

Tartu Ülikooli keskkonnafüüsika instituut  
Tartu Observatoorium

Kalju Eerme

# KESKKONNAÕPETUS

Tartu 1996

## SISUKORD

1. Sissejuhatus	3
2. Looduskaitse ja keskkonnakaitse	3
3. Inimkond ja keskkonnaprobleemid	5
4. Keskkonnast võõrandumise lühike ajalugu	6
5. Säätlik areng ja keskkonnaeetika	8
6. Aineringlus looduses	9
7. Atmosfäär	12
8. Hüdrofäär ja veeringlus	15
9. Pinnas ja muld	17
10. Biosfäär	19
11. Looduslikud kliimavööndid ja bioomid	22
12. Levinuimad looduslikud ja antropogeensed ökosüsteemid	24
13. Metsad	24
14. Karjamaad ja kõrbestumine	26
15. Põllumaad ja istandused	27
16. Antropogeensed ökosüsteemid	29
17. Toiduressursid	29
18. Energiaressursid ja energeetika	31
19. Üldenergeetika ja elektrienergia	33
20. Mineraaliressursid ja maavarade kaevandamine	36
21. Veeressursid	38
22. Keskkonna saastamine	41
23. Saastumise mõju kliimale	41
24. Stratosfääri osoonikihi hõrenemine	44
25. Aerosool atmosfääris	47
26. Soojusenergeetika atmosfääri saastajana	50
27. Transport atmosfääri saastajana	52
28. Tööstus atmosfääri saastajana	54
29. Happevihmad	55
30. Veekogude saastamine	56
31. Pestitsiidid ja väetised	60
32. Akustiline saastamine	61
33. Elektromagnetiline saastumine	62
34. Radioaktiivne saastumine	62
35. Sõjad	64
36. Õhu puhastamine	65
37. Vete puhastamine	67
38. Tahkete jäätmete töötlemine	69

## 1. SISSEJUHATUS

Keskkonnaõpetus käsitleb protsesse ja nähtusi ümbritsevas keskkonnas. Et kaasajal on inimtegevus tavaliselt nendesse tugevasti sekkunud, siis on oluline vahet teha, mis on keskkonnas normaalne ja loomulik mis aga ebanormaalne. Vaatamata sellele, et keskkonna probleemide kohta ilmub ohtralt kirjandust, osutub siin vajalikuks teatav süsteemne algõpetus. Kasvõi selleks, et erineva tasemega kirjanduse tulvas orienteeruda. Keskkonnakaitse on seaduste ja võimu abiga täidesaadetav meetmete kompleks. Efektiivne keskkonnakaitse saab tugineda üksnes korralikule keskkonnaõpetusele. Õigete otsuste vastuvõtmiseks peavad olema piisavalt põhjalikud adekvaatsed teadmised. Tarvilikud teadmised keskkonna kohta peavad olema üpris laialdased ja need ei mahu ühegi traditsioonilise teadusharu raamidesse. Seni kuni koolitatakse suhteliselt kitsalt sügavuti minevate teadmistega biolooge, keemikuid, füüsikuid, ehitusinsenere jne. on ükskõik kellel neist raske igas mõttes pädevaid järeldusi teha. Keskkonnaharidus peaks andma avarama silmaringi ja laiema ülevaate erinevatest loodusteadustest. Keskkonnaspetsialistil peaks aimu olema ka tehnika- ja majandusteadustest ning meditsiinist. Peaaegu kõigis maailma juhtivates ülikoolides õpetatakse laia temaatikaga keskkonnaõpetuse üldkursust, millele hiljem lisanduvad juba põhjalikumad profileerivad erikursused. Üldkursuse mõtteks on luua baas keskkonnas toimuva mõistmiseks.

Eestis ja teistes Ida-Euroopa riikides oli varem kombeks keskkonna probleemidest rääkida rohkem sellises plaanis, et kuidas kusagil kapitalistlikes riikides kõik halvasti on. Tegelik informatsioon oma riigi keskkonna kohta kuulus riiklike saladuste hulka. Taasiseseisvunud Eesti Vabariik sai tagasi kohati väga halvast seisundis oleva keskkonna ja keskkonnavaenuliku majandusliku infrastruktuuri. Välisabi toel on nüüdseks keskkonna seisund tublisti paranenud. Ka edaspidi toimub igasugune majandustegevus loodusressursside arvel ja jätab oma jäljed ümbritsevasse keskkonda. Keskkonna kahjustamine on vältimatu, kuid on võimalik hoolitseda, et see kahju oleks minimaalne ja mahuks keskkonna taluvuse piiridesse.

Inimese suhted loodusega on kultuuri osa. Looduslähedase eluviisiga inimühiskondades olid need suhted aja jooksul väga selgepiiriliseks kujunenud ja mitmesuguste tabudega reguleeritud. Industriaalne ühiskond on inimese keskkonnast võõrandanud. Kadunud

uskumuslike tabude asemele pole tulnud keskkonnas toimuva teadusliku sügavusega mõistmist ega ka uusi tabusid. Inimkonna suhted keskkonnaga on jõudnud kriisi. Kriisist väljumiseks tuleb nii mõndagi ümber hinnata. Eesti oludes näib, et majanduslik madalseis annab tuleviku suhtes eeliseid kui vaid jätkub mõistust ja tahtmist neid leida ja õigesti rakendada. Vähemalt ei peaks me kordama kõrgemal arengujärjel olevate rahvaste tehtud jämedaid vigu, sest vigade parandamine on alati kulukam kui nende vältimine.

Inimtegevuse mõju keskkonnale ületab kaasajal kaugelt lokaalseid mastaape. Planeet Maa on ühtne tervik ja protsessid, mis mõjutavad tema kliimat või elamiskõlblikkust, ei hooli riigipiiridest.

## 2. LOODUSKAITSE JA KESKKONNAKAITSE

Sõna keskkond on eesti keeles mitmetähenduslik. Antud juhul on mõeldud inimese elukeskkonda (ingl. k. *environment*), millisesse kuuluvad planeedi Maa litosfääri ülemised kihid, pinnas, vesi, atmosfääri alumised kihid, taimestik ja loomastik. Keskkonna sisse on haaratud kõik see, millega inimene vahetult kokku puutub ja mis tema elamiskõlblikkust mõjutab. Selles mõttes on õige elukeskkonna sisse arvata ka stratosfääri osoonikiht, kuna muutused selles mõjutavad vahetu keskkonna seisundit.

Keskkond koosneb paljudest komponentidest. Terviku osadeks jagamine on alati tinglik ja oleneb jagamise aluseks võetud kriteeriumidest. Igat süsteemi saab komponentideks jagada paljudel erinevatel viisidel. Võttes jaotamise aluseks aine elus või eluta oleku saame rääkida biotilistest ja abiotilistest komponentidest. Aine oleku valdavalt vormi aluseks võttes jagatakse keskkond atmosfääriks, hüdrofääriks, litosfääriks, krüosfääriks ja biosfääriks. Keskkonna komponentide vahel toimivad arvukad mitmesuguse iseloomuga seosed, millede kaudu keskkond säilitab oma tasakaalulise oleku. See tasakaal ei ole igavene vaid pidevalt muutuv, sõltuvalt välistingimuste muutumisest ja sisemisest evolutsioonist. Kuni kõige viimase ajani olid muutused keskkonnas ülekaalukalt looduslikud. Nüüd lisandub järjest kaalukamalt antropogeenne tegur. Muutused ise toimuvad üha kiirenevalt. Üldiselt määrab liigi indiviidi keskmine eluiga muutustega kohastumise kiiruse. Ajal, mil olulised muutused keskkonnas toimuvad juba inimese keskmisest elueast lühema aja jooksul, muutub kohastumine järjest raskemaks. Vähemalt ei saa

inimene selles viiruste ja teiste kiiresti vahelduvate põlvkondadega liikide vastu.

Kui atmosfäär mõtteliselt kõrvale jätta, siis moodustavad olulise osa maismaa keskkonnast geograafilised maastikud ehk ühiste põhiomadustega looduslik-territoriaalsed kompleksid. Üldjuhul koosneb kaasajal maastiku struktuur looduslikust ja antropogeensest allsüsteemist. Äärmuslikel juhtudel võib üks neist peaaegu puududa. Kumbki allsüsteem omakorda koosneb biotilistest ja abiootilistest komponentidest. Looduslikud abiootilised komponendid on geoloogiline aluskord, geomorfoloogilised vormid ja loodusliku hüdrofaani elemendid. Looduslikeks biotilisteks komponentideks on looduslik taimkate, metsloomad ja mikroorganismid. Antropogeensed abiootilised komponendid on karjäärid, puistangud, ehitised, ühendusteel ja kõik muud tehnogeensed rajatised. Antropogeensete biotiliste komponentide hulka kuuluvad inimesed ise, kultuurtaimed ja koduloomad.

Keskkonnaprobleemide süvakäsitlus ja keskkonnakaitse on tekkinud ja tähtsaks saanud viimastel aastakümnetel. Varem oli tege mist üsnagi stiihiliselt korraldatava looduskaitsega. Sellise looduskaitse alged pärinevad juba õige ammuste tsivilisatsioonide praktikast. Algne looduskaitse tähendas põhiliselt loodusharulduste kaitset. Haruldasi loodusobjekte, samuti ohus olevaid looma- ja taimeliike püüti kaitsta hävimise eest kuulutades nad puutumatuks. Tänapäeval nimetatakse seda looduskaitse etappi klassikaliseks looduskaitseks. Olemuselt on see väga sarnane muinsuskaitsega, mille eesmärgiks on inimtegevuse markantsete tulemuste säilitamine ja kaitsmine. Klassikaline looduskaitse hakkas hoogsalt edenema 19. sajandi teisel poolel. Euroopas hakati siis laialdaselt kaitse alla võtma loodusharuldusi. Ameerika Ühendriikides asuti loodust kaitsma rahvusparkide loomise teel. Neist esimesena loodi 1872. aastal Yellowstone rahvuspark. Praeguseks on maailmas üle 2000 rahvusparki. Rahvusparkid on küllalt suured territooriumid, kus mitmesuguse rangusega piirangud peavad tagama kaitstavate loodusharulduste ja liikide säilimise. Teiselt poolt on rahvusparkidel loodust tutvustav ja üldhariduslik roll. Päril viimasel ajal laieneb kaitsealuste territooriumide pindala peaaegu kõikjal, kus elukorraldus vähegi stabiilne. Rahvusparkide kõrval luuakse arvukalt väiksemaid kaitsealasid. Näiteks on Norras vahemikus 1972 - 1992 kaitsealade arv kasvanud 263-lt 1395-ni ja kaitsealune osa riigi pindalast kasvas

1.10 % asemel 6.09 %. Saksamaal moodustasid kaitsealused territooriumid 1990. aastal 2 % riigi pindalast ja nende arv oli tõusnud 1950. aasta 496-lt 5049-ni. Sarnased tendentsid esinevad ka teistes arenenud riikides.

Eestis propageerisid loodusesäästlikku mõtteviisi juba J.V. Jannsen ja C.R. Jakobson, ehkki ärkamisaegse ühiskonna üldine püüdlus oli majandusliku efektiivsuse ja uuenduste poole. Sellega kaasnes paratamatult maaparandus ja keskkonna muutmine. Klassikalise looduskaitse alguseks Eestis peetakse 1910. aastat, mil Vaika saari asus hooldama Riias elavate eestlaste asutatud Riia Loodusuurijate Selts. Veel enne seda alustas oma tegevust merelindude kaitse Viltsandi tuletorni ülem A Toom. Alates 1920. a. võttis looduskaitse alase tegevuse oma hoole alla Eesti Loodusuurijate Selts.

Aastal 1935 kehtestati Eesti Vabariigis looduskaitse seadus ja asutati riikliku looduskaitse inspektori ametikoht. Sellele kohale asus G. Vilbaste. Looduskaitse seaduse põhiautoriks oli prof. T. Lippmaa, kes ühtlasi sai ka Riikliku Looduskaitseameti juhiks. Enne 1940. aastat oli Eestis 47 looduskaitseala ja lisaks nendele kaitse all 80 parki ja 40 metsaterritooriumi, 202 põlispuud ning 210 rändrahu. Eesti NSV ajal võeti 1957. a. vastu seadus "Eesti NSV looduse kaitsest", mis oli esimene omataoline tollases N. Liidus. Aastal 1966 asutati praeguse Keskkonnaministeeriumi eelkäijana Metsamajanduse ja Looduskaitse Ministeerium. Samal ajal asutati Eesti Looduskaitse Selts. Lahemaa Rahvuspark (64 400 ha) loodi 1971. a. Kaitsealuste territooriumide koguarv Eestis oli 1994. a. seisuga 488. Sealhulgas on Lahemaa kõrval veel 3 rahvusparki - Vilsandi (16 657 ha), Karula (10 318 ha) ja Soomaa (36 700 ha). Kaitse alla on võetud 303 looma- ja 221 taimeliiki. Pindalalt suurimad kaitsealad on Lääne-Eesti saarestiku biosfaari kaitseala (1 560 078 ha, sellest 400 000 ha maismaal), Pandivere veekaitseala (350 900 ha) ja Matsalu riiklik looduskaitseala (48 000 ha). Maade tagastamine endistele omanikele on kaitseala loomise suhtes tekitanud huvide konflikte.

Bioloogiategaduste varasematel arenguetappidel pöörati põhitähelepanu looduses leiduvate floora ja fauna arvukate liikide inventuurile ja kirjeldamisele. Liikide omavahelised seosed ja sõltuvused muutusid aktuaalseks hiljem, kui selgus, et liigid esinevad omavahel seotud terviklikes süsteemides ehk kooslustes. Järjest enam kerkis klassikalise looduskaitse kõrval päevakorra keskkonnakaitse, kuna

sai selgeks, et haruldaste liikide kaitse lahus nende tervikliku elukeskkonna kaitsest ei anna oodatud tulemusi.

Tänapäeva looduskaitstes on olulisel kohal biosfääri kaitse, nii liikide tasakaaluliste koosluste kui üksikute liikide kaitse. Looduslikud ökosüsteemid on välja kujunenud pikaajalise konkurentsitiheda arengu tulemusena. Arengurida lihtsakoeliselt pioneerkoosluselt keeruka tasakaalulise kliimaskoosluseni nimetatakse suktsessiooniks. Suktsessiooni lõpptulemuseks on antud oludele kõige enam kohastunud stabiilne kooslus. Kliima ja muude välistingimuste muutudes toimuvad muutused ka selles stabiilses koosluses. Liigid, millistele muutunud tingimused ei sobi, kaovad või muutuvad vähearvukaks ja asenduvad uute liikidega.

Keskkonnakaitse seab endale mitmeid eesmärke. Kaheldamatult on üks nendest inimese eluks ja tegevuseks sobivate tingimuste säilitamine. Ehkki inimene vaatab loodusele oma liigi seisukohast on keskkonnakaitse teiseks oluliseks eesmärgiks hoolitsus planeeti Maa asustavate ülejäänud liikide säilimise eest. See ei ole paraku eriti edukas ning meie planeedi flora ja fauna liigiline koostis vaesestub pidevalt ja pöördumatult. Selle protsessi kõige kaalukam põhjus on inimeste arvu pidev kasv, mis tingib looduslike koosluste järjest mastaapsemata asendamise liigivaeste antropogeensetega.

### 3. INIMKOND JA KESKKONNAPROBLEEMID

Kaasajal on keskkonna kiire halvema suunas muutumise peasüüdlane ilmselt inimene ise. Teiselt poolt on inimene ka see liik, keda keskkonna kvaliteedi langus kõige enam häirib ja kohutab. Teistel liikidel lihtsalt puudub võimalus oma murede väljaütlemiseks ja nad kaovad elutingimuste võimatuse muutudes üksteise järel olematusse.

Keskkonnahädade peapõhjus on kokkuvõttes inimeste liiga suur ja liiga kiiresti kasvav arvukus. Viimasel ajal loetakse seda kindlalt keskkonnaprobleemiks number üks, millest kasvavad välja kõik teised probleemid. D. Chirase levinud keskkonnaõpetuse õpiku viimastes trükkides on välja toodud Rooma klubi hinnangute 16 kõige ohtlikumat tendentsi või valupunkti keskkonna suhtes [Chiras, 1994]. Loetleme need ka siin.

1. Rahvastiku kiire kasv
2. Liikide hävimine
3. Metsade pindala vähenemine
4. Märjalade kuivendamine
5. Kõrbestumine
6. Pinnase erosioon
7. Põllumaade sooldumine
8. Põllumaade kasutamine muul otstarbel
9. Põhjavee reostumine
10. Põhjavee tagavarade vähenemine
11. Fossiilkütuste varude kiire vähenemine
12. Mineraaliressursside kiire vähenemine
13. Üldine veepuudus
14. Globaalne soojenemine
15. Happevihmad
16. Stratosfääri osoonikihi hõrenemine

On erilise süvenemiseta selge, et nimekirja esimene tekitab ülejäänud 15 probleemi. Osa neist probleemidest on aktuaalsed vaid teatud regioonides, osa aga globaalsed. Meid näiteks ei ohusta pinnase sooldumine ja kõrbestumine. Eesti oludes ei ähvarda ka demograafiline plahvatus. Viimastel aastatel on põhjust mures olla hoopis eestlaste madala sündimuse ja kõrge suremuse üle. Kogu maailma mastaabis on aga liiga kõrge iive ikkagi tähtsaim keskkonnaprobleem. Praeguse seisuga lisandub 250 000 uut elanikku päevas ja 93 miljonit aastas. Suurem osa neist on liigsed, kuid kes võtab vastutuse öelda millised nimelt. Aastal 1999 ületas Maa elanikkond 6 miljardi piiri. Tabelis 3.1 on antud elanikkonna iibe ja arvu kahekordistumise näitajad maailmas tervikuna ja mõnedes piirkondades eraldi 1992. aasta seisuga.

Arenenud riikide elanikkond kasvab mitte niivõrd loomuliku iibe kui sisserände arvel. Maailma elanikkonna kiire kasv on viimase aja nähtus. Varasema ajaloo jooksul on arvukust reguleerinud kolm tähtsat tegurit - epideemiad, nälg ja sõjad. Stabiilsuse ja mõõduka juurdekasvu tagas kõrge sündimus. Laste ja parimas eas täiskasvanute surm oli üpris tavaline ja keskmine eluiga lühike. Soodsamad tingimused paljunemiseks tõi tehnoloogia areng. Vana Maailma elanikele olid kindlasti väga tähtsad põllumajandusrevolutsioon,

Tabel 3.1

Piirkond	live, %	Elanike arvu kahekordistumise aeg, aastat
Maailm tervikuna	1.7	41
Arenenud maad	0.5	148
Arengumaad	2.0	35
Aafrika	3.0	23
Ladina-Ameerika	2.1	33
Aasia	1.8	39
Põhja-Ameerika	0.8	88
Euroopa	0.2	242
Keenia	3.7	19

tööstusrevolutsioon ja Ameerika avastamine väljarände tarvis. Meditsiini areng, eriti vaktsiinide leiutamine seni surmaga lõppenud haiguste vastu, pikendas oluliselt keskmist eluiga. Nälg ja haigused arvukuse reguleerijatena loovutasid oma positsioonid otsustaval määral, kuid sõdade suhtes ei ole inimkonnal senini jätkunud arukust. Vaatamata tehnika üldisele arengule ja sõjatehnika tähtsuse erilisele rõhutamisele agressiivse poliitikaga riikides on ühe vaenlase tapmise "omahind" pidevalt ja kiiresti kasvanud. Moodne sõjatehnika on seejuures arenenud nii kõrgele tasemele, et planeedi elukeskkond ei kannataks selle massilist kasutamist välja.

Ebaühtlasest demograafilisest olukorrast tuleneb ka maailma ebaühtlane areng. Väga tõenäoliselt on keskkonna koormus kõige tihedamini asustatud piirkondades juba ületanud taluvuse piiri. Elanikkonna arvukuse kasv ilma keskkonna progresseeruva degradeerumiseta ei ole seal võimalik. Seejuures on elanikud reaalselt olemas ja neid tuleb reaalselt pidevalt juurde. Arvamused selle kohta, milline võiks olla maksimaalne vastuvõetav elanike arv, kõiguvad suurtes piirides. Erinevatest põhiargumentidest lähtuvalt on selleks arvuks pakutud 0.5 kuni 50 miljardit. Ka praegune tegelik elanike arv võib kergesti olla juba liiga suur. Koormust keskkonnale saab hinnata lähtuvalt elanike arvust ja nende elustandardist. Ei ole ilmselt mingit võimalust laiendada kõige rikkamate riikide elanike eluviisi kogu maailmale. Küsimus on rohkem selles, kui paljudele saaks võimaldada minimaalset inimväärsel elujärge. Viimasel ajal on

soovitavaks peetud nulliivet. Pereplaneerimise soovitusel on andnud ka mõningat efekti. Ilmselgelt ei ole elanikkonna juurdekasvu aeglustumiseks piisavad sellised edusammud, et keskmine Keenia naine sünnitab nüüd 6.7 last varasema 7.7 asemel. Kõige drastilisemate meetmetega korraldati pereplaneerimist Indira Gandhi valitsuse ajal Indias, kus mindi kohe n. ö. algpõhjuste kallale. Iga mees, kes lasi ennast vabatahtlikult steriliseerida, sai valurahaks transistorraadio. Siiski oli sellel moodusel menu vaid lühikest aega. Mehi süüdistavad demograafilise plahvatuse algpõhjusena ka tänapäeva Euroopa naisõiguslaste liikumise mõned suunad.

Keskkonnasõbralik tööstus ja põllumajandus on kulukad. Õigemini on kulukas nende üle minna, kui algusest peale pole keskkonnaga arvestatud. Vaestele riikidele käib keskkonnasõbralikkus lihtsalt üle jõu. Omajagu takistavad harimatus ja traditsioonid. Isegi kui kõikjal õnnestuks rakendada kõige säästvamaid tehnoloogiaid ei oleks saastumine absoluutselt välistatud. Ka suhteliselt keskkonnasõbralik tootmine annab suure mahu korral ikkagi suure saasta. Tootmise laienemist piiravad tegelikult ressursid. Kui kogu põllumajanduslikult kasutatav maa ongi juba kasutuses, siis juurde pole enam kusagilt võtta. Ka intensiivsuse tõstmine osutub võimalikuks vaid teatava piirini. Tööstusliku tootmise kasvu piirajaks osutuvad tooraine varud. Ei saa tootmist laiendada kui toorainet ei jätku. Ideaalis saab vaid vähendada kadusid nullini. Et inimkonna tulevik ei jõuaks mõne aja pärast krahhini on tingimata vaja: 1) jõuda nulljuurdekasvuni, 2) rakendada ulatuslikult tooraine korduvkasutust, 3) piirata saastamist, 4) vältida tõhusalt põllu- ja karjamaade erosiooni või muul viisil hävimist, 5) pidada toiduainete tootmist tähtsamaks kui tööstuslikku. Nendest maailma ees seisvatest probleemidest on Eesti oludes tähtsad vaid saastamine ja tooraine raiskamiseta kasutamine. Mõõduka keskmise asustustiheduse juures on keskkonna-koormus ohtlik üksnes lokaalselt. Maailma üldisel taustal on meie keskkonna perspektiivid head.

#### 4. KESKKONNAST VÕÕRANDUMISE LÜHIKE AJALUGU

Inimese ja keskkonna suhetesse tekkisid esimesed mõrad selle tõttu, et inimese aju kasvas suhteliselt mahukaks ja ta õppis valmistama järjest tootlikumaid töö- ning jahiriistu. Küttimisosavus võis tegelikkuses osutada kasinamaks kui arvatud ja toidusedelis suurem

osakaal jõulisemate kiskjate saagi jääkidel. Tõenäoliselt oli kahel jalal käimine inimese edasises arengus suureks eeliseks. Käed olid vabad ja nende abil sai hõlpsasti kasutada töö- ning sõjariistu. Tehnoloogiatega alguseks peetakse kivikirve leiutamist.

Vabad käed ja võimalus rakendada järjest täiuslikumaid tehnoloogiaid muutsid inimese keskkonnast üha vähem sõltuvaks. Samas said need eelised ka keskkonnast võõrandumise põhjuseks. Inimkonnaseni ajaloos võib kõige laiemas plaanis jagada kolmeks suureks lõiguks: küttimise-koriluse periood, agraarne periood ja industriaalne periood. Toimumas on "tiigrihüpe" infoühiskonda.

