

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ФАКУЛТЕТ БЕЗБЕДНОСТИ

ЗАГАЂЕЊЕ ВАЗДУХА: ЕФЕКТИ И ПОСЛЕДИЦЕ КИСЕЛИХ КИША

ДИПЛОМСКИ РАД

МЕНТОР:

Проф. др Јасмина Гачић

КАНДИДАТ:

Милена Коцић

Београд, 2019.године

Садржај

1. Увод	3
2. Загађење ваздуха	4
2.1 Утицај метеоролошких прилика на загађеност ваздуха	5
3. Киселе кише	6
3.1 Настанак и узроци киселих киша	7
3.2 Облици киселог таложења	9
3.2.1 Влажни талог	10
3.2.2 Суви талог	10
4. Извори киселих киша	11
4.1 Оксиди сумпора (SO_2)	11
4.1.1 Извори сумпор-диоксида	12
4.1.2 Како сумпор-диоксид ствара киселе кише	14
4.2 Оксиди азота (NO_x)	15
4.2.1 Извори оксида азота	16
4.2.2 Како оксиди азота стварају киселе кише	18
4.3 Остале материје које изазивају киселе кише	19
5. Ефекти и последице киселих киша	20
5.1 Ефекти киселих киша на водене екосистеме	22
5.2 Ефекти киселих киша на земљиште и вегетацију	25
5.2.1 Уништавање шумских комплекса киселим кишама	27
5.3 Ефекти киселих киша на зграде и споменике културе	29
5.4 Ефекти киселих киша на материјале	32
5.5 Ефекти киселих киша на људе	33
5.6 Киселе кише и повезани проблеми	35
6. Спречавање и смањивање штетних утицаја киселих киша	36
6.2 Мерење и мониторинг киселих киша	37
7. Закључак	40
Литература	41

1. Увод

Проблематика киселих киша није нова. Још шездесетих година прошлог века појавила се забринутост због све веће киселости падавина које су узроковале незанемарљиве штете. Тада се није много пажње посвећивало киселим кишама, али због све веће киселости падавина и све већих њихових ефеката на читаву животну средину истраживачи су почели да се интересују за ову појаву и да је проучавају. Закључци до којих су дошли упућивали су на то да се киселим кишама мора посветити више пажње, како због спречавања њихове појаве, тако и због санирања њихових ефеката.

Ове падавине, узроковане полутантима из ваздуха, због своје смањене рН вредности, могу проузроковати велике штете пољопривреди, шумарству, читавом воденом екосистему, а поред животне средине, живог света у њој и природних богатстава, могу уништити људско историјско наслеђе, као што су споменици културе, зграде, материјале и друго, који су вековима уназад стварани и требало би бити сачувани за будуће генерације. Све ово утиче, директно или индиректно, на читаво човечанство, које све више осећа последице загађеног ваздуха, а самим тим и последице киселих киша.

Човек је, поред природних појава, у највећој мери довео до стварања ове појаве кроз индустријске процесе, помоћу прљавих технологија, сагоревања фосилних горива, отварања рафинерија нафте и другим процесима. Све је ово довело до огромног загађења ваздуха, које одавно није локалне природе, већ међународни проблем. Тако су и киселе кише постале међународни проблем. Чист, незагађен ваздух у природи скоро да више не постоји, а полутанти који се налазе у њему ступају у даље реакције и стварају једињења. Та једињења се враћају на земљу и загађују је.

Због тога, санирање последица киселих киша и спречавање њиховог настанка се мора догодити у будућности. То би могло да се постигне једино смањењем емисије полутаната који узрокују ову појаву, али с обзиром на то да процеси који стварају ове загађиваче, су потребни људима у свакодневном животу, долази се до закључка да је првенствено загађење ваздуха неизбежно. То се мора променити у будућности.

2. Загађење ваздуха

Чист ваздух се не може више практично наћи у природи. Он је загађен бројним загађујућим материјама насталим људским активностима. Под загађеним ваздухом подразумева се присуство нових састојака до тада непознатих у уобичајеном саставу, или оних већ присутних, којима се количина повећава у енормном обиму. Загађен ваздух је онај који је попримио гас, пару, дим, прашину и друге материје из појединих извора у количинама које могу утицати на здравље становника, животну средину и материјална добра. Загађеност ваздуха се назива аерозагађење, под којим се подразумева присуство примеса (токсичних и нетоксичних), које су настале људском производном делатношћу, а доспеле су у атмосферу у виду гасова, паре, прашине, дима, магле или пак ако примесе доспеју у ваздух из природних извора. Под загађеним ваздухом подразумевамо сваки ваздух који је контаминиран материјама штетним за здравље или опасним на други начин, без обзира на његово агрегатно стање.¹

Многобројна једињења- гасови, течне или чврсте честице, могу се појавити у ваздуху као загађујуће материје. У градској средини обично се јављају следеће загађујуће супстанце: чврсте честице, сумпор-диоксид, оксиди азота, угљен-моноксид, фотохемијски оксиданти и угљоводоници. Атмосфера често садржи неке специфичне врсте загађујућих материја које настају у току индустријских процеса. У карактеристичне изазиваче ваздуха убрајају се процеси сагоревања горива у стационарним изворима енергије (термоелектране, топлане, кућна ложишта) и разни индустријски процеси. Највеће количине сумпор-диоксида и чврстих честица потичу из стационарних извора. Други, не мање штетан, извор загађивања ваздуха чине разна транспортна средства, аутомобили, аутобуси, бродови, дизел локомотиве, авиони. У развијеним земљама света ова категорија загађивача премашује, по значају и количини произведених загађујућих материја, групу стационарних извора.²

Аерозагађење може да се пренесе на велика растојања у односу на место извора. Растојање зависи од брзине седиментације и дифузије аерозагађења. Доказано је да, на пример, загађења из Западне Немачке допиру до Јужне Шведске и Северне Италије, а аерозагађења из Енглеске до Норвешке и Шведске. Данас готово да нема више територије (бар када је у питању Европа) без загађеног ваздуха.¹

¹Ђукановић М., *Еколошки изазов*, Елит, Београд, 1991. Страна 156.

²Савић И., Терзија В., *Екологија и заштита животне средине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1996. Страна 80.

2.1 Утицај метеоролошких прилика на загађеност ваздуха

Топлота, гасови, аеросоли и прашина у неком облику се одувек испуштани у атмосферу. Под нормалним околностима и у нормалним метеоролошким условима, све те материје растуруне по атмосфери биле би рециклиране у екосистемима. Међутим, људске активности и могућности технологије за многим и разноврсним поступцима производње и потрошње, убацивале су у атмосферу све нове и све веће количине разноврсних загађивача које далеко превазилазе моћ екосистема и атмосфере да их рециклирају.

Атмосфера је у гасовитом стању, па се у целини понаша према општим законима који важе за гасове. Када се притисак масе неког гаса мења (у аерозагађењима убацивање нових количина), мењају се и његова запремина и температура. Иако су аерозагађења глобална, његови непосредни ефекти су локални. Распростирање загађујућих материја је у зависности од климе простора, то јест метеоролошких прилика, као што и оне утичу на промену климе. Емисија загађујућих материја и њихов ниво су у зависности од: температуре, ваздушних кретања, влажности, падавина, облачности и атмосферског притиска.

Претварање гасовитог сумопр-диоксида или оксида азота у капљице сумпорне киселине или азотне киселине (киселу кишу) може да зависи од влажности. Спирање атмосфере падавинама је значајан механизам за пречишћавање, али је истовремено и велика опасност за земљиште, флору и воду. Дакле ниво загађености ваздуха зависи од стања атмосфере.

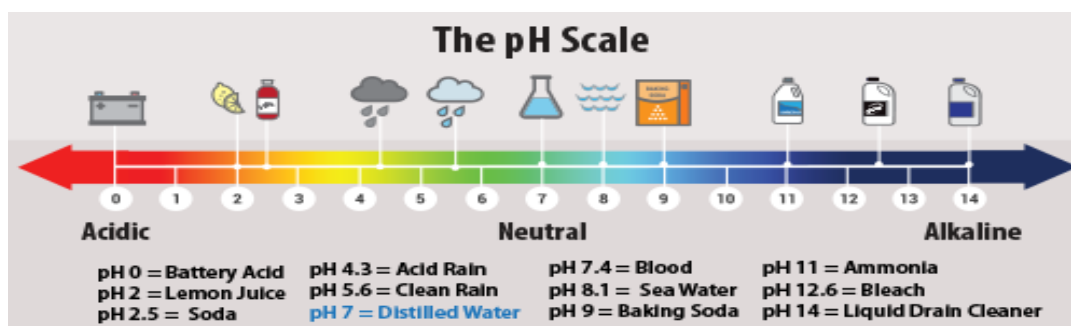
- Локални ефекти аерозагађења манифестују се преко:
- Температурних ефеката,
- Промене у садржају релативне влаге,
- Смањења сунчевог зрачења,
- Смањења видљивости,
- Повећања облачности,
- Појаве смога,
- Стварања киселих киша.³

³Ђукановић М., *Еколошки изазов*, Елит, Београд, 1991. Страна 171-172.

3. Киселе кише

Кисела киша, или киселинско таложење, је широк појам који укључује било који облик таложења са киселим компонентама, као што је сумпорна или азотна киселина, које падају на земљу из атмосфере у влажним или сувим формама. Ово може укључивати кишу, снег, маглу, град или чак прашину која је кисела.⁴

Вода на земљи, под утицајем Сунчеве енергије и кретања ваздушних маса (ветра) испарава у виду водене паре, која је лакша од ваздуха, која одлази у горње слојеве атмосфере. С обзиром да температура атмосфере са висином опада, тако на одређеној висини долази до кондензације паре и формирања облака. Даља кондензација доводи до настанка агломерата (капи воде, кристали снега), који поново падају на Земљину површину. С обзиром да се ради о кондензату који је настао испаравањем воде, могло би се очекивати да је падавина неутрална и рН вредности која је приближно 7. Међутим, падавине које падају на тло имају промењену рН вредност, најчешће нижу, односно повећану киселост.⁵ рН киселих киша се креће од 4,3-5,6.



Слика 1: рН скала-рН вредност киселих киша од 4,3-5,6. (Извор: ера.gov)

Под киселим кишама подразумевају се падавине: киша, снег, суснежица, измаглица, магла, облаци који у себи садрже загађујуће материје, али загађења из атмосфере могу да дођу и у облику “сувог талога”, а не само путем киша, због тога се термин киселе кише мора прихватити условно. Кише су неопходне у биосфери. Живот би у њој замро, екосистеми би опустели да годишње на Земљу не падне 110.000 км³ кише.

⁴ Reducing acid rain, 2013, Преузето 05.05.2019., са: Government of Canada-
<https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-pollution/issues/acid-rain-causes-effects/reducing.html>

⁵ Ђуковић Ј., Заштита животне околине, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 153.

