

# Utjecaj kiselih kiša na živi svijet

---

Ćaćić, Tatjana

Undergraduate thesis / Završni rad

2009

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:468924>

Rights / Prava: [In copyright](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2021-10-25**



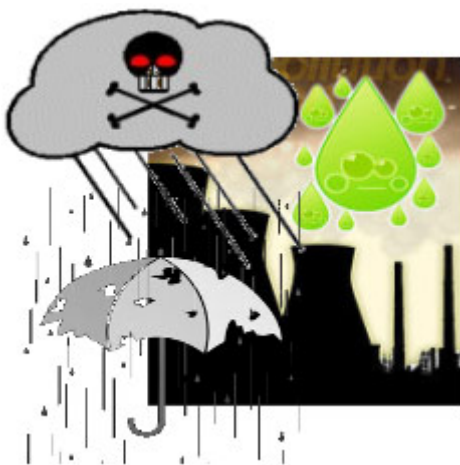
Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO- MATEMATIČKI FAKULTET  
BIOLOŠKI ODSJEK

**UTJECAJ KISELIH KIŠA NA ŽIVI SVIJET**  
**INFLUENCE OF ACID RAINS ON THE LIVING**  
**WORLD**



STUDENT: Tatjana Čačić

Preddiplomski studij biologije

(Undergraduate Study of Biology)

MENTOR: Doc. dr. sc. Zlatko Mihaljević

Zagreb, 2009.god.

## **SADRŽAJ:**

1. UVOD .....	2
2. UZROČNICI KISELIH KIŠA .....	3
3. UTJECAJ KISELIH KIŠA NA ATMOSFERU .....	7
4. UTJECAJ KISELIH KIŠA NA LITOSFERU .....	8
5. UTJECAJ KISELIH KIŠA NA HIDROSFERU .....	11
6. NAČINI ŽAŠTITE OKOLIŠA OD UTJECAJA KISELIH KIŠA .....	15
7. LITERATURA .....	17
8. SAŽETAK.....	18
9. SUMMARY.....	19

## 1. UVOD

Ekosferu, odnosno površinski, živim bićima protkani plašt planeta Zemlje, izgrađuje šest različitih oblika materije. To su anorganske tvari; fosilne biogene tvari (organski sediment, treset, ugljen i dr.); mrtve, biogene tvari, koje sudjeluju ili mogu sudjelovati u kružnim tokovima materije; žive organske tvari, biomasa; slobodne molekule i raštrkani atomi i meteoriti i međuplanetarna prašina (Glavač 2001).

Život nekog organizma moguć je samo onda kad je on dovoljno opskrbljen energijom. Njegovu građu i životne funkcije može održati samo kontinuirani protok energije, energije koja biva primana iz okoliša, koja u organizmu obavlja određene radnje i koja biva na različite načine opet odaslana u okoliš. „Svi oblici koji nestaju druge oblike daruju. U kruženju životni dah hvatamo i umiremo kao mjehuri na moru valovima nošeni oni rastu, prskaju i moru se vraćaju“ - A. Poup

Ekologija (grč. „oikos“ - dom, stanište i „logos“ - znanje, smisao) je znanost o međusobnim odnosima i utjecajima žive i nežive prirode, o međusobnim ovisnostima živih bića i njihove životne sredine, a u središtu je pažnje međusobna ovisnost živih bića.

Jedno od bitnih problema koje znanstvenici - ekolozi prepoznaju, proučavaju, pokušavaju ispraviti ili ublažiti jeste promjena klime, pod utjecajem prekomjernih čovjekovih djelatnosti, koja utječe na izmjenu ekosfere, što u najvećem broju slučajeva negativno utječe na živi svijet. Zabrinjavajuće je što je u današnje doba čovjekova aktivnost uzrokovala promjene u okolišu koje su globalnih razmjera. Te promjene uključuju efekt staklenika. Zemljina površina apsorbira solarnu radijaciju i zatim je emitira u obliku dugovalnoga zračenja ili toplinske energije. Plinovi poput CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, HCFC, CFC, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> apsorbiraju zračenje dugih valnih duljina tako da prevelika količina tih plinova i vodene pare ne dopuštaju odlazak suviše topline iz Zemljine atmosfere i time uzrokuju globalno zatopljenje. Uništavanje ozonskog omotača također je posljedica utjecaja čovjeka. Ozon je veoma bitan za živi svijet jer štiti od UV zračenja koje može izazvati oštećenja DNA. On štetnu UV radijaciju pretvara u neopasnu toplinsku energiju. Kada UV zračenje dopre do molekule ozona, razbija je na molekulu kisika i atom kisika uz oslobađanje topline, a kako je atom kisika nestabilan, ponovno se veže sa molekulom kisika, tvoreći opet ozon. Promjenom klime mijenja se i stanište koje postaje, za većinu vrsta, nepogodno. Također, na promjenu klime utječu kisele kiše (Jelenić i sur. 2004).

Problem kiselih kiša nije novost. Prvi put se spominje još u 17. stoljeću kada su ljudi primijetili negativan utjecaj industrijalizacije na biljke i životinje. Potom 1872., škotski kemičar Angus Robert Smith, izdaje knjigu: „Art and Rain: The Beginnings of Chemical Climatology“, u kojoj koristi termin „kisele kiše“. Problem postaje ozbiljan od 1960-tih kada su ribari opazili povećanu redukciju kvantiteta riba u jezerima Sjeverne Amerike i Europe, a od osamdesetih godina prošlog stoljeća se intenzivno raspravlja o problemu kiselih kiša. Što zapravo to predstavlja?

Kiša je spoj vodene pare i različitih čestica koje iz kristalnog oblika iz viših slojeva atmosfere padaju na zemlju u tekućem stanju jer kristali „rastu“ oduzimajući zraku vodenu paru, postaju preteški i počnu padati ka toplijem dijelu atmosfere gdje, kada pređu 0 °C mijenjaju agregatno stanje. Kiša je prirodno kisela zbog prisustva ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) u atmosferi, te joj pH vrijednost iznosi 5.5 - 5.7. Kisela kiša je padalina koja je zagađena raznim spojevima. pH vrijednost kisele kiše iznosi u prosjeku 4 do 4,5. To otprilike odgovara 40 puta većoj količini kiseline u odnosu na neopterećenu kišnicu. Smanjenje pH vrijednosti za jednu mjeru znači prirast kiselosti za deseterostruko (Glavač 2001).

Uzroci zbog kojih je kiša zakiseljena su plinovi (sumporni, dušikovi, ugljični oksidi) koji dolazeći u dodir sa vodom reagiraju stvarajući kiseline, ali kiseli su i snijeg, oblaci, magla. Iako su glavni prirodni izvori onečišćenja uzrokovana prirodnim putem npr. erupcije vulkana, požari, na taj se način oslobađa samo oko 10% sumporova dioksida i dušikovik oksida. Preostali postotak proizvod su čovjekovih tehničkih izuma.