Küttimise-koriluse perioodi, mis on olnud valdav 99 % vältel inimese kui liigi 3,5 milj. aastast eksistentsist, inimesed olid poolpaikse või rändava eluviisiga. Arenenud olid teadmised ümbruse kohta ning oskused leida toitu ja vett. Asustustihedus oli väike ja ainult musklijõul põhineva energiavarustuse ning primitiivse eluviisi tõttu polnud koormus keskkonnale suur. Kõige enam põhjustas ohtu tule kasutamine. Sõltuvus keskkonnast oli suur ja suhted keskkonnaga säästlikud ning aupaklikud.

Suur muutus tuli siis kui mindi toiduainete otsimiselt üle nende tootmisele. See toimus vahemikus 8000 - 12 000 aastat tagasi sõltumatult mitmel pool. Tekkekolletes pidi leiduma teraviljade looduslike vorme. Tehnoloogilise efektiivsuse andis adra leiutamine ligi 5000 aastat tagasi. Esimene ader oli oksakõndiga puutüvi. Teraviljakasvatus ja loomade kodustamisele järgnev karjakasvatus võimaldasid toita hoopis suuremat arvu inimesi kui seni. Et toidu koostis muutus ühtlasi ühekülgsemaks, siis sagesid küllap ka ainevahetuse häiretest tingitud haigused. Põlluharimine ja karjakasvatus vajasis organiseeritud töökorraldust ja vara kaitsmist vaenlaste eest. Mõned autorid peavad kolhoosikorra ürgalgeks Mesopotaamia niisutus põllundust. Niisutusüsteemi sai korras hoida vaid organiseeritud kollektiivse tööga. Korras niisutuse korral kasvas saak juba n. ö. iseenesest. Vara kaitse ja töö parema juhtimise otstarbel asuti rajama linnu. Linnade ümbruse põllumajandus tekitas keskkonnale kohati üle jõu käivat koormust. Isoleeritult ja tervislikult elavad kütid-korilased ei kannatanud arvatavasti oluliselt epideemiatega. Linnade rajamine lõi soodsad tingimused nakkushaiguste levikuks. Põlluharimine ja karjakasvatus on mõlemad loodust vägivaldselt ümberkujundavad tegevused. Karjakasvatuse levik hakkas piirama metsasust. Näiteks Eesti rannakarjamaadele tüüpilised kadakad

kasvasid seal põhjusel, et nad olid ainsad puuliigid, mida lambad juurteni ära ei söönud. Igasugune kultuurtaimede kasvatamine saagi saamiseks rikub looduslikku tasakaalu, kuna võtab mullast rohkem toitaineid kui kohalik aineringsus neid asendab. Paljud muistsed tsivilisatsioonikolled ongi hääbunud oma maaressursside degradatsiooniga, kas sooldumise läbi niisutus põllunduse korral või erosiooni tõttu muudel juhtudel. Maaviljeluse liiga suur ulatus ja intensiivsus on suured ohutegurid ka tänapäeva maailmas.

Võrreldes industriaalse tootmisega on põllumajandus ikkagi looduslähedane ja loodusega arvestav tegevusala. Enamus tänapäeva keskkonnahädasid ja suurem võõrandumine loodusest on alguse saanud aurumasina leiutamisele järgnenud masstootmisest. Öieti tulenes aurumasina kui tarviliku jõumasina leiutamine vesirataste varal juba alanud masstootmisest. Industriaalse ajastu suureks negatiivseks nähtuseks oli töökoha ja kodu lahutamine. Ohtusid keskkonnale on lisanud liiga võimsa ja liiga raske tehnika kasutamine põllumajanduses. Industriaalse tootmise kaasnähtuste hulgas on üks halvemaid illusioon inimesest kui looduse peremehest. Eufooria tulenes esialgsetest suurtest edusammudest. Hakkas tunduma, et sõltumatus loodusest on täielik ja looduse ressursid ammendamatud. Inglise filosoof John Locke väljendas seda arusaama nii, et riigi ülesanne on vaid hoolitseda inimeste võimaluste eest luua uusi väärtusi, mis on võimalik tänu inimeste ülevõimule looduse üle. Ka üsna hiljutised avaldused looduse alistamisest inimese poolt on sellesama mõtteviisi väljenduseks. Ülioptimistlikud arusaamad kehtisid massiliselt kahekümnenda sajandi keskpaigani. Siis hakkas selguma, et ei looduse ressursid ega looduse võime ennast ise saastast puhastada ole lõpmatud. Laias laastus sõltuvad inimese võimalused loodust ära rikkuda tema käsutuses olevatest energiaressurssidest.

Eesti aladel hakati alepõllundust viljelema umbes 3000 aastat tagasi. Pärast 13. sajandit hakati rajama vesiveskeid ja paisjärvi. Rootsi ajal 17. sajandil laiendati künnimaade pindala ja hakati vett paisutama ka manufaktuuride tarbeks. Ligikaudu samal ajal sai alguse kraavitamisega maakuivendus. Drenaaikuivenduse alguseks oli 1820. aasta. Ulatuslikum maavarade kaevandamine algas põlevkivi osas 1918. a. ja fosforiidi osas 1924. a. Suure mahuga maaparandus ja tervete maastike ümberkujundamine toimus alates 1950. aastast ja oli eriti intensiivne 1960-ndatel aastatel.

## 5. SÄÄSTEV ARENG JA KESKKONNAEETIKA

Kaasaegses maailmas on liikumapanevaks jõuks raha. Rahaga käivitav majandus peab andma kasumit, tooma sisse uut raha, mida omakorda saab investeerida tootmise laiendamisesse. Majandus seab nii või teisiti eesmärgiks kasvu ja mõnede autoriteetsete majandusteadlaste, näiteks Nobeli laureaadi Paul Samuelsoni, arvates ongi majandusteadus eelkõige teadus kasvust. Valmistades järjest enam üha ahvatlevama kvaliteediga tooteid stimuleerib turumajandus igati tarbimise paisumist. Toodete kõrval on samas rollis kõikvõimalikud teenused. Mida odavam on pakutava omahind seda paremad on väljavaated konkurentsis peale jääda. Eelised annab odavam tööjõud ja odavam tooraine. Odavam tooraine tähendab tavaliselt taastumatute loodusressursside ülemäära kiiret kulutamist ja keskkonna olulist kahjustamist nende ammutamise käigus. Alternatiiviks turumajandusele oli käsumajandus, mille puhul kõik oli tsentraliseeritud plaanidega dikteeritud. Nagu näitas praktika osutus see täielikult ummikteks ja tekitas keskkonnale veel suuremat kahju. Enamikul juhtudel toimib tegelikkuses turumajandus teatavate käsumajanduslike elementidega. Loodusressursside säästlikuma kasutamise huvides on reguleeriv sekkumine maksude ja seaduste kaudu senisest enamgi vajalik. Ainus viis säästliku arengu tagamiseks on teha nii, et raiskamine poleks kasulik. Kui varasematel aegadel tekitas inimtegevus keskkonnale olulist kahju ka vähikluse tõttu, siis praegu on alati võimalik leida eksperte tagajärgede prognoosimiseks. Samuti on praegu päris hea ülevaade ükskõik millise loodusressursi tagavarast. Ammu on selge, et need pole lõputud ja vastutus-tundetud tarbimise korral võivad mõned varud õige kiiresti otsa saada.

Inimese kui liigi ressursse ja keskkonda hävitavat vohamist teiste liikide ja inimkonna enese järeltulevate põlvete arvel nimetatakse sageli bioloogiliseks imperialismiks. Inimese ja keskkonna suhete otsustavat muutumist võiks tõlgendada kui säästlikkuse revolutsiooni. Industriaalse euforia järelkajana istub inimestes soov muuta maailma palju tugevamini kui soov muuta iseennast ja kohaneda muutuva maailmaga. Säästva arengu oluliseks piirajaks võibki saada just inimeste soovimatus muuta iseennast ja oma elulaadi. Mõningat optimismi sisendab näiteks see, et arenenud riikide elanikud loobuvad massiliselt suitsetamisest ja kujundavad üldsuses seda pahet taunivat hoiakut. Ka ei tule tsiviliseeritud inimestele pähe viia oma olmepraht salaja lähimasse parkmetsa nagu Eesti Vabariigi

kodanikel on sageli kombeks teha. Säästva arengu üle järelemõtlemine tuleb küllap alles siis, kui elementaarsete elumurede lahendamise suhtes valitseb mingi selgus ja stabiilsus. Võibolla isegi kolmveerandil meie planeedi elanikest ei ole seda selgust. Nii ongi raske loota säästva arengu ideede massilist omaksvõttu. Kuna maailma ressursid ei luba kunagi kõigil elanikel saavutada Ameerika Ühendriikide ja Lääne-Euroopa tasemel tarbimist, siis ei leia rikaste riikide kodanike üleskutsed säästvale arengule ka vaestes riikides erilist kõlapinda. Ka arutlevad inimesed massiliselt nõnda: kui võrd minu isiklik tarbimine ja saasta kogus on kogu maailma mastaabis kaduvväikesed, siis mis ma ikka ennast piiran. Paljud inimesed on ümbruse ja tuleviku suhtes üldse apaatsed.

Säästva arengu aluseks saavad olla ainult säästev majandus ja säästev eluviis. Vaja on lahti ütelda kasvumaaniast ehk inimkonna progressi võrdsustamisest majandusliku kasvuga. Ei ole üksüheselt nii, et mida kiirem majanduslik kasv seda parem inimestel. Kui rahvusliku koguprodukti kiire kasv on saavutatud saastumise hinnaga, siis inimesed saavad küll rohkem tarbida, kuid surevad sagedamini vähki ja põevad allergilisi haigusi.

Säästva eluviisi propageerijad väidavad, et mõõdukas majanduslik kasv ökoloogiliste võimaluste piires on ilmselt vajalik vaeste arengumaade puhul. Rikaste riikide kodanikel aga tuleks oma elustandardit allapoole lasta. Maksimaalse tootmise, tarbimise, ressursikasutuse, ja kasumi majandust nimetavad mõned ameerika majandusteadlased kauboimajanduseks ja seavad sellele vastukaluks kosmoselaeva majanduse. Viimane nimetus viitab, et Maa on nagu kosmoselaev piiratud ressursidega ja täielikult sõltuv elutalitlussüsteemide korrasolekust. Säästva arengu puhul tuleks lähtuda taastumatute ressurside ülimalt efektiivsest ja kokkuhoidlikust kasutamisest. Põhirõhk tuleks panna juba kasutatud korduvkasutusele. Rakendada tuleks jäätmevabu (minimaalsed jäätmekogused) tehnoloogiad. Kõigiti tuleks soodustada looduslike ökosüsteemide säilimist ja kasutamist kõigi inimeste heaoluks. Eesmärgiks tuleks seada kõigi inimeste elu kvaliteet, mitte võimaldada seda vaid vähesete privilegeeritutele nagu seni sageli on olnud. Säästva arengu eetika kordab jällegi sama, mis kirjade järgi olemas nii kristlikus kui kommunistlikus moraal. Paraku on argielus laialt levinud soov anda vähem ja saada rohkem, olla teiste ees mingis eelises seisundis. Rikkaks saamine tähendabki enamikul juhtudel väärtusseaduse



rikkumist oma kasuks. Säästva arengu ideoloogial on suur oht muutuda millekski utoopilise sotsialismi sarnaseks.

Üldiseks jooneks säästva arengu strateegiates on gigantomaania ja kontsentratsiooni taunimine. Tootmine on täisautomatiseerimise asemel orienteeritud inimeste olulisele osavõtule tootmisprotsessist. Tootmine on mõeldud maksimaalselt hajutada väikeste üksustena. Toodete valmistamisel loodetakse kasutada toorainena võimalikult kohalikke taastuvaid ressursse. Turustada loodetakse kohalikule tarbijale. Kestvuskaubad on mõeldud tõeliselt pikaajaliseks kasutuseks.

Pikemas perspektiivis näeb säästva arengu strateegia ette ka Maa elanike arvu viimise vastavusse keskkonna võimalustega, mis tähendab esialgu juurdekasvu ja hiljem ka koguarvu piiramist. Tootmise piiramisel vabanevaid inimesi loodetakse rakendada tööstuse ja kodumajanduse säästvale režiimile ümberseadistamisel.

Rooma klubi autoriteedi Meadowsi järgi on tänapäeva ühiskonnas levinud rida tegelikkusega vastuolulisi müüte: tehnoloogia suudab lahendada kõik probleemid, igal põhjusel on ainult üks tagajärg, igasugune kasv on hea, kõik majanduslikult kasulik on õige, piisava hulga rahaga saab lahendada iga probleemi, igal probleemil on ainult üks lahendus, edu võti on looduse juhtimises, üksikisiku tegevus ei loe, õnn sõltub materiaalsete väärtuste omamisest ja meil ei ole võlgu järeltulivate põlvede ees.

## 6. AINERINGE LOODUSES

Planeedil Maa toimub pidev aineriinglus. See toimub keskkonna erinevate komponentide vahel mitmesuguste füüsikaliste, keemiliste, füüsikalise-keemiliste ja bioloogiliste protsesside kaudu. Tähtis osa aineriingluse realiseerimisel on globaalsel veeringlusel, mille kaudu käib olulisel määral teiste ainete liikumine, nende saabumine inimese elukeskkonda ja sealt lahkumine. Osa veeringlusest kulgeb läbi biosfääri, kuid bioloogiline tsüklil aineriingluses ei piirdu lihtsalt ainete ülekandega vee kaudu. Biosfääri vahendusel toimub pidev anorgaanilise aine ümberpaiknemine ruumis ja ajas läbi pinnase, taimede, loomade ja mikroorganismide. Aineriingluses osaleb arvukalt erinevaid keemilisi ühendeid ja elemente. Mõnede ainerühmade tähtsus aineriingluses on suurem kui teistel ja sellepärast käsitletakse neid eraldi. Eraldi käsitlus on tarvilik ka selguse ja ülevaatlikkuse

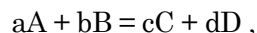
huvides. Keskkonnaprobleemide käsitlusel on otstarbekas eraldi välja tuua süsiniku, lämmastiku ja väevli ringed.

Keskkonnas liiguvad ained esmaselt selle komponendi piirides, milles nad algselt paiknesid. Vees leiduvad lisandid liiguvad edasi veega olenemata sellest kas nad on lahustunud või lahustumatul kujul. Atmosfääris olevaid lisandeid kannavad edasi tuuled. Pinnases toimub ainete liikumine põhiliselt difusiooni ja massiülekande teel. Elusorganismides toimub ainete liikumine peamiselt koevedelike ringluse kaudu. Migratsiooni keskkonna ühe ja sama komponendi piires määravad põhiliselt füüsikalised protsessid. Ainete keemilised omadused muutuvad oluliseks ainete liikumisel keskkonna ühest komponendist teise. Ainete liikumisel veest õhku ja vastupidi on määrava tähtsusega küllastunud auru rõhud ja lahustuvused vees. Liikumisel veest pinnasesse ja vastupidi osutuvad tähtsaks lahustuvus vees ja adsorptsioon pinnases. Liikumisel pinnasest õhku ja vastupidi on olulised küllastunud auru rõhk ja adsorptsioon. Ainete liikumist bioloogilistes kudedes reguleerivad osmootsete rõhkude kaudu rakumembraanidel toimuvad protsessid.

Enamus keskkonnas asetleidvaid keemilisi reaktsioone toimub lahustes või gaasisegudes. Iga lahus koosneb lahustist ja lahustunud aineist. Levinuimaks lahustiks looduses on vesi. Aine lahustuvus näitab tema lahustuvuse määra antud lahustis. Kokkuleppeliselt nimetatakse aine lahustuvuseks selle aine maksimaalset massi grammides, mis antud temperatuuril ja rõhul lahustub 100 grammis lahustis. Lahustuvuse järgi klassifitseeritakse aineid hästi lahustuva-teks, vähe lahustuva-teks ja praktiliselt lahustumatuteks aineteks. Hästi lahustub vees enamus sooli ja happeid. Vees praktiliselt lahustumatud on metallid, klaas ja parafiinsed süsivesinikud. Lahustunud aine ja lahuse masside suhet nimetatakse lahuse kontsentratsiooniks. Kangete lahuste puhul väljendatakse seda protsentides. Lahjade lahuste kontsentratsiooni väljendatakse lahustunud aine massiga lahuse ruumalaühiku kohta (mg/l või µg/l) ehk siis suhtelistes mahu või ruumalaosades (ppm - *part per million*, ppb - *part per billion* jne.). Et näidata kumba suhtega on tegemist lisatakse massi või ruumala tähis, näiteks ppmv, ppbm jne. Keemias on levinud lahuse kontsentratsiooni väljendamine moolides liitri kohta.

Paljudes loodusliku aineriingluse protsessides tekib lahuse tasakaal. Lahustes on võimalikud mitmesugused tasakaalu olukorrad, mida kirjeldatakse tasakaalu konstantidega. Keemilised reaktsioonid

saavad toimuda reageerivate molekulide kokkupuutel ja vaid neil juhtudel, kui reaktsioon on termodünaamiliselt võimalik. Üldiselt on looduslikud protsessid suunatud üleminekutele vähem stabiilsetest olekutest stabiilsematesse. Looduslikke süsteeme jagatakse nende suhtelise isoleerituse põhjal avatud, suletud ja isoleeritud süsteemideks. Avatud süsteemidel on olemas massi ja energia voog sisse ja välja. Suletud süsteemidel on olemas energia voog sisse-välja, kuid puudub massi voog. Isoleeritud süsteemidel puudub massi ja energia vahetus ümbrusega. Pöördumatud looduslikud protsessid adiabaatilistes isoleeritud süsteemides kulgevad entroopia kasvu ehk termodünaamilise tasakaalu suunas. Sellistes süsteemides toimuvate pöörduvate protsesside puhul jääb entroopia muutumatuks. Isoleeritud süsteem on mõtteline idealisatsioon, kuid teatud juhtudel on tegelik olukord sellele nii lähedane, et idealiseeritud olukorra kasutamise tegeliku asemel ei põhjusta olulisi moonutusi. Reaalsete süsteemide protsessid kulgevad entroopia kasvu suunas. Gaaside segudes ja lahjades lahustes on konstantsel temperatuuril kulgeva keemilise reaktsiooni kiirus Guldberg-Waage seaduse järgi võrdeline reageerivate ainete kontsentratsioonide korrutisega. Kulgemise iseloomu järgi jagatakse keemilised reaktsioonid pöördumatuteks ja pöörduvateks. Loodusliku aineriingi protsessides leiavad aset mõlemad. Kui pöörduva reaktsiooni päri- ja vastupidise reaktsiooni kiirused on võrdsed, siis on reaktsioonid omavahel tasakaalus ja kogu protsessi jaoks saab hõlpsasti arvutada tasakaalukonstandi. Tingliku reaktsiooni



kus A, B, C ja D on reageerivate ainete kontsentratsioonid ja a, b, c, d nende kogused moolides, tasakaalukonstant avaldub kujul:

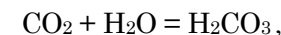
$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}.$$

Välistingimuste muutudes nihkub reaktsiooni kulgemine tasakaalu taastumise suunas. Paljude reaktsioonide kulgemist kiirendavad katalüsaatorid, mille sisaldus taastub pärast reaktsiooni toimumist. Katalüsaatorid ei lähe reaktsiooni produktidesse vaid osalevad ainult vahepealsetes etappides.

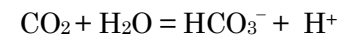
Paljud aineriingi protsessid toimuvad tänu elektrolüütilise dissotsiatsiooni nähtusele. Elektrolüütiline dissotsiatsioon on hüdratiseeritud ionide moodustumise protsess lahuses. Keemilised reaktsioonid võivad siis toimuda ionide osavõtul. Happed, nagu HCl või H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, produtseerivad vesinikioone H<sup>+</sup>. Alused, nagu NaOH või Ca(OH)<sub>2</sub>, produtseerivad hüdroksüüdi ioone OH<sup>-</sup>. Vesinikioonide H<sup>+</sup> kontsentratsioonid lahustes võivad muutuda mitme suurusjärgu piires. Nende sisaldust lahuses iseloomustatakse vesinikeksponeendiga

$$\text{pH} = -\log [H^+].$$

Puhtas vee vesinikioonide kontsentratsioon on vaid 10<sup>-7</sup> mooli liitri kohta ja tema pH = 7. Seda loetakse neutraalse lahuse etaloonväärtuseks. Happelistel lahustel on pH < 7 ja aluselisel lahustel pH > 7. Saastamata vihmavee pH = 5.7 temas lahustunud süsihappegaasist moodustunud süsihappe tõttu. Vihmavees toimub tasakaaluliste reaktsioonide



ehk täpsemini



paar. Dissotsiatsiooni produktidest käitub HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> aluselisel, H<sup>+</sup> happelistel. Vee või mõne teise lahuse võimet neutraliseerida H<sup>+</sup> ioone nimetatakse aluseliseks. Lahustunud soolad suurendavad üldiselt vee aluselisust. Sel põhjusel on veevärgi vesi tavaliselt nõrgalt aluseline (pH = 8). Kui räägitakse happvihmadest, siis mõeldakse nende all sademeid pH väärtusega oluliselt alla 5.7. Üksikjuhtudel on sademete pH väärtuseks saadud isegi 2 ümber, kuid valdavalt on happvihmade pH väärtused 3 kuni 5. Ka Eestis on sademetes registreeritud pH < 4, kuid siiski harva.

Elusolendite biokeemilised protsessid kulgevad valdavalt neutraalsetes tingimustes. Veekogudes, kus pH < 5, suudavad eksisteerida vähesed liigid. Normaalseks peetakse seal 6 < pH < 7.5. Organismidele ei mõju hävitavalt üksnes happelisus, vaid ka see, et happelises keskkonnas lahustuvad ja migreeruvad paremini elusorganismidele mürgised raskemetallid ja muud kahjulikud ained.

Keskkonnas ja eriti biosfääris on keemiliste reaktsioonide eriti levinud liigiks redoksreaktsioonid. Nende hulka kuuluvad ainevahe-

tuse protsessile omased reaktsioonid, samuti põlemine, korrosioon jt. Selliste reaktsioonide käigus muutub osalevate ühendite või elementide oksüdatsiooniaste. Oksüdeerijaks nimetatakse ainet, mis seob elektrone (hapnik, osoon, halogeenid, hüdroksüül). Redutseerijaks nimetatakse ainet, mis loovutab elektrone (vesinik, metallid, süsinikoksiid). Oksüdeerumise protsessis loovutavad aatomid või ionid elektrone, redutseerumisel aga liituvad elektronid aatomite või ioonidega.

Atmosfääris ja biosfääris toimub arvukalt selliseid reaktsioone, milles reageerimisvõimelised osakesed tekivad reaktsiooni käigus. Uued aktiivsed osakesed tingivad reaktsioonitsükli jätkumise. Aktiivseteks osakesteks on vabad radikaalid, aatomid või ionid. Ahelreaktsiooni vallapäästmiseks on vaja piisavalt suurt energiat, et lõhkuda molekulide keemilisi sidemeid. Ahelreaktsioonid katkevad aatomite või radikaalide ühinemisel inertse osakesega. Ahelreaktsioonide kulgu mõjutavad väikestes kogustes esinevad lisandgaasid atmosfääris või ainelisandid keskkonna teistes komponentides. Keskkonda sattuvad saasteained võivad oluliselt mõjutada loodusliku aineringe protsessi. Ahelreaktsioonid võivad olla hargnevad või ühesuunalised jadareaktsioonid.

Atmosfääris on levinud fotokeemilised reaktsioonid. Fotokeemilisteks nimetatakse keemilisi reaktsioone, mis algavad ultraviolettkiirguse või nähtava valguse toimel. Süsteem saab vabaenergiat juurde kiirgusenergia kvantide neeldumise läbi. Fotokeemilise protsessi esimeses staadiumis tekivad kiirgusenergia abil aktiivsed osakesed (radikaalid, aatomid, ionid), järgmises staadiumis aga keemiline muundumine. Fotokeemiliste reaktsioonide kvantitatiivseks iseloomustajaks on kvantsaagis. See näitab reageerinud osakeste arvu ühe neeldunud kiirguskvandi kohta. Fotokeemiliste reaktsioonide kiirus ei sõltu oluliselt temperatuurist. Olemuselt on fotokeemiline ka rohelistes taimedes toimuv fotosünteesi protsess.