Међутим, истовремено, киша данас значи и велику опасност. У ваздуху околине она се меша са загађењима из димњака и моторних возила. Киселе кише нису нов феномен у животној средини, већ само ново схватање да нису локалног већ међународног значаја.⁶

Термин кисела киша први је употребио Роберт Ангус Смит, фармацеут из Манчестера 1872. године, који је констатовао висок ацидитет киша које су падале по индустријским подручјима Енглеске у односу на много нижи ниво киселости падавина у мање загађеним подручјима уз обалу. Но, на његово откриће није се обраћала већа пажња до педесетих година двадесетог века, када су биолози уочили драматично смањивање бројности риблих популација у језерима Јужне Норвешке. До сличних резултата 1960-тих долазе и истраживачи у Канади и САД-у у језерима подручја Адирондакс, Онтарио, Квебек.

То значи да проблем киселих киша није нов, али се природа проблема променила од првобитног- локалног, везаног за поједине градове, до регионалног и глобалног, какав је он данас. У Смитово време киселе кише су падале над индустријским градовима, а данас се изазивачи траснпортују хиљадама километара од места загађења. Два примарна извора за настанак киселих киша су сумпор-диоксид (SO_2) и азотни оксиди (NO^x).

3.1 Настанак и узроци киселих киша

Када је први пут уочен феномен киселих падавина је био посматран као једноставан и ограниченог деловања. Међутим, данас се зна да се састојци киселих падавина крећу кроз земљиште, вегетацију, површинске и подземне воде, реметећи нормалне циклусе и изазивајући штетне еколошке ефекте.⁷

Извори загађивања ваздуха су многобројни и могу бити природни и вештачки:

- Индивидуална ложишта,
- Котларнице и топлане,
- Термоелектране,
- Нуклеарне електране,
- Индустријски објекти,
- Занатски објекти,
- Саобраћајна и транспортна средства,
- Природне појаве: ерупције вулкана, шумски пожари, олује, земљотреси.⁸

⁶Ђукановић М., *Еколошки изазов*, Елит, Београд, 1991. Страна 186.

⁷Павловић Н., Радовић И., *Основи екологије*, Природно-математички факултет у Бања Луци, Бања Лука, 2014. Страна 218.

⁸Ђукановић М., *Еколошки изазов*, Елит, Београд, 1991. Страна 158.

Киселе падавине могу бити узроковане природним и људским активностима, као што су аутомобили и производња електричне енергије. Прекурсори, или хемијски претходници, формирања киселих киша настају из природних извора, као што су вулкани, морска пена и пропадајуће вегетације биодеградацијом, као и од извора узрокованих људским деловањем, пре свега емисија сумпор-диоксида (SO_2) и азотових оксида (NO_x) који настају сагоревањем фосилних горива. Сагоревање фосилних горива (угаљ и нафта) од стране производних компанија и индустрија ослобађа сумпор и азот у ваздух који се комбинује са кисеоником и формира сумпор-диоксид (SO_2) или оксиде азота (NO_x).

Издувни гасови из аутомобила изазивају стварање сумпорних и азотних оксида у ваздуху. Од ових гасова могу се формирати сумпорна киселина (H_2SO_4) и азотна киселина (HNO_3) и растворити у облику водене паре у ваздуху. Иако киселински-кишни гасови могу настати у урбаним подручјима, они се често преносе стотинама километара у атмосферу помоћу ветра у рурална подручја. Због тога шуме и језера на селу могу бити угрожени киселим кишама које потичу из градова.⁹

Киселе падавине директно мењају рН земљишта утичући при том на три начина:

- Троше базне катјоне земљишта (K, Ca, Mg)
- Олакшавају мобилизацију тешких метала из земљишта у биљке (Al, Fe)
- Повећавају акумулацију сумпора и азота земљишта¹⁰

Главни узрок аерозагађења је производња енергије, чији је главни циљ побољшање квалитета живота, доводи до деградације основних услова живота. Тиме се опет затвара један круг: енергија омогућава побољшање квалитета живота, истовремено производећи загађења, а загађења деградирају квалитет живота.¹¹

Главни извори SO_2 и NO_x у атмосфери су:

- Спаљивање фосилних горива за производњу електричне енергије. Две трећине SO_2 и једна четвртина NO_x у атмосфери долазе из електричних генератора,
 - Возила и тешка опрема,
 - Прерађивачка индустрија, рафинерије нафте и друге индустрије.

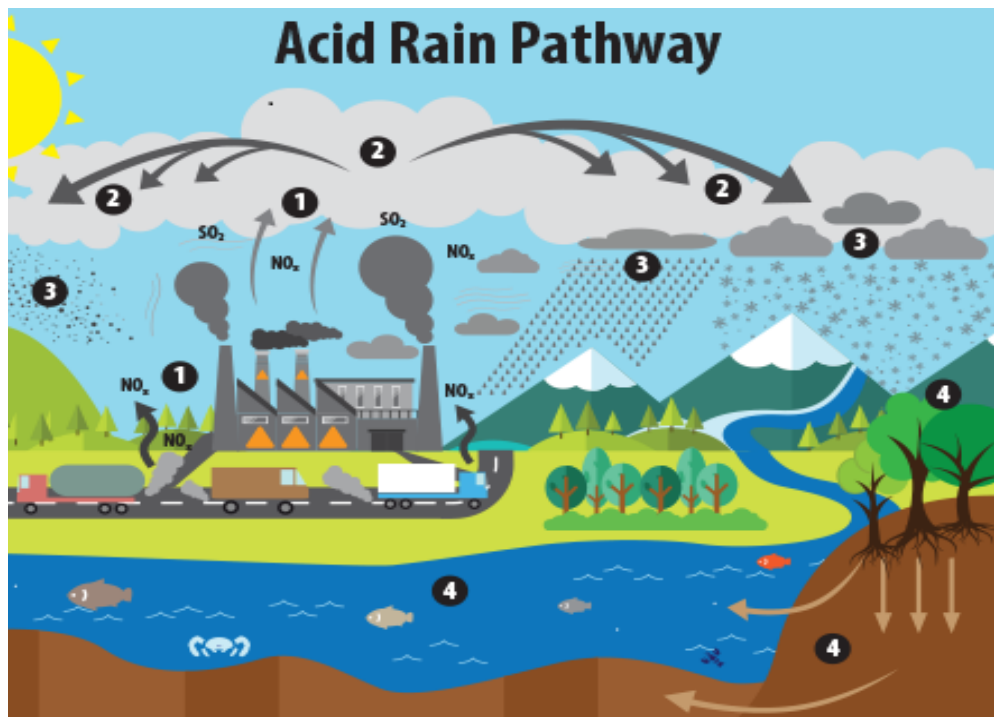
⁹Wather as acid rain (2019), Preuzeto 10.05,2019., sa: U.S. Geological Survey-https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/water-acid-rain?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

¹⁰Павловић Н., Радовић И., *Основи екологије*, Природно-математички факултет у Бања Луци, Бања Лука, 2014. Страна 218.

¹¹ Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 157.

Ветрови могу да дувају SO_2 и NO_x на велике удаљености и преко граница, што чини киселе кише проблемом за све, а не само за оне који живе близу тих извора.

Оксиди и сумпора и азота, као примарни полутанти у атмосфери, ступају у хемијске реакције са природним састојцима атмосфере, воденом паром и кисеоником, формирајући секундарне полутанте сумпорасту, сумпорну, азотасту и азотну киселину, што зависи, пре свега, од висине релативне влажности вазуха у који доспевају. Кисели загађивачи из атмосфере могу доспети на површину земље у влажном или сувом облику.¹²



Слика 2: Стварање киселих киша-(1)емисија SO_2 и NO_x (2)полутанти стварају киселине (3) киселе кише падају на земљу о облику сувог и влажног талога (4) изазивање штетних ефеката на воду, земљиште (Извор:epa.gov)

3.2 Облици киселог таложења

Кисели талог обухвата све киселе честице које се налазе у атмосфери која садржи гасове, честице и друге материје које делују као загађивачи. Постоје два типа процеса таложења загађујућих супстанци из ваздуха: суво и влажно талож

¹² *What is acid rain*, Преузето 11.05.2019., са: United States Environmental Protection Agency-
<https://www.epa.gov/acidrain/what-acid-rain>

3.2.1 Влажни талог

Влажно таложење је оно што најчешће сматрамо киселом кишом. Сумпорне и азотне киселине настале у атмосфери падају на земљу помешане с кишом, снегом, маглом или градом.¹³ Влажно таложење узрокује ерозију која погађа екосистеме.

3.2.2 Суви талог

Киселе честице и гасови такође могу да се талоче из атмосфере у одсуству влаге као сувог таложења. Киселе честице и гасови могу се брзо таложити на површинама (воденим површинама, вегетацији, зградама) или могу реаговати током транспорта у атмосфери како би формирали веће честице које могу бити штетне за људско здравље. Када се нагомилане киселине исперу са површине следећом кишом, ова кисела вода тече преко и кроз земљу и може нашкодити биљкама и дивљим животињама, као што су инсекти и рибе. Гасови као што су сумпор-диоксид и азотни оксиди прелазе у киселине када дођу у контакт са водом.

Количина киселости у атмосфери која се талочи на земљи путем сувог таложења зависи од количине падавина које подручје прима. На пример, у пустињским подручјима проценат сувог и влажног таложења је већи од подручја које прима неколико центиметара кише сваке године.¹⁴

Таложење киселине се дешава када се емисије сумпор диоксида и азотних оксида претворе у секундарне загађиваче. Примери таквих загађивача су сумпорна киселина, амонијум-нитрат и азотна киселина. Ови загађивачи затим падају на земљу, воду, вегетацију или структуре.

¹³*What is acid rain*, Преузето 11.05.2019., са: United States Environmental Protection Agency-
<https://www.epa.gov/acidrain/what-acid-rain>

¹⁴*Reducing acid rain*, 2013, Преузето 05.05.2019., са: Government of Canada-
<https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-pollution/issues/acid-rain-causes-effects/reducing.html>

4. Извори киселих киша

Хемисјки загађивачи при нормалној температури и притиску могу постојати у гасном, течном и чврстом агрегатном стању и зато загађујуће честице у ваздуху можемо поделити:

- Гасови и паре се брзо мешају са ваздухом, где се налазе у облику молекула. Гас је супстанција која се при нормалној температури налази у гасовитом стању, а тек хлађењем прелази у течно стање. Паре су гасни облик течности које испаравају при температурама изнад собне услед загревања.
- Аеросоли су честице или ситне капљице које су дисперговане у ваздуху (чврсти или течни аеросоли). Понашање честица аеросола зависи од величине и облика честица па могу настати: седиментација, коагулација, дисперзија, сударање са површинама, распршење светла и друго. Низ параметара карактерише честице аеросола: пречник, облик, волумен, густина.¹⁵

Магла, снег, киша, измаглица, град настају када су услови за кондензацију водене паре у атмосфери повољни. Да би се створиле киселе падавине потребно је да се у ваздуху налазе загађујуће материје, у било ком облику, које утичу на ацидитет тих падавина. Једињења која, на првом месту, узокују настанак киселих киша јесу сумпор-диоксид (SO_2) и азотови оксиди (NO_x), а остали загађивачи који утичу на киселост падавина су и угљеник-диоксид (CO_2), угљоводоници и органска једињења.