## **2. UZROČNICI KISELIH KIŠA**

Povećanje koncentracije ugljik dioksida (CO<sub>2</sub>) onečišćuje atmosferu tako da utječe na promjenu klime. Učinak djelovanja stakleničkih plinova u slojevima atmosfere je da se površina naše Zemlje neprirodno zagrijava. Dio ukupnog ugljika živih organizama iz prijašnjih milenija pohranjen je u fosilnim gorivima (nafta, ugljen, plin). Povećanom potrošnjom fosilnih goriva u prošlom stoljeću naglo se povećalo oslobađanje ugljikova dioksida u atmosferu (do tih podataka se došlo analizom mjehurića zraka zarobljenih u ledu ledenjaka na Grenlandu i Antartici). Svaki se dan potroši onoliko nafte koliko se stvaralo u 110 000 godina tijekom evolucije našeg modrozelenog planeta. Došlo je do neravnoteže u potrošnji autotrofnih organzama i emisije ugljikova dioksida. Nastavi li se povećavati količina ugljičnog dioksida, površina mora mogla bi postati kiselija nego ikada prije u posljednjih 300 milijuna godina (osim u razdobljima globalnih katastrofa).

Osim toga, pokazalo se da se biološka produktivnost oceana nakon osamdesetih godina 20. stoljeća smanjila za šest posto. Kako se povećava količina ugljičnog dioksida u atmosferi, sve veća količina toga plina reagira s morskom vodom, zbog čega nastaju bikarbonati i ioni vodika, a to povećava kiselost površinskoga sloja mora. Nakon ledenoga doba pH oceana iznosio je 8,3, neposredno prije početka industrijske ere i ispuštanja CO<sub>2</sub> iznosio je 8,2 a danas pH oceana iznosi 8,1. Eksperimentima se pokazalo da će atmosferski CO<sub>2</sub> postići najveću vrijednost do 2300. godine s 1900 ppm, što je pet puta više nego danas. Zbog toga će pH vrijednost površinskoga sloja mora pasti na 7,4 i ostat će na toj razini nekoliko stotina godina.

U reakciji plina s vodom (Slika 1) nastaje ugljična kiselina :  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$

Dušikovi oksidi zauzimaju značajno mjesto među aeroonečišćivačima. Najvažniji među njima su dušikov monoksid (NO) i dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>). Vrlo su otrovni. Nastaju kao sporedni produkti rada motora s unutarnjim izgaranjem, pa se nalaze u većim konc. u velikim gradovima s gustim prometom. Veliki su zagađivači zraka i nadzvučni avioni koji otpuštaju mnogo dušikovih oksida. Dušikovi oksidi nastaju također izgaranjem ugljena, drva, loživog ulja i plina u domaćinstvu. Najveće količine dušikovih oksida emitiraju u atmosferu proizvođači dušikove (nitratne) i sumporne kiseline, boja, mineralnih gnojiva, grafička industrija i galvanoplastika. Godišnja količina dušikovih oksida što se otpuštaju u atmosferu djelovanjem čovjeka iznosi više od 120 milijuna tona. U većim gradovima zdravstveni problem predstavljaju dim, čađa i smog. Dim nastaje sagorijevanjem organskih materijala; kod potpunog sagorijevanja dim sadrži CO<sub>2</sub>, vodenu paru i dušik, a kod nepotpunog CO i fine čestice ugljika- čađu. U dimu se često nalaze i čestice pepela te drugi plinovi, ovisno o vrsti goriva. Smog je onečišćenje zraka koje nastaje zbog nagomilavanja produkata izgaranja (čađa, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>) koji se zbog guste magle ili slojeva hladnog zraka ne mogu dići u atmosferu. Pušači cigareta također pridonose „obogaćivanju“ naše planete dušikovim oksidima. Štetan učinak na biljke koji se manifestira pojavom kloroze je zbog penetracije dušikova oksida kroz puči, njegove reakcije sa klorofilom i poremećajem fotosinteze.

Reakcijom dušik oksida s vodom (Slika 1) nastaju

nitritna, dušičasta (HNO<sub>2</sub>) :  $3 \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{HNO}_2 + \text{NO}$

i nitratna, dušična (HNO<sub>3</sub>) kiselina:  $\text{NO} + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HNO}_3$

Amonijak ( $\text{NH}_3$ ) je pri sobnoj temperaturi bezbojan plin neugodnog mirisa. Velike količine ukapljenog amonijaka koriste se za rashlađivanje hladnjača i klizališta. Najviše se koristi za dobijanje amonijevih soli za dušikova gnojiva (urea) i nitratnu kiselinu. Amonijak u vodenoj otopini može preuzeti proton od molekule vode (Slika 1) čime nastaje hidroksidni anion i jedan amonijev kation ( $\text{NH}_4^+$ ):  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4 + \text{OH}$

Sumpor dioksid ( $\text{SO}_2$ ) je daleko najštetnija tvar u zraku. Radi se o plinu bez boje, ali jakog i neugodnog mirisa. U zimskim mjesecima visoka koncentracija sumpor dioksida u zraku zajedno sa prašinom čini smog. Sagorijevanjem fosilnih zapaljivih tvari se atmosfera jako zagađuje sa sumpor-dioksidom. Prirodni izvori onečišćenja iznose oko jednu četvrtinu ukupnog zagađenja dok je ostatak antropogenog porijekla.

Područja primjene sumpor-dioksida: kao sredstvo za konzerviranje namirnica, kao sredstvo za izbjeljivanje u tekstilnoj industriji, kod procesa pročišćavanja voda.  $\text{SO}_2$  je toksičan za mikroorganizme i gljivice pa se koristi kao mikrobiocid i fungicid. S' obzirom da su plinovi, nastali radom elektrana, najveći zagađivači okoliša, ugradnjom pročišćivačkih uređaja uveliko je smanjena njihova emisija. Stručnjaci predviđaju da će se u 2020. god. za trećinu smanjiti ispuštanje sumpornih oksida u zrak nego u god. 1980., ali da će se u području Azije njihova emisija u tom vremenskom periodu više nego udvostručiti (Prilagođeno prema Springer O. i D. 2008)

U reakciji sa vodom i kisikom (Slika 1) prelazi nizom reakcija u sumporastu, sulfitnu:  $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$