Eri faasiolekutes olevate ainete piirpinnal toimuvaid reaktsioone nimetatakse heterogeenseteks reaktsioonideks. Heterogeensed reaktsioonid toimuvad tahkete ja vedelate kütuste põlemisel õhus, metallide ja soolade lahustumisel vees, väetiste lahustumisel mulla kapillaaride vees jne. Heterogeenne reaktsioon toimub piirpinnal siis, kui on olemas reageerivate ainete pidev juurdevool sinna ja reaktsiooniproduktide pidev äravool sealt. Olulised on nii füüsikalised kui kee-

milised protsessid. Reaktsiooniproduktide ja reageerivate ainete liikumine toimub sageli difusiooni ja auramise teel.

Metallide ionid vees säilitavad oma välise elektronkatte kõige stabiilsemana siis, kui nad on ühinenud vee molekulidega moodustades hüdraatioonid. Näiteks  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ .

Paljud mineraalsed ja orgaanilised ained (vetikad, bakterid, proteiine sisaldavad ained, saasteained) esinevad vees tahke aine osiste kujul. Analoogselt õhus hõljuvate aerosooli osakestega nimetatakse neid hüdrosooli osakesteks. Vees esinevaid diameetriga 0.001 - 1 mm osakesi nimetatakse ka kolloidosakesteks. Kolloidosakeste stabiilsust reguleerivad hüdratiseerumine (ühinemine vee molekulidega) ja osakeste pinna elektrilaeng. Laengu omandavad osakesed sageli oma pinnal toimuvate heterogeensete reaktsioonide käigus. Osakeste agregatsiooni kaks põhilist viisi on koagulatsioon ja flokulatsioon. Koagulatsioon on osakeste üksteisega ühinemise protsess, mille tulemusel kahaneb nende arv ja kasvab keskmine läbimõõt. Koagulatsiooni teeb võimalikuks takistavate elektrostaatiliste jõudude nõrgenemine osakeste vahel. Koagulatsioon on osakeste ühinemine keemiliste sidemete kaudu. Kolloidosakesi jagatakse hüdrofiilseteks, hüdrofoobseteks ja assotsieerunud kolloidideks. Hüdrofiilsed kolloidid koosnevad makromolekulidest nagu proteiinid ja sünteetilised polümeerid ning moodustavad vees osakesi spontaanselt. Hüdrofiilsed kolloidid on väga suurte molekulide või ionide lahused. Hüdrofoobsed kolloidid reageerivad veega vähem, sest nende ümber tekib elektriline kaksikkiht - positiivsete ionide kiht negatiivselt laetud kolloidosakese ümber. Hüdrofoobseteks kolloidideks vees on savi-osakesed, õlitilgad ja ka väga väikesed kullakübemed kullaleiukohtade vooluveses. Assotsieerunud kolloidi näiteks on seep, mis moodustab vees kuni 100 süsivesiniku anioonist koosnevaid ja  $\text{Na}^+$  ionidega ümbritsetud klastreid.

Hüdrofoobsed kolloidid koaguleeruvad sageli soolade lisamisega lahusesse. Tekkinud ionid redutseerivad elektrostaatilisi tõukejõude osakeste vahel sel määral, et need saavad ühinenult koos püsida. Elektrilaengu kaksikkihi tõttu nimetatakse seda osakeste tekkeviisi kaksikkiht kompressiooniks. Looduses toimub selline protsess olulisel määral jõgede estuuriates mageda ja soolase vee kokkupuutel. Flokulatsiooni toimumise määrab siduvate (sildavate) ühendite olemasolu. Need tekitavad olemasolevate kolloidosakeste vahel keemilisi sidemeid ja aitavad moodustada suuri osakesi. Agregatsiooni

mehhanismidel on oluline tähtsus vee (ka õhu) puhastamise tehnoloogiates. Mida enam õnnestub saasteaineid kontsentreerida suurtesse osakestesse seda hõlpsam on neist vabaneda.

Füüsikalistest protsessidest mängib aineringses tähtsat osa difusioon, mis toimub nii gaasides, vedelikes kui tahketes ainetes. Einsteini 1908. a. loodud difusiooniteooria võimaldab arvutada difusioonikoefitsientide erinevate keskkondade puhul. Eri faasides olevate ainete vahelise difusiooni arvutamisel on vaja teada difusiooni tingimusi kummaski faasiolekus oleva aine sees. Pindkihis toimuvate protsesside toimumisel on tähtsad ainete adsorbtsiooni omadused. Pindkihti kogunevad need ained, mille pindpinevus on väiksem, kui põhialinel. Adsorbtsioon leiab aset kui adsorbendi (adsorbeerija) pindkihis esineb kompenseerimata molekulaarjõude, kas keemilise sideme või Van der Waalsi jõude. Van der Waalsi jõudude domineerimisel on tegemist füüsikalise adsorbtsiooniga, keemilise sideme jõudude domineerimise korral aga kemoadsorbtsiooniga. Kui adsorbtsioon kandub pindkihist edasi ainemassi sisemusse nimetatakse seda absorptsiooniks. Absorbtsiooniga on tegemist gaaside neeldumisel vedelikes ja tahketes ainetes ning vedelike neeldumisel tahketes ainetes.

Aineringe tundmises on tänaseks kujunenud mõneti paradoksaalne olukord. Saastamiskesksete uurimisülesannete püstitus sundis põhjalikult uurima just saastumise mehhanisme ja mõne aja pärast selgus, et aineringe loodusliku osa kohta osutuvad teadmised puudulikumaks kui antropogeense osa kohta. Nüüd on uurimise raskuspunkt asetatud rohkem aineringe loodusliku tsükli detailidele ja loodusliku ning antropogeense vahekordadele.

## 7. ATMOSFÄÄR

Inimeste ning valdava enamuse taime- ja loomaliikide elukeskkond asub atmosfääri kui suure õhuookeani põhjas. Atmosfäär kaitseb seda keskkonda liigse jahtumise ja liigse kuumenemise eest ning maailmaruumist tulevate kahjulike mõjude, kasvõi eluskudesid kahjustava lühilainelise kiirguse eest. Atmosfäär on taimedele vajaliku süsihappegaasi ja kõigile aeroobsetele organismidele tarviliku hapniku reservuaariks. Läbi atmosfääri kulgeb ka planeedi veeringlus ehk hüdroloogiline tsükkel, eriti ookeanide pinnalt õhku auranud vee toimetamine mandritele. Atmosfääris toimuvad protsessid mõjutavad oluliselt Maa asukate elamist-olemist. Nende protsesside

mõistmiseks tuleb tunda atmosfääri ehitust ja tema olulisi karakteristikuid. Järjest suuremaid probleeme tekitab kaasajal atmosfääri saastumine. Selle toimumise ja tagajärgede kohta saab selgust vaid piisava teadmistepagasi olemasolul normaalselt funktsioneeriva atmosfääri kohta.

Atmosfääri mass  $5.14 \cdot 10^{15}$  tonni moodustab ligikaudu miljondiku Maa kogumassist  $5.976 \cdot 10^{21}$  tonni. Atmosfääri tihedus ja rõhk kahanevad kõrguse kasvades eksponentsiaalselt baromeetrilise valemi

$$p_h = p_0 \exp [-Mgh/RT]$$

järgi, kus

- $p_h$  - rõhk kõrgusel  $h$ ,
- $p_0$  - rõhk merepinna tasemel,
- $M$  - õhu keskmine molekulmass ( $M = 28.97$  g/mool),
- $g$  - raskuskiirendus,
- $R$  - universaalne gaasikonstant,
- $T$  - absoluutne temperatuur.

Atmosfääri tihedus kahaneb kõrgusega suhteliselt kiiresti ja 99 % tema massist paikneb madalamal kui 30 km ning 99.9 % madalamal kui 48 km. Atmosfääri ehitust käsitletakse kihilisena. Kihtideks jagamise aluseid on käibel õige mitu. Kõige levinum on kihtideks jagamine temperatuuri vertikaalse käigu järgi. Atmosfääri temperatuuri vertikaalne gradient muudab teatud kõrgustel märki ning temperatuuri vertikaalne käik koosneb temperatuuri kasvamise ja kahanemise lõikudest. Kõrguste vahemikke, mille piirides temperatuur ühesuunaliselt kas kasvab või kahaneb, nimetatakse täpsustava eesliitega konkretiseeritult sfäärideks (troposfäär, stratosfäär, mesosfäär, termosfäär). Temperatuuri käigu käänupunktide piirkondi nimetatakse samuti vastava eesliitega täpsustatult pausideks (tropopaus, stratopaus, mesopaus). Pausivööndites on võrreldes kõrgemal ja madalamal oleva õhuga kas temperatuuri miinimum või maksimum.

Maapinnale lähimat atmosfääri kihti nimetatakse troposfääriks. Troposfääri temperatuur kahaneb kõrguse kasvades keskmiselt 6 K/km, kuni minimaalse väärtuseni umbes 215 K tropopausis. Troopikas on tropopausi kõrgus 15 - 17 km, poolustel vaid 8 km. Troposfääris eristatakse veel nn. maalähedast kihti, mis ulatub kuni 2 km kõrgusele. Selle kihi puhul pole tegemist temperatuuri vertikaalse käigu iseärasustega vaid maapinnaga hõõrdumisest põhjusta-

Tabel 7.1

tud eripäradega õhu liikumises. Troposfääri mass on  $4.4 \cdot 10^{18}$  kg, stratosfääri oma  $7.7 \cdot 10^{17}$  kg.

Tropopausist kõrgemal, stratosfääris, kasvab temperatuur kõrguse kasvades ja saavutab maksimumi, 275 K ümber, keskmiselt 50 km kõrgusel stratopausis. Sellest ülalpool, mesosfääris on uus temperatuuri langus kuni miinimumini 120 - 180 K mesopausis 80 - 85 km kõrgusel. Veel kõrgemal, termosfääris, on jällegi temperatuuri kasv kõrgusega kuni see stabiliseerub konstantsele väärtusele. Rahuliku Päikese ajal toimub see kõrgusel veidi üle 200 km väärtusele umbes 700 K, aktiivsuse maksimumides aga kõrgustel 300 ja 400 km vahel väärtustele üle 1500 K.

Atmosfäär on temas toimuvate füüsikaliste, keemiliste ja dünaamiliste protsesside poolest üsnagi keeruline süsteem. Atmosfääri läbib päikesekiirguse ja kosmiliste korpuskulaarsete kiirte voog. See põhjustab atmosfääri ülemistes ja keskmistes kihtides molekulide lõhustumist aatomiteks ehk dissotsiatsiooni, molekulide ja aatomite ionisatsiooni ning arvukaid keemilisi muundumisi. Reaktsioone, mille algatajaks on kiirguskvandi tekitatud fotodissotsiatsiooni protsess, nimetatakse fotokeemilisteks. Mesosfääris ja stratosfääris on fotokeemilised reaktsioonid üheks iseloomulikumaks protsessiks. On üldiselt teada, et raskusjõu mõjul langevad raskemad aatomid ja molekulid madalamale ning kergemad tõusevad kõrgemale. See toimub nii ka Maa atmosfääris, kuid kõrguseni kuni orienteeruvalt 90 km on atmosfäär dünaamiliste protsesside poolt nii tugevasti läbi segatud, et tema keemiline koostis olulisel määral ei muutu. Keskmise molekulmass jääb praktiliselt samaks. Troposfääris toimuvad protsessid kujundavad ilma ja neid uurib meteoroloogia. Pikemaajaliste muutustega tegeleb klimatoloogia. Kõrguste vahemikku tropopausist kuni kõrguseni 90 - 100 km, s.o. homogeense atmosfääri ülapiirini, nimetatakse keskatmosfääriks. Nende kihtide fotokeemiat ja energaetikat uurib aeronoomia.

Tabelis 7.1 on antud õhu keemiline koostis merepinna tasemel. Ligikaudu 99 % sellest moodustavad molekulaarne lämmastik ja hapnik. Märkimisväärset määral esineb veel argooni (0.93 %). Teisi inertseid gaase on vähestes kogustes. Ülejäänud gaasiliste lisandite hulgas on kõige enam süsihappegaasi ehk süsinikdioksiidi CO<sub>2</sub> (0.037 %). Seda ja paljusid teisi veel vähemal määral sisalduvaid gaase nimetatakse atmosfääri lisandgaasideks (*trace gases*). Osa nendest on olulisel määral või koguni täielikult antropogeense pärit-

Gaas	Sisaldus mahuosades	Molekulmass
Lämmastik, N <sub>2</sub>	0.78084	28.013
Hapnik, O <sub>2</sub>	0.20948	31.998
Argoon, Ar	0.00934	29.948
Süsinikdioksiid, CO <sub>2</sub>	0.000355	44.0099
Neon, Ne	$1.818 \cdot 10^{-5}$	20.183
Heelium, He	$5.24 \cdot 10^{-6}$	4.003
Metaan, CH <sub>4</sub>	$1.7 \cdot 10^{-6}$	16.043
Krüptoon, Kr	$1.14 \cdot 10^{-6}$	83.80
Vesinik, H <sub>2</sub>	$5 \cdot 10^{-7}$	2.0169
Dilämmastikoksiid, N <sub>2</sub> O	$3 \cdot 10^{-7}$	44.0128
Süsinikoksiid, CO	$1.2 \cdot 10^{-7}$	28.118

oluga. Suhtelise sisalduse alusel jagatakse atmosfääri lisandgaase milli-, mikro- ja nanokomponentideks. Paljusid neist leidubki vaid miljardikes või veelgi vähemates mahuosades atmosfääri ruumalast. Kui inertsed gaasid välja arvata, siis on enamus atmosfääri lisandgaasidest keemiliselt aktiivsed s.t. astuvad hõlpsasti reaktsioonidesse. Maa atmosfäär on keemiliselt aktiivne tänu suhteliselt suurele hapnikusisaldusele. Meie naabrite Veenuse ja Marsi atmosfäärid koosnevad 95 - 96 % ulatuses süsihappegaasist. Marsi atmosfääris on hapnikku veidi üle kümnendiku protsendi, Veenuse omas aga alla tuhandiku protsendi. Need atmosfäärid on Maa omast keemiliselt hoopis inertsemad. Keemilised protsessid atmosfääris tähendavad üldjuhul seda, et olemasolevad molekulid lagunevad ja lagunemise produktidest tekivad uued ühendid. Enamikul juhtudel toimuvad mõlemad protsessid läbi keeruka reaktsioonide jada. Tüüpiliselt toimub atmosfääris paralleelselt iga ühendi lagunemisega tema taasteke. Kuni need protsessid on omavahel tasakaalus jääb koostis samaks. Muutused koos võimalike ebasoovitavate tagajärgedega ilmnevad siis, kui üks neist protsessidest mingil põhjusel saavutab ülekaalu. Sellisel juhul võib mõne ühendi sisaldus hakata ühesuunaliselt kas kasvama või kahanema, mõjutades ühtaegu ka mitmete paralleelselt toimuvate

protsesside kulgu. Looduslik tasakaal on pikaajalise isereguleerumise tulemus ja püsib tingimuste muutumatuna säilides hästi. Tasakaalu võib suhteliselt kiiresti paigast nihutada antropogeenset päritolu lisandite massiline sattumine atmosfääri.

Üks atmosfääri tähtsamaid rolle on kliima stabiliseerimine. See toimub energia ja massi liikumise kaudu atmosfääris ja läbi atmosfääri. Aasta jooksul keskmiselt langeb atmosfääri välispinnal päikesekiirtega risti asetsevale kujuteldavale ruutmeetrisele pinnale 1370 W energiat. Suurust 1370 W/m<sup>2</sup> nimetatakse päikesekonstandiks. Tegelik energiatihedus Maa keskmisel kaugusel muutub orbiidi ekstsentrilisuse tõttu aasta jooksul regulaarselt ±3.4 % ulatuses. Öösel ei lange maapinna ühikule üldse energiat ja ka päeval langeb see valdavalt kaldu. Niiviisi kujuneb tegelikult keskmiseks energiavoo tiheduseks vaid 25 % päikesekonstandist ehk 343 W/m<sup>2</sup>. Ligikaudu pool Maa atmosfääri sisenevast kiirgusest jõuab maapinnani. Sellest väiksem osa (5 % esialgsest) peegeldub tagasi ja suurem osa (45 %) neeldub maapinnas ning soojendab seda. Sellest poolest pealelangevast energiast mis maapinnani. Ei jõua neeldub osa atmosfääris ja osa peegeldatakse sealt maailmaruumi tagasi. Lõppkokkuvõttes läheb 30 % pealelangevast energiast maailmaruumi tagasi, 70 % aga jääb atmosfääri või neeldub maapinnas, varustades planeeti pidevalt energiaga. Seega saab süsteemi maapind+atmosfäär pind keskmiselt 240 W/m<sup>2</sup> energiat. Pealelangeva päikeseenergiaga võrreldes kuni 1 % energiat jõuab maapinnani ka tema kuumast sisemusest. Päikesekiirgusest soojenenud maapind kiirgab välja oma temperatuurile vastava spektraalse koostisega infrapunakiirgust. Selle kiirguse spektri maksimum asub lainepikkuste vahemikus 10 - 12 µm ja valdav osa temast mahub vahemikku 4 - 30 µm. Maalt lahkuva kiirguse energeetika muudab keerukaks vee agregaatoleku muutumistesse salvestatud ja sealt vabanev soojus ning atmosfääris konvektiivselt edasikantav soojus. Pealelangevale päikeseenergiale normeerituna lahkuub sellisel viisil maapinnalt vastavalt 20 % ja 12 %. Kiirguslikult läheb otse maapinnalt maailmaruumi 10 %. Kiirgusena atmosfääri lahkuub selle normeeringu puhul maapinnalt 104 % kiirgust, millest vaid 8 % läheb atmosfäärist läbi ja 96 % pöördub alla tagasi kasvuhoooneefekti tõttu, mis toimib nii pilves kui pilvitu atmosfääri korral. Kasvuhoooneefekti tõttu kiirguse tagasipöördumine toimub siis, kui atmosfääri temperatuur kõrgusega kahaneb. Päevasel ajal ei tarvitse see päris maapinna lähedal ilmingimata nii

olla. Öösel on küll. Veeauru kui tähtsaima kasvuhooonegaasi toime on sel põhjusel suurem öösel ja talvel. Et stratosfääris on temperatuurikäik vastupidine, siis seal suundub taaskiirgunud energia üles ja kasvuhooonegaasid jahutavad. Summaarselt lahkuub atmosfäärist sama palju kiirgust, kui sinna saabub. Põhimõtteliselt on võimalik, et atmosfääri kiirgusbilanss muutub kas positiivseks või negatiivseks.

Kasvuhooonegaasideks, ehk täpsemini kiirguslikult aktiivseteks kasvuhooonegaasideks on kõik sellised gaasid, milliste molekulidel on kiirgust neelavad spektraalribad Maa intensiivse soojuskiirguse diapsoonis. Oluliselt põhjustavad kasvuhoooneefekti vahemikus 5 - 20 µm asuvad neeldumisribad. Kiirguslikult aktiivsete kasvuhooonegaaside kõrval on tähtsad ka keemiliselt aktiivsed kasvuhooonegaasid. Viimased energeetikat ise otseselt ei mõjuta, kuid osalevad kiirguslikult aktiivsete kasvuhooonegaaside kontsentratsioonide reguleerivate keemiliste reaktsioonide tsüklites. Inimtegevus on viimasel sajandil, eriti aga viimastel kümnenditel, arvestataval määral paigast nihutanud kasvuhooonegaaside sisalduste omavahelisi proportsioone. Süsihappegaasi sisaldus on kasvanud 280 miljondikult 370 miljondikuni ning senise tendentsi jätkudes kahekordistub tema sisaldus atmosfääris 2020 - 2030. aasta paiku. Veelgi kiiremini kasvavad mõnede teiste kasvuhooonegaaside sisaldused atmosfääris. Üldse põhjustavad kasvuhoooneefekti vähemalt 40 erinevat atmosfääri lisandgaasi. Seejuures on mõnedel neist ühe molekuli tekitatud kasvuhoooneefekt süsihappegaasi molekuli omast kümneid ja isegi sadu kordi suurem. Et aga nende sisaldused atmosfääris on väikesed, siis jääb väikeseks ka panus tegelikku kasvuhoooneefekti. Kasvuhoooneefektile vastassuunas toimivad mitmed teised atmosfääri regulatsioonimehhanismid. Kõige efektiivsema toimega on neist pilved. Kui pilvi on rohkem, pilved peegeldavad paremini ja nende ülemine piir on kõrgemal, siis kompenseerivad nad kasvuhoooneefekti põhjustatud soojenemist tõhusamalt. Kui ka kliima soojenemise tendents on olemas, ei ole see kaugeltki nii suur kui otsene kasvuhooonegaaside sisalduse kasv atmosfääris lubaks eeldada. Kliimat reguleerib oluliselt energia ühtlustav ümberjaotamine atmosfääri tuultega ja ookeani hoovustega. Süvahoovuste osa suure soojusmahtuvusega ookeanis kliima reguleerimisel on seni üpris puudulikult teada. Mureks ei anna kaasajal põhjust mitte kasvuhoooneefekt ise vaid tema võimalik muutumine. Kui kasvuhoooneefekt puuduks ja Maa oleks

otse kiirguslikus tasakaalus siis oleks tema keskmine temperatuur 33 K võrra madalam ja elu võimalused üpriski piiratud.

## 8. HÜDROSFÄÄR JA VEERINGLUS

Looduslikku veeringlust nimetatakse hüdroloogiliseks tsüklikuks. Pääkesenergia kaivatatavas ringluses toimub veevahetus atmosfääri kaudu ookeani ja mandrite vahel. Veeaur on ruumis ja ajas väga muutlik atmosfääri komponent. Hetkeliselt sisaldub atmosfääris 12 000 kuni 14 000 km<sup>3</sup> vett. Aasta läbi on õhu suhteline niiskus kõrge (80 - 85 %) troopilise ookeani ja vihmametsade kohal. Kõige väiksem (30 - 40 %, kohati isegi 5 %) on see ariidse kõrbete ja steppide vööndi õhus. Kontinentaalsete subpolaarsete alade atmosfääris on suhteline niiskus suvel 60 - 70 % ja talvel 80 - 90 %. Ookeani kohal on nendel laiustel niiskuse aastane käik vastupidises faasis. Troposfääris kõigub veeauru sisaldus tavaliselt 4 sajandikust 4 tuhandiku osani õhu massist. Suhteline niiskus näitab mitu % moodustab veeauru tegelik sisaldus antud tingimuste maksimaalsest võimalikust. Kõrgemal temperatuuril on võimalik maksimaalne veesisaldus suurem. Nii võib väikese suhtelise niiskusega kõrbeõhu ruumalaühikus ikkagi sisalduda rohkem vett kui suure suhtelise niiskusega polaarõhu sama suures ruumalas. Troposfääris olev veeaur vahetub keskmiselt 6 - 10 päevaga. Stratosfääri veeauru sisaldus on 3 - 8 miljondikku. Kõige kuivem on atmosfäär mõni kilomeeter ülalpool tropopausi.

Tabel 8.1

Sool	Sisaldus, g
NaCl	23.48
MgCl <sub>2</sub>	4.98
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3.92
CaCl <sub>2</sub>	1.10
KCl	0.66
NaHCO <sub>3</sub>	0.192
KBr	0.096
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.026
SrCl <sub>2</sub>	0.024
NaF	0.003

Maa pinnast 70.8 % ehk 361 milj. km<sup>3</sup> on kaetud ookeanidega. Ookeanivee 1 kilogrammis lahustunud soolade kogused grammides on antud tabelis 8.1.