4.1 Оксиди сумпора (SO_2)

Сумпор-диоксид (SO_2) је гас без боје, не гори, нити ствара експлозивне смеше, два и по пута тежи од ваздуха, отрован. Оштрог је мириса (већина људи га може осетити већ код његових концентрација у ваздуху од 1ppm). Добро је растворљив у води (11,3 g/100ml воде на собној температури). Сумпор је од битног значаја за организме животиња и људи.¹⁶ Сумпор је присутан у молекулима протеина, а и неке аминокиселине га садрже.

¹⁵ЂурићД.,Петровић Љ., *Загађење животне средине и здравља човека- екотоксикологија*, Веларта,, Београд, 1996.Страна 204.

¹⁶Ђуковић Ј.,*Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 42.

У ваздуху може да се нађе или као гас или растворен у воденим капљицама. На влажном ваздуху оксидише и делимично прелази у сумпорну или сумпорасту киселину. Ствара се у атмосфери па у облику киселе кише пада на тло.¹⁷

Сумпорни оксиди, као што су сумпор-диоксид (SO_2) и сумпор-триоксид (SO_3), сулфитна киселина (H_2SO_3), сумпорна киселина (H_2SO_4) и соли ових киселина су уобичајени полутанти који се налазе у ваздуху. Други оксиди сумпора нису откривени у ваздуху, мада се може теоретски очекивати присуство S_2O_7 као резултат реакције сумпор-диоксида и озона.¹⁸ Процесом биолошке разградње у океанима и на копну настаје сумпор-водоник (H_2S), који се оксидише до сумпор-диоксида, на тај начин највећи део укупног сумпор-диоксида у атмосфери потиче од сумпор-водоника.¹⁹

Једињења сумпора, као полутанте, емитују у атмосферу природни процеси углавном у виду сумпор-водоника и процеси антропогеног порекла. Ова једињења најчешће настају сагоревањем фосилних горива из појединих индустријских процеса. Са становишта аерозагађења, важне су оне реакције сумпор-диоксида у атмосфери при којима настаје SO_3 , H_2SO_4 или соли сулфатне киселине. Ове реакције могу бити фотохемијке и каталитичке. Сумпор-диоксид на собној температури може да реагује и као оксидирајуће средство.¹⁹ Сумпор-диоксид је највећи загађивач ваздуха, посебно у урбаним срединама. Емисије сумпорних једињења су у целом свету у великом и сталном порасту.¹⁷

4.1.1 Извори сумпор-диоксида

Сумпорна једињења су присутна у атмосфери. Око 2/3 присутног сумпор-диоксида отпада на природне изворе, а око 1/3 отпада на последице људске активности. У фосилним горивима има сумпора, па сагоревањем настаје SO_2 . У ваздуху има и H_2S из мочвара, али се он брзо оксидише у SO_2 . Изнад мора настају аеросоли сулфата, превасходно у облику диметилсулфида. Циклус сумпора се одиграва, дакле, у литосфери, хидросфери, атмосфери и биосфери.²⁰

¹⁷Ђукановић М., *Еколошки изазов*, Елит, Београд, 1991. Страна 156.

¹⁸Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 42-43.

¹⁹Савић И., Терзија В., *Екологија и заштита животне средине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1996. Страна 82.

²⁰Ђурић Д., Петровић Љ., *Загађење животне средине и здравља човека- екотоксикологија*, Веларта, Београд, 1996. Страна 96.

У оквиру природних процеса сумпор-диоксид се ослобађа и у случају ерупције вулкана, биодеградацијом вегетација у окенима и копну, планктони, морска пена и друго, где је удео природних фактора приближно 10 процената укупне емисије сумпор-диоксида.

Сумпор-диоксид антропогеног порекла се у највећој мери ослобађа у атмосферу при сагоревању фосилних горива, богатих сумпором, пре свега угља у термоелектранама (70% укупне емисије).²¹ Угаљ као фосилно гориво, поред других елемената, садржи 0,5-5% сумпора који сагоревањем прелази у сумпор-диоксид. При сагоревању деривата нафте, која садржи око 0.05% сумпора, сумпор прелази у сумпор-диоксид, а даље у димним гасовима одлази у атмосферу. Маса сумпора која се емитује у атмосферу сагоревањем угља и нафте процењује се на десетине милиона тона годишње.

Значајне изворе сумпор-диоксида који се емитује у атмосферу представљају процеси производње сулфидних руда при добијању метала (челика, бакра, олова, цинка). Многи метали се у природи налазе у виду сулфида, тако да се приликом производње издвајају елементарни метал и сумпор-диоксид. Као пример може послужити производња бакра. На сваку тону произведеног бакра издваја се 500 килограма сумпор-диоксида.

Један од извора сумпордиоксида је и индустрија папира и целулозе. Код производње папира и целулозе, у зависности од процеса, ослобађају се гасови који обично садрже меркаптани²², сумпор-водоник и сумпор-диоксид. Меркаптани и сумпор-водоник у атмосфери прелази у сумпор-диоксид тако да практично сав емитовани сумпор у атмосферу из ове индустрије прелази у сумпор-диоксид, односно касније у честице сумпорне киселине.

До емисије сумпорних оксида долази код производње сулфатне киселине, код прераде нафте у рафинеријама, сагоревања отпадних материјала, код процеса сулфоновања у хемијској процесној индустрији и друго.

Сумпор-диоксид антропогеног порекла се у највећем обиму емитује и налази у северној Земљиној хемисфери (око 93%). Укупна емисија сумпорних једињења у атмосферу, из свих извора, процењује се на 195 милиона тона годишње.²³ Концентрације сумпор-диоксида у атмосфери се разликују у различитим подручјима. У урбаним и индустријским подручјима концентрација ове загађујуће материје је по правилу већа.

²¹Павловић Н., Радовић И., *Основи екологије*, Природно-математички факултет у Бања Луци, Бања Лука, 2014. Страна 219.

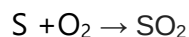
²²*Меркаптани*-или тиоли су органска једињења, течног агрегатног стања и непријатног мириса, налазе се у нафти и настају заменом атома кисеоника сумпоровим.

²³Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 43-44.

Сумпор-диоксид и његови секундарни производи (сумпораста, сумпорна киселина и сулфиди), могу изазвати озбиљне здравствене проблеме код људи (коњуктивитис, ефекти на респираторном систему), као и код биљака (појаве киселих киша и сушења шума), а запажени су штетни ефекти на метале, кожу, папир и текстил.²⁴

4.1.2 Како сумпор-диоксид ствара киселе кише

Киселе падавине могу бити узроковане природним и антропогеним активностима, који у својим процесима ослобађају сумпор у атмосферу. Сумпор реагује са кисеоником из ваздуха и ствара штетан сумпор-диоксид:

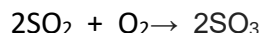


Такође, оне могу у атмосферу испуштати већ формиран сумпор-диоксид, на пример, сагоревањем фосилних горива и у другим процесима производње. Сумпор-диоксид се распршује у атмосферу и подложен је закону дисперзије. Уз помоћ ветра он се преноси на велике раздаљине, а, такође, његовој дисперзији потпомажу и високи димњаци (до 400 метара), што изазива бољи транспорт, чак и на незагађена места.

Сумпор-диоксид, лако растворљив у води, реагује са водом и воденом паром из атмосфере и ствара сумпорасту киселину:



Сумпор-диоксид даље реагује са кисеоником стварајући сумпор-триоксид (SO_3), који у комбинацији са водом из атмосфере даје сумпорну киселину:



Сумпорна и сумпораста киселина, у зависности од метеоролошких прилика, падају на земљу у капљицама у облику киселих падавина (киша, снег, магла, измаглица, град). Оне су веома агресивне материје које у облику киселих киша наносе огромне штете. Сумпорна киселина смањује рН вредност падавина од 4,5 до 5,6, а комплетна реакција пребацавања сумпора у сумпорну киселину, па до стварања киселих киша ће се одвити у року од 72 сата, чак и у неповољним условима.

²⁴Савић И., Терзија В., *Екологија и заштита животне средине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1996. Страна 82.

4.2 Оксиди азота (NO_x)

Од различитих оксида азота који се појављују у ваздуху најзначајнији су, као полутанти азот-моноксид (NO) и азот-диоксид (NO₂). Други познати оксиди азота су азот-субоксид (N₂O), азот-триоксид (N₂O₃), азот-тетраоксид (N₂O₄) и азот-пентаоксид (N₂O₅), међутим, ова последња четири оксида азота нису у значајним концентрацијама у атмосфери.²⁵

Азот-субоксид (N₂O) се углавном ствара деловањем микроорганизама на органски материјал. У тропосфери и стратосфери услед фотолизе трансформише се у NO и NO₂. Не сматра се загађивачем, али доприноси ефекту стаклене баште и учествује у дисоцијацији озона.²⁶

Азот-моноксид (NO) је гас без боје и мириса, слабо растворљив у води.²⁴ Азот-моноксид представља примарни производ сагоревања на вишој температури. У атмосфери у присуству кисеоника оксидише у знатно отровнији азот-диоксид.²⁷

Азот-диоксид (NO₂) је гас црвено-мрке боје са карактеристичним мирисом. Тачка кључања овог једињења је 21,2°C, али због ниског парцијалног притиска он се, у нормалним условима, појављује у гасовитом стању у атмосфери.²⁴ Азот-диоксид је испод 21°C жућкаста течност. Изнад те температуре он је црвено-мрки гас оштрог мириса, док се у чврстом стању налази као безбојни N₂O₄.

Азот-моноксид и азот-диоксид се обично означавају као NO_x, јер се налазе у равнотежи. Оксидација NO у NO₂ тече врло споро, а карактерише је мрка боја насталог NO₂, који добро апсорбује ултраљубичасто светло, па се дисоцује у NO и атомски кисеоник који ствара озон.²⁵ Тачније, под утицајем Сунчеве радијације азот-моноксид у атмосфери прелази у азот-диоксид. Са друге стране, азот-диоксид, под утицајем сунчеве радијације и уз присуство олефинских и других угљоводоника, поново се распада на азот-моноксид и кисеоник. Резултат ових процеса је брза циклизација азот-диоксида (фотолитички циклус). Уколико нема посебних утицаја из ваздуха, овај циклус води равнотежном стању NO-NO₂ у ваздуху. Међутим, извор оксида азота је најчешће и извор угљен-водоника који утичу на фотолитички циклус, односно на повећано стварање азот-диоксида и азот-моноксида.²⁵ У заједници са водом, међутим, азот-диоксид даје азотну киселину и азот-моноксид. Азотна киселина у атмосфери ступа у реакцију са амонијаком, дајући при томе нитрате. Утврђено је токсично деловање азот-моноксида и азот-диоксида на човека и животиње.

²⁵ Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 55.

²⁶ Ђурић Д., Петровић Љ., *Загађење животне средине и здравља човека- екотоксикологија*, Веларта, Београд, 1996. Страна 210.

²⁷ Савић И., Терзија В., *Екологија и заштита животне средине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1996. Страна 83.

Азот-диоксид изазива едем плућа са смртоносним последицама. Оксиди азота штетно делују и на биљне организме, изазивајући акутне ефекте при вишим, односно хроничне, при нижим концентрацијама. Њихово штетно дејство регистровано је и на разним материјалима: убрзавају корозију метала, разарају памучне материјале и изазивају промену њихове боје.