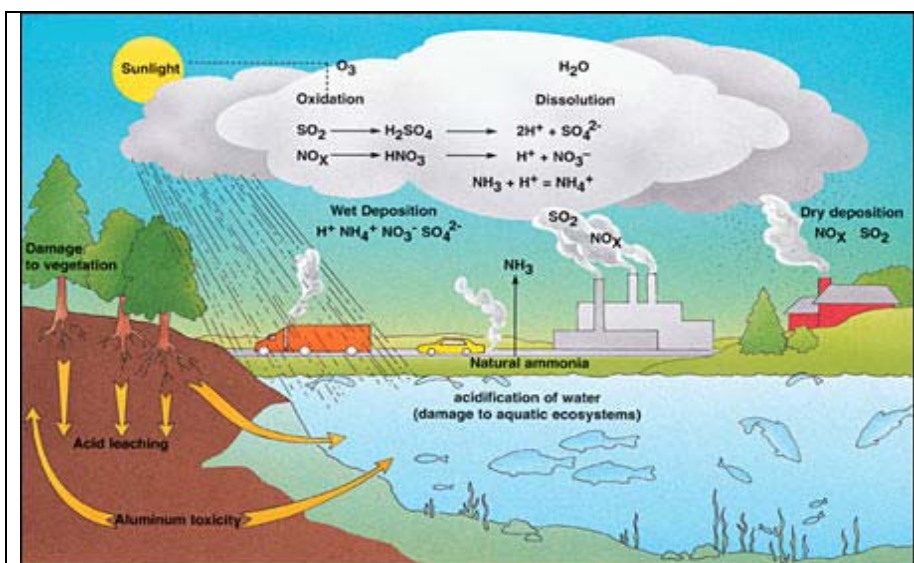
i sumpornu, sulfatnu kiselinu:  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$



Gore navedeni spojevi su samo neki od primjera, jer svakako postoje i druge mogućnosti nastanka kiselina, koje također pridonose nastanku kiselih kiša.

Spojevi koji uzrokuju kiselost predstavljaju kiselo taloženje, a ono se javlja u dva oblika: suho i vlažno taloženje.

Suho taloženje se odnosi na kisele plinove i čestice u zraku. Otprilike polovina kiselog taloženja dolazi na Zemlju u suhom obliku. Vjetar tada te čestice raznosi na kuće, automobile, zgrade, stabla, tj. na sve što nas okružuje. Taj suhi talog najčešće ispere kiša i on završi u zemlji ili vodi. Vlažno taloženje je ono koje se javlja u tekućem agregatnom stanju i predstavlja zakiseljene oborine tj. kisele kiše. Njihov učinak na biljni i životinjski svijet ovisi o mnogim čimbenicima.



Slika 1: Nastanak i utjecaj kiselih kiša (preuzeto s: <http://web.zpr.fer.hr>).

Također je bitno naglasiti da utjecaj kisele kiše nije na određenom području konst., već se mijenja sukladno sa zagađenošću zraka, ovisi o dobu dana a najviše o atmosferskim prilikama (oblacima temperaturi, vjetru...)

Mjerenja Državnog hidrometeorološkog zavoda pokazuju da 60% sumpora dolazi iz susjednih industrijski razvijenih zemalja. Hrvatska otprilike dvostruko više prima nego što „izvozi“ onečišćenja. Državni hidrometeorološki zavod također sustavno prati i sveukupno godišnje taloženje sumpora iz sulfata, te dušika iz nitrata i amonijaka. Sveukupno godišnje taloženje sumpora u 1996. godini višestruko je prelazilo kritična granice, a najviše je bilo u Rijeci (26,7 kg/ha), a zatim u Zagrebu-Maksimir, Poreču i Splitu uz napomenu da je kritična godišnja granica taloženja u tlu i vodama 2-5 kg sumpora/ha.



### 3. UTJECAJ KISELIH KIŠA NA ATMOSFERU

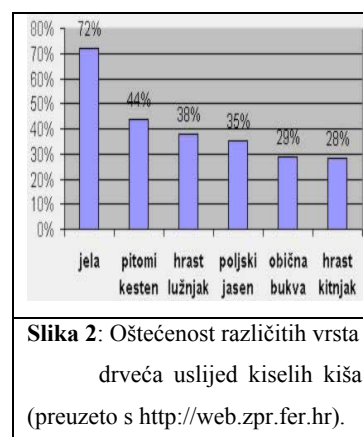
Često se raspravlja o zabrani gradnje visokih tvorničkih dimnjaka, jer su brojna istraživanja dokazala njihovu štetnost. Proračuni pokazuju da je čak 96 % taloženja nitrata i sulfata na području Gorskog kotara rezultat regionalnog (Istra i Hrvatsko primorje), odnosno prekograničnog (Italija) donosa dušika i sumpora i zato se na području Gorskog kotara kiselost tla uslijed kiselih kiša povećala u posljednjih 25 godina preko 100 puta te da je tlo u Gorskom kotaru znatno opterećeno metalima i kiselinama. Najveći su proizvođači štetnih plinova zemlje Sjeverne Amerike i Europe. Tako je Velika Britanija 1983. zakiselila oko dva milijuna tona kiše, od kojih je na području te zemlje palo samo 600 000 tona. Ostatak je odnio zapadni vjetar prema kontinentalnoj Europi, osobito u pravcu Skandinavije. Najdrastičnije primjere kiselih kiša nalazimo u Europi u planinama Češke i Poljske gdje su oštećene velike šumske površine. Stručnjaci su izračunali da jedno stablo s površinom lišća od 150 m<sup>2</sup> za 100 godina proizvede kisika koliko je čovjeku potrebno za 20 godina života. Automobil, najveći zagađivač atmosfere, na relaciji od oko 400 km potroši kisik koji bi čovjeku dostajao za 75 godina života.

Dušikovi oksidi, uzročnici nastanka kiselih kiša, spadaju u skupinu nadražljivaca. Čak i u smrtonosnoj dozi ne izazivaju dovoljno jake simptome da bi ugrožena osoba na vrijeme shvatila opasnost. Duljim izlaganjem tijela dušikovim oksidima nastaje cijanoza (plavilo kože) jer se vežu na molekulu Hb i smanjuju transport kisika. Kod inhaliranja većih konc. NO<sub>2</sub> nastaje edem pluća (nakupljanje vode u plućima) zbog oštećenja respiracijskog epitela kiselinom. Nitriti snažno djeluju i na pad krvnog tlaka zbog snažne vazodilatacije (širenja krvnih žila). Ako dnevna vrijednost koncentracije dušik dioksida u zraku iznosi preko 150 µg po m<sup>3</sup> nastupaju akutna oboljenja dišnih organa. Djelovanje sumpor-dioksida na čovjeka rezultira nedostatkom okusa, crvenjenjem jezika. Ove kiseline oštećuju alveole već kod konc. od 10 ppm SO<sub>2</sub> u zraku. Također nastupaju iritacije oka i promjene na sluznici nosa, a kod duljeg izlaganja i kronični bronhitis i kardiovaskularna oboljenja. Višak amonijaka u inspiracijskom zraku uzrokuje jak stres sa povećanim lučenjem hormona adrenalina i noradrenalina iz nadbubrežne žlijezde. Te posljedice opažene su osim u sisavaca i u riba (grgeč, šaran).