Vee auramisel ookeani pinnalt jäävad soolad ookeani. Ookeani soolsus on keskmiselt 35 promilli. Soolsus pinnakihtides kõigub olevalt sademete ja auramise vahekorra, kuid soolade omavahelised proportsioonid jäävad samaks. Ookeanide pinnalt aurab aastas atmosfääri 320 000 km<sup>3</sup> vett. Ookeanidesse sajab samas vahemikus 284 000 km<sup>3</sup> vett. Mandritelt aurab aastas 60 000 km<sup>3</sup> ja sinna sajab 96 000 km<sup>3</sup>. Seega käib aasta jooksul läbi atmosfääri 380 000 km<sup>3</sup> vett ja toimub 36 000 km<sup>3</sup> ümberjaotamine mandrite kasuks. Mandritele sadanud veest aurab osa otse õhku tagasi, osa aurab sinna läbi taimede evapotranspiratsiooni teel, osa filtreerub pinnasesse ja sealt põhjavette. Vastukaaluks saabuvale täiendusele lahkub osa olemasolevast põhjaveest maaaluste vooluteede ja allikate kaudu ojadest ja jõgedest koosneva kuivendussüsteemi (*drainage system*) ehk vooluvete võrgu kaudu pidevalt tagasi ookeani. Globaalselt lahkub keskmiselt 2/3 kontinentidele sadanud veest sealt auramise ja evapotranspiratsiooni teel, 1/3 aga vooluvete süsteemi kaudu. Seda teed kaudu jõuavadki ookeani tagasi täiendavad 36 000 km<sup>3</sup> vett ja bilanss mandrite ning ookeani vahel saab tasakaalu. Suurimad voolukiirused küünivad 32 km/h. Otseselt voolukiirusest sõltub veevoolu võime erodeerida voolusängi ja edasi kanda mineraalset materjali. Maailma suurimad tasandikud koosnevad tavaliselt vooluvetega kohale kantud setetest. Jõgede suudmesse moodustuvad sellisest materjalist deltid. Delta tekib seetõttu, et voolusäng ummistub kokkukantud materjalist ja jõgi otsib uusi vooluteid kuni endised ja uued vooluteed hargnevad levikukujuliselt suurele suudmealale. Suured jõed algavad tavaliselt mägedest ja nende ülemjooksud toituvad liustike sulamisvetest. Mida lähemale alamjooksule seda aeglasemaks muutub tavaliselt vool ja suubub juurde lisajõgesid ning ojasid. Enamus maailma jõgedest suubub Maailmaookeani. Üksikud jõed suubuvad ka siseveekogudesse (näiteks Volga Kaspiasse ja Amu-Darja ning Sõr-Darja Araali). Mõned jõed ei suubu kuhugi, sest lihtsalt kuivavad oma alamjooksul. Jõgede aastased vooluhulgad võivad keskmise suhtes kõikuda suurtes piirides. Mussoonkliimas on vihmaperioodidel üpris tavalised suured üleujutused. Viimastel aastakümnetel on katastroofilised üleujutused sagenenud. Üheks põhjuseks on liigne metsaraiumine mägedes.

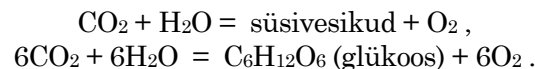
Kaitseta jäänud mäenõlvadelt kannab vooluvesi jõkke varasemaga võrreldes hoopis suuremaid koguseid pinnast. Jõesängid täituvad liiva ja mudaga. Vesi ei mahu enam sinna ära ja voolab üle kallaste. Teine põhjus, mida peetakse ka Mississippil 1993. aasta suure üleujutuse põhjuseks, et jõgede äärde jääb palju linnu ning muid asfalteeritud ja sillutatud alasid. Vesi ei filtreeru pinnasesse enam varasemas mahus, pääseb liiga kiiresti jõkke ja põhjustab veetaseme äkilist tõusu. Selline olukord takistab ka vee isepuhastumise protsessi. Liiga otse jõkke pääsevast veest ei filtreeri pinnas välja ja taimed ei tarbi ära väetisi ning need väetavad jõge. Vee pinnasesse filtreerumist soodustavad:

- tasane maapind,
- vähesed sademed,
- poorne pinnas ja õhurikas muld ning
- lopsakas taimestik.

Vee pinnasesse filtreerumist raskendavad ja vooluteede kaudu liikumist soodustavad:

- paduvihmad ja üldse rohked sademed,
- mägine reljeef,
- tihendatud muld ja tihke pinnas,
- taimkatte puudumine (lageraie, kaljupinnas).

Nagu maismaa ökosüsteemideski jaguneb veekogu elustik produtsentideks, konsumentideks ja redutsentideks. Produtsendid ehk autotroofsed organismid vees on ühe- või paljuraksed taimsed organismid, millised loovad päikesekiirgust kasutades vees leiduvatest mineraalainetest ja süsihappegaasist orgaanilisi suhkruid, valke ja rasvu. Näiteks

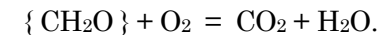


Enamuses on produtsendid klorofüllil sisaldavad, kuid esineb ka ilma roheline pigmendita punaseid, pruune ja sinirohelisi samasugust rolli täitvaid organisme. Öisel ajal produtsendid ei tooda hapnikku vaid tarbivad seda, mille tõttu eutroofsetes rikkalikult produtsente sisaldavates veekogudes esinevad hapniku kontsentratsiooni suured ööpäevased kõikumised.

Konsumendid ehk heterotroofsed organismid on põhiliselt loomsed, kes rahuldavad oma energiavajaduse taimsete organismide bioproduktiooni arvel. Konsumendid ei tarvita seda produktiooni

täielikult. Jäävad seeditamatud jäätmed, näiteks tselluloos, mis sadestub veekogu põhja.

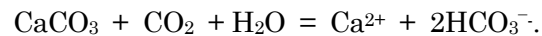
Redutsendid ehk destruktorid, millisteks looduses on valdavalt bakterid ja seened, lagundavad veekogudesse ladestuva seeditamatu toidu ning surnud loomsed ja taimsed organismid uuesti algelementideks -  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ . Taimse aine koostise tingliku karbohüdraadi lagundamine toimub järgneva skeemi kohaselt:



Produtsentide, konsumentide ja redutsentide omavahelised proportsioonid voolavates veekogudes muutuvad teel allikatest suudmeni olulisel määral. Allikate lähedal on vesi tavaliselt külm ja ohtra mineraalse hõljumi tõttu sogane. Selle vee bioproduktioon on väike ja vesi hapnikurikas, kuna ta on hästi aereeritud (õhuga segatud) ja külm (gaaside lahustuvus on külmas vees suurem kui soojas). Võrreldes õhuga on hapnikusisaldus ka parimatel juhtudel 20 - 30 korda väiksem. Konsumendid takistavad sellises vees produtsentide olulist paljunemist. Jõe kesk- ja alamjooksul on voolu kiirus väiksem, vee temperatuur kõrgem ja  $\text{O}_2$  sisaldus vastavalt väiksem. Vees elavate organismide ainevahetus ja hapnikutarbimine on intensiivsemad. Seisvates vetes, eriti väikestes järvedes ja jõgedes tammide taga, toimub suvine vee kihistumine. Ülemine läbisegunenud kuni 20 - 30 meetri paksune sooja vee kiht ei segune alumise külma veega. Tüüpilised on suvine seisak ja talvine jääalune seisak. Suvisel seisaku ajal satub hapnik ainult ülemisse sooja vette, põhja lähedal kulgevad laguprotsessid jäävad hapnikuvaegusesse. Seal hakkab lagunemine toimuma anaeroobselt, millega kaasneb väävelvesiniku, metaani ja mitmete mürgiste gaaside eraldumine vette. Üldiselt iseloomustab vee kvaliteeti lahustunud hapniku sisaldus. Eutroofsete veekogude alumistes kihtides langeb see väga madalale. Väävelvesiniku tõttu tekib iseloomulik ebameeldiv hais. Hapniku kadumisega koos lahkub neist kihtidest või hävib hapnikku tarbiv elustik, sealhulgas kalad. Vees toodavad hapnikku loomulikult ka vetikad ja veetaimed, kuid et nad ise on pimedal ajal hapniku tarbijad, siis ei jätku sellest veekogu hapnikuga varustamiseks. Teine eluliselt vajalik gaas vees on  $\text{CO}_2$ , ilma milleta pole võimalik vetikate ja veetaimede bioproduktioon. Tugevast tuulest tekitatud lainetus soodustab gaasivahetust vee ja õhu vahel ning sellega vee kvaliteedi paranemist. Toitelisuse alusel jagatakse maismaa veekogud oligotroofseteks, eutroofseteks ja



düstroofseteks. Oligotroofsed järved on sügavad, vähese toiteainete sisaldusega ja mõõduka bioloogilise produktiivsusega. Eutroofsed järved sisaldavad ohtralt toiteaineid ja on suure bioproduktiooni ning sogase veega. Düstroofsed järved on madalad, taimedest ummistunud ja pH väikese väärtusega. Eutrofeerumise protsess toimub looduslikult ja kaasneb järvede vananemisega, kuid inimtegevus võib seda isegi tuhandeid kordi kiirendada. Biogeensed ained esinevad vees üldiselt ioonidena ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ). Vetikad omastavad neid kindlas vahekorras ja vohamise kutsuvad esile lämmastiku ja fosfori ionide kõrge kontsentratsioonid kindlates omavahelistes proportsioonides. Et  $\text{CO}_2$  moodustab veega ühinedes kergesti süsihappe  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , siis on tema sisaldust vees keerukam määrata kui vee hapnikusisaldust. Vee happelisus on tema võime neutraliseerida hüdrosüüdi ioone  $\text{OH}^-$ . Vee võimet neutraliseerida vesinikioone  $\text{H}^+$  nimetatakse vee aluseliseks. Magevees leiduvatest katioonidest on tavalisest valdavalt kaltsiumi ioonid  $\text{Ca}^{2+}$ . Nende sisaldus määrab vee kareduse (*hardness*). Ohtralt süsihappegaasi sisaldav vesi lahustab kaltsiumi lubjakividest:



Pöördreaktsiooni käigus tekib lubjakivi ladestumine veekogu põhjas (näiteks järvelubi). Peale kaltsiumi iooni tekitavad vee karedust magneesiumi ja raua ioonid. Teatavasti saab karedat vett pehmemaks muuta keetmisega, mis sisuliselt ongi ülaltoodud reaktsioon paremalt vasakule, mille toimudes ladestub  $\text{CaCO}_3$  katlakivina.

Joogiveena kasutamiseks tuleb jõgede või muud pinnavett eelnevalt töödelda. Sobiva sügavusega põhjavee horisontide vesi on sageli piisavalt hea naturaalsel kujul. Põhjavee horisondid paiknevad suhteliselt hõreda struktuuriga kivimites või settekihtides. Mida poorsem on materjal seda enam võib ta sisaldada vett. Veehorisondi materjal ei tarvitse olla alati täies ulatuses täidetud veega. Sügavuste vahemikku, mille ulatuses ta on täiel määral veega täidetud, nimetatakse küllastuse tsooniks (*zone of saturation*). Selle ülemist piiri nimetatakse veenivooks (*water table*). Veenivoost kõrgemale jäävat osa, kus poorid on vaid osaliselt veega täidetud, nimetatakse aeratsioonitsooniks (*zone of aeration*). Veenivoo pole tavaliselt suurema ala ulatuses tasapind, sest põhjavee horisontaalne ja vertikaalne liikumine on aeglased. Puurkaevude ümbruses tekib veenivoo depressioonilehter. Linnade all on see lehter suure ulatusega ja veenivoo

lehtri keskosas võib ümbrusega võrreldes langeda kümneid meetreid. Kui vett võetakse mitte kõige ülemisest vett kandvast kihist vaid sügavamalt, siis langeb ka ülemiste kihtide veenivoo.

Vee uurimisega tegelevat teadusharu nimetatakse hüdroloogiaks. Mageveeliste veekogude füüsikaliste, keemiliste ja bioloogiliste omaduste uurimisega tegeleb limnoloogia. Teadus ookeanist ja selle füüsikalistest ja keemilistest karakteristikutest on okeanologia.

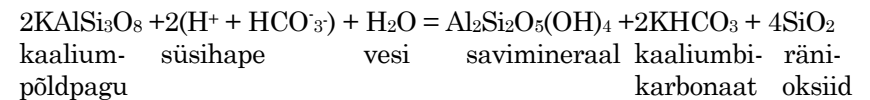
## 9. PINNAS JA MULD

Maa raadiusega võrreldes on tahke maakoore kiht õhuke. Selle paksus Himaalaja mäestiku all ulatub 60 – 70 km ja maksimaalselt isegi ehk 80 km. Ookeanide all on maakoore kohati vaid 5 km paks. Maakoore koosneb tardkivimitest, settekivimitest ja moondekivimitest. Tardkivimid tekivad vedela magma jahtumisel. Nende murenemisel ärakantud aine setetest tekivad settekivimid ja viimastest omakorda rõhu ja temperatuuri toimel moondekivimid. Kõik päris pinnal olevad kivimid murenevad oma pealmises kihis ilmastiku toimel. Lahtipudenenu aine liigub raskusjõu toimel orgude ja madalike suunas. Edasikandumisel ja settimisel etendavad tähtsat osa vesi, tuul ja jää.

Suuremat osa maismaa pinnast katab mullakiht. Muld on suurel määral kivimite järjest peenemateks fraktsioonideks murenemise produkt, kuid ühtlasi on ka komplitseeritud kasvusubstraat taimsetele organismidele. Muld on omamoodi sillaks elutu ja elusa aine vahel. Ta koosneb mineraalsest ja orgaanilisest tahkest aine, veest ja õhust. Jämedalt võetuna moodustab 45 % mulla ruumalast mineraalne tahke aine, 5 % orgaaniline tahke aine, 25 % vesi ja 25 % õhk. Orgaanilise aine sisaldus mullas on kõikuv. Turbamuldade tahkest fraktsioonist moodustab orgaaniline aine kuni 95 %. On olemas ka muldi, milles orgaanilise aine sisaldus ei ületa 1 % piiri. Väga huumusevaesed on troopiliste vihmametsade mullad. Mulla poorides olev vesi sisaldab taimedele vajalikke toiteaineid, nendes leiduv õhk on aga hapniku ja süsiniku allikaks mullas leiduvatele mikroorganismidele. Tahkete osiste suurusjaotus ehk tekstuur määrab mulla õhu- ja veesisalduse ning nende liikumise mullas. Suurtest terakestest koosnevad liivmullad kuivavad kiiresti ja säilitavad halvasti toiteaineid. Savimuldade poorid võivad jällegi osutada kitsasteks, milles on palju niiskust ja liiga vähe õhku.

Mullakihi vertikaalne profiil jaguneb mitmeks mullahorisondik. Neist kõige ülemine, O-horison ehk kõduhorison, sisaldab kõige enam orgaanilist ainet, puulehti ja muid taimejäänuseid. Selle horisoni alumisel piiril on taimejäänused tavaliselt juba lagundatud huumuseks. Algmaterjal pole enam identifitseeritav. Järgmine, A-horison ehk huumusehorison, koosneb küll olulisel määral mineraalsest ainetest, kuid sisaldab ohtralt huumust ja on temas leiduva elustiku kaudu bioloogiliselt väga aktiivne. Mullas olev vesi viib sügavamale nõrgudes kaasa mulla kõige peenemate fraktsioonide osakesi ja lahustunud orgaanilisi aineid. See protsess muudab mulla pealmiste kihtide struktuuri jämedakoelisemaks ning rohkem õhku sisaldavaks. Sellist mulla struktuuri muutumist nimetatakse eluviatsiooniks, toiteainete pesemist sügavamale aga leostumiseks. A-horisoni all paikneb B-horison ehk akumulatsioonitsoon (eestikeelses terminoloogias sisseuhtehorison), kuhu jäävad pidama A-horisonist ärakantud ained. B-horison sisaldab vähem orgaanilist ainet kui ülemised horisonid. Selle all paiknev lähtekivimi ehk C-horison sisaldab valdavalt juba mulla mineraalosa algmaterjali mitmesuguste oksiidide ja soolade kujul. Osa neist esineb hüdraatidena koos teatava arvu vee molekulidega. Keemiliste elementide vahekorrad on üldjoontes sarnased maakoore ülakihtide kivimite omale ja varieeruvad umbes samas ulatuses nagu kivimites. Mullavees moodustavad orgaanilised ained kolloidlahuseid ja molekulaarlahuseid, mis teevad taimedele vajalikud ained juurte kaudu kättesaadavaks. Kolloidlahused absorbeerivad ka mullas leiduvaid toksilisi aineid ja puhastavad sel moel muldasid. Nagu veekogudes esinevad lahustunud mineraalained ka mullas olulisel määral ionidena:  $H^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$  ning  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HSO_4^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $F^-$ . Vähem kui 5 % mulla ruumalast moodustav orgaaniline aine on mulla viljakuse määraja. Huumus on toiduks mulla mikroorganismidele ning tema sisaldusest sõltuvad mulla füüsikalised ja keemilised omadused. Põhiosa huumuse koostisest moodustavad süsinik, hapnik ja vesinik. Peale nende esinevad huumuse koostises väga olulised mulla viljakust määravad lämmastikuühendid (aminohapped, aminosuhkrud), fosforiühendid (fosfaatestrid, fosfaadid). Mulla mikroorganismide toiduresursiks on tselluloos ja teised sahhariidid. Rasvad ja vaigud on aga vee kaasabil osalised mullast toksiliste ainete eemaldamisel.

Muldade tekkimine on pikaajaline protsess. Paarikümne sentimeetri paksuse mullakihi moodustumiseks kulub olenevalt kliimast ja muudest keskkonnatingimustest 1500 - 7500 aastat. Muld tekib füüsikaliste, keemiliste ja bioloogiliste protsesside keeruka koosmõju tulemusena. Mulla mineraalosa materjal mureneb mehaanilise ja keemilise mõju tagajärjel. Kuumas ja niiskes kliimas on keemiline murenemine tunduvalt intensiivsem kui kuivas ja jahedas kliimas. Viimasel juhul prevaleerib mehaaniline murenemine. Keemilist murenemist toetavad bioloogilised protsessid. Graniidi murenemisel on tähtis osa samblikel, millised eritavad süsihapat. Süsihape  $H_2CO_3$  on nõrk hape ja ei suuda reageerida kvartsiga, kuid reageerib teise graniidi koostises olulise mineraali põldpaoga ligikaudu järgneva skeemi kohaselt:



Keemilise murenemise tulemusel tekib graniidist kvartsikristallikesi sisaldav savi, milles leidub kaaliumbikarbonaadi näol kergesti vees lahustuvat ja taimedele omastatavat kaaliumi. Troopilises kliimas tekivad keemilise murenemise tulemusel lateriitideks kutsutavad mullad. Veega viiakse neist kiiresti välja lahustuvad ühendid ning mulla koostisse jäävad domineerima alumiiniumi ja raua oksiidid. Raua oksiidid annavadki troopilistele muldadele iseloomuliku punaka värvuse. Et bakterite lagundav aktiivsus on troopikas väga kõrge, siis kaks protsessi koos (intensiivne bioloogiline elu ja intensiivne leostumine) põhjustavad olukorra, kus mullas on väga vähe toiteaineid ja huumust. Selle tõttu ei kõlba vihmametsade mullad millekski muuks kui vihmametsa kasvamiseks. Põlluharimise ja karjakasvatuse tarvis on need mullad viljatud ja kaitsetud. Mitmetes troopilise regiooni riikides on korduvalt tehtud asjatuid katseid arendada maaviljelust hävitatud vihmametsade muldadel. Maaviljeluseks soodsaimad on neutraalse lähedase pH väärtusega mullad. Happeliste muldade produktiivsust saab tõsta lupjamisega, lisades mulda kaltsiumkarbonaati  $CaCO_3$ . Ariidsetes piirkondades eriti, kuid ka mujal, võivad mullad muutuda liialt aluseliseks. Neid saab neutraliseerida alumiiniumi või raua sulfaatidega. Parandab ka väävli lisamine.

Üks muldade tähtis funktsioon on varustada taimi vajalike makro- ja mikroelementidega. Makroelemendid on sellised keemilised elemendid, mida leidub taimede kudedes ja koevedelikes olulistest kogustes. Mikroelemendid esinevad taimedes väikestes kogustes ja on tarvilikud põhiliselt ensüümide toimimiseks. Taimede olulisemad mikroelemendid on boor, kloor, vask, raud, mangaan, molübdeen, vanaadium ja tsink. Olulisteks makroelementideks on süsinik, vesinik, hapnik, lämmastik, fosfor, kaalium, kaltsium, magneesium ja väävel. Süsiniku, vesiniku ja hapniku võtavad taimed õhust. Ülejäänud makroelemendid peavad nad saama mullast. Tavaliselt jääb mullas vajaka lämmastikku, kaaliumi ja fosforit, mida kultuurtaimede kasvatamisel tuleb sinna lisada väetistena. Enamikus muldades on üle 90 % lämmastikust orgaanilise aine koostises. Lämmastikku varuvad mulda mikroorganismid. Surnud orgaanilise aine lagunemisel tekivad ammoniumiioonid  $\text{NH}_4^+$ , mis hiljem bakterite toimel oksüdeeruvad taimedele kergemini omastatavateks nitraatideks  $\text{NO}_3^-$ . Kaaliumi ja fosforit saavad taimed peamiselt mulla mineraalainest. Lämmastikku fikseeritakse mulda olulisel määral ka õhust. Fikseerimise protsessi käigus muudetakse atmosfääri  $\text{N}_2$  taimedele omastatavateks ühenditeks. Lämmastik on proteiinide ja teiste elusaine tähtsate ühendite oluline komponent. Lämmastikurikkal mullal kasvanud teraviljad ja teised kultuurid mitte üksnes ei anna kõrgemaid saake vaid need saagid on ka proteiinirikkamad. Taimed võivad mullast oma kudedesse haarata ka ülemäära suuri koguseid nitraate. Kõige sagedamini juhtub selline asi kõvasti lämmastikuga väetatud muldadel põua ajal. Eriti ohtlik on sellistest taimedest valmistatud silo. Selles fermenteeritud söödas tekivad mürgised nitritite  $\text{NO}_2^-$  ioonid. Sellised ioonid tekivad vähemal, kuid ikkagi ohtlikul, määral ka inimeste tarbitavates toiduainetes.

## 10. BIOSFÄÄR

Biosfääri moodustavad arvukad taime- ja loomaliigid ning mikroorganismid. Mikroorganismid on seni tähelepanu leidnud peamiselt kui haiguste tekitajad ja tuntud on nad vaid 300 aastat, alates mikroskoobi leiutamisest. Kogu biosfääri funktsioneerimine sõltub väga palju mikroorganismidest. Mikroobidel puuduvad olulised taksonoomilised tunnused ja neid on uuritud peamiselt kultuuris kasvatamise teel. Enamust mikroobidest ei õnnestu puhta

kultuurina kasvatada. Võimalik ei ole ka kõigi Maal elavate mikroobide katalogiseerimine. Kui makroorganismid on kas fototroofsed (elavad fotosünteesi arvel) või organotroofsed (elavad fotosünteesitud orgaanilise aine lagundamise arvel), siis mikroorganismide enamus on litotroofsed, nad ei vaja valgust ega hapnikku, vaid elavad anorgaanilise aine arvel.

Makroorganismide liigilise kuuluvuse määramise aluseks on taksonoomilised tunnused. Nende alusel määramine nõuab eriettevalmistust. Kirjanduses avaldatud hinnangute kohaselt on selleks piisava ettevalmistusega uurijate koguarv maailmas praegu 6000 kuni 7000 inimest. Kogu maailma liigirikkuse dünaamika üle arvepidamiseks on see asjatundjate arv ilmselt liiga väike.

Makroorganismide praegu eksisteerivatest liikidest on umbes 1.7 miljonit uuritud liigid. Uurimata liikide arvu hinnangud on seni kirjanduses üpris varieeruvad. Samal määral on erinevad kogu biosfääri eksisteerimise vältel esinenud liikide koguarvu hinnangud. Viimase arvu pakutavad väärtused kõiguvad enamasti vahemikus 30 kuni 500 miljonit. Ka käesoleval momendil eksisteerib optimistide arvates mitukümmend miljonit liiki. Pessimistide hinnangutel neid eriti üle 1 miljoni ei ole. Ebamäärasuse põhjus on selles, et enamus liike asustab troopilisi vihmametsi, kus neid on raske uurida. Üha kiirenevas tempos toimub liikide hävimine, kuid ka selle kohta pole andmed kuigi täpsed.

