Occupational, and Metabolic Risks or Clusters of Risks in 188 Countries, 1990–2013: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2013*, *The Lancet*, 386 (2015) 2287–2323, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)00128-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00128-2)
- [40] *Clean Air Policy Package*, COM (2013) 917 final, COM(2013) 918 final, COM(2013) 919 final, COM(2013) 920 final, SWD(2013) 532 final. Commission Staff Working Document, European Commission, 2013.
- [41] Hutton, G., *Air Pollution, Global Damage Costs of Air Pollution from 1900 to 2050*, Assessment Paper Copenhagen Consensus on Human Challenges, 2011.
- [42] *Study on the Need for Modernization of Large Combustion Plants in the Contracting Parties of the Energy Community in the context of the implementation of Directive 2001/80/EC*, SEEC, 2013.
- [43] Riahi, K., Rao, S., Krey, V. et al., *RCP 8.5 – A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions*, *Climatic Change*, 109, (2011) 33, <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-011-0149-y>
- [44] Nalbandian-Sudgen, H., *Air Pollution Control Technologies and their Interactions*, IEA Clean Coal Centre, 2006.
- [45] *Energy and Climate Change: World Energy Outlook Special Report*, International Energy Agency, 2015.
- [46] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31996L0062&from=EN/> приступања 19.12.2022
- [47] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52005DC0446&from=EN/><https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31996L0062&from=EN>
- [48] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050&from=en/><https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31996L0062&from=EN>
- [49] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0075&from=EN/><https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31996L0062&from=EN>
- [50] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016L2284&from=EN/><https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31996L0062&from=EN>

Aleksandar Jovović

THE IMPACT OF NON-RENEWABLE AND RENEWABLE ENERGY
SOURCES ON CLIMATE CHANGES AND THE ENVIRONMENT

S u m m a r y

The process of production and use of renewable and non-renewable energy sources (exploitation, transport, use, treatment of residues), the impact of production processes on the environment and climate change (acidification, emissions of long-term organic polluting components and heavy metals, emissions of gases with a greenhouse effect, sea pollution and oceans during transport, chemical and thermal pollution of watercourses, noise and vibrations, excessive cutting of forests, suffering of birds from wind farms), strategic planning and technical-technological measures to reduce the impact, risks and opportunities and impact on the environment, socio-economic components (expansion surface mines and population displacement, environmental protection costs and hidden costs of human health protection, costs of energy policy changes).

Key words: energy, emission, pollution, fuels, air