#### 4. UTJECAJ KISELIH KIŠA NA LITOSFERU

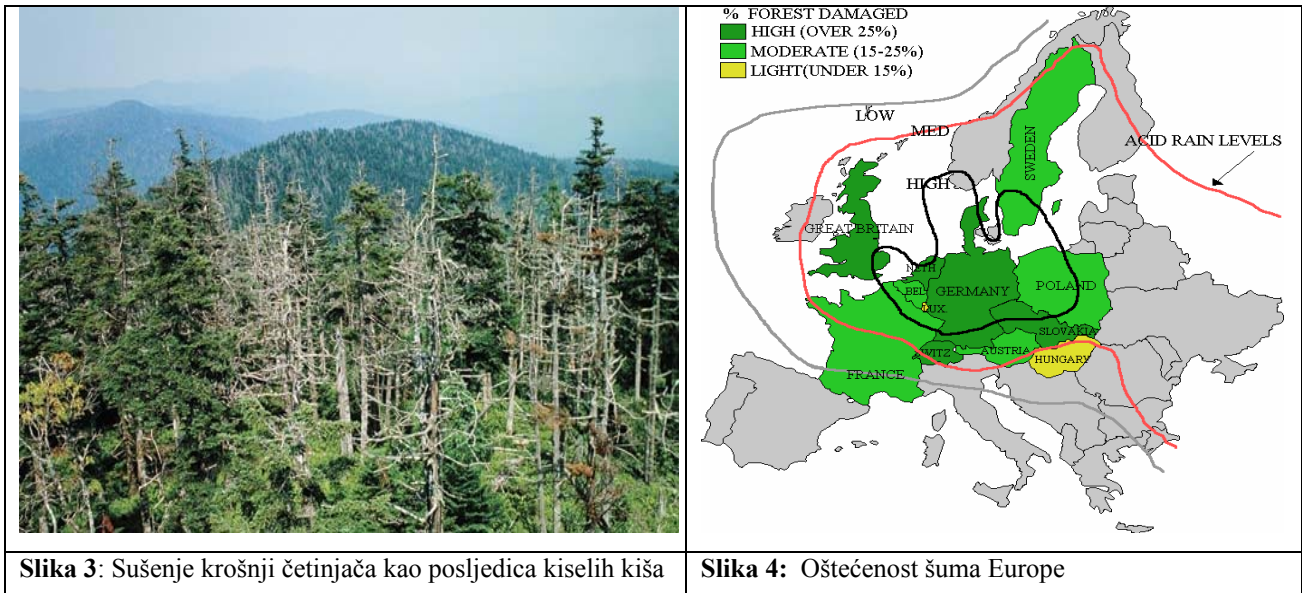
U početku se činilo kako zakiseljavanje ima pozitivan učinak na rast biljaka oslobađajući hranljive tvari. No kako se kiselost povećava, tj. povećanjem količine  $H^+$  iona, se iz tla ispiraju važne mineralne tvari kao što su magnezij, kalij, kalcij itd. Tako može doći do drastičnog smanjenja pH vrijednosti. Isto vrijedi i za ione željeza koji se oslobađaju pri pH vrijednosti manjoj od 3,8. Kisele kiše uzrokuju promjene u sastavu metala. Padom pH vrijednosti povećava se konc. toksičnosti metala kao što su Cd, Hg, Al, Pb. Čini se da su aluminij i njegovi spojevi (npr.  $Al(OH)_3$ ) izrazito toksični. Djelovanjem kiselih oborina i sniženjem pH tla  $Al(OH)_3$  disocira u  $Al^{3+}$  i vodu. Slobodni kationi oštećuju ili direktno dlačice korijenja čime se biljci smanjuje efikasnost asimilacije hranjivih tvari (Ca, Mg, K) pa joj je rast usporen i takve su biljke osjetljivije na mraz, visoke temperature i različite uzročnike bolesti pa stoga propadaju ili kationi vodom dospijevaju u lišće drveća i tamo oštećuju njihova tkiva. Posljedica toga su fleke smeđkaste boje, a također dovodi do povećanog isparavanja vode iz lišća, te do postupnog sušenja i opadanja. Kod igličastog drveća su ustanovljena oštećenja iglica (požutjele iglice, opadanje iglica), oštećenja pupoljaka i mladih klica, oštećenja kore, anomalije rasta, oštećenja korijenja, infekcije, „štetočine“ itd.

Stupanj štetnosti konačno ovisi o vrsti odnosno tipu tla. Područja sa mnogo vapna u tlu ili kamenu (karbonatna podloga) mnogo su manje osjetljivi na zakiseljavanje. Raspršivanje vapna je skupo rješenje koje se mora stalno ponavljati. Za raspršivanje vapna u šumama potrebno je 30 god. da bi se postigao potpuni učinak. Četinjače se jače pogođene štetama prouzrokovanim kiselim kišama, i to jela više nego smreka (Slika 3, Slika 4). Kod listopadnog drveća je najjače pogođen hrast. Prije svega su oštećene šume na mjestima sa čestim i obilnim padalinama i koja još k tome imaju relativno niske prosječne godišnje temperature. U višim planinskim predjelima veće su i količine oborina pa su i kisele kiše intenzivnije. Istraživanja u Hrvatskoj krajem 80-tih godina (znanstvenici Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu dr. Branimir Prpić i dr. Zvonimir Seletković) pokazala su da se u Hrvatskoj na prvome mjestu po oštećenosti nalazi jela sa 72%, a zatim pitomi kesten 44%, hrast lužnjak 38%, poljski jasen 35%, obična bukva 29% i hrast kitnjak sa 28% oštećenih stabala. Četinjače u Hrvatskoj oštećene su više od 55%, a listopadne vrste nešto manje od 23% (Slika 2).



Lišajevi su dobar pokazatelj onečišćenosti zraka zato što njihovo tkivo brzo odumire kad je izloženo kiseloj kiši. Njih u pravilu nema u gradskim sredinama, ali ih nalazimo u prigradskim i seoskim krajevima s malom količinom kisele kiše.

Znanstvenici sa Michiganskog tehnološkog fakulteta su otkrili da umjereno povećanje temperature i spojevi iz atmosferskih zagađivača poboljšavaju produktivnost šume. Prateći četiri šume na sjeverozapadu Michigana ustanovljeno je da drveće raste brže pri višim temperaturama i skladišti više karbonata i veće konc. nitrata- kemijskih konstituenata kisele kiše. Također se učestalijim oborinama, pospješuje vlažnost. Šume su u tijeku sezone rasta 10-11 dana dulje vlažne što predstavlja veliki značaj. Znanstvenici žele istražiti da li je povećan godišnji rast šume izjednačen sa povećanjem odumiranja drveća. Također trebaju ispitati da li se odumrla i obrušena flora šumskog tla razgrađuje sporije kako se razina nitrata povećava i žele unaprijediti ekosistemsku sposobnost zalihe karbonata.