Uuritud liikide hulgas on loomaliike 4 korda rohkem kui taimeliike. Loomaliikidest 75 % moodustavad putukad ja ligi 9 % molluskid. Loomaliikide koguarvust moodustavad 93 % maismaa loomastiku esindajad, mereloomade liikidele jääb vaid 7 %. Ka taimeliikide puhul on pilt ligikaudu sama. Maismaa liigid moodustavad 92 % ja veetaimed 8 %. Maismaa taimeliikidest 50 % on õistaimed ja 27 % seemned. Taimed moodustavad 99 % kontinentide biomassist. Kuivainele taandatuna on aastane taimse biomassi toodang 380 miljardit tonni. Selle kõrval eraldab kontinentide taimestik aastas atmosfääri 350 miljardit tonni hapnikku. Energeetilises vääringus vastab taimse biomassi aastatoodang 40 miljardile tonnile naftale. Ookeanide biomassist tuleb 94 % loomaliikide ja vaid 6 % taimede arvele. Planeedi hetkel olemasolevas biomassis on ookeanide osa vaid 0.13 %, kuid aastasest toodangust annab ookean koguni 40 %. Põhiosa planeedi biomassist moodustavad metsad. Taimekoosluste produktiivsus sõltub muldade viljakusest,

maapinna kiirgusbilansist ja sademete hulgast ning aastaajalisest jaotusest. Looduslike ökosüsteemide produktiivsus on üldiselt alati kõrgem kui kultuurkoosluste oma. Lõuna-Ameerika kontinendi taimkatte keskmine produktiivsus pindalaühiku kohta on ligi kaks korda suurem kui ülejäänud kontinentidel. Tabelis 10.1 on antud levinumate ökosüsteemide produktiivsused g/m<sup>2</sup> aastas.

Tänapäeval toimub biosfääri liigirikkuse pidev kahanemine liikide elukeskkonna hävimise tõttu. Kiiresti muutuva keskkonnaga suudavad paremini kohaneda lühema elutsükliga liigid. Need liigid muutuvad ja jätkavad eksistentsi. Liikide hävimise peapõhjus on kaasajal inimtegevus. Kui loodusliku olukorra puhul hävis tõenäoliselt 1 liik 1000 aasta jooksul, siis praegune hävimistempo võib küündida kuni 100 liigini päevas. Looduslike liikide hävimise põhjusteks on nende elukeskkonna degradeerumine, küttimine, koduloomade karjatamine loodusmaastikel ja keskkonna saastamine. Elukeskkonna hävimine on viimasel ajal eriti drastiliselt toimunud troopiliste vihmametsade regioonis, mis on koduks enam kui pooltele biosfääri liikidele.

Tabel 10.1

Ökosüsteem	Keskmine produktiivsus	Piirid
Troopikametsad	2200	1000 - 3500
Mussoonmetsad	1600	1000 - 2500
Laialehised parasvöötme metsad	1200	600 - 2500
Boreaalsed okasmetsad	800	400 - 2000
Savannid	900	200 - 2000
Looduslikud stepid	600	200 - 1500
Tundrad ja alpiaasad	140	10 - 400
Kõrbed ja poolkõrbed	90	10 - 250
Sood	2000	800 - 3500
Järved	250	100 - 1500
Haritavad maad	650	100 - 3500
Avaookean	125	2 - 400
Šelf	360	200 - 600
Apvellingu alad	500	400 - 1000
Estuuriad	1500	200 - 3500
Vetikarikkad korallrifid	2500	500 - 4000

Suurel määral on hävinud ja kahjustatud ka teised paljude liikide ainuvõimalikud elupaigad - korallrifid, jõgede suudmealad ja üldse märgalad. Maailma ja ka Euroopa üldisel taustal on looduslike liikide olukord Eestis suhteliselt hea. Paljud loomaliigid on hävingu piirile viinud kontrollimatu jahipidamine, mis on üle kasvanud massiliseks salaküttimiseks. Töenduslik püük on vähendanud Maailmaookeanis elavate vaalade arvukust kuni kümnekordselt. Elevandiluuga ja ninasarvikusarvedega kaubitsemine on kahandanud katastroofiliselt nende loomade arvukust. Ajavahemikus 1973 - 1992 on näiteks Keenia elevantide populatsioon vähenenud 80 % võrra, vaatamata isegi 1989. a. kehtestatud elevandiluu ekspordi keelule.

Töendusliku salaküttimise kõrval kujutab mõnevõrra väiksemat, kuid ikkagi arvestatavat ohtu rikaste inimeste harrastatav sportlik jaht. Teisest küljest võetuna sõltub mitmete rahvaste traditsiooniline eluviis ja nende rahvaste püsimine küttimisest. Eskimod on alati olulisel määral elatunud vaalaküttimisest. Praegune vaalade arvukus ei luba seda enam endises ulatuses teha. Vaalade arvu selline vähenemine pole aga üldsegi eskimote süü. Mitmed looma- ja taimeliigid on saanud erakolleksioneerijate hobi objektiks. Primaatide, mitmete linnuliikide, kaktuste ja orhideede arvukus on selle tõttu nende looduslikes areaalides märkimisväärsel määral vähenenud. Väga suurt kahju on looduslikele liikidele tekitanud taimekaitsevahendite massiline kasutamine, eriti kurikuulsa DDT levik 1960-datel aastatel. See on katastroofiliselt pidurdanud röövlindude sigimist. DDT mõjul muutub munakoos õhukeseks ja muna läheb enne katki kui linnupoeg piisavalt elujõuliseks kasvab. Saastumine põhjustab massiliselt vigaste järglaste sündi. Looduses elavad liigid üksteisest sõltuvuses ja koosluse ühe olulise lüli väljalangemine muudab võimatuks ka teiste eksisteerimise.

Hävimisohus olevate liikide kaitse on võimalik vaid rahvusvaheliselt koordineeritud ettevõtmisena. Ülemäärase inimtegevuse eest tuleb kaitsta nende liikide elupaiku ja rännuteid. Selleks tuleb juurde luua rahvusparke, reservaatide ja muid kaitsealuseid alasid. Tihedasti asustatud regioonides pole seda kaugeltki lihtne teha. Võib isegi kerkida küsimus miks kaitstakse looduslikke liike inimeste arvel. Kogu olemasolevat liigirikkust ei õnnestu nagunii säilitada, kuid liikide hävimise oluline aeglustamine on inimese võimuses. Looduslike mitmekesisusele ei tohi vaadata puhtutilitaarsest vaatepunktist, et millist konkreetset kasu inimesele võiks anda üks või teine liik.

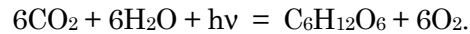
Esiteks ei ole seni selged kõik liikide omavahelised suhted ja teiseks on looduslik mitmekesisus omaette suur väärtus. Võib ju vahel ohutuse ja mugavuse nimel tunduda ahvatlev hävitada kõik sääsed, rotid, mürkmaod ja kiskjad. Lähemal uurimisel selgub, et igapäevael neist on ökosüsteemis kui tervikus oma kandev roll ja üksiku liigi hävitamine viib selle terviku tasakaalust välja.

Ökoloogia on teadus organismide omavahelistest suhetest koosluses ehk ökosüsteemis ja organismide suhetest ümbritseva keskkonnaga. Üks tähtsamaid asju, mis selgub tutvumisel ökoloogiaga on ökosüsteemide säästlik ülesehitus. Biosfäär sõltub täiel määral taastuvatest loodusressurssidest ja evolutsiooni käigus kujunenud looduslikud ökosüsteemid on säästva jäätmeteta aineriinge parimateks näideteks. Inimkonna ainus šanss pikaajaliseks püsijäämiseks seisneb jäätmeteta tehnoloogiatele ja taastuvate ressursside tarbimisele üleminekus. See tähendab, et uuel tasandil tuleb õieti minna tagasi lähtepunkti.

Globaalses mastaabis jaguneb maismaa biosfäär reaks tüüpilisteks vöönditeks, mida iseloomustavad tüüpiline kliima ja kindlapiirilised taime- ning loomariigi kooslused. Selliseid vööndeid nimetatakse teisiti bioomideks. Kõige üldisemas plaanis määrab bioomide piirid ja nende biosfääri liigilise koostise kliima. Bioomi koosluse liigid on adapteerunud kliimale, mille põhikarakteristikuteks on teatavasti temperatuur ja sademete hulk. Kuivas kliimas saavad eksisteerida veega kokkuhoidlikult ümberkäivad liigid. Niiskes troopikas saavad mõned liigid vajaliku niiskuse otse õhust lehtede kaudu ja ei vajagi juuri.

Kõik ökosüsteemid koosnevad abiootilisest ja biootilisest komponendist. Abiootilised faktorid on sademed, temperatuur, päikesepaiste kestus, õhu koostis ja mulla toitainetesisaldus. Iga organism on kohastunud talle omase abiootilise keskkonnaga. Organismide elutegevus kulgeb normaalselt abiootiliste tingimuste teatavas optimaalses vahemikus (ökoloogilises amplituudis). Mõnedel liikidel on see vahemik laiem, teistel kitsam. Optimaalsel piirkonnal on ülemine ja alumine piir. Vahetult kummalgi pool optimaalset piirkonda asuvad kitsamad füsioloogilise stressi tsoonid. Stressi tsooni tingimustes väheneb liigi arvukus väga kiiresti, kuid päriselt liik veel ei kao. Veelgi halvemaks muutuvates tingimustes liik enam eksisteerida ei suuda. Liigi isendid kas hävivad või lahkuvad soodsamate elutingimustega piirkondadesse. Organismidele mõjuvad

samaaegselt paljud keskkonnategurid. Tavaliselt selgub, et üks tegur on teiste hulgas primaarse määrava tähtsusega. Justus von Liebigi ettepaneku kohaselt nimetatakse seda piiravaks teguriks. See on nagu kõige kiiremini väsimat matkaja, kes määrab kogu grupi edasiliikumise tempo. Enamiku maismaa ökosüsteemide puhul on selleks piiravaks teguriks sademete hulk. Aastane sademete hulk määrab kas antud paigas kasvab mets, laiub rohtla või on koguni kõrb. Metsa kasvamiseks peab aastane sademete hulk olema üle 700 mm. Oluline on ka auramise intensiivsus. Vähesese auramisega subboreaalsel aladel võib mets kasvada ka veidi väiksema sademete hulga korral. Ökosüsteemi biotilised tegurid on tema elusorganismid - õistaimed, loomad, seened, mikroorganismid jne. Igal organismil on loodusliku säästva süsteemi funktsioneerimise seisukohalt tarvilik roll, mida alati pole kerge mõista ja välja selgitada. Nagu eelnevalt veekogu näitel mainitud jagunevad ökosüsteemi kui jäätmeteta tehnoloogial toimiva süsteemi koosseisus olevad liigid täidetava rolli alusel kolmeks põhikategooriaks - produktendid, konsumendid ja redutsendid. Jäätmeteta tehnoloogia realiseeritakse süsteemisestest toitumisahelate kaudu. Organismide koostises olevad keemilised elemendid osalevad tsüklilises looduslikus aineriinges. Selle tsükli peamisteks faasideks on keskkonna faas ja organismi faas. Keskkonna faasis paiknevad need elemendid pinnases, õhus ja vees, organismi faasis aga eluskudedes. Maal esinevatest keemilistest elementidest osalevad biogeokeemilises aineriinges olulisel määral umbes 40. Taimede, loomade ja mikroorganismide massist moodustavad 97 % vaid 6 elementi - süsinik, hapnik, vesinik, lämmastik, fosfor ja väävel. Kogu biosfääri aineriinges on eriti tähtsad ja suhteliselt keerulised süsiniku tsüklil, lämmastiku tsüklil ja fosfori tsüklil. Maismaa taimede ja fütoplanktoni kui produktentide ülesandeks ökosüsteemis on biomassi tootmine. Selle biomassi varal toituvad primaarsed konsumendid ehk taimetoidulised loomad otseselt ja sekundaarsed konsumendid ehk kiskjad kaudselt. Kõik surnud organismid ja elavate organismide elutegevuse jäägid lagundatakse bakterite ja seente kui redutsentide vahendusel tagasi algelementideks, et need saaksid osaleda uues ringluse tsüklis. Fotosünteesi käigus muudavad taimed õhust võetava süsihappegaasi juurte kaudu mullast võetava vee ja pealelangeva päikeseenergia kaasabil orgaanilise aine (järgnevas näites glükoosi) molekulideks:



Taimetoidulised loomad lagundavad õhust sissehingatava õhuhapniku abil energia saamiseks taimede produtseeritud orgaanilise aine molekulide. Süsiniku tsükli selles pooles vabaneb peale energia süsihappegaas ja vesi:



Süsihappegaas vabaneb ja läheb õhku tagasi ka biomassi põletamise käigus, samuti kunagise biomassi jäänuste ehk fossiilkütuste põletamisel. Lämmastiku aatomid esinevad paljude oluliste orgaaniliste molekulide koosseisus, Taimed ja loomad ei saa omastada otse õhu molekulaarset lämmastikku  $\text{N}_2$ , vaid tarvitavad seda ammooniumi  $\text{NH}_4$  või nitraatide  $\text{NO}_3$  kujul. Atmosfääri lämmastiku konverteerimist ammooniumiks nimetatakse lämmastiku fikseerimiseks. Seda teevad mullas ja vees elavad bakterid ja teised mikroorganismid. Edasi muudetakse ammoonium nitrititeks  $\text{NO}_2^-$  ja seejärel nitraatideks  $\text{NO}_3^-$ . Osa pinnasesse fikseeritud lämmastikku eraldub sealt atmosfääri naerugaasi ehk dilämmastikoksiidi  $\text{N}_2\text{O}$  kujul. Fosfor esineb DNA ja rasvade molekulide koosseisus fosfaatidena  $\text{PO}_4$ . Fosfor on veekogude eutrofeerumist piirav tegur, kuna looduses ei leidu teda üleliia. Inimtegevus võib kergesti põhjustada liigse fosforisisalduse ja sellele järgneva biomassi vohamise.

Igal liigil ökosüsteemis on oma ökoloogiline nišš. Kaks liiki ei saa kunagi kaua olla samas nišis. Konkurentsist tõrjub üks neist teise välja. Nišš määrab suhted teiste liikidega ja ümbritseva keskkonnaga. Toitumise mõttes esineb väga spetsialiseeritud liike. Näiteks koala toitub vaid eukalüpti lehtedest ja panda bambuse võrsetest. Samas on liike, milliste isendid söövad peaaegu kõike. Ökosüsteemide kahjustuste korral on kõigesööjatel hoopis paremad väljavaated ellu jääda. Jämedalt võetuna ainult 10 % alumise taseme biomassist konverteeritakse järgmise taseme biomassiks. Seda hierarhiat nimetatakse biomassi püramiidiks. Suurema kehahammastiga isendid vajavad toitumiseks suuremat areaali ehk teisisõnu nende asustustihedus on väiksem.

Mikroorganismid sattusid uurijate tähelepanu alla kõige enne haiguste tekitajatena. Nende osa suuremate biosfääri liikide elutegevuse toetajatena pälvis tähelepanu palju hiljem. Mikrobiökoloogia uurib mikroorganismide ja nende elukeskkonna suhteid. Paljudel juhtudel on selleks elukeskkonnaks

makroorganismide organid. Mikroobibiotoobiks nimetatakse mikroobide ruumiliselt piiratud ja ühesuguste tingimustega elukeskkonda. Mikroflooraks nimetatakse mikroorganismide kooslust mikroobibiotoobis. Residentmikrofloora on antud keskkonna mikroobidest püsiasukate kooslus. Transiitmikroflooraks nimetatakse mikroobe, mis jäävad antud keskkonda lühemaks ajaks (migrandid). Inimese organismis on mikroorganisme umbes 10 korda rohkem kui keharakke. Iga indiviidi mikrofloora on individuaalne ja kordumatu. Loode on steriilne. Tema mikrofloora hakkab kujunema sünni käigus. Arvukalt esineb mikroorganisme seedetraktis, suuõõnes ja naha pinnal. Mikrofloora normaalset makroorganismiga tasakaalulist olukorda nimetatakse eubioosiks. Düsbioos on residentsete ja transiitsete mikroorganismide normaalse vahekorra muutus ja avaldub sageli patogeensete mikroorganismide arvu suurenemises. Organismile omast mikrofloorat aitab säilida selline toitumine, mis müjub soodsalt kogu süsteemile organism-mikrofloora. Organismi normaalne mikrofloora osaleb seedimisprotsessis, ainevahetuses ja stimuleerib organismi immuunsussüsteemi. Ekstreemne toit, antibiootikumid ja haigused on mikroorganismide düsbioosi ning organismi funktsionaalsete talitluste häirete põhjuseks.

## 11. LOODUSLIKUD KLIIMAVÖÖNDID JA BIOOMID

Kontinentidel sõltub kliima üldjoontes geograafilisest laiusest ja igale kliimatingimuste kompleksile on kohastunud vastav looduslik bioom. Põhjapoolkeral on kõik põhilised bioomid esindatud. Lõunapoolkeral pole mõnede bioomide tüüpilistes laiuskraadide vahemikes lihtsalt mandrit. Mida soodsam on kliima inimeste elamiseks seda enam on looduslikud bioomid tõrjutud ja teisendatud. Karmi kliima bioomide puhul on antropogeensed mõjud väiksema ulatusega, ehkki need bioomid on kergemini kahjustatavad.

**Tundra bioom** esineb ainult põhjapoolkeral Põhja-Ameerika, Aasia ja Euroopa mandritel alates Põhja-Jäämere kallastest. Tundra kogupindala on 8 milj.  $\text{km}^2$ . Tundras sajab väga vähe, eriti talvel. Aastane sademete hulk on sageli alla 250 mm. Enamus sademetest langeb suvel vihma ja lörtsina. Tundra pinnas sulab suviti ainult umbes 10 cm ulatuses. Kuna igikeltsa tõttu vesi sügavamale ei saa imbuda, siis on tundra suvel väga vesine. Suvisel ajal on seal

arvukalt sääski ja teisi putukaid, kellest toituvad suveks tundrasse pesitsema rännanud linnud. Tundra bioomi ökosüsteem koosneb vähesest arvust liikidest. Taimedest saavad seal kasvada ainult pinnakihi paiknevate juurtega liigid - samblikud, samblad, rohttaimed, põõsad. Ökosüsteemi taastumine pärast kahjustusi on väga aeglane. Roomiktransportööri jälgede täielikuks kinnikasvamiseks võib kuluda kuni 50 aastat. Viimastel kümnenditel on tundra ökosüsteeme oluliselt kahjustanud nafta ja gaasi tootmine ning torujuhtmete ehitamine. Suurtest imetajatest elavad tundras põhjapõdrad (porod, karibuud) ja muskusveised. Kohati on nende arvukus üle ökosüsteemi taluvuse piiri. Inimasustus on tundras hõre. Majanduslikult pole tundrat suures ulatuses võimalik kasutada muuks kui põhjapõtrade karjamaaks.

**Taiga** ehk **boreaalsete okasmetsade** võond on tundrast järgmine ulatusliku levikuga bioom kogupindalaga ligi 12 milj. km<sup>2</sup>. Keskmine temperatuur on kõrgem ja keskmine sademete hulk on suurem kui tundras. Taimede kasvuperiood on keskmiselt 150 päeva. Kelts sulab suvel kas üldse või siis põhiliste okaspuu liikide juurte jaoks piisavalt sügavalt. Okaspuud ongi kõige paremini kohastunud külma lumise talvega. Okaste vahakest takistab aurumist talvisel ajal, mil juured ei saa puud veega varustada. Painduvad oksad taluvad lume raskust. Karmis kliimas kasvavad okasmetsad aeglaselt. Maharaiutud või põlenud metsa looduslikuks taastumiseks kulub taiga põhjapiiril kuni 400 aastat. Aeglaselt kasvanud puit on üldiselt kiiresti kasvanust tihedam ja väärtuslikum. Andmed boreaalsete metsade suurest puidutagavarast on mõnevõrra illusoorid. Selle puidu kasutamisel tuleb olla väga säästev. Intensiivse raie ja ohtra põlemise korral võib tekkida paarisaja aastane vaheaeg kuni uus mets saab raieküpseks. Okasmetsa taastumine algab lehtpuuliikide kasvuga, mille varjust tõusevad hiljem esile okaspuud. Okasmetsa loomastik ja linnustik on liigirikkam kui tundras.

**Segametsad** vajavad suhteliselt pikka ja sooja kasvuperioodi ning ohtralt sademeid. Iseloomulikuks on laialehised puud. Selle bioomi üldine liigirikkus on jällegi suurem kui eelmisel, okasmetsade bioomil. Laialehiste puude juured tungivad sügavale ja toovad puu kudedesse ohtralt mineraalaineid. Lehtede varisemisel satub oluline osa neist pinnakihti. Niiviisi on laialehised metsad efektiivsed viljakate muldade produtseerijad. See viljakas muld on saanud

saatuslikuks neile metsadele endile ja nende kunagisest pindalast on vähe alles. Selle asemel on põllud ja inimasustus. Segametsade praegune kogupindala ei ületa 5 milj. km<sup>2</sup>.

**Rohtlad** levivad parasvöötmes ja troopikavööndi piiril s.o. mõlemal pool kõrbete vööndit. Puude kasvuks on selle bioomi kliima ebasoodus väheste või ebakorrapäraste sademete tõttu. Parasvöötme rohtlaid esineb Põhja-Ameerikas (preeria), Lõuna-Ameerikas (pampa), Austraalias, Euroopas (stepp, pusta) ja Aasias. Troopilisi rohtlaid ehk savanne esineb Aafrikas ja Lõuna-Ameerikas. Reljeefi poolest on rohtlad enamasti kergelt lainjate pinnavormidega tasandikud. Kliimale on iseloomulikud perioodilised põuad. Looduslik rohttaimestik on põudadega kohanenud. Juured ulatuvad sügavale muldade alumistesse horisontidesse, kust on võimalik saada vett. Ka on need taimed kokkuhoidlikud vee kasutajad. Naturaalses olukorras elasad rohtlates suurte rohusööjate imetajate karjad, Põhja-Ameerikas piisonid, Aafrikas sebrad jne. Looduslike rohtlate mullad on samuti viljakad nagu segametsade omad. Viljakus on omane kõikidele sügavale tungivate juurtega taimedest koosnevate ökosüsteemide muldadele. Muldade viljakus on ka rohtlates looduslike ökosüsteemide väljatõrjumise põhjus. Tasandikuline rohtla on kõige kergemini põllumaaks muudetav looduslik ökosüsteem. Üpris sageli on seal maaviljelust harrastatud oskamatult, mis on põhjustanud viljakate muldade hävimise erosiooni tõttu.

**Kõrbed** on kõige kuivema kliimaga bioomiks ja esinevad Aafrikas, Aasias, Austraalias, Põhja-Ameerikas, ja Lõuna-Ameerikas. Kõrbete ja poolkõrbete kogupindala on 18 milj. km<sup>2</sup>. Kõrbetele on iseloomulik eriti vähene sademete hulk. Selle üldisem põhjus on atmosfääri globaalse tsirkulatsiooni laiuskraadilistes iseärasustes. Nimelt laskub nende laiuskraadide kohal alla kuiv õhk. Sageli esinevad kõrbed mäestike taga allatuult. Sademed langevad sel juhul õhu kerkides tuulepealsele nõlvale ja mägede taga on kuiv. Looduslikes kõrbetes on välja kujunenud veevaestele tingimustele ja suurtele temperatuurikontrastidele kohastunud ökosüsteemid. Kõrbe hõre taimestik koosneb vee aurumist efektiivselt piiravatest liikidest. Sellistele taimedele on iseloomulik nahkjäs veekindel kest, lehtede vähene arv või koguni puudumine ja väga ulatuslik sügavale tungiv juurestik. Need taimed suudavad mitmel viisil säilitada veevarusid endi sees. Paljud kõrbetaimed võivad pikka aega eksisteerida "uinunud" olekus, et pärast vihma kiiresti õitseda ja viljuda. Taime-

ja loomaliikide arv, millised on võimelised elama kõrbe ekstreemsetes tingimustes, osutub üllatavalt suureks. Paljud loomaliigid on aktiivsed ainult öösel. Kõrbemullad sisaldavad vähe orgaanilist ainet ja lämmastikku. Kunstlikult niisutatavad ülesharitud maad vajavad ohtralt lämmastikväetisi. Kõrbe all mõistetakse ka täiesti viljatut maad. Selliseks võib loodusliku kõrbe või poolkõrbe muuta inimtegevus. Peamiseks ohuks on ülemäärane karjatamine. Praegu kõige ulatuslikuma Saheli kõrbestumise põhjused on ilmselt antropogeensed, mida võimendavad looduslikud põuaperioodid.