4.2.1 Извори оксида азота

Главни извори азота у ваздуху представљају природни извори, пре свега активности неких бактерија. Оксиди азота из природних извора равномерно су распоређени у атмосфери, док се њихова концентрација у урбаним индустријским зонама и поред великих саобраћајница повећава као поседица разних човекових активности.²⁸ Природни извори оксида азота који се појављују у ваздуху, чија емисија се глобално процењује на око 450×10^6 т/годишње, и извори антропогеног порекла, чија се емисија процењује на 45×10^6 т/годишње.²⁹ Емисије оксида азота припада природним факторима као што су активност земљишних бактерија, вулканске активности, муње и грмљавина. Код сваког процеса сагоревања се пре свега ослобађа NO, који се касније у ваздуху везује са кисеоником до NO₂.³⁰

Мада емисија оксида азота антропогеног порекла чини око 1/10 укупне емисије, она је веома значајна за аерозагађење, посебно урбаних и индустријских подручја, у којима је настанак оксида азота углавном и сконцентрисан. То потврђују и подаци о концентрацијама оксида азота у урбаним и индустријским срединама које су 10 до 100 пута веће него у неурбаним подручјима.²⁷

Азотови оксиди антропогеног порекла се јављају као последица сагоревања фосилних горива, у диму топлана, термоелектрана, разних индустријских погона, у издувним гасовима мотора са унутрашњим сагоревањем, гасног грејања, при производњи азотне киселине, при оксидацији амонијака, производњи вештачких ђубрива, при производњи вештачке свиле, приликом заваривања, при цинкографји, приликом минирања и у другим процесима.³¹

²⁸Савић И., Терзија В., *Екологија и заштита животне средине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1996. Страна 82-83.

²⁹Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 54.

³⁰Павловић Н., Радовић И., *Основи екологије*, Природно-математички факултет у Бања Луци, Бања Лука, 2014. Страна 219.

³¹Ђукановић М., *Еколошки изазов*, Елит, Београд, 1991. Страна 168.

Поред стационарних извора оксида азота, значајни извори су и моторна возила. Оксиди азота при процесу сагоревања настају термалним путем— у пламену из присутног азота и кисеоника и оксидацијом једињења азота, које садржи гориво. Поједина фосилна горива, као што су дестилати нафте и угаљ садрже значајну количину једињења азота (дестилати нафте 0,1-0,5%, угаљ 0,5-2,0%). Степен конверзије једињења азота у угљу у оксиде азота зависи од односа горво/ваздух и температуре, уколико се користе стандардни уређаји за сагоревање. Повећање количине ваздуха доводи до повећане емисије оксида азота. Количина насталих оксида азота из горива као што су угаљ и деривати нафте може да пређе и 50 процената.³²

При сагоревању горива у ложиштима термоенергетских постројења јавља се, углавном, азот-моноксид. Он се формира при високим температурама када слободни азот из ваздуха у непожељној споредној реакцији са кисеоником прелази у азот-моноксид (термички азотов оксид). Осим на овај начин, азот-моноксид настаје и оксидацијом везаног азота у гориву. Остале оксиде азота тешко је идентификовати. Азотмоноксид се при хлађењу димног гаса и у додиру са атмосфером трансформише у друге облике азотних оксида. На пример, у Панчеву, где се налази велика хемијска индустрија-Азотара, нађене су количине азот-диоксида у атмосфери од 10 до 28 пута веће него максимално дозвољена концентрација. Емисије азотових оксида се у свету стално повећајају јер су им извори многобројни.³³

Највећи удео у њиховој емисији припада сагоревању горива у путничким аутомобилима, камионима, аутобусима, локомотивама- око 40%. Термоелектране доприносе са око 25% укупне емисије, 35% дају различити индустријски процеси, пре свега у хемијској индустрији (производња вештачких ђубрива, нарочито).³⁴

Садржај оксида у ваздуху варира временски и географски, а на то утичу и метеоролошки услови. Њихов садржај у урбаним срединама је углавном виши него у неурбаним, а концентрације зависе од годишњег доба, као и доба дана. Концентрације оксида азота крећу се у широком концентрационом распону зависно од географског подручја.³¹

³² Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 56.

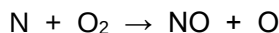
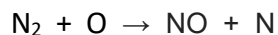
³³ Ђукановић М., *Еколошки изазов*, Елит, Београд, 1991. Страна 169.

³⁴ Павловић Н., Радовић И., *Основи екологије*, Природно-математички факултет у Бања Луци, Бања Лука, 2014. Страна 219.

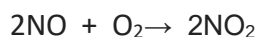
Њихова концентрација у продуктима димних гасова зависи од нивоа и распореда температуре у зони сагоревања односа азота и кисеоника у смеси сагоревања и времена његових задржавања у зони ложишта. Емисије азотових оксида се у нашој земљи не мере, па тако не постоје подаци о њима.³⁵ Садржај оксида азота у урбаним срединама много је већи него у неурбаним. Ове концентрације, које варирају зависно од подручја, односно интензитета емисије, варирају и у току дневног циклуса. Истраживања су показала да ова варирања зависе и од људске активности у току дана, а до одређеног степена и од метеоролошких услова.³⁶

4.2.2 Како оксиди азота стварају киселе кише

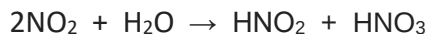
Оксиди азота емитовани у атмосферу брзо ступају у реакције, са првенствено кисеоником и водом у атмосфери, које доводе до појаве киселих киша, а самим тим и до штетног утицаја на животну средину. Оксиди азота могу бити испуштени у атмосферу из природних и антропогених извора. Азот-моноксид настаје када, при високим температурама, слободни азот ваздуха реагује са кисеоником, стварајући овај гас. Такође, азот-моноксид настаје и процесом сагоревања фосилних горива (нафте и угља), где се већ формиран испушта у атмосферу:



Азот-моноксид оксидује у атмосфери, под дејством Сунчеве светлости он реагује са кисеоником и ствара токсичан и штетан гас који је велики загађиваћ ваздуха: азот-диоксид:



Пошто је азот-диоксид растворљив у води, он даље реагује са воденом паром и водом у атмосфери и ствара азотасту киселину, која се касније разлаже до азотне киселине. Азотна киселина је јако оксидационо средство. Такође, она пада на Земљу из атмосфере заједно са падавинама за које се везује у облику киселе кише и изазива незанемарљиве штетне ефекте на тло, воду, биљке, мењајући њихову рН вредност тако што повећава њихову киселост:



³⁵ЂурићД.,Петровић Љ., *Загађење животне средине и здравља човека- екотоксикологија*, Веларта, Београд, 1996. Страна 168.

³⁶Ђуковић Ј.,*Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 58.

4.3 Остале материје које изазивају киселе кише

Примарни полутанти који изазивају киселе кише јесу оксиди сумпора и оксиди азота. Међутим, постоје и многе друге материје које могу да утичу на рН вредност падавина, а самим тим и штетних ефеката на животну средину. На воду присутну у атмосфери утиче низ фактора који доводе до промене њене рН вредности.

Угљен-диоксид (CO_2) у атмосфери се делимично отапа у води, при чему настаје карбонатна киселина (H_2CO_2), која повећава киселост падавина. Утврђено је да дејонизована вода у равнотежи са CO_2 има рН вредност 5,6. Зато се може очекивати да рН вредност падавина, без других утицаја, има ову или нижу рН вредност.³⁷ Такође, проблем водених екосистема синергистички је повезан са повећаном емисијом CO_2 , тако да све више угљен-диоксида бива растворено у атмосфери у облику киселих киша и долази у морску воду, где се у контакту са водом дисоцира и ствара једињења која повећавају киселост. Након леденог доба, пре око 20 хиљада година, рН океана износио је 8,3, непосредно пре индустријске ере 8,2, а данас рН океана износи 8,1. Ако се проблему веће емисије CO_2 дода феномен киселих падавина које доспевају у водене екосистеме, мора би у скорој будућности могла постати киселија више него икада у последњих 300 милиона година.³⁸

Поред угљен-диоксида и поједини угљоводоници и органска једињења у атмосфери прелазе у киселине. Настале кише у атмосфери падају на Земљину површину или са падавинама или слободним падом под утицајем гравитационих сила, што доводи до закисељавања воде и земљишта.³⁶ Угљоводоници из озона који настају људском активношћу укључују несагорели бензин и испарљиве раствараче, посебно из рафинерија. Људи производе само око 15% укупних угљоводоника у атмосфери, али је проблем у томе што се овакве емисије јављају редовно у градовима и индустријским центрима, а само делом због природе појединих емитованих угљоводоника.³⁹

³⁷ Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 154.

³⁸ Павловић Н., Радовић И., *Основи екологије*, Природно-математички факултет у Бања Луци, Бања Лука, 2014. Страна 219.

³⁹ Стевановић Б. и други, *Енциклопедија- животна средина и одрживи развој*, Завод за уџбенике и наставна средства, Српско Сарајево, 2003. Страна 152.

5. Ефекти и последице киселих киша

Проблем киселих киша постаје све актуелнији у многим пределима читаве планете. Нарочито је изражен у Европи и Северној Америци. Само на ова два континентаа угрожено је око 5-10 милиона км² површина. Природним процесима додају се још и нове количине сумпорних и азотних једињења, али је све то веома тешко тачно утврдити и израчунати глобално. Процењује се да се годишње унесе у атмосферу: сумпорних оксида 78-284 милиона тона, а азотових оксида 20-90 милиона тона. Само сумпора, човек својим активностима створи 75-100 милиона тона годишње. Од тога сагоревање:

- Угља даје 60%,
- Нафте и деривата 30%,
- Разних индустријских процеса око 10%.

На топланама и термоелектранама, обично се пројектују високи димњаци који омогућавају ублажавање или потпуно елиминисање локалних утицаја загађења. Из високих димњака (пример Манчестера, Трбовља, Обреновца) честице загађеног ваздуха се преносе на велике раздаљине па се поправљањем локалних загађења проблем преноси на међународни ниво. Једињења сумпора и азота могу да се ваздушним струјањем пренесу хиљадама километара, те тако проузрокују киселе кише далеко од места порекла загађујућих материја.⁴⁰

Окружење се генерално може прилагодити одређеној количини киселих киша. Често је земља мало базна (због природног кречњака, који има рН већи од 7). Будући да базе сузбијају киселине, ова тла имају тенденцију да уравнотежују киселост киселих киша. Али у областима, као што су неке од стеновитих планина и делови северозападне и југоисточне САД, где се кречњак природно не појављује у земљишту, киселе кише могу нашкодити околини.⁴¹

Више од половине канадске геологије састоји се од угрожених подручја тврдих стена (тј. гранита) које нуде лошу природну одбрану од штетних учинака таложења киселине. Многе воде (потоци, реке и језера) и тла у Канади немају природну алкалност и не могу природно неутрализовати киселину.

Мртва или умирућа стабла су уобичајена појава у областима које проузрокују киселе кише попут шума у Језерима у Чешкој Републици. Кисела киша излучује алуминијум из тла.

⁴⁰Ђукановић М., *Еколошки изазов*, Елит, Београд, 1991. Страна 183.