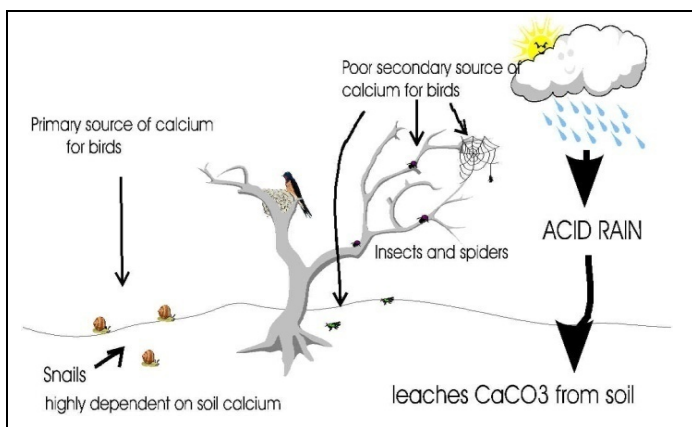


Bez obzira koliko je razrijeđena, kisela kiša također šteti usjevima- osobito osjetljivi na kisele kiše su zelena salata, zob i pšenica.

Stočne farme također mogu biti uzrok nastajanja kiselih kiša. U uzgoju životinja može doći do trovanja amonijakom i iz zraka u zatvorenom prostoru gdje se taj otrovni plin oslobađao iz stajskog gnoja i mokraće. Veliki dio njemačkih crnogoričnih šuma u regiji Schwarzwald (Crna šuma) nestaje, a u regiji Pel u Nizozemskoj 90% drveća je uništeno zbog kiselih kiša uzrokovanih svinjskim izmetom. Stočne farme uzrokuju 85% ukupnog isparavanja dušika u obliku amonijaka koji se smatra glavnim uzročnikom odumiranja šuma.

Amonijak i dušik mogli bi se u znatnoj mjeri smanjiti promjenama u prehrani stoke kao i redukcijom iznošenja životinjskog otpada. Ovo bi bilo poželjno ne samo radi ekološkog aspekta već i ekonomskog s obzirom na visoke troškove u svrhu pošumljavanja.

Kisele kiše mogu i negativno djelovati na ptičje populacije. U Nizozemskoj je primijećeno je da postotak ptica koja legu jaja sa deformiranom ljuskom u godini 1983.-84. iznosio 10%, a u godini 1987.-88. 40%. Defektna jaja su imala tanku i veoma poroznu ljusku sa nemogućnošću izleganja mladih jer ljuska prijevremeno puca i otpada. Kao rezultat nalažen je veliki br. praznih gnijezda i napuštenih legla. Primijećeno je da se ta mjesta preklapaju sa područjima kiselih kiša gdje izostaju puževi. Puževi opstaju na tlu gdje je nivo kalcija dovoljan za izgradnju njihovih kućica. Sa mnogo  $\text{CaCO}_3$  u tlu u području kiselih kiša puževi ne mogu preživjeti. U početku na ptice (koje su na višem nivou hranidbenog lanca u tom području) ne utječe ova promjena jer izvori hrane za njih i dalje postoje (pauci, kukci... koji su nedovoljan izvor kalcija) sve dok ne nestanu nutritivne zalihe. Pretpostavljajući da leženje defektnih jaja je povezano sa nedostatkom Ca, odrađen je test gdje su te ptice hranili ljuskama kokošnjih jaja, bogatim kalcijem, i ptice su ponovo legle normalna jaja (Slika 5).



**Slika 5:** Utjecaj kiselih kiša na deformiranje ljuske jajeta (preuzeto s <http://faculty.plattsburgh.edu>).

Kisele kiše i suho taloženje sumpora štetno utječu na mnoge materijale. Najčešće su



**Slika 6 :** Skulptura na dvorcu u Westphaliji u Njemačkoj slikana 1908.g. i 1968.g., (preuzeto s <http://web.zpr.fer.hr>).

posljedice hrdanja metala (npr. bronce), propadanja boje i kamena (npr. mramora, vapnenca i pješčenjaka). Na građevinama višak protona u kišnici prouzrokuje pojačano raspadanje kamena, što znači da se ubrzava trošnost. Tako na primjer vapnenac reagira sa sumpornom kiselinom u gips koji je porozan. Na sličan način se pijesak razgrađuje. Na taj način se mnogi

kulturni spomenici nepovratno uništavaju (Slika 6).

Mnoge knjige, rukopisi, slike, skulpture u muzejima i knjižnicama se uništavaju zakiseljenim česticama iz zraka koje ventilacijski sustavi ne mogu eliminirati. Problemi su vidljivi i u prometu. U Poljskoj je zbog utjecaja kiselih kiša promet vlakovima znatno usporen jer je korozija oštetila tračnice, dok samo autoindustrija u SAD-u troši godišnje 61 milijun dolara na boje koje su otporne na kisele kiše.

## **5. UTJECAJ KISELIH KIŠA NA HIDROSFERU**

Pojam onečišćenje voda podrazumijeva svaku fizičku ili kemijsku promjenu obilježja površinskih ili podzemnih voda, koja ima negativan utjecaj na živi svijet. Rijeke i jezera su pod konstantnim pritiskom zagađenja otpadnim vodama iz urbanih sredina, kemijskim otpadom iz industrija i transporta, pesticidima sa poljoprivrednih površina. Velike količine organske materije koja otpadnim vodama dopijeva do rijeka, jezera i mora izazivaju proces eutrofikacije čija su posljedice mutnoća, povećana temperatura, nekontrolirana primarna produkcija, smanjenje rastvorenog kisika i pomor ribe i drugih organizama. Činjenica je da će Hrvatska zbog nepročišćavanja otpadnih voda i problema s otpadom, bez uzimanja u obzir kiselih kiša, biti vrlo skoro suočena s ozbiljnim prijetnjama za rezerve pitke vode. Analogno prednjem, doći će do porasta kancerogenih oboljenja probavnog trakta stanovnika koji piju zagađenu vodu, što slijedi iz porasta sadržaja nitrata u podzemnim i površinskim vodama po mišljenju medicinskih stručnjaka objavljenih u medicinskim leksikonima i publikacijama Svjetske zdravstvene organizacije. Uz to kiselu vodu nagrizu cijevi za pitku vodu, čime se oslobađaju po zdravlje opasne tvari poput bakra i olova.

Moderna gnojiva baziraju se na dušiku, no na žalost sva gnojiva koja upotrebljavaju farmeri ne ostaju u tlu. Neka se ispiru u potoke, rijeke i jezera gdje dušik može izazvati otrovno cvjetanje. To se dešava kada alge koje prirodno rastu u vodi počnu usvajati višak dušika. Zbog toga što su pognojene, alge počnu rasti brže bez kontrole, zatvarajući pristup sunčevog svjetla ostalim biljkama i životinjama. To cvjetanje može iskoristiti sav kisik u vodi, na taj način gušeći vodene biljke i životinje do smrti.