**Troopilised vihmametsad** on ekvatoriaalvööndi bioom. Nende eksisteerimiseks vajalik aastane sademete hulk on 2000 kuni 4000 mm ja keskmine temperatuur 18 kraadi lähedal. Troopiliste vihmametsade ökosüsteemid on olemasolevate hulgas kõige liigirikkamad. Taimestiku põhimassi moodustavad kuni 60 meetri kõrguseni küündivad puud. Puude võrad varjavad suure osa päikesekiirgusest. Pärast peamise ja madalama rinde puuvõrade läbimist jõuab maapinnani vaid 1 % kiirgusest ja päris maapinnal saavad kasvada vaid valguse suhtes ülimalt vähenõudlikud liigid. Vihmametsale on iseloomulik just suurte puude liigirikkus. Ühelt hektarilt võib leida 100 ja enama puuliigi esindajaid. Parasvöötme metsades piirdub liikide arv samal pindalal umbes tosinaga. Veel liigirikkam on troopikametsa loomastik. Ainuüksi ühelt puult on seal leitud sama palju sipelgaliike kui neid esineb kogu Suurbritannia saartel. Erinevates piirkondades on sageli olulisel määral erinevad liigid. Et vahetult maapinnal on taimeliike vähe, siis elavad ja toituvad paljud putuka ja loomaliigid n. ö. kõrgematel korrustel, puuvõrades. Puuokstel ja võrades kasvavad epifüüdid, olles niiviisi lähemal valgusele. Osa epifüüte võtab vee ja toitained otse õhust ega vaja mulda. Amazonase selvas on leitud puud, millised pööravad oma juured mullast välja õhku, et võtta toitained vihmaveest. Vihmametsade puude juured ei tungi sügavale, kuna pinnakihi on alati niiskust piisavalt. Ümberkukkumise vältimiseks on paljudel puuliikidel arenenud tüve jäme alaosa ja tugijuured. Puud on nagu jonnipunnid.

Analoogselt ekvaator - poolus suunaga muutuvad looduslikud bioomid kõrguse kasvades. Sademete hulk ja keskmine temperatuur muutuvad kõrguse kasvades samamoodi nagu geograafilise laiuse kasvades. Kõrgmäestiku kliimatingimused on sarnased tundra omadele. Allpool järgneb metsade vöönd jne. Veerež iimid siiski päris sarnased ei ole, sest mööda kallakut jookseb vesi kergesti ära.

## 12. LEVINUMAD LOODUSLIKUD JA ANTROPOGEENSED ÖKOSÜSTEEMID

Inimkonna surve keskkonnale kasvab pidevalt. Enamvähem on see vastavuses inimkonna käsutuses olevate energiaressurssidega ja inimkonna arvukusega. Üheks tagajärjeks on looduslike ökosüsteemide muutumine ja nende asendumine inimese soovi järgi ümberkujundatutega. Osalt toimub looduslike ökosüsteemide muutumine ka ettekavatsematult muu inimtegevuse kõrvalproduktina. Ehedalt looduslikke ökosüsteeme on järel väga vähe. Väike kaudne antropogeenne mõju on alati olemas.

Tõenäoliselt sai looduse antropogeenne ümberkujundamine alguse kliima optimumi perioodil pärast viimast jääaega. Ümberkujunemise esimeseks vormiks olid põlengud. Pärast hakati rajama karjamaid ja põlde. Metsaraiumine algas küllap juba paleoliitikumis, kuid sai suurema ulatuse alles rauaajal 2000 - 3000 aastat tagasi. Umbes samal ajal algas tõusude ja mõõnadega kulgev kliima märgatav jahenemine nn. "väike jääaeg", mille sügavaimad lohud olid 17. ja 18. sajandi alguses. Soodsad kliimaolud valitsesid meie ajaarvamise alguse paiku (Rooma kliimaoptimum) ja 1000. aasta ümbruses (keskaegne kliimaoptimum). Inimestele ebasoodsad ilmastikuolud esinesid alates 13. sajandist, seda nii külmade talvede kui suviste põudade näol. See põhjustas metsade järjest intensiivsemat hävitamist ning põldude, karja- ja heinamaade laiendamist. Peale kütte ja ehituspuidu ülestöötamise laastas metsi rauasulatus. Alles 1735. a. läks korda rauamaagi sulatamine kivisöe koksiga. Seni tehti seda eranditult puusöega. Söepõletamise mastaapsust iseloomustab näiteks fakt, et 1674. a. kavatses Inglismaa valitsus Briti saartel rauasulatus keelata, kuna seda mereriiki ähvardas laevaehituseks vajaliku puidu lõppemine.

Pinnase erosioon haritavatel maadel ja mulla sooldumine kunstlikult niisutatavatel maadel olid tuntud juba 2 - 3 aastatuhandet tagasi. Need nähtused said mõnede muistsete tsivilisatsioonide hääbumise põhjuseks. Suurte geograafiliste avastuste ajastul algas taime- ja loomaliikide introduktioon ühtedest geograafilistest regioonidest teistesse. Osalt sihipärane, osalt ettekavatsematu ja soovimatu liikide introduktioon tekitas olemasolevates ökosüsteemides kohati suuri muudatusi. Näiteks küülikute viimine Austraaliasse. Ka Kanaari saarte originaalsed ökosüsteemid on peaaegu täielikult asendunud



uutega. Tööstusrevolutsioon soodustas veelgi antropogeensete ökosüsteemide laienemist ning tõi uute nähtustena kaasa õhu ja vee saastamise. Linnade kiire areng tingis vajaduse puhkemaastike järele, mis positiivse nähtusena tõi kaasa metsade sihipärase uuendamise.

Inimtegevus kujundab ümber looduslikke ökosüsteeme ja maastikke. Selle protsessi ulatuse hindamiseks on välja töötatud mitmeid kriteeriumide süsteeme. Üldiselt võtavad need aluseks kas maastiku seniste komponentide muutumise määra või tekkinud muutuste püsivuse astme. Ka antropogeense tekkega ökosüsteemid on erineva püsivuse astmega. Neist kõige looduslähedasemate püsimiseks pole vaja inimese pidevat kaasaaitamist. Istutatud metsad vajavad vahakasutusraiate teel harvendamist mitte selle metsa püsimise kindlustamise vaid kvaliteetsema puidu saamise eesmärgil. Teiste antropogeensete ökosüsteemide, näiteks karja- ja heinamaade, liigiline koostis on esialgses võrreldes sedavõrd muutunud, et nad säilivad vaid regulaarse mõõduka hooldamise korral. Kui heinamaad regulaarselt ei niideta, siis kasvab ta võssa ja hiljem muutub metsaks. Täiesti ümberkujundatud ökosüsteemide nagu põllumaade või aedade püsimine vajab pidevat toetavat inimtegevust maaharimise näol.

### 13. METSAD

Metsi esineb mitmes kliimavööndis, alates troopilistest vihmamet-sadest kuni kõrgmägede ja metsatundrate eksistentsi piiril olevate puistuteni. Nende eksisteerimiseks ei sobi liiga kuiv ega liiga märg pinnas. Metsad on nagu planeedi rõivad. Nad pidurdavad tuuli, siluvad temperatuuri kontraste ja puhastavad õhku. Metsi ei ole õige hinnata vaid puiduvaru põhjal. Paljudel juhtudel võivad nende muud omadused ja funktsioonid osutada puidust tähtsamaks.

Neoliitikumis oli maismaast (ilma Antarktikata) metsaga kaetud kuni 60 % ja ajaloolisel ajal keskmiselt 40 %. Praegu katavad metsad mitte üle 25 % maismaast. Põlluharimine on hävitanud vähemalt 1/3 maailma metsadest. Seejuures Euroopa metsadest on hävinud 70 %. Pool troopikametsade pindalast on hävinud viimase 50 aasta jooksul. Andmed eri paikkondade metsasuse ja puiduvaru kohta on vastuolulised. Ühelt poolt peegeldab see taoliste hinnangute metoodilisi raskusi, teiselt poolt näitab, et arvepidamine ei suuda metsade hävimise

tempoga sammu pidada. Siiski näivad 1990-date aastate alguseks metsadele kõige dramaatilisemad ajad juba möödas olevat ja mõistuse hääl pääseb järjest laiemalt maksvusele. Üpris jõuliselt tõhustub käesoleval ajal metsade kaitse Aasia, Aafrika ja Ladina-Ameerika maades, kus olukord oli jõudnud väga halvaks minna.

Metsades sisaldub kuni 92 % maailma biomassi varudest ja 68 % juurdekasvust. Haritavate maade vastavad näitajad on ainult 0.8 % ja 7.8 %. Käesoleva sajandi 30-datel aastatel tuli iga Maa elaniku kohta 2 ha metsa, praeguseks on seda jäänud alla 0.5 ha. Kokku on ajaloolisel ajal hävitatud 15 milj. km<sup>2</sup> metsi, sellest 1/6 viimase 25 aasta jooksul. Eri kontinentide ja eri riikide metsasused (metsaga kaetud pindala suhe kogupindalasse) on erinevad. Puiduvaru sõltub pealegi kliimavööndist ja kõrgusest merepinna suhtes. Troopilises kliimas on juurdekasvud mitmeid kordi suuremad kui jahedas kliimas. Siin on antud 1985. aasta seisuga andmed kontinentide metsasuse kohta, kuna samaväärse kvaliteediga uuemaid pole õnnestunud leida:

Lõuna-Ameerika	- 38 % (puiduvaru 106 · 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> , elaniku kohta 3.3 ha),
Põhja-Ameerika	- 38 % (44 · 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> ja 3.6 ha),
Kesk-Ameerika	- 26 % (0.6 · 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> ja 1 ha),
Endine N. Liit	- 34 % (79 · 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> ja 4.2 ha),
Euroopa	- 29 % (12 · 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> ja 0.24 ha),
Aafrika	- 27 % (35 · 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> ja 2 ha),
Aasia	- 19 % (32 · 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> ja 0.5 ha),
Austraalia ja Okeania	- 11 % ( m <sup>3</sup> ja 6 ha).

Suhteliselt kõige metsasemad riigid on Surinam (91 %), Mosambiik (84 %), Paapua Uus-Guinea (83 %), Malaisia (71 %), Birma (66 %), Indoneesia (65 %), Ecuador (64 %), Bhutan (64 %) ja Honduur (63 %). Väga napp metsasus on Uruguais (3 %), Pakistanis (3 %), Süürias (2.1 %), Iraagis (1.2 %), Afganistanis (1.1 %) ja Saudi-Araabias (0.5 %). Enamuses Saheli piirkonna maades puuduvad metsad üldse.

Eesti metsasus on üle 40 % ja see on viimastel kümnenditel suurenenud (praegu hinnatakse isegi 47 %). Eesti metsasuse numbrilised hinnangud pole ka päris ühesed. Parimaks ei peeta alati ka meie metsade vanuselist ja liigilist koostist. Viimasel ajal on korduvalt

selgunud, et mitmed asjad, mida me ise häbeneme, on naabrite heakskiidu objektiks. Sealhulgas peetakse loodusliku iseüuenemise läbi taastunud metsa istutatust elujõulisemaks. Samuti on väärtustatud võsa keskkonna (vee ja õhu) puhastajana. Eestis tuleb 1 elaniku kohta ligi 1.4 ha metsa. Soomes on see näitaja 4.05 ha, Lätis ligi 1 ha, Leedus ligi 0.5 ha, Saksamaal 0.12 ha, Taanis 0.10 ha ja isegi metsarikkas Brasiilias vaid 0.25 ha. Eesti metsades oleks optimaalne raieküpsete metsade osakaal 16 % üldpindalast. Tegelikult on see vaid 6 %. Raiutakse okaspuu palgimetsa ja juurde kasvab jõudsalt lepp ning haab.

Arenenud riikides on metsade hävimine toimunud oluliselt möödunud sajandite jooksul. Tihe asustus ei võimalda metsasust ka arvestataval määral suurendada. Paaril viimasel kümnendil on metsi seal märgatavalt kahjustanud õhusaaste. Nüüdseks on saastumine nii Lääne-Euroopas kui Põhja-Ameerikas jõudsalt vähenenud. Kõige vähem on edu olnud transpordi saaste piiramisel. Happevihmade osa vähenedes jäävad osoonikahjustused küllaltki muutumatule tasemele. Kahanemas on Siberi metsad liigse lageraie, põlengute ja kahjurite tõttu. Arengumaades oli metsade hävimise tempo 1980-date lõpus väga kõrge. Üheksakümnedatel aastatel on raiemahud järsult vähenenud ja metsade majandamine paranenud. Aafrika metsasus on viimase sajandi jooksul vähenenud 3.5 korda, peapõhjuseks suur puudus haritavast põllumaast ja karjamaast. Üldiselt on kogu maailma metsade kasutamise struktuuris pidevalt kasvanud tarbepuidu ja paberi ning vähenenud küttepuidu osakaal. Siiski on seni reas vaestes riikides puit peaaegu ainsaks energiaallikaks. Ja seda pea pooltele planeedi Maa elanikele. Sageli on toiduvalmistamiseks vajaliku kütuse muretsemine veelgi suurem probleem kui toidu enese hankimine. Veel üsna hiljuti kulus Aafrikas raiutud puidust kütteks 84 - 89 %. Sarnane on olukord ka Ladina-Ameerika ja Aasia maades, kus kütteks läheb samuti kuni 80 % raiutud puidust. Troopikametsi on nende liigirikkuse tõttu üldse ebamugav majandada. Varemalt on seal sageli antud altkäemaksu eest välisfirmadele kontsessioone väärtuslike puuliikide valikraieks. Vahel kasutati siis raiutud pindalade potentsiaalsest puiduvarust vaid 5 % ümber. Kui möödunud kümnendite raietempode eksponentsiaalne kasv jätkuks võiks metsad järgmise sajandi keskpaigaks täiesti kaduda. Õnneks on asi jõudsalt paranemas. Näiteks Brasiilias on aastane raiepindala 5 aasta jooksul vähenenud umbes 4 korda. On aru saadud, et

troopikametsade mullad ei sobi millekski muuks kui vaid loodusliku liigirikka metsa kasvukohaks. Brasiilias oleks maharaiutud metsadest võinud aastas saada 2.5 miljardit dollarit tulu. Nii Aafrika, Lõuna-Aasia kui Ladina-Ameerika maades on levinud alepõllundus, mis on üks metsade hävimise peapõhjusi. Metsaistutus jääb kogu maailmas raiumisest maha. Arenenud maades istutatakse umbes poolele raiutud pindalast, arengumaades vähem kui 10 %-le. Ratsionaalsema majandamise huvides rajatakse loodusliku liigirikka metsa asemele puude monokultuure. Viimasel ajal, mil teadmised liikide omavahelisest sümbioosist on kasvanud, on metsade liigirikkust hakatud kõrgemalt hindama.

Eesti metsades on mõnda aega raiutud vähem kui optimaalne. Puudulik on olnud eriti vahekasutusraie - metsade harvendamine ja puhastamine. Iseseisvumise järel sai puit üheks paremini minevaks eksporditavaks, mis tingis muu hulgas ka massilist metsavargust ja lagastamist. Isegi enamikus arengumaades on ümarpuidu eksport rangelt keelatud. Eesti saetööstuse seadmed olid esialgu sellises seisukorras, et nendega valmistatud saematerjal ei oleks välisest turult leidnud. Olukord on siiski küllalt kiiresti normaliseerumas, välja arvatud tselluloosi tootmise osas. Päril viimastel aastatel on tõsiselt üles kerkinud ülemäärase raie oht. Suuremas osas on erametsad. Muu maailma kogemus näitab, et eraomanduses olevate metsade majandamine on keskmiselt parem kui riigimetsade oma. See eeldab aga pikema aja jooksul kujunenud omanikuks olemise kultuuri. Metsade säilitamise põhiohuet on, et raie maht ei ületaks juurdekasvu. Mitmetes riikides on lageraie erosiooniohtlikel pindadel üldse keelatud. Metsakasutusseadused arvestavad väga oluliselt keskkonna olukorraga ja võimalike ohtudega. Kõige tundlikumad on mägimetsad. Lõuna-Aasia näited tehtud vigade kohta on kõige markantsemad mussoonkliima tõttu. Ohtralt sadav vihm uhab paljaksraiutud mäenõlvadelt pinnase jõgedesse, mille tõttu jõesängid ummistuvad. Vesi valgub üle kallaste ja põhjustab järjest sagedavaid suure ulatusega üleujutusi. Väiksema sademete intensiivsusega regionides esinevad samad nähtused mõõdukamal määral.

#### 14. KARJAMAAD JA KÕRBESTUMINE

Globaalses mastaabis moodustavad karjamaad ligikaudu 24 % maismaast. Neid esineb kõigil geograafilistel laiustel, alates tundrast kuni kõrbeteni. Ökosüsteemi kasutamine karjamaana muudab

ökosüsteemi liigivaesemaks ja vähem stabiilseks. Looduslikes rohtlates varem ümbritseva keskkonnaga tasakaaluliselt kooseksisteerinud suurimetajad nagu Põhja-Ameerika piisonid on enamuses inimeste poolt hävitatud ja koduloomade karjatuskooormused järjest kasvanud. Selline olukord tähendab antropogeenset bioloogilist ohtu loodusele. Arvatakse, et Kreeka, Itaalia ja Lähis-Ida maade esialgse loodusliku taimestiku on olulisel määral hävitanud elanike kitsekarjad. Lisaks kliima muutumisest tingitud põhjustele võib ka Sahara kõrbe tekkimisel olla oluline panus karjatamisel. Vähemalt tema praeguse laienemise põhjuste seas on karjatamine üks esimesi. Kõrbestumine on üks tänapäeva tähtsamaid globaalprobleeme. Viimasel paaril aastakümnel on selle tõttu igal aastal kasutatava maa bilansist välja läinud 50 000 - 70 000 km<sup>2</sup>, s.o. suurem pindala kui Eesti Vabariigi territoorium. Kõrge kõrbestumise astmega aladeks on ligi 10 % Lõuna-Ameerikast, 23 % Aafrikast, 18.5 % Aasiast ja 45 % Austraaliast. Kõrbestumist saab pidurdada karjatuskooormuse vähendamise ja pinnast kinnistavate taimekoosluste istutamisega. Kõrbestumise protsessile mõjuvad võimendavalt kestvad põuad nagu 15 aastat kestnud Saheli põud ja samuti mitu aastat kestnud Ida-Brasiilia põud lähimenevikus.

Kõrbestumise määra hinnatakse taimekoosluste muutumise ja pinnase erosiooniastme näitajate põhjal. Pinnaste erosioonitundlikkused on erinevad. Savipinnased püsivad ka taimestiku puudumise korral, liivapinnased on aga taimkatte degradeerumise suhtes väga tundlikud. Maailmas kokku on potentsiaalses viljatuks kõrbeks muutumise ohus üle 45 miljoni km<sup>2</sup> maid. Et vähemalt 17 Aafrika riigis ja mitmes riigis mujal on praegune keskmine toitumise tase allpool füsioloogilist miinimumi või selle lähedal, siis on normaalse koormusega maakasutust väga raske realiseerida. Siin on kõrbe all mõeldud mitte kuiva kliima looduslikku ökosüsteemi vaid hävinud ehk oluliselt rikutud ariidset ökosüsteemi. Viimane tekib ja laieneb kuivas piirkonnas esmalt kõige suurema koormusega kohtades nagu seda on karja jootmise paigad ja karjaajamise trassid. Peale karjatamise on kõrbestumisel tehnogeenseid põhjusi nagu nafta, gaasi ja muude maavarade kaevandamine. Kõrbe tekkimise põhjuseks võib olla ka piirkonna veerežiimi muutumine kusagile mujale rajatud suurte vesiehitiste tõttu. Suhteliselt veerikastes piirkondades võivad rajatavad veehoidlad põhjustada soostumist.

Peale kõrbekarjamaade on väga õrnad ja aeglaselt taastuvad ka tundrakarjamaad, mida kaasajal rikutakse eriti Lääne-Siberis nafta ja gaasi tootmise, torujuhtmete ehitamise ning massilise roomiksõidukite kasutamise läbi.

Väga tundlikud on ülekarjatamise suhtes mäenõlvadel asuvad karjamaad. Majanduslikust vaatepunktist on karjamaa ainus viis metsapiirist kõrgemal paiknevate nõlvade kasutamiseks. Karjatamise tõttu on sageli metsa piir märgatavalt madalamale laskunud. Tihti on endised mägimetsad üldse karjamaadega asendatud. Kord hävitatud mägimetsade taastamine on kapriisne ja keeruline protsess.

Heinamaad ei ole kogu maailma mastaabis eriti levinud ökosüsteemiks, sest enamuse karjast peetakse aastaringselt väljas. Eestis moodustasid looduslikud rohumaad enne Teist Maailmasõda 24.5 % territooriumist. Nüüdseks on osa neist põlluks tehtud ja osa võsaks muutunud või juba metsaga kattunud. Võsasse ei ole põhjust suhtuda halvustavalt. Ennesõjaaegse iseseisvusaja olukorra taastamise õhinas unustasid meie inimesed sageli muu maailma kogemuse. Looduslikke heinamaid ei kasutata enam ammugi ka teistes Euroopa riikides, sest kultuurheinamaad on mitmeid kordi produktiivsemad. Ka ei ole alati põhjust taga nutta korralikult niidetud ojaääri, sest võsa ja esteetiliselt ehk mitte kõige paremini mõjuvad umbrohud on väga efektiivsed vee puhastajad. Muutunud maailmas annab endisele heinamaale kasvanud mets ka suuremat majanduslikku kasu kui andnuks heinamaa. Loodusliku niidutaimestiku baasil loomapidamine võib osutada mõttekaks, kui tekib turg ülinaturaalsele, eriliste maitseomadustega piimale ja võile. Puhtmajandusliku vaatepunkti kõrval tuleb arvestada niidutaimestiku liigirikkuse säilitamise vajadusega ning maastike esteetilise väärtusega.

Elanikkonna koondumisega linnadesse, mis on ülemaailmne protsess, kasvab puhkemaastike osatähtsus ja koormus. Nostalgilised mõtted massilisest talukultuuri taastamisest ja talukesksest elulaadist tuleviku Eestis on osutunud utoopilisteks. Talude arv väheneb ja linnalik elulaad domineerib kogu arenenud maailmas. Igal juhul on suvel maale oodata suvitajate voolu ja tuleb mõistlikult korraldada puhkemajandus. Linnalähedased parkmetsad ja veekogude kaldad kannatavad ammugi massilise tallamise all ja sinna tassitakse suurtes kogustes kõikvõimalikku prahti. Erinevate

maastikutüüpide ja ökosüsteemide taluvus on erinev. Seetõttu tuleb paratamatult piirata juurdepääsu tallamisõrnadele kohtadele. Puistute ja rohttaimestiku antropogeenset koormust puhkealadel iseloomustatakse sageli tallamisintensiivsusega, mis väljendab äratallatud pindala osa suhet kogupindalasse. Kui see on alla 10 %, siis püsivad rohttaimestiku kooslus ja puude seisund normaalsetena. Keskmise tallamisintensiivsuse 10 - 30 % puhul on metsa taastumine juba häiritud, rohttaimestiku fütomass väheneb ja tema koostises hakkab suurenema umbrohtude osa. Kui teerajad ja muidu pidevalt tallatavad alad moodustavad juba 30 - 60 %, siis saavad umbrohud rohttaimestikus juba valdavaks, puude oksad ja isegi terved puud hakkavad kuivama. Veelgi intensiivsemal tallamisel võib looduslik taimestik üldse hävida.

## 15. PÖLLUMAAD JA ISTDANDUSED

Maailma põllumaad moodustavad umbes 11 % maismaa pindalast. Pärast tootmise arengutempo ja keskkonna koormuse suurenemise mõttes pöördelist 1950. aastat on maailma põllumaa kogupindala kasvanud keskmiselt 0.5 % aastas. Ressursside poolest oluaks mõeldav ka praegusest peaaegu 2 korda suurem põllumaa kogupindala, kuid olulisel määral leidub reservmaad veel vaid Lõuna-Ameerika ja Aafrika kontinentidel ning Venemaa nn. mittemustmullavööndis. Põlluharimiseks ei sobi kõik kliimavööndid ja maastikutüübid. Parimad on parasvöötme stepitasandikud. Olude sunnil harrastatakse maaviljelust ka selleks üsna vähe sobivates paikades. Tiibetis leidub terrasspõlde isegi 4000 m kõrgusel merepinnast. Põhjapoolkeral peetakse põlluharimise riski piiriks 62. laiuskraadi. Kaugemal jääb vegetatsiooniperiood liiga lühikeseks. Norra ranniku pehmes kliimas haritakse põldu ka 64. laiuskraadil. Lõunapoolses kuivas kliimas põhjustavad riski põuad. Paljudes riikides on terav põllumaa puudus. Kuni 60 % arengumaade elanikest piirkondades kus üle 90 % võimalikust põllumaast on juba kasutuses ja ülejäänud millegi muu all kinni. Igal aastal läheb suur kogus põllumaad kasutusest välja, kas rajatiste alla või kaotab oma väärtuse erosiooni tõttu. Üldse on ajaloolisel ajal kaotsi läinud põllumaa pindala ligikaudu sama suur kui praegu kasutuses olev. Nende hävimise põhjusteks on erosioon, sooldumine, ehitiste ja kommunikatsioonide ning veehoidlate rajamine. Maailmas keskmiselt on praegu iga inimese kohta ligi 0.3

ha põldu. Kanadas on seda elaniku kohta 2 ha, Ameerika Ühendriikides ja Venemaal 0.8 ha, Poolas 0.45 ha, Norras 0.24 ha, Hiinas 0.14 ha, Suurbritannias ja Saksamaal 0.13 ha ning Jaapanis 0.05 ha.