⁴¹Wather as acid rain (2019), Preuzeto 10.05.2019., sa: U.S. Geological Survey-https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/water-acid-rain?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

Тај алуминијум може бити штетан за биљке и животиње. Киселе кише такође уклањају минерале и хранљиве материје из тла које су потребне биљкама да расту.

Неке рибе и животиње, као што су жабе, тешко се прилагођавају и репродукују у киселој средини. Многе биљке, као што су зимзелено дрвеће, оштећене су киселом кишом и киселом маглом. Штете од киселе кише су присутне у зимзеленим шумама на Шварцвалду у Немачкој, где је велики део Црне шуме црн. Такође може се приметити како је кисела киша уништила камен у зградама неких градова и каменим уметничким делима. Такође, пре пада на земљу емисије узроковане киселином доприносе измаглици и смогу и утичу на јавно здравље.⁴²

Истраживања до сада вршена показују да су многа подручја у свету са падавинама које су са израженим киселим особинама. Источни и Западни део САД су са изразито киселим падавинама. Киселе падавине су утврђене и у подручју Калифорније, Орегона, Вашингтона, Колорада, Новог Мексика, Висконсина, Јуте, Монтане и Неваде. Године 1979. је утврђено да је у источном делу Висконсина рН вредност падавина била 4,4, а магле у Лос Анђелесу и Бекерсфилду 2,2-4,0, док су многа подручја у Флориди са рН вредности падавина које су ниже од 4,7. Истраживања вршена у Великој Британији показују да је већина подручја са падавинама смањене рН вредности. Слична ситуација је и у другим земљама Европе, Азије, Канаде и другим. Истовремено се истиче да је угрожено 48 000 језера у Северној Америци, тако да настављање закисељавања ових језера може довести до катастрофе.

Деведесете године прошлог века показују да су последице киселих падавина присутне и врло озбиљне, мада још не и катастрофалне, што се не искључује у даљој будућности уколико се настави овим трендом емисије полутаната у атмосферу.⁴³

Киселе падавине штетно утичу на екосистем, што се огледа у следећем:

- Закисељавање река, језера и површинских вода доводи до уништавања риба и других водених животиња,
- Уништавање шумских комплекса и друге вегетације,
- Оштећење материјала као што су грађевнске, металне конструкције и друго,
- Оштећења споменика културе,
- Индиректни утицај на здравље људи.

⁴²Reducing acid rain,2013, Преузето 05.05.2019., са: Government of Canada-
<https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-pollution/issues/acid-rain-causes-effects/reducing.html>

⁴³ Ђуковић Ј.,*Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990.
Страна 153.

5.1 Ефекти киселих киша на водене екосистеме

Сумпорна и азотна једињења једињења су чест састојак површинских вода, а у њих доспевају из индустријских отпадних вода, сливањем из земљишта и из атмосфере путем киселих киша. Када се нађу у води она могу да бити разложена до неких врста бактерија којима служе као храна. Разлагањем загађивача, долази до размножавања бактерија што повећава потрошњу кисеоника. Тамо где је кисеоник потрошен долази до изумирања биљног и животног света. Њиховим изумирањем ствара се нова врста хране и бујају нови микроби.

Промена рН вредности површинских вода као последица испирања киселина из ваздуха, односно због појаве киселих киша, може узроковати промену равнотеже у воденом екосистему. Смањена рН вредност воде доводи до угинућа икре, риба, жаба и других водених животиња. При дужем трајању промене рН вредности воде, која се разликује од природне рН вредности, може се десити да ишчезну поједине врсте водених животиња. Промена у популацији риблиг фонда један је од најзапаженијих утицаја промене киселости површинских вода.

Главни узрок угинућа риба, односно нестанка читавих врста, је поремећај у њиховом репродуктивном циклусу. Код повећане киселости воде, рибе не могу да стварају икру, а и створена икра у таквој средини угине, тако да долази до наглог угинућа и нестанка врсте. Са друге стране, повећана киселост доводи до отапања метала из тла, посебно алуминијума, који је веома токсичан за рибе, а слично је и са живом. Промена рН вредности воде узрокује и промене у циклусу исхране риба као и оксидационо-редукционих својстава органских материја у води.⁴⁴

Смањена рН вредност у водама, коју узрокују киселе кише могу да доведу и до смањења раста и развоја водених животиња. Повећана киселост у језерима или рекама делује директно на рибе, јер нагриза органске материје у шкргама и напада скелет од CaCO_3 . Сателитски снимци и даљинска детекција показују да је у неколико прошлих деценија смањена количина хлорофила у океанима. Познато је да повећана киселост узрокује разградњу карбоната, па би најрањивије животиње биле оне са љуштуром изграђеном од CaCO_3 (улази у грађу егзоскелета и ендоскелета многих водених животиња).

⁴⁴ Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 156-233.

У Скандинавским језерима забележена је вредност рН воде од свега 3, што води ка изумирању микроорганизама и биљака, а на крају и читавог екосистема. Први веома препознатљиви ефекти киселих падавина на слатководне екосистеме су уочени 70-тих година. Угинуле рибе су плутале дуж обала и тада је први пут употребљен термин „wet desert“ (водене пустиње), како би се описало језеро без риба. Са повећањем киселости смањује се продуктивност у морима, иста је данас за 6% мања у односу на продуктивност 80-тих година.⁴⁵

На киселе кише и закисељавање вода су посебно осетљиви водени системи који су мање пуферске способности, као што су воде без довољно отопљеног калцијум-карбоната или других једињења који могу да неутралишу присутне киселине. Земљиште са кога се спирају падавине, седимент воденог система и растворене супстанце у води (бикарбонати и друго) неутрализују киселине унесене у водени систем. Као мера капацитета неутрализације унешених киселина у водени систем служи степен (ниво) алкалитета, изражен као молови по литру воде. Сматра се да су водени системи веома осетљиви на унешене киселине у њих када им је ниво алкалитета од 0 до 0,2 mol/m³, док су системи са високим капацитетом неутрализације код нивоа алкалитета који је једнак или већи од 0,25 mol/m³. С обзиром на капацитет неутрализације (пуферску способност воденог система) уобичајена је подела вода језера у 5 класа:

Класа	Алкалитет (mol/m ³)
I закисељена	0
II веома осетљива	0-0,02
III средње осетљива	0,02-0,10
IV мало осетљива	0,10-0,25
V није осетљива	већа од 0,25

Табела 1: Подела вода језера (Извор: Заштита животне околине, 1991.)

Водени системи са већим степеном неутрализације су мање подложни променама рН вредности воде и када је дужа експозиција киселим кишама, тако да је и живи свет у њима мање осетљив на киселе падавине. Са друге стране, живи свет у воденим екосистемима који су са седиментом који је мање алкалан, изразито је осетљив на киселе падавине, било да се ради о акутном, било хроничном закисељавању таквих вода. Тако је, на пример, западни део САД са воденим системима (језера, реке) који имају седимент са мањим капацитетом неутрализације, тако да је живи свет у њима веома осетљив на повећану количину киселих падавина, што се често дешава код наглог топљења снега на планинама. Слична ситуација је и у појединим земљама Европе.

⁴⁵Павловић Н., Радовић И., *Основи екологије*, Природно-математички факултет у Бања Луци, Бања Лука, 2014. Страна 220.

Промена у популацији рибљег фонда је један од најзапаженијих утицаја промене киселости површинских вода. Као последица тога уочено је да је улов лосоа у Норвешкој опао после 1960. године. Утврђено је да је разлог томе промењена рН вредност воде, јер је у рекама веће киселости овај услов сведен на минимум. У Шведској (где се емитују велике количине оксида сумпора и азота, а део ових оксида долази ваздушним струјањем из западне Европе) има река и језера са доста ниском рН вредношћу, што је узроковало нагло снижење рибљег фонда. У Канади, посебно у Јужном Онтариу, из многих језера читаве врсте риба су нестале услед промене киселости воде. Та киселост, која је настала услед киселих киша, се у појединим језерима константно повећава уништавајући живи свет у њима. Слични, мада драстичнији ефекти, откривени су у САД, у језерском подручју Адитондакс планина, где половина језера на надморској висини изнад 700 метара има рН вредност испод 5, па у 90% ових језера нема уопште риба. Подаци из 1929-1937. године показују да је само четири процената језера имало рН вредност испод 5, а садржавала су рибе. Разлог повећане киселости језера је повећана индустријска активност у подручју Источне обале САД у задњим деценијама, а тиме и већа емисија оксида сумпора и оксида азота у атмосферу.⁴⁶

Када се нитрати нађу у рекама, они у њима делују као минерала ђубрива па убрзавају раст воденог биља што доводи до потрошње кисеоника у води. Они у воде доспевају преко отпадних индустријских вода, вештачких ђубрива спирањем са земљишта или киселих киша.⁴⁷ Негативан утицај киселих киша препознат је и кроз проблем загађивања вода које се користе за водоснабдевање. Према истраживањима Светске здравствене организације (WHO) доћи ће до повећања канцерогених обољења цревног тракта, као последица повећања садржаја нитрата у подземним и површинским водама, које се користе за водоснабдевање.⁴⁸



Слика 3: Последице киселих киша на водене екосистеме (Извор:acidraintoxicity.com)

⁴⁶ Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 158.

⁴⁷ Ђукановић М., *Еколошки изазов*, Елит, Београд, 1991. Страна 234.

⁴⁸ Павловић Н., Радовић И., *Основи екологије*, Природно-математички факултет у Бања Луци, Бања Лука, 2014. Страна 220.

5.2. Ефекти киселих киша на земљиште и вегетацију

Утицај киселина из ваздуха на тло, из кога биљке узимају минерале неопходне за свој развој, може да буде веома значајан, зависно од састава тла, а често веома штетан. Познато је да се минерали и хемијски нутријенти непрестано рециклирају путем биљака и животиња, враћајући се поново у тло. Ови нутријенти често нису у облику које биљке могу директно да користе, тако да су неопходне њихове хемијске трансформације да би их могле искористити. Тако, на пример, да би органске материје биљка могла да користи, неопходно је да буду разложене, што се обично дешава уз помоћ бактерија, које су присутне у тлу или у атмосфери.

Киселе кише могу на овај циклус утицати на два начина. Киселине које падају на тло могу да зауставе процесе распадања органских материја, а тиме и настанак једињења азота који су биљкама неопходни за исхрану. Са друге стране, киселине могу битно утицати на садржај минерала у тлу. Тако, веома важни нутријенти, као што су калцијум и магнезијум, у нормалним условима остају у тлу. При повећаној киселости они се спирају у дубље слојеве тла, те њима осиромашују слојеве земишта, на коме расту и развијају се биљке. Ови ефекти могу имати директни негативан и дуготрајан утицај на раст и развој појединих биљних култура.

Са друге стране, директни контакт киселих киша са листом доводи до деградације веома важних материја, које су нужне за здрави раст биљке: калијума, шећера, протеина, аминокиселина. Киселине из ваздуха такође разграђују воштане материје које штите лист, што омогућава напад плесни. Присутни отопљени тешки метали у кишама утичу на мембране ћелија биљке интерферирајући са изменим материја које су виталне за раст и развој биљака. Киселине такође активирају токсичне метале као што је алуминијум, који уништава младе корене биљака, преко којих се биљка снабдева водом.