Dakle, ekološki utjecaj kiselih kiša najizrazitiji je na vodi (bilo jezera, rijeke, mora ili oceana), jer kišnica mora negdje i završiti. Prirodno, većina rijeka i jezera ima pH vrijednost između 6 i 8, što je vrlo velik raspon. Pod utjecajem kiselih kiša pH vrijednost pada, pa tako npr. Little Echo Pond u Franklinu (NewYork) ima pH vrijednost 4.2, što je gotovo 100 puta kiselije od najkiselijeg prirodnog jezera ali ono nije uključeno u (NSWS) National Surface Water Survey jer zauzima manju površinu od 10 jutara. Također postoji problem i sa jezerima

koja su povremeno zakiseljena jer u tim kratkim periodima dolazi do pomora živog svijeta osjetljivog na takve uvjete. Kisela jezera su zavaravajuće lijepa. Kristalno su čista i imaju sloj zelenih algi na dnu. Razlog zašto su takva jezera toliko naoko čista je u tome što većina razlagača odumire, pa sve ono što bi se u normalnom jezeru razgrađivalo (lišće, mrtve životinje), u kiselom padne na dno i raspada se vrlo polako.

Studije koje su uključivale bakterijske uzorke sa postaja 18 jezera različitog stupnja acidifikacije u Adirondack planinskom području u New York-u otkrile su da utjecaj kiselosti nije isti na sve sojeve bakterija. Dominantni sojevi bakterija nisu direktno osjetljivi na kiselost, već su samo neki rijetki sojevi u značajnoj i jakoj korelaciji sa acidifikacijom. Zajednice koje su predstavljale bakterije otkrivene u tim jezerima bile su slične u zakiseljenim i kiselinom nezagađenim jezerima. Na opstanak tipova bakterija reda Actinobacteria i reda Betaproteobacteria acidifikacija ne utječe bitno kao niti dubina, prisustvo karbonata... Međutim, nekoliko manje prisutnih sojeva bakterija roda Alphaproteobacteria su u jakoj korelaciji sa acidifikacijom. Ovo otkriće bi moglo omogućiti znanstvenicima da koriste te bakterije kao indikatore, kao i pripomoći da se tako narušeni ekosistemi ubrzano povrate. Mnoga zakiseljena jezera pokazuju povećanje abundancije (obraslosti stijena, biljaka i drugih potopljenih objekata) perifitičkim algama. To se povezuje sa gubitkom heterotrofnih aktivnosti tj. gubitkom mikroba i beskralješnjaka herbivora. Studije obavljene u jezerima u Ontario-u, Canada su pokazale da u jezerima u kojima pH iznosi iznad 5 obitava 9-16 zooplanktonskih vrsta sa 3-4 dominantne vrste a u onima u kojima je pH 5 1-7 vrsta sa 1 ili 2 dominantne.

Koraljni grebeni, koji su za morske organizme važni koliko i prašume za kopnene vrste ubrzano odumiru. Razni čimbenici na to utječu, a veoma je bitan čimbenik izraženija kiselost morske vode. Godine 1998., jedne od najtoplijih u povijesti, svijet je, procjenjuje se, izgubio oko 16% koraljnih grebena. Izbjeljivanje koralja, proces u kojem se zdravi višebojni koralji pretvaraju u sive ili bijele kosture najčešći je prvi znak odumiranja koralja. Nastaje kada simbiotske alge Zooxantelle, koje su jarkih boja i nastanjene u prozirnoj membrani koja pokriva kostur, napuštaju koralje zbog topline i dr. čimbenika. Nakon njihova odlaska, tanki prozirni pokrov otkriva bezbojni kostur od  $\text{CaCO}_3$ .

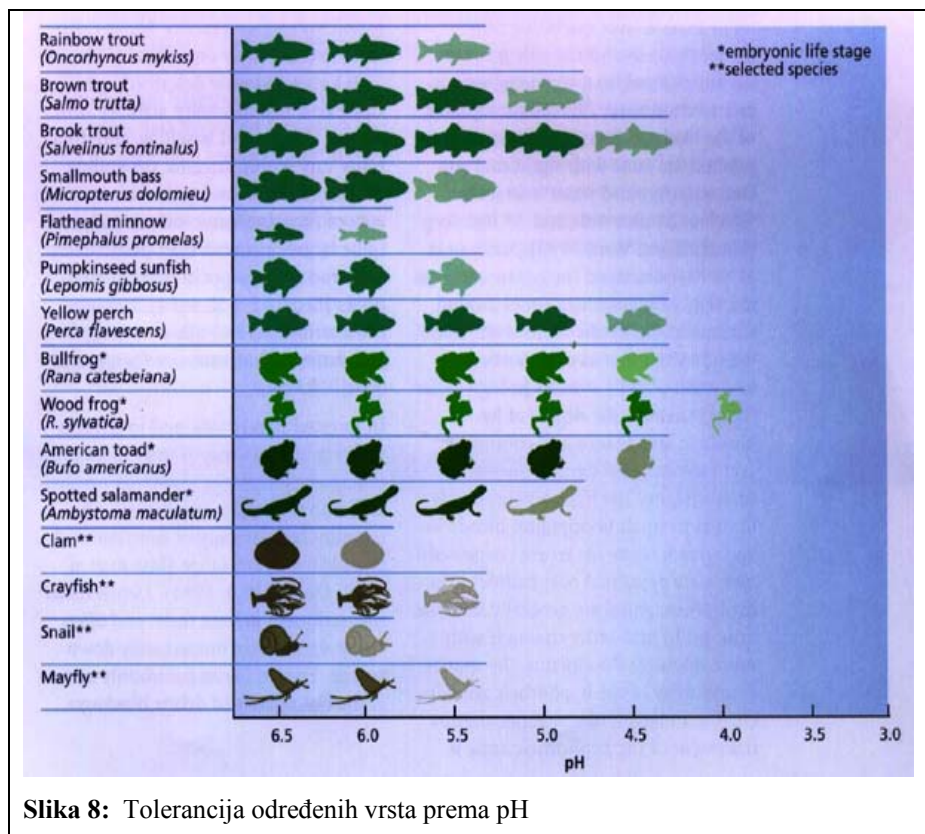
Istraživačka ustanova Pacific Marine Environmental Laboratory bavila se pitanjem što bi se moglo dogoditi u područjima uz veću apsorpciju  $\text{CO}_2$ . Mora postaju kisela, a kako se karbonat pojavljuje u ograničenim količinama, podložan je padanju ispod razine na kojoj se njime mogu služiti životinje koje formiraju ljuštura. Nakon te točke, karbonat izlazi iz njihovih ljuštura i vraća se u more, pa oni više nikako ne mogu zadržati zaštitni pokrov.

Mnoge fitoplanktonske alge, koje predstavljaju bazu morskog hranidbenog lanca, grade zaštitne  $\text{CaCO}_3$  kućice za obranu od predatora nazvanih cilijatni protozoa. Onemogućavanjem fitoplanktona da izgradi zaštitni pokrov može doći do prezasićenja cilijatnih protozoa ili do espanzije drugih organizama sa više karike hranidbenog lanca. Dekalcifikacija nije jedini problem izazvan povećanom kiselošću već su sve biokemijske reakcije potencijalno podvrgnute promjenama.