Eestis moodustasid põllumaad enne sõda üle 50 % territooriumist. Tsentraliseerimise ja suurte väljade rajamise järel langes haritava maa osa 32.5 % -ni. Vaevalt et see edaspidigi arvestatavalt suureneb, sest põldude pindala vähendatakse lähiaastatel ületootmise vältimiseks enamikus Euroopa riikides. Edaspidi on võimalik mõningane pindala kasv saakide languse tõttu, kui rõhk asetatakse puhtamale toodangule. Eesti põllumajanduse tulevikuperspektiiv on seni segane. Ei ole esitatud ühtki piisavalt põhjendatud arengukontseptsiooni. Väga suuri võimalusi laienemiseks ei ole näha ja väga suur kokkutõmbamine ei ole ka mõistlik, sest põllumajandus ja riigi elanikkonna toitmise võimalus on sõltumatus üks olulisemaid tingimusi.

Põllumajandus on tööstusest erinev majandusharu. Kõik katsed seada teda tööstuslikule alusele on vaid muutnud ta arutult kulukaks. Viimased aastakümned on pööranud põllumajanduse energiat tootvast energiat tarbivaks majandusharuks. Kaasaegses moodsas põllumajanduses kulutatakse 1 kcal toiduenergia saamiseks 9 kcal muud energiat. Efektiivseks funktsioneerimiseks vajab põllumajandus kõigepealt pikaajalise perspektiivitundega heaperemehelikku suhtumist. Ka teatav konservatiivsus ei tule kahjuks. Saakide potentsiaalne lagi oleneb kliimavööndist. Midagi selle lähedast realiseerub vaid ideaalse agrotehnika korral. Seni on kogutoodang kasvanud kõige enam sordiaretuse ehk nn. "rohelise revolutsiooni" arvel. Praeguse põllumajandustehnoloogiaga mõne aja pärast Maa elanikkonda enam toita ei õnnestu. Lahendust loodetakse leida biotehnoloogiates. Tuleviku sordid peaksid andma piisavat toodangut ilma olulise keemiata.

Ajalooallikate järgi olid Kartaago (praeguse Tuneesia) nisusaagid umbes 20 ts/ha. Käesoleval ajal on maailma keskmiseks teraviljasaa-giks 25 ts/ha. Piirkonniti on erinevused suured. Hollandi ja Saksamaa kõige viljakamatelt muldadelt on saadud kuni 120 ts/ha. Ka keskmised saagid on mitmes Euroopa riigis 60 - 70 ts/ha. Aafrikas on need aga 9 ts/ha ja kuulsatel Kasahstani uudismaadel umbes samapalju. Päril selge, et määratute kulutuste asemel, mis tehti uudismaade ülesharimiseks ja inimeste ümberasustamiseks, oluaks otstarbekam korraliku agrotehnika juurutamine traditsioonilistes põllumajandus-

piirkondades. Üks suuremaid vigu oli mitme ruutkilomeetri suuruste põldude rajamine. Erosiooniprotsesside vaoshoidmiseks on vaja piirduda mõõduka suurusega põldudega ja eraldada need kindlasti metsaribade või hekkidega. Stepivööndi põldude optimaalne suurus piirdub 30 hektariga, kuid tegelikud põllud on sageli üle 100 - 200 ha. Põldude liigse suuruse tõttu on esinenud olulist tuuleerosiooni isegi Eesti põldudel, kus see nähtus oli varem tundmatu. Endise N. Liidu põldudel on muldade struktuuri, nende vee ja õhu mahutavust olulisel määral rikkunud suure erisurvega traktorite ja põllutöömasinate kasutamine. Mulla aktiivse veemahutavuse vähenemine on kahandanud põuakindlust ja suurendanud sellega nn. riskifaktorit. On saagenud tolmutormid ja ikaldused.

Ariidsetel (kuiva kliimaga) aladel on levinud niisutus põllundus. See on levinud ka niiskemas kliimas, kui peamise kultuurina kasvatatakse riisi. Viimasel ajal on niisutatava põllumaa pindala juurdekasv olnud 7 korda kiirem põllumaa üldpindala juurdekasvust. Globaalses mastaabis on 2/3 niisutatavast maast riisi all. Teine levinud kunstlikku niisutamist vajav kultuur on puuvill. Kokku maailmas on niisutatavaid maid üle 260 milj. ha, kõige enam on neid Indias ja Hiinas. Võimaliku reservina tuleb kõne alla veel peaaegu 200 milj. ha. Kunstliku niisutuse levik toob kaasa tõsiseid häireid kohalikus veebilansis. Samuti põhjustab kunstlik niisutamine muldade sooldumist. Niisutus põllundus on kõige enam vett kulutav inimtegevuse valdkond. Veevarudest tingitud piirangute tõttu ongi niisutatavate maade juurdekasvu tempo 1980-datel aastatel aeglustunud umbes 2 korda võrreldes vahemikuga 1950 - 1980.

Teraviljade all on maailmas kokku 730 - 750 milj. ha maad ja sellest 1/3 (vähemalt 230 milj. ha) nisu all. Riisi külvipind on üle 150 milj. ha. Kui jätkub vett põldude üleujutamiseks, siis on riis kõige vähem looduse kapriisidest sõltuv kultuur. Riisi puhul ongi saadud teoreetilisele potentsiaalsele laele kõige lähemale küündivaid saake. Ligi 90 % riisi külvipindadest paikneb Aasias ja üsnagi kitsas geograafiliste laiuskraadide vahemikus. Pool külvipinnast asub 20. ja 30. põhjalaiuse vahel ja veel 35 % 10 kraadi laiustes vööndites mõlemal pool nimetatud vööndit. Kõigist riisipõldudest 60 % annavad 3 saaki aastas ja 15 % 2 saaki. Ainult 25 % külvipinna puhul kõige põhjapoolsemas kasvatusalas piirduakse ühe saagiga aastas. Nisu ja riisi summaarsed aastatoodangud on ligikaudu võrdsed, kumbki orienteeruvalt 500 milj. tonni. Kõik ülejäänud teraviljad annavad veel umbes

800 milj. tonni saaki aastas. Teraviljade aastane kogusaak annab ligi 350 kg teravilja iga elaniku kohta. Riisi saagi potentsiaalne lagi on 14 tonni/ha. Saavutatud on 13.2 tonni/ha katselapilt, kuid teoreetilisest laest üle 50 % moodustavaid saake saadakse ka suurtootmises. Nisu saagi potentsiaalne lagi on 18 tonni/ha. Katselapi tippmark on seni 14.1 tonni/ha.

Istanduste kogupindala on maailmas umbes 2 milj. km<sup>2</sup> ehk 1.5 % maismaast. Seejuures üksikutes riikides ületab istanduste kogupindala loodusliku taimkattega kaetu. Istandused rajatakse agrotehniliselt töödeldud pindadele puude, põõsaste või tugevate rohttaimede istutamise teel. Neis tehakse regulaarseid mullaharimistöid. Eriti levinud on istandused troopilises ja subtropilises kliimavööndis. Meie laiuskraadi istandusteks on puuvilja- ja marjaaiad. Lõuna poole lisandub viinamari, siis tsitruselised ja tee. Kõige soojemas kliimas kasvatatakse troopilisi kultuure - kohvi, kakaod, suhkruroogu, heveapuud ja banaane. Erosiooni eest on istanduste mullad kaitstud märksa paremini kui põldude omad. Keskkonda ohustavad põhiliselt istandustes kasutatavad taimekaitsevahendid ja väetised.

Eestis on aedade kogupindala 127 km<sup>2</sup>.

## 16. ANTROPOGEENSED ÖKOSÜSTEEMID

Üle 3 % maismaa pinnast katavad täisehitatud alad. Neile lisanduvad ühendused, torujuhtmed, õhuliinid ja muud kommunikatsioonid ning karjäärid ja puistangud. Suurema osa antropogeensetest ökosüsteemidest moodustavad linnad. Linnade pindala sõltub ehitustihedusest ja hoonete keskmisest korruste arvust. Madala hoonestusega linnade territooriumid paisuvad eriti suureks, kuid selle eest on nad enamikule inimestest elamiseks vastuvõetavamad kui kõrghoonetega linnad. Varem olid äärelinnad sageli vaeste elupaigaks, nüüd on pigem vastupidi. Endise N. Liidu linnadele oli tüüpiline ühetaoline 5 - 12 korruselise, kohati kuni 20 korruselise kasarmulik ehituslaad. See on valdav ka Eesti linnade uutes linnajagudes. Ajutiselt on Eestis linnade kiire kasv pidurdunud. Et Eesti asustus on suhteliselt hõre, siis on siin linnade all 1.6 % territooriumist. Mujal kasvab suurte linnade pindala keskmiselt 2 - 4 % aastas, kuid leidub linnu, mis kahekordistavad oma pindala mõne aastaga. Suured linnad on ümbuskonna saaste ja koormuskolded. Linn on polüfunktsionaalne süsteem, mis peab kokku sobitama elanike ja materiaalse tootmise

huvid. Linnaplaneerimise üldprintsübid näevad ette keskkonna elamiskõlblikkuse tagamise rohke haljastuse ja tootmise hajutamise linna äärealadele. Tegelikuses kipub haljastus pidevalt vähenema. Osalt hävib ta saaste tõttu, osalt tänavate laiendamise või tähtsate ehitistele ette jäämise läbi. Haljastuse tähtsust mõisteti ja rõhutati juba nii ammu kui 2700 aastat tagasi kirja pandud Gilgameši eeposes toodud Uruki linna kirjelduses. Hispaania kuninga Felipe II andis 1573. a. välja eeskirjad Ameerika kontinendile rajatavate linnade ehitamise ja haljastuse kohta. Inglise kuninganna Elizabeth I keelas 1680. a. elumajade ehitamise lähemale kui 3 miili Londoni tsentrist. Vahepealne ala pidi jääma parkide alla. Ligilähedastelt samal ajal rajati metsavöönd ümber Pariisi ja määrati Moskva keskuse ümber 2 versta laiune ehitistest vaba tsoon. Mitmed tuntud linnapargid on pärit nendest aegadest, kuigi suur osa omaaegsetest kaitsetsoonidest on aja jooksul erandkorras ikkagi võetud ehitiste alla. Eranditel on olnud kalduvus reeglits saada ka möödunud sajanditel ja seda mitte üksnes linnaehituses. Käesoleva sajandi linnaehituse osas võiks märkida E. Saarise linna orgaanilise detsentraliseerimise ideed, mis oma põhiosas on Suur Helsingi puhul realiseeritud. Sarnased olid ka Le Corbussier linnaplaneerimise printsübid.

Linnakeskkond tekitab rea spetsiifilisi probleeme. Lisaks üldisele saastumisele muutub linna piirides oluliselt veeringlus. Sillutis takistab vee maasse imbumist ja see jõuab sadevee kollektorite kaudu liiga otse jõgedesse. Suured linnad on tavaliselt ehitatud küllalt suurte jõgede kallastele. Muidu ei õnnestu korraldada nende veevarustust. Linnaparkidel peab elujõulisena säilimiseks olema teatav minimaalne suurus, milleks üldiselt peetakse 5 ha. Ehkki tööstusettevõtete paigutuse suhtes on selged arusaamad (allatuult, allavett jne.) on vähe linnu kus tegelik olukord ligilähedasteltki vastab teoreetilistele printsüptidele.

## 17. TOIDURESSURSID

Kõige olulisemaks bioressursiks inimese jaoks on see, mida saab toiduks tarvitada. Inimkonna praeguse arvukuse juures saaks looduslike ökosüsteemide baasil toita vaid tühist osa temast. Võrreldes küttimise-koriluse aegadelega on toiduks kasutatavate taime- ja loomaliikide arv oluliselt vähenenud. Ürgaja inimene tarvitas toiduks mitut tuhandet taimeliiki, samuti tublisti suuremat arvu loomaliike

kui tänapäeva inimene. Praeguse põhilise toiduressursi moodustavad kultuurtaimed ja kariloomad. Paaril viimasel kümnendil toodeti maakera ühe elaniku kohta aastas kuni 350 kg teravilja, 30 kg liha (sellest 40 % sealiha), 100 kg piima (sellest 1.5 kg võid), 22 kg suhkrut, 13 kg kala, 1.1 kg kohvi, 0.5 kg teed, 300 kg kartuleid. Puu ja juurviljade kohta on andmed vastuolulised. Üldse annavad tänapäeval 80 % toodetavatest toiduainetest vaid 20 taime- ja loomaliiki. Teraviljadest saab inimkond 60 % vajalikust energiast ja 50 % proteiinidest. Lisaks on nad söödaks loomsete toiduainete tootmisel. Toidukaupade nomenklatuur muutub hoopis aeglasemalt kui tööstuskaupade oma. Vahetult tarbitavatest toiduainetest on kogu maailma mastaabis 60 % loomset ja 40 % taimset päritolu. Tarbimises on suur vahe rikaste arenenud ja vaeste arengumaade vahel. Arenenud maades on tarbitavatest toiduainetest kuni 75 % loomse päritoluga, kuid arengumaades vaid 40 %. Umbes 1/3 maailma elanikest (erinevatel hinnangutel 17 kuni 40 %) kannatab regulaarselt alatoitluse all ehk otsesemalt öeldes nälgib. Enamasti elavad need nälgivad inimesed Aafrika, Aasia ja Ladina-Ameerika maades. Nälg ei ole päris tundmatu ka Euroopa neis riikides, kus on toimunud üleminek käsumajanduselt turumajandusele ja struktuur pole jõudnud optimaalselt stabiliseeruda. Otse nälja all mõistetakse olukorda, kui inimene ei saa toiduga talle vajalikku energiakogust. Samavõrra võib näljaks pidada olukorda, mil toidus sisaldub küll piisav energiakogus, kuid selles ei ole kõiki vajalikke elemente ja vitamiine. Maailmas sureb igal aastal hulk inimesi energeetilisse nälga. Toidu puudulik koostis on põhjuseks mitmetele haigustele ja organismi funktsioneerimise häiretele. See on põhjuseks ka laste vaimsele ja füüsilisele alaarengule. Toidu puuduliku koostise käes kannatavad massiliselt ka rikaste riikide lapsed, kui neid imikueas toidetakse emapiima asemel kunstlike segudega, milledest on proteiinid raskesti omastatavad. Ajakirjanduses avaldatu põhjal on inimkond selle elementaarse tõe alles üpris hiljuti taasavastanud. Ajude kasvust 80 % toimub vanuses alla 2 aasta. Kui selles eas jääb toidus pidevalt puudu mõnedest vajalikest ainetest võib tagajärjeks olla alaareng, mida täiskasvanu eas enam ei saa kompenseerida. Samuti jääb nõrk organism vastuvõtlikuks haigustele. Ühegi rahva jaoks ei ole tähtsamat tegevussfääri kui hoolitseda talle looduse poolt kingitud ajupotentsiaali realiseerimise eest.

Inimtoit on kas taimne või siis taimsel toidul kasvatatud loomne. Taimedes produtseeritakse fotosünteesi protsessi kaudu klorofüllil vahendusel süsihappegaasist ja veest päikeseenergia arvel karbohüdraate – süsinikust, vesinikust ja hapnikust koosneva ühendi. Suhkrud, tärklised ja tselluloos on karbohüdraadid. Polüsahhariidid on kudede ehitusmaterjaliks ja energia kandjaks. Tselluloos on rakkude seinte peamiseks ehitusmaterjaliks. Tärklisesse saab salvestada energiavarusid hilisemaks tarvitamiseks. Polüsahhariidid esinevad ka loomade ja inimeste kudedes. Glükogeen täidab umbes sama rolli mis tärklis taimsetes kudedes. Vajaduse korral lagunevad glükogeenid glükoosi molekulideks ja varustavad organismi energiaga. Energia saadakse glükoosi molekulide lagunemisel tagasi süsihappegaasiks ja veeks. Toidus olevad polüsahhariidid hüdrolüüsitakse organismis vee abil monosahhariidideks. Hüdrolüüsimine toimub ensüümide kui biokeemiliste katalüsaatorite vahendusel. Peaaegu kõik loomad suudavad hüdrolüüsida tärklisi, kuid vähesed suudavad seda teha tselluloosiga. Mäletsevad kariloomad saavad bakterite abiga selle protsessiga hakkama. Loomade ja inimese organismis kannab glükoosi rakkudeni vereringe. Glükoosi ülejäägid salvestatakse glükogeenina ja kui ikka veel üle jääb, siis rasvadena. Rasvu, õlisid, vahasid ja steroole tuntakse üldise nimetuse lipiidid all. Neid sünteesivad nii taimsed kui loomsed organismid karbohüdraatidest. Rasvade molekulid koosnevad glütseroolist ja rasvhapetest. Vedelates ehk küllastumata rasvades on süsiniku aatomite vahel mitmekordsed keemilised sidemed. Enamus loomseid rasvu on küllastunud, see tähendab, et nendes on süsiniku aatomid seotud ühekordse sidemega. Hästi tuntud lipiid on veres sisalduv kolesterool. Elus rakkude peamiseks koostisüksusteks on proteiinid. Need koosnevad süsinikust, vesinikust, hapnikust, lämmastikust ning sageli ka väävlisest, fosforist ja vähemal määral muudest elementidest. Tüüpilised proteiinide molekulid koosnevad amiinohapete ahelatest. Proteiine moodustavaid amiinohappeid on inimorganismis ainult 20. Amiinohapped on nagu tähestiku tähed, proteiinid aga neist moodustatavad sõnad. Proteiinide levik organismides on liikide järgi palju vähem universaalne kui karbohüdraatide jaotus. Isegi sama liigi proteiinid pole päris identsed. Sellest tuleneb kudede sobimatuse probleem nende siirdamisel. Inimese keha suudab ise sünteesida vähemat osa proteiinide koostisele tarvilikust 20 amiinohapest. Puuduvad peab ta saama toiduga.

Seejuures ka teraviljades ei sisaldu kõiki organismi poolt nõutavaid amiinohappeid. Puhtalt taimtoidul olles jääb proteiinide produtseerimine puudulikuks. Analoogsed probleemid tekivad ka rasvhapete ja ensüümide suhtes. Vajadused on välja kujunenud pika küttimekoriluse perioodi vältel. Põllumajanduse-karjakasvatuse toodetud toiduained ei vasta koostiselt täiel määral organismi ootustele.

Tulevikus tuleb toiduainete tootmisel tähelepanu pöörata mitte üksnes kvantiteedile, vaid ka parandada ja tasakaalustada kvaliteeti. Puudulik koostis on tõenäoliselt üheks raku ainevahetuse tasemel tekkivate häirete põhjuseks. Sordiarituse ja tõuparanduse üheks eesmärgiks on tootlikkuse kõrval seega toiduainete biokeemilise koostise parandamine ja selle vastavusse viimine geneetiliselt kujunenud soodsaimate oodatavate proportsioonidega. Praeguse toidu rasvhapete koostis on signaalainete suhtes tasakaalustamata, millest järgnevad disproportsioonid proteiinide bilansis ja ebanormaalsed tingimused rakumembraanidel. Need häired on põhjuseks või soodustavaks tingimuseks mitmetele haigustele - südamehaigused, psoriaas, artriidid, astmaatilised bronhiidid, pankrease vähk. Nimetatud koostise disproportsioonid on eriti teravad teraviljades. Sealtna ka koduloomade lihas. Kompensatsiooniks tuleks tarvitada rohkem kala. Igal juhul väärib toiduainete koostis enam tähelepanu, kui sellele seni osaks on saanud.

Maailma kasvava elanikkonna toitmine muutub keskkonnale järjest koormavamaks. Keeruline on juba praegu olemasolevate inimeste äratoitmine. Veel keerulisem on sellega toime tulla tulevikus. Toime tuleb sellega saada muldasid ja veevarusid katastroofiliselt kahjustamata. Praegused toiduainete hinnad on otseses seoses nafta ja gaasi hindadega, mis varude kahanedes veelgi kasvavad. Toit ei muutu kuskil ega kunagi odavaks. Ühelt poolt loob see raiskamiseks ebasoodsa olukorra, teiselt poolt ahvatleb ehk aga toidu arvelt ülemääraselt kokku hoidma.

Kuna Eesti demograafilises olukorras teeb muret mitte eestlaste arvu liiga suur vaid liiga vähene juurdekasv, siis oleme toiduressurside mõttes heas olukorras. Ka ei ole ette näha selliseid ekspordimahatusid, mis sunniksid põllumajandust keskkonna arvel forsseeritult arendama nagu N. Liidu ajal. Jääb küll vajadus leevendada möödunud 30 aasta tekitatud reostust. Taimekaitsemürkide ja mineraalväe-

tiste hind sunnib nüüd nende otstarbekale ja keskkonda säästvale kasutamisele.

Mõnikümmend aastat tagasi prognoositi optimistlikult ja asjatundmatult, et ookean võib toita kuni 30 miljardit inimest. Ookeani tegelikud bioressursid ulatuvad umbes 200 miljonile tonnile aastas. Rekordilise kalasaagiga 1985. aastal kasutati ookeani ressursist juba peaaegu pool, 88 miljonit tonni. Põhiosa sellest oli kala. Kogu maailma mastaabis läheb püütud kalast 90 % vahetult inimtoiduks. Kalasaadused katavad praegu 6 % inimkonna valguvajadusest. Maailmaookeani ligemale 40 000 kalaliigist tarvitatakse toiduks suhteliselt väheseid liike. Kalapüük toimub seni 90 % ulatuses kuni 200 m sügavusest merest, eriti aga jõgede suudmete lähedalt. Maailma kalasaagist annab praeguse seisuga 55 % Vaikne ookean, 28 % Atlandi ookean ja ainult 5 % korallirikas ning puudulikult uuritud India ookean. Mageveelistest veekogudest püüti mõni aasta tagasi 13.5 % maailma kalasaagist. Kiiresti levib mitmes maailma piirkonnas kalakasvatuse sumpades. Uuringute andmetel on see suhteliselt keskkonnaohutu toiduainete tootmisviis. Ingliskeelses kirjanduses on sellel nimetuseks *agriculture* analoog *aquaculture*. Meie lähikonnas harrastatakse sellist kalakasvatust intensiivselt Põhjamere piirkonnas, kõige enam Norras. Kogu maailmas on sellise kalakasvatuse aastatoodang üle 13 miljoni tonni. Sellest 84 % toodetakse Aasia maades ja ainult 8 % Euroopas (400 000 tonni). Sajandi lõpuks loodetakse sumpkalakasvatuse kogutoodangus jõuda 25 miljoni tonnini. Selleski valdkonnas on toimumas üleminek küttimiselt-koriluselt sihipärasele tootmisele.

## 18. ENERGIARESSURSID JA ENERGEETIKA

Igat liiki tootmise juurdekasvud ja olmemugavused on otseses sõltuvuses energiast. Võrreldes 1900. aastaga kasvas maailma energiatarbimine 1950. aastaks 3 kordseks, 1975. aastaks 9.25 kordseks ja 1985. aastaks juba 17.9 kordseks. Pärnis viimasel ajal on energiaga hakatud ümber käima natuke säästlikumalt ja kasvutempo on jäänud aeglasemaks. Tarbimine ühe elaniku kohta on arenenud riikides mõne aja eest stabiliseerunud püsivale tasemele või isegi vähenenud.