Киселе кише, изазване емисијом сумпор-диоксида и оксида азота, у контакту са вегетацијом могу да изазову два типа оштећења листа: акутно и хронично. Акутно оштећење, изазвано релативно кратким утицајем већих концентрација сумпорне и азотне киселине из падавина, манифестује се у оштећењу ћелија које се суше. Болест се испољава променом боје, постаје слична слоновачи, а понекад се мења и до тамноцрвене. Код хроничног оштећења, које настаје при дужим експозицијама биљака мањим концентрацијама полутаната, боја листа постаје жута уз појаву пигментације. Осим тога, долази до промена у листу, које често доводе до колапса листа. Механизам оштећења се темељи на апсорпцији сумпор-диоксида од стране биљке, до његове трансформације у сумпорну киселину и сулфате. Сулфати даље апсорбују сумпор-диоксид уз стварање киселине, која оштећује лист, односно његове ћелије. Хронично оштећење је вероватно последица продора сулфата на лист.

Зелено лишће биљака изложено један сат концентрацијама азот-моноксида од 25ppm претрпи оштећења- развијени и стари листови мање су осетљиви на утицај ових једињења него листови који се развијају или су тек развијени. Утврђено је да се при константној изложености биљака концентрацијама од 2-4ppm азот-моноксида смањује њихов раст. Све ово доводи до успоравања раста и развитка биљака, до спорије синтезе угљеникових хидрата, што има, индиректно, негативно економске последице.

Посебан проблем представља повећана емисија полутаната, као што су сумпор-диоксид и оксиди азота, који у атмосфери прелазе у киселине и падају на тло у подручјима који су значајни за пољопривредну производњу. То је случај и у земљама Балкана, где је већина термоелектрана на угаљ (који су велики емитери сумпор-диоксида и оксида азота) смештена у пољопривредним подручјима или гравитира према њима. На Балкану је у погону 16 термоелектрана на угаљ. Ако се посматра регионална распоређеност термоелектрана на угаљ на Балкану, а тиме и загађеност сумпор-диоксидом, односно загађеност еквивалентном количином сумпорне киселине, уочава се да је количина сумпорне киселине по хектару земљишта изразито висока, посебно у пољопривредном подручју.⁴⁹

Међутим, неопходно је истаћи да киселе падавине осим директног утицаја на земљиште и вегетацију у овим екосистемима значајно смањују и обим минерализације и органске разградње, тиме што директно и индиректно делују на компоненту редуцената- бактерија и гљива.⁵⁰ Познато је да растиње је најосетљивије на деловање сумпордиоксида. Токсично деловање је везано за разграђивање хлорофила. Тако да ако је у атмосфери концентрација сумпордиоксида 0,3 mg/m³, он нарушава фотосинтезу код четинара, што се одражава на губитак тежине код биљака.⁵¹



Слика 4: Последице киселих киша на пољопривреду (Извор: helpsavenature.com)

⁴⁹ Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 48-61.

⁵⁰ Павловић Н., Радовић И., *Основи екологије*, Природно-математички факултет у Бања Луци, Бања Лука, 2014. Страна 220.

⁵¹ Ђукановић М., *Еколошки изазов*, Елит, Београд, 1991. Страна 176.

Ефекти на вегетацију- шумске екосистеме:

- Оштећења на листовима/ иглица (жутило, опадање),
- Оштећење пупољака и младих клијанаца,
- Оштећење коре,
- Оштећење дрвета,
- Аномалије у расту,
- Оштећење корена (укључујући утицај на микроризну компоненту гљива),
- Слабљење отпорности на мраз, инфекције, штеточине,
- Слабљење физиолошког механизма осмотске-водене пумпе, због чега се појединачна стабла суше од вршног дела на доле.⁵²

5.2.1 Уништавање шумских комплекса киселим кишама

Човек угрожава шуме на два начина: сечом, паљењем и киселим кишама.

Киселе кише све више утичу на пропадање шума како у нашој земљи, тако и у свету. Познато је да су овом појавом обухваћени сваким даном све већи комплекси. Уништавање шума посредно делује и на друге екосистеме као и на биосферу у целини. Штетне последице киселих киша су све веће јер њихове лисне површине долазе у непосредан контакт са загађујућим материјама. Лисна површина шума је различита и у зависности је од врста шуме, њене структуре и старости и она је најчешће 4,5 до 17 пута већа од површине шуме. Распрострањеност шумског фонда је већ на граници испод које не би смело да иде даље: на Балкану 30%, а у Европи 33%.

Иако се зна да је пропадање шума све израженије, тешко је утврдити прави узрок:

- Који су загађивачи(индустријски, урбани или енергетски)?
- Са ког су подручја доспели до шума које су угрожене?
- Који су загађивачи у саставу киселих киша?

Такође се не зна површина шума које су обухваћене загађењима зато што се истраживања не обављају у свим земљама, а у оним у којима се обављају истраживања, резултати су забрињавајући. Подаци из пописа (*Табела 2.*) показују колико је проблем озбиљан. Оштећена је огромна површина европских шума, а бележи се и даљи стални раст оштећења.

⁵²Павловић Н., Радовић И., *Основи екологије*, Природно-математички факултет у Бања Луци, Бања Лука, 2014. Страна 220.

Држава	Година	Површина оштећених шума
СР Немачка	1984.	370.000 ha
Аустрија	1984.	330.000 ha
Француска	1983.	400.000 ha
Шведска	1981.	200.000 ha
Чехословачка	1982.	450.000 ha
Пољска	1983.	558.000 ha
Швајцарска	1981.	140.000 ha

Табела 2: Оштећене шуме киселим кишама (Извор: Еколошки изазов, 1991.)

Многи шумски комплекси у САД, Канади и Европи су нападнути и оштећени. Тако је у Чехословачкој 37% шумских комплекса оштећено, у Немачкој је уништено 12% шума. Слична ситуација је и у Швајцарској, Пољској, на Балкану и другим европским земљама. Утврђено је да је принос шумске масе у САД опао од 1960. године. Разлог томе је загађени ваздух, који утиче на циклус метаболизма у дрвећу. И то, поред осталог, има негативне економске последице.⁵³

Полутанти и киселе кише имају и негативни и позитивни утицај на дрвеће. Гасовити полутанти, као што су озон, сумпор-диоксид и оксиди азота, као и њихове киселине, имају негативне последице. Они директно делују на биљку тако што кроз стоме продру у лист биљке и оштећују је. Киселе кише могу имати и позитивне ефекте јер сумпорна и азотна једињења служе и као нутријенти. Са друге стране, киселе кише отапају нутријенте из тла осиромашујући га и ослобађају алуминијум, који је токсичан за биљке.⁵⁴

Најчешће примарне загађујуће материје из ваздуха које негативно утичу на биљни фонд шума су: сумпор-диоксид, азотови оксиди, сумпорна и азотна киселина, хлороводонична киселина, оловни оксид и озон. Од киселих киша 1972. године страдало је 8% шума, 1973. године 15%, 1974. године 45%, а 1985. године 60%. Најугроженије врсте су смрека, јела, храст, буква. Највише су оштећене старе састојине (старије од 60 година), а мање младе.

Шуме имају хидролошку функцију. Ако су оштећене од киселих киша оштећења су видна од врха ка стаблу. Сумпор-диоксид и у малим концентрацијама ремети процесе фотосинтезе. Код већих концентрација настају трајна оштећења биљних ћелија па се наставља све до некрозе. Велика концентрација сумпор-диоксида има већи негативни утицај на биљни фонд него дуже трајање имисије. То значи да су краткотрајне високе концентрације сумпордиоксида штетније него дуготрајно дејство нижих концентрација. Због тога су у зимском периоду посебно угружени четинари.

⁵³ Ђукановић М., *Еколошки изазов*, Елит, Београд, 1991. Страна 301-304.

⁵⁴ Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 159.

Токсичност азотних оксида за биљке је 2 до 3 пута мања од сумпор-диоксида, али и поред тога представља опасност. Сумпорводоник и угљен-моноксид у комбинацији са азотним оксидима преко фотохемијског смога могу да оштете биљке. Секундарни загађивач који се стварара фотохемијским реакцијама је озон, који такође штетно делује на биљке.

Посебно се приметна оштећења и штете биљака у пољопривредној производњи и шумарству. Осим ових директних штета јављају се и секундарне штете због умањене резистентности биљака према мразевима, гљивама и штетним инсектима. То значи да оваква загађења представљају еколошки ризик за читаве шумске екосистеме.⁵⁵



Слика 5: Последице киселих киша на шуме (Извор: usgs.gov)

5.3 Ефекти киселих киша на зграде и споменике културе

Киселе падавине не само да нарушавају и уништавају природне екосистеме и људско здравље, већ такође и људске грађевине и материјале, на које често гледамо као нешто што је неуништиво. Мермер, кречњак, грађевински камен и шљунак су сви лако разградиви материјали помоћу киселих падавина.⁵⁶ Због тога, постајемо свесни додатне забринутости: многе од наших историјских зграда и споменика налазе се у подручјима највише киселости. У Европи, где су зграде много старије и ниво загађења је десет пута већи него у Сједињеним Државама, све је већа свест да загађење и киселе кише убрзавају пропадање зграда и споменика.

⁵⁵Ђукановић М., *Еколошки изазов*, Елит, Београд, 1991. Страна 304.

⁵⁶Павловић Н., Радовић И., *Основи екологије*, Природно-математички факултет у Бања Луци, Бања Лука, 2014. Страна 220.

Камен се распада (погоршава) као део нормалног геолошког циклуса кроз природне хемијске, физичке и биолошке процесе када је изложен околини. Киселе падавине утичу на камен првенствено на два начина: растварање и промену.

Када сумпорна и азотна киселина у загађеном ваздуху реагују са калцитом у мермеру и кречњаку, калцит се раствара. На изложеним површинама зграда и статуа, видимо храпаве површине, уклањање материјала и губитак резбарених детаља. Материјал камене површине може се изгубити свуда или само на местима која су реактивнија. Јавља се забринутост да загађење ваздуха, посебно у урбаним срединама, може убрзати нормалну, природну стопу пропадања камена, тако да можемо прерано изгубити зграде и скулптуре од историјске или културне вредности.⁵⁷ Конструкциони материјали израђени од калцијум карбоната, под утицајем киселих киша и других полутаната из ваздуха, временом мењају своје особине, посебно површински слој. Сумпор-диоксид из ваздуха заједно са сумпорном киселином реагује са калцијум карбонатом превodeћи га у калцијум-сулфат (гипс), који је растворљив у води. Тако се на фасадама објекта ствара црна сулфатна кора, коју чини калцит, гипс, летећи прах, чађ и друго. Она се лако испира киселим кишама, стварајући, на тај начин, нов слој на објекту, који поново бива нападнут полутантима и киселим кишама.

Поред грађевинских објеката, на овај начин страдају споменици културе постављени на отвореном простору. Мермерне статуе и споменици од мермера, поједине грађевине као споменици старих култура, који су вековима остали непромењени, у последњим деценијама пропадају забрињавајућом брзином, што ствара непромељиве и ненакнадиве штете.⁵⁸

Може се очекивати да заклоњена подручја камених зграда и споменика не буду погођена киселим падавинама. Међутим, заштићене области на кречњачким и мермерним зградама и споменицима показују поцрнеле корице које су се на неким местима разбиле (откриле), откривајући рушевни камен испод. Ова црна кора је првенствено састављена од гипса, минерала који настаје из реакције између калцита, воде и сумпорне киселине. Гипс је растворљив у води, иако се може формирати било где на површинама од карбонатних камена које су изложене гасу сумпор-диоксида (SO₂), обично се испере. Она остаје само на заштићеним површинама које нису директно опране кишом.