Životinje poput jakobovih kapica (*Pecten jacobeus*) i kamenica (*Ostrea edulis*), koje se služe aragonitom (kalcijev karbonat drugačije strukture od većine ljuštura školjkaša) osobito su podložne dekalifikaciji jer je prag trošenja aragonita (točka na kojoj se tvar otapa u slanoj vodi) približno za trećinu niži nego u slučaju kalcita, no s vremenom će promjena pogoditi čak i rakove, kozice. Prve kamenice bez ljuštire pojavit će se u subarktičkom dijelu sjevernog Tihog oceana jer je ondje točka zasićenja karbonatom niža nego igdje drugdje. Povećava se ugroženost ribe vrste jegulja gutač (*Eurypharynx pelecanoides*) koja ima najveća usta u odnosu na tijelo od svih kralješnjaka na svijetu, no nedostaje joj toliko kalcija da nakon parenja resorbira vlastitu čeljust i zube kako bi plodnim jajašcima osigurala dovoljno kalcija da oblikuju embrijske kosture.

Neke biljke i životinje mogu bolje podnijeti kiseline u vodi od drugih (Slika 8). Kada govorimo o mekušcima (Mollusca) u Norveškoj u jezerima u kojima je vrijednost pH ispod 5 nisu pronađeni puževi, a od 20 vrsta slatkovodnih školjkaša roda Sphaeridae samo ih je pronađeno 6. Člankonošci (Arthropoda) također nisu pronađeni u vodama ispod pH 5, kao niti slatkovodni rak koji je zanačajna hrana za mnoge vrste riba. I kukci su veoma rijetki u takvim vodama. Mnoge vrste vodozemaca su nestale s obzirom da su juvenilni stadiji mnogo osjetljiviji na efekte acidifikacije. Problem je na mestima sjeveroistočne Sjeverne Amerike gdje se vodozemci pare u privremenim barama koje su pune zakiseljene proljetne otopljene vode. U nekim kiselim jezerima kaskadno nestaju sve životinje, jer čim nestane jedna vrsta, dolazi do nestanka neke druge i naglog povećanja populacije neke treće, koja će vjerojatno izumrijeti radi nedostatka hrane makar može tolerirati niže pH vrijednosti vode. Npr. žabe mogu tolerirati veoma visoke konc. kiselosti ali kukci i vodencvijetovi kojima se oni hrane pri niskim pH vrijednostima obolijevaju i nestaju.





- kalifornijska pastrva
- potočna pastrva
- kanadska pastrva
- malousti grgeč
- šaran
- sunčanica
- grgeč
- velika zelena žaba
- šumska žaba
- američka krastača
- daždvenjak
- školjkaš
- slatvodni rak
- puž
- vodencvijet

Uglavnom, kod pH razine 5, većina ribljih jajašca nikada se neće izleći, a ako se i izlegu, te mlađe ribe su osjetljivije od starijih. Primjećeno je da se ikra atlantskog lososa u uzgajalištu, u kojem je pH vode iznosio manje od vrijednosti pH 5, ne razvija. U ribljih embrija smrt nastupa kada dolazi do odumiranja epidermalnih stanica a kiselost remeti i osmoregulaciju i respiraciju. U riba kod pH nižeg od vrijednosti 5 normalni ionski i kiselo/bazni balans se poremeti.  $\text{Na}^+$  protok je usporen pri niskom pH u vodama sa niskim salinitetom. Veća osjetljivost malih riba je zbog njihovog neproporcionalnog odnosa veličine tijela i škrge u odnosu na masu tako da je štetan protok iona brži. Također uzrokuje i obimno oštećenje škrge: škržne lamine erodiraju, škržni filamenti oteknu i edem se stvara između vanjskih škržnih lamelarnih stanica i preostalog tkiva. Pri pH manjim od 3 dolazi do koagulacije sluzi na površini škrge, koje se začepljuju, nastupa anoksija i slijedi smrt jedinke. Povećanje kiselosti utječe i na smanjenu reprodukciju riba. U Ontariju, Canada primijećeno je da ženke ne stvaraju jaja za vrijeme sezone parenja. Istraživanjem je u riba pronađen abnormalno niska razina kalcija u serumu koja je uzrokovala poremećenost njihove reproduktivne psihologije. Rast može povećati ili smanjiti otpornost vrsta na kiselost. Za otpornije vrste, rast se može povećati i smanjiti kompeticiju sa ne otpornijim vrstama. Sa druge str. rast se može usporiti zbog povećanja metaboličke stope uzrokovane subletalnim kiselinskim stresom.



U tom slučaju stopa potrošnje (konzumacije) kisika raste zbog toga što višak CO<sub>2</sub> iz vode povećava nivo CO<sub>2</sub> u krvi i smanjuje prijenos kisika na hemoglobin. Do deformacije skeleta dolazi kada riblja kost dekalificira radi izgradnje H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> u krvi kao pokušaj organizma da što brže uspostavi normalnu osmotsku konc. seruma (tijelo pokušava vratiti normalnu krvnu pH vrijednost).

Dušična i sumporna kiselina utječu na sav život u vodama. Zakiseljavanjem tla dolazi do oslobađanja aluminija koji je otrovan za sve životinje u vodi. Aluminij i niska pH vrijednost vode dovode do stresa koji uzrokuje smanjenja tjelesne mase riba, a kod ekstremnih pH razina, mogu čak ribu i ubiti, što rezultira smanjenjem populacije i biološke raznolikosti (Slika 9). Kontaminirana hrana (najčešće morski plodovi) može dovesti do povećanja razine aluminija u ljudskom tijelu, što može biti uzrokom raznih zdravstvenih problema.



## 6. NAČINI ŽAŠTITE OKOLIŠA OD UTJECAJA KISELIH KIŠA

Mnoge zemlje pokušavaju smanjiti emisiju sumpornih, dušičnih i ugljičnih oksida u atmosferu. "Čisto" spaljivanje fosilnih goriva koriste elektroenergetski objekti u Švedskoj, a rezultat je smanjenje ispuštanja sumpora u atmosferu za 80%. U Njemačkoj se u sumporni dim unosi vapnenac i kao rezultat nastaje gips, koji se koristi u cestogradnji.

Autokatalizatori nam pomažu u naporima za smanjenje emisije plinova uzročnika kiselih kiša u atmosferu. Poznato je da vozila s ugrađenim katalizatorima ispuštaju u atmosferu i do 90% manje opasnih plinova od onih bez katalizatora, no potrebno je reći da kod njih dolazi do ispuštanja teških metala (platina, paladij, rodij) u zrak. Svaki autokatalizator u sebi sadrži oko 3 g platine koja se dobiva iz rudnika po čitavom svijetu. Zbog toga što se platina također u zemljinoj kori ne javlja u čistom obliku već u obliku spojeva, potrebno je vršiti proces izdvajanja platine iz rudače. Na primjer, tvornica platine u Norilsku (Rusija) ispusti u atmosferu toliku količinu SO<sub>2</sub> koja je približno jednaka 1/4 zapremnine ispušnih plinova koju eliminiraju katalizatori proizvedeni u toj tvornici. Ipak, budućnost autokatalizatora vidimo u njihovom recikliranju, tj. ponovnom korištenju platine iz starih katalizatora u izgradnji novih.