⁵⁷ *Wather as acid rain* (2019), Preuzeto 10.05.2019., sa: U.S. Geological Survey-https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/water-acid-rain?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

⁵⁸ Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990.

Гипс је беле боје, али кристали формирају мреже које заробљавају честице прљавштине и загађивача, тако да кора изгледа црно. На крају су црне коре помешале и откинуле се, откривајући камен који се распада.⁵⁹

Познато је, као пример, да скулптура од мермера која је у Немачкој постављена 1702. године, а снимљена 1908. године, није имала никаквих оштећења. Међутим, испитивања у 1969. години показују њена велика оштећења, као последица штетног деловања полутаната из ваздуха. Слична ситуација је и са многим другим споменицима културе у европским градовима, где је највише смештено споменика културе, а где су такође изражене киселе кише. Тако долази до постепеног разарања Акропоља и Партенона у Грчкој, Келнске катедрале, Кип слободе у Њујорку, катедрала у Фрајбургу, скулптуре у слободном простору у Минхену, споменик кнезу Михаилу и друго, веома су оштећени. Палате у Венецији, вредни споменици културе, пропадају. Рачуна се да је од 420 венецијанских палата 300-380 у стању пропадања, а према прорачуну годишње пропада 6% мермера на многим грађевинама. Бронзани споменици културе такође брзо пропадају.⁶⁰ Верује се да је Акрополис више оштећен задњих неколико деценија, него претходних 2500 година. Такође и Клеопатрина игла, камени обелиск који из Египта пренет у Њујорк, претрпео је оштећења свих хијероглифа на западној страни (доминантан правац струјања влажних ваздушних маса). Учињено је више штете обелиску за 90 година његовог боравка у Централ парку него за 3500 година његовог боравка у долини Нила.⁶¹



Слика 6: Клеопатрина игла у Њујорку оштећена киселим кишама (Извор:arheoamateri.com)

⁵⁹Wather as acid rain (2019), Preuzeto 10.05,2019., sa: U.S. Geological Survey-https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/water-acid-rain?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

⁶⁰ Ђуковић Ј.,*Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 162.

⁶¹Павловић Н., Радовић И., *Основи екологије*, Природно-математички факултет у Бања Луци, Бања Лука, 2014. Страна 220.



Слика 7: Скулптура у Дрездену у Немачкој оштећена киселим кишама(Извор: wikipedia.org)

5.4 Ефекти киселих киша на материјале

Киселе кише штетно утичу на конструкционе и друге материјале. Челичне конструкције ће брже кородирати под утицајем киселина из ваздуха, а и конструкције од других метала. Метали и боје лако кородирају и пропадају, на киселе падавине осетљиви су и текстилни материјали, кожа (штављена), гума, као и керамика.⁶²

Корозију метала, као што је гвожђе, оксиди сумпора, заједно са осталим конституенсима атмосфере, изазивају најинтензивније када је повећана влажност ваздуха. Код релативне влажности ваздуха, која је испод 70%, корозија је спорија, док је изнад ове вредности влажности ваздуха веома изражена. Испитивања су показала да брже кородирају метали у урбаним срединама, где је загађеност ваздуха већа, а тиме и већи садржај сумпорних оксида. Утврђено је да је корозија 1-5 пута већа у урбаним него у неурбаним срединама. Исто тако, корозија је интензивнија у току зимских месеци, када је емисија честица и сумпор-диоксида већа. Интензитет корозије и садржај сумпор-диоксида у атмосфери су у корелацији.⁶³

⁶²Павловић Н., Радовић И., *Основи екологије*, Природно-математички факултет у Бања Луци, Бања Лука, 2014. Страна 220.

⁶³Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 49.

Осим тога, текстилна влакна и одевни предмети од памука, најлона и других синтетичких влакана су подложни оштећењу од атмосферског сумпор-диоксида. Слично се дешава и са папиром које је изложен утицају сумпордиоксида из атмосфере. Сумпор-диоксид оштећује и боје и лакове, уз присуство амонијака у атмосфери ово оштећење је још интензивније.

Истраживања су показала да оксиди азота и њихови реакциони продукти утичу на боје текстилних материјала, који бледе, на текстилне адитиве, који постају жути. Они такође разарају памучне материјале и убрзавају корозију појединих метала. Још пре неколико деценија уочено је да оксиди азота утичу на поједине осетљиве материјале који се употребљавају за бојење, посебно, влакана ацетатне целулозе, где су боје бледеле.

Уочено је да је утицај оксида азота на боје директно зависан од влажности ваздуха. Испитивања су такође показала да оксиди азота утичу и на промену својства оптичких белила, омекшивача, антистатичних материјала, као и других додатака. Већи садржај оксида азота у ваздуху изазива корозију никлованих материјала. То је посебно изражено при већој влажности ваздуха.⁶⁴

5.5 Ефекти киселих киша на људе

Киселе падавине имају негативне ефекте на људско здравље на директан или индиректан начин. Киселе падавине узрокују да се токсични метали ослободе из једињења у којима су до тада били везани и на тај начин метаболички инаktivирани.⁶⁵

Честице сумпорне киселине и амонијум-сулфата, које се појављују у атмосфери веома су мале (размера од $1\mu\text{m}$), тако да се могу пренести на велике удаљености и уносити у респираторни систем човека. Капљице киселина у респираторном ситему делују директно на ткиво разарајући га. Ово деловање је још израженије уз присуство других полутаната које човек уноси у организам. Поједини научници сматрају да је око 2% смртности у САД и Канади последица загађења атмосфере честицама сумпорне киселине и сулфата. Експерименти вршени са животињама показују да честице сумпорне киселине које се уносе са ваздухом у организам имају негативне здравствене ефекте.

⁶⁴ Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 49-61.

⁶⁵ Павловић Н., Радовић И., *Основи екологије*, Природно-математички факултет у Бања Луци, Бања Лука, 2014. Страна 220.

Честице сумпорне киселине у ваздуху концентрације $750\mu\text{m}/\text{m}^3$ иритирају очи и смањују тренутну виљивост. Сумпорна киселина у ваздуху концентрације $350\mu\text{m}/\text{m}^3$ доводи до убрзаног дисања.

Дужа експозиција честицама сумпорне киселине узрокује хронична обољења, на шта су посебно осетљива деца. Присутни сулфати и сумпорна киселина у ваздуху потпомажу болести плућа које изазивају други полутанти (као на пример, полинуклеински ароматични угљоводоници). Повећане концентрације сумпорне киселине и сулфата у ваздуху доводе до погоршања појединих болести као што су астма, хронични бронхитис, срчане болести и друго.

Као што је напоменуто, киселе кише делују и индиректно на здравље људи. Са повећањем киселости падавина повећава се отапање појединих материјала и тешких метала у води, које човек директно уноси у организам. Са друге стране, растворено тешки метали и токсичне материје, који се акумулирају у ткивима водених организама, човек уноси у организам исхраном.

Потенцијална опасност за здравље човека престављају честице азбеста, које се издвајају из материјала који садрже азбест (циљеви за воду), услед повећане киселости вода. То може бити узрок великог броја обољења од канцера.

Смањена рН вредност воде (испод 6,5), доводи до већег отапања олова у води и до повећања његових концентрација. Утврђено је да поједина подручја, чије су воде са нижом рН вредности, имају садржај олова у води који је и до 100 пута већи од уобичајеног. Слична ситуација је и са садржајем живе у води, чија количина се повећава са повећањем киселисти вода. Истаживања су показала да се количина живе у ткиву риба повећала са повећањем киселости појединих водених система Скандинавије, САД и Канаде. Рибе из језера са малим капацитетом неутрализације садрже у своме ткиву веће концентрације живе. Исхрана таквим рибама може да доведе до здравствених проблема, а слична ситуација је и са алуминијумом, бакром и кадмијумом.⁶⁶

⁶⁶ Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 162.

5.6 Киселе кише и повезани проблеми

Одлагање киселине је повезано са смогом и видљивошћу/регионалном измаглицом кроз заједничке емисије и прекурсоре, производне путеве и метеоролошке процесе. Емисије сумпор-диоксида (SO_2) и азотних оксида (NO_x) из термоелектрана на угаљ и нафту, топионица, моторних возила и других извора повезаних са људским ресурсима, главни су доприноси таложењу киселина, приземног озона и честица. Фина честица је главни узрок слабе видљивости и регионалне измаглице. Смањење SO_2 и NO_x ће довести до побољшања таложења киселина, видљивости и озона.

Постоје и везе између киселих киша и оштећења озонског омотача и климатских промена. Интеракције између киселих киша, ултраљубичастог зрачења и климатских промена могу повећати утицај киселих киша. На пример, зато што киселост смањује количину растворене органске материје у језерској води, кисела језера су јаснија и стога су подложнија ефектима повећаних UV нивоа. Климатске промене могу утицати на ниво киселина у језерима, јер врући и суви услови претварају безопасне сумпорна једињења који су се накупили у мочварама у сулфатима који формирају киселине. Када пада киша, ови сулфати се испиру у околна језера, повећавајући њихове нивое киселине.

Емисије живе и других опасних загађивача делују у синергији са SO_2 и NO_x како би се погоршали штетни ефекти таложења киселина на рибу и дивље животиње. Повећана киселост тела повећава стопу конверзије живе у токсичну и биодоступну метил-живу (MeHg). Студије су показале да су значајни падови атмосферског таложења сулфата и живе повезани са падом нивоа живе у рибама и рибама које конзумирају дивље животиње.⁶⁷

⁶⁷Reducing acid rain,2013, Преузето 05.05.2019., са: Government of Canada-
<https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-pollution/issues/acid-rain-causes-effects/reducing.html>

6. Спречавање и смањивање штетних утицаја киселих киша

Концепт далекосежног прекограничног загађења ваздуха рођен је седамдесетих година прошлог века када су научници успели да повежу еколошку штету са таложењем загађујућих материја које су прелазиле велике удаљености од њихових извора преовлађујућим ветровима. Решење овог сложеног проблема захтевало је локално, регионално, национално и међународно деловање.⁶⁸

Смањење емисије киселих киша, односно довођење рН вредности киша што ближе неутралној тачки (рН-7), а тиме и елиминација њиховог штетног утицаја, данас се озбиљно проучава и сагледавају најпогоднији и најефикаснији правци деловања. Мада постоје различити приступи овоме проблему, смањење емисије киселих киша може да се остави на неколико начина:

- Контролом и смањењем емисије оксида и азота,
- Додавањем кречњака у језера и површинске акумулације које немају довољне пуферске капацитете, а закишељене су киселим кишама,
- Десулфуризацијом горива пре његове употребе (посебно угљева),
- Уградњом уређаја за смањење емисије сумпор-диоксида и оксида азота у постојећа енергетска постројења.

При решавању ове проблематике мора се водити рачуна о цени, потрошњи енергије и стварној могућности смањења емисије. Поједини научници сматрају да би се проблем закишељавања вода могао ублажити додавањем калцијум-карбоната или других алкалних материјала ради неутрализације киселина у језерима, рекама и другим воденим акумулацијама. Тиме би се неутралисале све врсте киселина. Додавањем кречњака у воде побољшавају се услови за развој биљака и риба у води. Тако је, на пример, успешно регулисана рН вредност четири закишељена језера у Канади додатком кречњака. Међутим, ова метода је ограниченог ефекта и може се применити у ограниченом броју случајева. Прањем угља, ради одстрањивања сумпора из њега, у првом реду пиритног сумпора, смањује се емисија сумпор-диоксида. Код појединих угљева, као што су угљеви из Пенсилваније и Илиноиса, овом методом смањује се емисија сумпор-диоксида за око 30%. Постављањем скруберских уређаја за издвајање сумпор-диоксида из димних гасова може се смањити емисија сумпор-диоксида до 90%.⁶⁹

⁶⁸*Reducing acid rain*, 2013, Преузето 05.05.2019., са: Government of Canada-
<https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-pollution/issues/acid-rain-causes-effects/reducing.html>

⁶⁹Ђуковић Ј., Заштита животне околине, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990.
Страна 156-164.

6.2 Мерење и мониторинг киселих киша

Одређивање киселости падавина и њиховог састава почиње средином прошлог века од стране Левса и сарадника. Смит је публикувао податке о саставу падавина на подручју Велике Британије и Немачке. Педесетих и шездесетих година овог века почиње интензивније истраживање киселих киша.⁷⁰

Киселост на киши се мери прикупљањем узорака кише и мерењем рН вредности. Да би се утврдила дистрибуција киселости кише, прате се временски услови и узорци. Кише се прикупљају на локалитетима широм земље. Подручја највеће киселости (најниже рН вредности) налазе се у североисточним деловима САД. Овај образац високе киселости узрокован је великим бројем градова, густом популацијом и концентрацијом енергетских и индустријских постројења на североистоку САД. Осим тога, преовладавајући смер ветра доноси олује и загађење на североистоку од Средњег запада, а прашина из тла и стена у североисточним САД мање је вероватно да ће неутрализовати киселост на киши.⁷¹

Основна сврха одређивања рН вредности и састава падавина јесте да се утврди састав падавина који долази до тла, а тиме и његов утицај на екосистем, здравље људи, материјална добра и друго. За одређивање састава падавина данас се примењује више метода и уређаја.

Један од уређаја за одређивање киселих падавина, који се успешно примењује у Великој Британији, за узорковање падавина има левак од полипропилена величине 20 центиметара и полиетиленску боцу од 2,5 литара. Боца је заклоњена од сунца. Левак је снабдевен уређајима који се отварају или затварају, зависно од тога да ли пада или не пада киша.

Специјални сензор реагује на капи кише тако да код почетка падавина мотор отвара клапну на левку, односно затвара клапну када престане киша. Тиме се спречава узорковање чврстих и других честица када киша не пада. Веома је значајно обезбедити да је фаза узорковања спроведена на одговарајући начин, односно да се елиминише сваки накнадни утицај на састав падавина, односно спрече хемијске реакције у узорку.

⁷⁰ Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990. Страна 156-164.

⁷¹ *Wather as acid rain* (2019), Преузето 10.05,2019., са: U.S. Geological Survey-https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/water-acid-rain?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

На резултате анализе узетих узорак падавина и резултате узорковања могу утицати следећи фактори:

- Контаминација површине левка честицама(из тла или из атмосфере) које могу да упадну или да се сперу са левка у боцу са узорком,
- Контаминација боце и левка биолошким материјалима,
- Контаминација површине левка гасовима као што су SO_2 , NO_x , NH_3 , који могу бити растворени у узорку воде,
- Реакција између конституената у падавинама и материјала за скупљање узорка,
- Испаравање воде из уређаја за узорковање,
- Промена састава узорка с временом услед хемијских или биолошких процеса,
- Конструкција уређаја за скупљање узорка, односно његова ефикасност.

Узети узорак падавина, било да се ради о тренутном или кумулативном узорку, анализира се уобичајеним методама (рН метар, АА спектрофотометрија или класичне колориметријске и гравиметријске методе).

Киселе падавине садрже поједине киселине и друге конституенте који се појављују у ваздуху посматраног подручја. Од киселина најзаступљеније су сумпорна, нитратна(азотна) и карбонатна киселина. У мањем обиму је присутна хлороводонична киселина и поједине органске киселине.

Одређивање састава киселих падавина у САД показују да од киселина 65-70% чини сумпорна киселина и да нитратна киселина чини 1/3-1/5 количине сумпорне киселине. Утврђено је да се појављује до 6% хлороводничне киселине. Пропорција поједних киселина варира сезонски тако да се садржај сумпорне киселине повећава у току летњих месеци, док се садржај нитратне киселине не мења значајно у току године.

Однос киселина у падавинама се мења од подручја до подручја, а у првом реду зависно од интензитета емисије примарних полутаната. Тако падавине Западног дела САД садрже често једнак однос сумпорне и нитратне киселине, да би у неким случајевима сумпорна киселина премашила 80%. Падавине у близини океана садрже и до 90% сумпорне киселине.

На састав падавина значајно утичу локални услови, као што су близина мора и океана, близина извора полутаната и друго. Појава веће количине хлорида је примећена у падавинама близу мора и океана. Истраживања показују да близина мора и океана утиче на повећање количине морске соли, односно њених конституената у падавинама.⁷²

⁷² Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990.

Мрежа дугорочног мониторинга (LTM) мери и прати хемију површинских вода на преко 280 локација како би пружила вредне информације о здрављу водених екосистема и како водна тела реагују на промене у емисијама које узрокују киселине и таложењу киселине.⁷³

Политичари, истраживачи и еколози ослањају се на Национални програм за атмосферско таложење (National Atmospheric Deposition Program's-NADP) и Националну мрежу трендова (National Trends Network-NTN) за мерења влажног таложења. NADP и NTN сакупља киселе кише на више од 250 локација за праћење широм САД, Канаде, Аљаске, Хаваја и Америчких Девичанских острва. За разлику од влажног таложења, суво таложење је тешко и скупо за мерење. Процене сувог таложења за загађиваче азота и сумпора обезбеђују се у Мрежи чистог ваздуха и Мрежи трендова (Clean Air Status and Trends Network-CASTNET). Концентрације ваздуха се мере CASTNET-ом на више од 90 локација.⁷⁴

Страна 155-156.

⁷³Ђуковић Ј., Заштита животне околине, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990.

Страна 156.

⁷⁴*What is acid rain*, Преузето 11.05.2019., са: United States Environmental Protection Agency-
<https://www.epa.gov/acidrain/what-acid-rain>

7. Закључак

Разумејући проблематику киселих киша долазимо до закључка да су оне у прошлости, сада, али ће и у будућности представљати велики проблем. Оне утичу на читав живи свет, животну средину, људе, али и људске творевине. Проблем је што их не можемо контролисати директно, већ се њихово спречавање и смањивање мора чинити постепено, првенствено смањивањем загађивача атмосфере.

Количина полутаната емитованих у ваздух, који узрокују киселе кише, првенствено сумпор-диоксида и оксида азота, повећава се из године у годину. Овај тренд се не смањује, с обзиром на то да се чак и повећава потреба за производњом и коришћењем енергије, сагоревањем фосилних горива, отварања термоелектрана и рафинерија нафте и других постројења. Проблем представља и густина популације, велики број градова, где су концентрације загађивача највеће. Све ово показује да емисија полутаната у ваздух само може расти у будућности, узрокујући све веће штете.

Загађивачи ваздуха емитовани у атмосферу преносе се стотинама километара далеко, тако да загађење ваздуха, па самим тим и појава киселих киша, није локални проблем. Ово је међународни проблем, тако да треба да забрињава читаву међународну заједницу, па чак и места на којима уопште нема загађивања људском делатношћу. Можемо рећи да сва места на нашој планети осећају последице загађења вадуха и киселих киша.

Све ово доводи до тога да стално треба пратити и изучавати проблем загађења ваздуха, који узрокује појаву киселих киша, а онда утицати на његово смањење. Првенствено, мора се вршити стални мониторинг загађења ваздуха, да би се спречила многа друга загађења на нашу Земљу. Стално праћење киселости падавина помаже нам да утврдимо који полутанти ставарају киселе кише, њихову концентрацију, дистрибуцију киселости, а затим и утицај првенствено на људе и животну средину. Ови резултати помажу да се утврди који ће се начини и методе користити за спречавање ове појаве.

Проблем киселих киша је директно повезан са загађењем ваздуха и он се може једино повећати у будућности, узрокујући све веће и катастрофалније последице. Већ смо суочени са губитком читавих шусмких комплекса, угинућа читавих воденог света, уништавањем пољопривредног земљишта и приноса, али и уништавањем материјалних и културних добара, то јест делују и на све предмете на Земљи. Све су ово последице киселих киша.

Литература

1. Ђукановић М., *Еколошки изазов*, Елит, Београд, 1991.
2. Ђуковић Ј., *Заштита животне околине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990.
3. Ђурић Д., Петровић Љ., *Загађење животне средине и здравља човека-екотоксикологија*, Веларта, Београд, 1996.
4. Павловић Н., Радовић И., *Основи екологије*, Природно-математички факултет у Бања Луци, Бања Лука, 2014.
5. Савић И., Терзија В., *Екологија и заштита животне средине*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1996.
6. Стевановић Б. и други, *Енциклопедија- животна средина и одрживи развој*, Завод за уџбенике и наставна средства, Српско Сарајево, 2003.

Интернет извори:

1. *Reducing acid rain* (2013), Преузето 05.05.2019., са: Government of Canada-
<https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-pollution/issues/acid-rain-causes-effects/reducing.html>
2. *Wather as acid rain* (2019), Преузето 10.05.2019., са: United States Geological Survey-
https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/water-acid-rain?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
3. *What is acid rain*, Преузето 11.05.2019., са: United States Environmental Protection Agency-
<https://www.epa.gov/acidrain/what-acid-rain>

Слике извори:

- Слика 1: <https://www.epa.gov/acidrain/what-acid-rain>, Преузето: 25.05.2019.
- Слика 2: <https://www.epa.gov/acidrain/what-acid-rain>, Преузето: 25.05.2019.
- Слика 3: <https://acidraintoxicity.weebly.com/effects-of-acid-rain.html>, Преузето: 22.05.2019.
- Слика 4: <https://helpsavenature.com/causes-effects-of-acid-rain>, Преузето: 22.05.2019.
- Слика 5: https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/water-acid-rain?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects, Преузето: 20.05.2019.
- Слика 6: <http://www.arheo-amateri.rs/2014/12/kleopatrina-igla/>, Преузето: 20.05. 2019.
- Слика 7: https://en.wikipedia.org/wiki/Acid_rain, Преузето: 20.05.2019.

Табеле извори:

- Табела 1: Ђуковић Ј., **Заштита животне околине**, Завод за уџбенике и наставна средства, Сарајево, 1990.
- Табела 2: Ђукановић М., **Еколошки изазов**, Елит, Београд, 1991.