Zbog toga što je prirodni proces obnavljanja rijeka i jezera vrlo polagan, smišljena je metoda dodavanja vapnenca u kiselu vodu da se podigne pH razina. Metoda se najviše koristi u Norveškoj i Švedskoj, ali ne i šire jer je to vrlo skupa metoda i potrebno ju je ponavljati relativno često da se pH razina ponovno ne spusti. Dodavanje vapnenca je ipak samo kratkotrajno rješenje za specifična područja, a ne regionalno ili globalno rješenje.

Iako postoje naznake da mnoge europske zemlje odlučno nastoje smanjiti štetne emisije, najveći zagađivač, SAD, i dalje se slabo odaziva. Konferencija o klimatskim promjenama, održana u prosincu 1997. u japanskom gradu Kyotu, pokušala je postaviti pravno obvezujuća ograničenja emisije kako za industrijalizirane, tako i za zemlje u razvoju. SAD su pokušale zadržati svoju razinu emisije prijedlogom da se uvedu kvote, na temelju kojih bi zemlje mogle ispustiti određene količine onečišćujućih tvari ili takvo svoje pravo prodati drugim zemljama. Takvi su prijedlozi naišli na oštru kritiku ekologa koji na sve zemlje vrše pritisak da smanje emisiju. U Sjedinjenim Američkim Državama vladina institucija Environmental Protection Agency (EPA) provodi program pod nazivom Acid Rain Program (Program kiselih kiša). Cilj programa je postići značajno poboljšanje u čistoći okoliša i zdravlju ljudi pomoću smanjenja emisije sumpornog dioksida ( $\text{SO}_2$ ) i dušičnih oksida ( $\text{NO}_x$ ) u atmosferu.

Što mi, kao pojedinci možemo pridonijeti trajno održivom razvoju? Odgovor je na to pitanje po načelu: „Misli globalno, djeluj lokalno“. Potrebno je uskladiti lokalni (i ne samo lokalni), gospodarski i društveni razvitak sa trajnim očuvanjem zdravog životnog okoliša, pa se za njenu provedbu apelira na angažman, kreativnost i inovativnu sposobnost mjesnog stanovništva, kao i na podršku cjelokupne društvene zajednice. Treba se štedljivo ophoditi sa postojećim resursima (oslanjati se više na neiscrpe izvore energije poput solarne); ostvariti usklađeno i uravnoteženo prostorno uređenje, osmišljeni promet koji ne opterećuje stanovništvo, zaštitne mjere za očuvanje prirodnih dobara i postojećih ekoloških sustava, tehničke mjere za proizvodnju hrane, turizam koji ne opterećuje okoliš, te samim time omogućiti opstanak nas samih.

## 7. LITERATURA

FLANNERY T. (2007): Gospodari vremena- povijest i utjecaj klimatskih promjena na budućnost. Algoritam, Zagreb, str. 207-213

GLAVAČ V. (2001): Uvod u globalnu ekologiju. Hrvatska sveučilišna naklada, Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja, Zagreb, str.13-43, 55-175.

JELENIĆ S., KEROVEC M., TERNEJ I., MIHALJEVIĆ Z. (2004): Biologija 4- udžbenik iz biologije za četvrti razred gimnazije. Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske. Profil, Zagreb, str.160-245.

SPRINGER O. I SPRINGER D. (2008): Otrovani modrozeleni planet – priručnik iz ekologije, ekotoksikologije i zaštite prirode i okoliša. Meridian, Zagreb, str. 49-124.

### **Korištene web stranice:**

[http://www.earth.org/article/Acid\\_rain](http://www.earth.org/article/Acid_rain)

<http://www.ec.gc.ca/acidrain>

[http://www.essortment.com/all/acidraineffect\\_rqmz.htm](http://www.essortment.com/all/acidraineffect_rqmz.htm)

[http://faculty.plattsburgh.edu/thomas.wolosz/acid\\_rain.htm](http://faculty.plattsburgh.edu/thomas.wolosz/acid_rain.htm)

<http://www.nationalgeographic.com.hr/>

[http://www.sciencedaily.com/news/earth\\_climate/acid\\_rain/](http://www.sciencedaily.com/news/earth_climate/acid_rain/)

<http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/bartolic/index.htm>

## 8. SAŽETAK

Kisele kiše predstavljaju kiše ili neke druge oblike padalina koje su zagađene raznim kemijskim spojevima. Uzroci zbog kojih je kiša zakiseljena su plinovi (sumporni, dušikovi, ugljični oksidi) koji dolazeći u dodir sa vodom reagiraju stvarajući kiseline. pH vrijednost kisele kiše iznosi u prosjeku 4 do 4,5 za razliku od kišnice čija pH vrijednost iznosi oko 5,5.

Acidifikacija nije konstantna niti ograničena na određena područja, prvenstveno ovisi o količini toksičnih tvari koje se emitiraju i prirodnim putem (vulkani, požari) ali i djelovanjem čovjeka. Štetne tvari su mobilne djelovanjem valova, vjetra, micanjem oblaka tako da se organizmi, koji se zateknu na mjestu djelovanja kiselih kiša, moraju prilagoditi, migrirati ili pak odumiru.

Izuzetno je veliki problem što kiselost najjače pogađa juvenilne stadije jedinki i embrije kao i najbazičnije karike hranidbenih lanaca i tako narušava kompletan ekosustav.

Ovaj problem je odavno primjećen, ali se nije na vrijeme reagiralo, tako da je sada potreban veliki napor, stručnjaci i sredstva za stvaranje dobrog plana oporavka našeg planeta, a u realizaciji moraju sudjelovati svi primarni zagađivači- ljudi.

## 9. SUMMARY

Acid rain is rain or any other form of precipitation which are washed by various chemical compounds. The principal cause of acid rain are gases such as sulfur, nitrogen or carbon oxides which react with water in the atmosphere to produce acids. pH of acid rain is 4 or 4,5, as opposed to rain water, whose pH is around 5,5.

Acidification isn't constant or limited to certain areas. Primary it depends on amount of the toxic compounds which are emitted naturally (volcanoes, fires), but also from human sources. Toxic compounds are mobile because of the waves, the wind and movements of the clouds, and the organisms which live in areas where acid rains affect must adjust themselves, move or instinct.

Extremely big problem is that acidity strikes juvenile stages and embryos the most, as well as the most basic links of food chains, and therefore destroys complete ecosystem.

This problem was spotted a long time ago, but nobody reacted on time, and now it takes a great effort, specialists and equipment to make a good plan for the recovery of our planet, and to achieve that, all primary contaminators (the whole mankind) must participate.