Kõik mõeldavad energiaressursid jagunevad taastumatuteks ja taastuvateks. Mõlema tagavarad on enam-vähem võrdväärsed, kuid

taastumatuid ressursse osatakse hoopis paremini kasutada. Põhilisteks taastumatuteks ressursideks on maapõuest saadavad fossiilkütused - süsi, maagaas ja nafta. Potentsiaalsed lõhustuva tuumakütuse varud on energiasisalduse mõttes fossiilkütuste varudest kuni 10 korda suuremad. Tänu Tšernobõli katastroofile ja mõnele varasemale mõõdukamale avariile ei ole tuumaenergeetika viimasel ajal kuigi populaarne. Taastuvatest ressursidest on arvestatavamad otse päikeseenergia, ookeanide tõusu-mõõna energia, jõgede hüdroenergia, tuuleenergia ja geotermaalenergia. Lootust äratav ka otse kasvava biomassi energeetiline rakendamine aastamiljonite jooksul konserveeritud biomassi süsiniku asemel.

Energia tarbimise struktuur on ajas muutuv nii otstarbe kui energiaallikate osas. Samuti esinevad suured erinevused geograafiliste regioonide vahel. Maailma 1860. aasta energiatarbest kattis puit 74 %, süsi 25 % ja nafta ainult 1 %. Veel käesoleva sajandi alguses kasutati 80 % tarbitavast energiast ruumide kütteks ja toiduvalmistamiseks. Kui energiat hakkas rohkem kuluma muutus järjest enamates piirkondades paratamatuks üleminek puudelt söele. Puudega võrreldes oli süsi must, vastiku haisuga ja kallis kaevandada ning transportida, kuid puudest tuli lihtsalt puudus. Kahekümnenda sajandi algusest alates hakkasid nafta ja maagaas kui puhtamad kütused omakorda sütt kõrvale tõrjuma. Paljudes kohtades ei lubatagi söega kütta. Praegu ja lähitulevikus tugineb maailma energeetika kolmel põhilisel fossiilkütusel. Praegu on nafta osaks 30 %, gaasi osaks 23 % ja söe osaks 22 %. Seejuures on tõestatud ja ühisele energiaekvivalendile taandatud nafta, gaasi ja söe varud omavahel proportsioonis 10 %, 10 % ja 80 %. Alates 1860. aastast on energia tootmine kasvanud keskmiselt 5 % aastas. Arvestatavalt aeglasem on kasv olnud vaid suurte majanduskriiside ajal 1930 - 1935 ja 1980-ndate alguses. Juba 25 aastat on fossiilkütuste varude lõppemise probleem olnud üpris aktuaalne. Varude kohta on tehtud arvukalt asjalikke hinnanguid ja mitut liiki spekulatsioonide. Keegi ei oska ammendava täpsusega hinnata, kui palju ikkagi leidub maapõues üht või teist tootmiskõlblikku fossiilkütust. Samavõrra ebamäärane on tuleviku energeetika struktuuri ennustamine. Põhjendatult kardetakse kõige enam nafta lõppemist. Mõnede paarikümne aasta taguste prognooside kohaselt olekski nafta praeguseks pidanud otsas olema.



Kõige realistlikumatel hinnangutel on maakoos kättesaadaval kujul olnud kokku umbes 320 miljardit tonni naftat. Sellest üle 110 miljardi tonni on juba välja pumbatud. Järel on 145 - 160 miljardi tonni nn. tõestatud reserve (olemasolu hinnangud üpris tõepärased) ja 50 miljardi tonni tõestamata reserve. On olemas ka kuni 2 korda optimistlikumaid hinnanguid. Praeguse tarbimistempo korral jätkuks tõestatud tagavaradest 40 aastaks, koos tõestamata reservidega aga kuni 56 aastaks. Tõestatud naftavarudest 55 - 60 % asub Lähis-Idas. Endise N. Liidu varude hinnangud osutusid tõenäolistest tegelikest peaaegu 2 korda väiksemateks. Siiski on nendest suuremad varud veel vaid Lõuna-Ameerika kontinendi aladel. Viimasel kümnendil on kogu maailma kohta toodetud aastas veidi üle 3 miljardi tonni naftat. Hiilgeaastatel moodustas endise N. Liidu toodang 700 miljonit tonni aastas. 1992. aastal oli see 2 korda väiksem ja viimastel aastatel on tasapisi taas kasvanud. Veerand maailma naftast toodetakse merepõhjast. Mõnda aega oli piirsügavus 80 m, praegu pumbatakse juba paarisaja meetri sügavuse vee alt. Teine tootmiseks raske piirkond on polaarjoone taga. Vaatamata varude piiratusele kasvab nafta tootmine seni ikkagi ja saavutab haripunkti alanud aastatuhande esimesel kümnendil. Nafta on viskoosne tume vedelik, mis koosneb kergematest ja raskematest põlevatest süsivesinikest. Töötlemise käigus see õli kuumutatakse ja destilleeritakse eraldades kerged süsivesinikud bensiiniks, raskemad diiselmootoriks ja kõige raskemad masuudiks ning asfaldiks.

Maagaasi varude olukord on lootustandvam kui see oli nafta puhul. Ainuüksi tõestatud varude mahtu hinnati 1990. aastal 1/3 võrra suuremaks kui 3 aastat varem. Selle, tõestatud 129 triljoni m<sup>3</sup> kõrval loodetakse maapõuest leida veel kuni 80 trilj. m<sup>3</sup> seni lõplikult tõestamata maagaasi. Seni on ära tarvitatud veidi üle 70 triljoni m<sup>3</sup>. Aastas tarbitakse praegu kuni 2 triljonit m<sup>3</sup>. Seega saaks püsiva tarbimisintensiivsuse korral tõestatud reservidega läbi 60 aastat ja kui tõestamata reservid leiavad kinnitust, siis nendega veel 40 aastat. Pealegi on maagaas kõige keskkonnasõbralikum fossiilkütus. Maagaas on väikese molekulmassiga süsivesinike segu. Põhiosa temast moodustab metaan. Maapõues koos esinevad nafta ja maagaas on ühekordse sidemega seotud süsivesinike ehk alkaanide segu. Mida vähem süsiniku aatomeid molekulis seda madalamad on tahkest vedelasse ja vedelast gaasilisse faasi mineku temperatuurid. Nii esinevadki alkaanide perekonna 4 esimest liiget (metaan, etaan,

propaan ja butaan) tavaliste temperatuuride korral gaasilises faasis, perekonna järgmised 6 liiget aga vedelikena, mille segu ongi bensiin. Praegu toodetakse maagaasi kuni 10 km sügavustest puuraukudest.

Kivisöe tagavarasid jätkub praeguse tarbimistempo puhul vähemalt 200 aastaks. Kui võimalik, siis toodetakse sütt lahtistest karjääridest, mille sügavused küünivad 300 meetrini. Sügavamal paiknevate söelademetega puhul rakendatakse allmaakaevandamist. Igasugune kaevandamine seab ohtu ümbruskonna veerežiimi ja võib reostada joogivee horisondid. Enamus söest leiab kasutamist soojus-elektrijaamade ja katlamajade kütusena. Laevu ja vedureid tänapäeval enam söega ei köeta.

Vähema tähtsusega põlevatest maavaradest on kasutusel pruun-süsi, põlevkivi, turvas ja muidugi puit. Eesti energeetika aluseks on siiani põlevkivi. Lootusi pannakse ka turba ja hakkepuidu senisest suuremale kasutusele. Väikese energeetilise väärtusega kütuseid tuleb vajaliku energiahulga saamiseks põletada suuremates kogustes. See suurendab transpordikuluseid. Turba põletamisel on vaja ära toimetada ja kuhugi paigutada ka suured tuhakogused. Tuha probleem on terav ka põlevkivi põletamisel. Maailma tööstuslikus energeetikas ei moodusta puidu, turba ja põlevkivi osa üle 3 %.

Fossiilkütuste põhitarbivateks on soojusenergeetika ja transport. Maailmas on liiklemas üle 400 miljoni auto, kuni 120 000 lennukit, 200 000 vedurit ja 40 000 laeva, mis kõik liiguvad vedelkütuse jõul. Selleks on naftast toodetud bensiin või diiselmootor. Alternatiivkütuste juurutamisel on kõige suuremat edu saavutatud Brasiilias suhkruroo piiritusega. Kasutatakse ka maisivartest aetud piiritust. Lootusi pannakse rapsiõlile. Bensiinimootor on üks keskkonnaaenukumaid leiutisi, kuid seni pole talle leitud alternatiivi. Kõige arenenumates riikides tuleb üks auto 2 - 3 inimese kohta. Erandiks on Jaapan, kus üks auto tuleb 4.9 inimese kohta. Jaapanis ei jätku autodele lihtsalt ruumi, ehkki Jaapanis toodetakse mõnel aastal üle 12 miljoni auto. Autode arv Eestis läheneb arenenud riikide tasemele. Üks auto tuleb 3 - 4 inimese kohta. Et domineerivad vanad autod, siis kasvab kiiresti ka reostuskoormus. Otsest ohtu põhjustab vastuolu autode arvu ja liikluskultuuri vahel.

Süsiniku põletamisel põhineva energeetika paratamatuks tulemuseks on süsihappegaasi emissioon atmosfääri. Võrreldes fossiilkütuste massilise tarvitamise eelse ajaga on süsihappegaasi atmosfääris juba 1/3 võrra rohkem. Pole kahtlust, et selline

kasvuhoonegaasi sisalduse kasv atmosfääris mõjub kliimale, kuigi selle mõju täpsemad stsenaariumid, mida pakutakse, ei tarvitse kaugeltki sellisel kujul realiseeruda. Nii fossiilkütuste varude kahanemine kui ähvardav kliima oluline muutumine sunnivad otsima süsinikuvaba energeetika võimalusi. Põhiliselt taandub see vesiniku põletamisele, mille tulemuseks on veeaur. Intensiivselt tegeldakse ka süsihappegaasi mahamatmise probleemidega. Lihtsaim moodus süsihappegaasi juurdekasvu piiramiseks on tema sidumine kasvavasse biomassi. Massilise metsaistutamise teel loodetakse toime tulla 10-15 % süsihappegaasi juurdekasvuga. On analüüsimisel ka moodused, kuidas pumbata põlemisel tekkivat süsihappegaasi "atmosfäärist mööda" süvaookeani või maakoode. Maagasi maardlates esinebki sageli koos gaasiga suuri süsihappegaasi koguseid. Äärmuslikel juhtudel moodustab süsihappegaas kuni ¼ kogu maardla gaasist. Norra suurfirma Statoil on töötanud välja tehnoloogia süsihappegaasi eraldamiseks maagaasist ja selle pumpamiseks ammendatud maardlate tühikutesse. Ameerika Ühendriikides on töös projekt Suure Tasandiku söemaardlate maaaluseks gaasistamiseks ja liigse süsiniku süsihappegaasi kujul juhtimiseks Kanada õliväljadele puuraukudesse, et selle abil parandada nafta kättesaamist.

## 19. ÜLDENERGEETIKA JA ELEKTRIENERGIA

Energiabilansi struktuuri kirjeldamisel ei öelda alati selgelt välja kas mõeldakse üldist energeetikat või elektrienergia tootmist. Üldises energeetikas on märkimisväärne osa transpordil, mis käib põhiliselt vedelkütusega v.a. osa raudteest. Elektrienergia osa üldenergeetikas on maailmas keskmiselt 28 %, seejuures Põhja-Ameerikas ja Lääne-Euroopas 34 % ning Aafrika ja Aasia maades 17 %. Jaapani, Lõuna-Korea ja Taivani energeetikas on elektrienergia osa umbes 40 %. Elektrienergia tootmises on fossiilkütuste osa väiksem kui üldenergeetikas. Seda hüdroelektrijaamade ja tuumaelektrijaamade arvel. Maailma mastaabis hinnatakse hüdroelektrijaamade panuseks 22 % ja tuumaelektrijaamade omaks 13 - 15 % toodetud elektrienergiast. Norras saadakse hüdroelektrijaamadest praktiliselt kogu elektrienergia, Brasiilias saadakse nendest 87 % ja Kanadas 67 %. Eesti hüdroenergia ressursid on napid. Tabelis 19.1 on andmed hüdroener-

gia osatähtsusest elektrienergia kogutoodangus ja hüdroressursside rakendamise tasemest maailmajagude kaupa.

Tabel 19.1

Maailmajagu	Hüdroenergia osa,%	Ressursi kasutamine, %
Põhja-Ameerika	19	18
Lõuna-Ameerika	72	5
Euroopa	21	33
Aasia	21	5
Aafrika	28	2
Austraalia	29	10

Mitmes maailmajaos on veel olulisi kasutamata ressursse, mille rakendamine toob peale energia kaasa ka keskkonnaprobleeme. Tasandikele rajatavad veehoidlad põhjustavad ümbruskonna saastumist ja nende alla läheb palju väärtuslikku metsa- või põllumaad. Kui suure jõe äärsete linnade heitvett puhastatakse ebatäielikult nagu sageli juhtub, siis kogunevad veehoidlate põhjamudasse raske-metallid ja teised mürgised ained. See probleem on terav Volgale ja Venemaa Euroopa osa teistele jõgedele rajatud veehoidlate puhul. Isegi majanduslikult oleks muidu kasulik mõned neist likvideerida, kuid üleujutatud maa puhastamine osutub peaaegu võimatuks. Hüdroenergia rakendamise perspektiivid on soodsamad kitsastes kanjonites voolavate mäestikujõgede puhul. Siis on põhiline oht selles, et takistatakse kiire vooluga kaasa liikuvate kivide ja liiva jõudmist oma loomulikku sihtpunkti. Näiteid võiks tuua Musta mere rannikult. Lainete kallast purustavat jõudu summutab merekivide ja liiva edasi-tagasi liikumine koos veega. Selle materjali varu vajab pidevalt täienemist. Kui tema loomulikule liikumisteele ehitatakse tõkked, siis väheneb peatselt kalda puhverdusvõime ja murdlained hakkavad kallast lõhkuma ning ära kandma. Gruusia rannikul püüti murdlainetust pidurdada sarviliste betoonplokkidega, mis osutus väga kulukaks ja absoluutselt kasutuks. Hüdroenergia on ökoloogiliselt puhas selles mõttes, et ei põhjusta atmosfääri saastumist, kuid tema kasutuselevõtt vajab igal konkreetsel juhul ümbruskonnas toimuvate ökoloogiliste muutuste väga põhjalikku prognoosi.

Tšernobõli avarii aastal (1986) moodustas tuumaelektrijaamade osa elektrienergia toodangus Prantsusmaal 70 %, Rootsis 50 %, Tai-

vanil ja Lõuna-Koreas 44 %. Maailma 26 riigi tuumaelektrijaamades töötas sel ajal 392 energiablokki koguvõimsusega 270 000 MW ja ehitamisel oli veel 144 energiablokki koguvõimsusega 126 700 MW. 1992. aastal töötas maailmas 420 reaktorit. Korras ja korrektselt eksploateeritavad tuumaelektrijaamad on keskkonnale oluliselt vähem ohtlikud kui soojuselektrijaamad. Põhiline keskkonna kahjustamine avaldub siis soojusliku saastumisena jahutusvetega, eriti jõgede vett tarvitavate jaamade puhul. Praegu on suund võetud pigem olemasolevate tuumajaamade järkjärgulisele sulgemisele.

Üks kilogramm  $^{235}\text{U}$  annab lõhustumisel sama palju energiat kui 2000 tonni sütt. Reaktori kütusevardais olev  $^{235}\text{U}$  emiteerib spontaanselt neutroneid, mis põhjustavad järgnevalt  $^{235}\text{U}$  tuumade poolestumise ning jälle uute neutronite tekke. Toimub ahelreaktsioon. Uraani radioaktiivsel lagunemisel on võimalik umbkaudu 400 erineva laguprodukti ehk tütaruuma teke. Paljud neist on ise radioaktiivsed. Reaktsiooni käiku juhitakse reaktoris boori sisaldavate kontrollvarraste abil, millised neelavad osa tekkivatest neutronidest. On kasutatud ka grafiitvardaid. Elektrienergia saadakse reaktoris tekkiva soojusenergia ülekandmise teel veele, mis muudetakse turbiinide ümberajamise tarvis auruks. Reaktoriga vahetus kontaktis olev soojusvahendaja on eraldatud turbiine käivitavas süsteemis ringlevast veest ja aurust nagu see on ka tavalistes suletud keskküttesüsteemides boileritega sooja vee tegemisel. Kütuse ja juhtvarraste komplekt koos vedela jahutaja-soojusvahendajaga (vesi või vedel naatrium) on ümbritsetud 20 cm paksuse teraskorpusega, mis omakorda on suletud rohkem kui meetri paksusesse betoonkorpusesse. Tuumaelektrijaama ehitus on mitu korda kallim kui sama võimsusega soojuselektrijaam. Tuumaelektrijaamades toodetava elektrienergia omahind ei ole teiste elektrijaamade elektrienergiast odavam. Eeliseks peetakse just keskkonnapuhtust. Isegi radioaktiivne saaste on normaalselt ehitatud tuumaelektrijaamal väiksem kui soojuselektrijaamal. Põhilised keskkonnaprobleemid ei teki mitte töötavas jaamas eneses vaid tuumakütuse tootmisel ja kasutatud kütuse transpordil ning jäätmetena hoidmisel. Tuumaelektrijaamade nõrk koht on nende ohtlikkus sõja korral. Purukspommitamise korral pääsevad radioaktiivsed lõhustumisproduktid keskkonda. Sama võib juhtuda ka tugeva maavärina korral, kui reaktorid paiknevad seisimiliselt aktiivses tsoonis. Tuumaelektrijaamade ohutuse analüüsid näitavad, et arvestatav on ka väärast inimtegevusest tingitud oht,

ükskõik kas vale otsuse tõttu vahetult või varem tehtud puuduliku kvaliteediga töö tõttu. Lõpuks on võimalikud ka sihilikud diversioonid. Kuni Tšernobõli juhtumini oli suurimaks avariiks 1979. a. Ameerika Ühendriikides Kolme Miili Saare tuumaelektrijaamas Pennsylvanias toimunud avari, milles pääses välja osa reaktoris ringlevast veest. Tšernobõli õnnetuse peapõhjuseks oli operaatorite väär tegevus reaktori süsteemide katsetusel. Jahutusvee tasemel lasti sel määral langeda, et temperatuur reaktori sees tõusis kõrgemale terase sulamistemperatuurist. Terasel sulamistemperatuur on 1400 kraadi, reaktoris oli kuni 2800 kraadi. Auru plahvatus lõi pealt hoone katuse. Kütusevardad sulasid ja radioaktiivsed isotoobid pääsesid atmosfääri. Nende edasine teekond seal ja sadestumine maapinnale sõltusid juba ilmastiku oludest. Väga tõenäoliselt sureb iga kümnes jaamast kuni 30 km raadiuses viibinud inimene vähki. Seni on katastroofi tagajärjel juba surnud umbkaudu 8 000 inimest. Üks radioaktiivne pilv sadestus Kesk-Euroopasse, teine läks üle Poola ja Skandinaavia ning keeras tagasi üle Koola poolsaare ja Barentsi mere Lääne-Siberi põhjaossa. Eesti territoorium jäi intensiivsest saastest suhteliselt puutumata. Siin langes radioaktiivne saast põhiliselt Sillamäe ja Narva ümbrusse, kus radioaktiivne foon ennegi kõrge. Ukrainas ja Valgevenes on raskelt saastatud suur maaala, kus põlluharimine lähikümnenditel ei ole võimalik. Märnatavalt on saastatud 1/3 Valgevenest. Avari tekitas suuri kahjusid oma toimumispaigast kaugelgi. Lapimaa põhjapõtrade toiduks olevad samblikud osutusid sel määral radioaktiivseteks, et põtru tuli massiliselt tappa. Keskkonnale eriti ohtlikud on pika poolperioodiga isotoobid  $^{137}\text{Cs}$  ja  $^{90}\text{Sr}$ , mille lagunemine võtab kaua aega.

Loodusliku  $^{235}\text{U}$  varusid tavalise veega jahutatavate reaktorite jaoks jätkub praeguse tarbimistempo puhul umbes 100 aastaks. Paremad perspektiivid on kiirete neutronitega  $^{238}\text{U}$ -st toodetud plutooniumil  $^{239}\text{Pu}$  põhineval tuumaenergeetikal.  $^{238}\text{U}$  varudest jätkuks selle tarvis vähemalt 1000 aastaks, kuid tehnoloogia massilise rakendamise ees on seni rida probleeme. Termotuumareaktsiooni rakendamine energeetikas võib teoks saada parimal juhul vahemikus 2020 - 2030.

Alternatiivsete variantidena on eelkõige püütud vaadata taastuvate energiaressursside rakendamise võimalusi. Päikesenergia kasutamine tundub loomulikult perspektiivne hästi päikesepaistelites regioonides. Otse elektrienergia saamine päikesepaneelide abil on

kallis ja ei konkureeri seni muul viisil toodetava elektrienergiaga. Seni on otstarbekam kasutada päikeseenergiat hoonete passiivseks või aktiivseks kütmiseks. Passiivse kütmise puhul salvestub läbi akna tulnud energia suure soojusmahtuvusega ainekst põrandas ja seintes. Öösel kiirgavad need soojust tuppä. Aktiivne päikeseküte sarnaneb tavalisele keskküttesüsteemile. Katuse pinnale paigutatud võimalikult musta värvi materjalist lamedates paneelides olev vesi soojeneb neeldunud päikesekiirte toimel ja see soojus kantakse torude kaudu suuremasse mahutisse nii nagu tehakse öise elektriga kütmise korral. Katusele paigutatud kollektorite abil varustatakse niiviisi maju sooja veega ja vajadusel ka köetakse. Soojas päikeselises kliimas kütmise vajadus sageli puudub. Kütmiseks kasutatakse päikeseenergiat ka mõõdukatel ning üsna kõrgetel laiuskraadidel. Siis on tarvilikud õige suure mahutavusega veereservuaarid, millistes oleva vee temperatuuri suve jooksul tõstetakse päikeseenergia arvel ja millega talvel toetatakse tavalist keskküttesüsteemi. Temperatuuride vahe on väiksem kui see muidu oleks. Päikeseenergia kasutamisel on kütus tasuta ja tasuvuse otsustab konstruktsiooni hind, mis vahel võib osutada küllaltki kõrgeks.

Ligikaudu 2 % päikeseenergiast muundub mehaaniliseks tuuleenergiaks. Minevikus oli tuuleenergia langeva vee energia kõrval põhiline energiaallikas, millega käitati arvukaid tuuleveskeid. Eelmisel kümnendil pandi kogu maailmas suuri lootusi tuuleturbiinide abil elektrienergia tootmisele. Nüüdseks on arusaamad muutunud realistlikumateks ja nähakse ka ettevõtmise negatiivseid külgi, eelkõige müra ja ohtu lindudele. Ka ei näe tuuleturbiine kandvate mastide väli esteetiliselt eriti kaunis. Kindlasti võimaldaks tuuleturbiinide lülitamine üldisesse energiasüsteemi tuulistel aegadel taastumatuid energiaallikaid säästa. Hinnalt on tuuleturbiinide abil sadav elektrienergia ligikaudu võrdne hüdroelektrijaamade omaga. Energiasüsteemi reguleerimise seisukohalt oleks otstarbekas tuuleturbiinide ja väikeste hüdroelektrijamade paindlik koostöö.

Kuni kahekümnenda sajandini oli põhiliseks kütuseks puude ja hagude kujul taimne biomass. Lõunapoolsetes regioonides kasutatakse kütusena ka kariloomade sõnniku kuivainet. Biomassi kütusena kasutamise moodsad suunad on energiavõsa kasvatamine kiiresti kasvavatest puuliikidest ja teatud põllukultuuride kasvatamine vedelkütuse tooraineks. Päevalille, rapsi ja teiste õlikultuuride kõrval

on majandusliku tasuvuse mõttes mõeldav ka etanooli tootmine puidujäätmetest.

Vulkaanilistes regioonides leiab rakendust geotermaalenergia. Geotermaalvesi peab olema hoolikalt isoleeritud maapealsest keskonnast kuna ta sisaldab ohtralt väävliühendeid. Islandil köetakse geotermaalse veega eluhooneid ja kasvahooneid. Geotermaalse auruga käitatakse ka turbiine elektrienergia saamiseks. Geotermaalne elektrienergia moodustab 40 % Salvadori, 28 % Nikaraagua ja 11 % Keenia tarbitavast elektrienergiast. Kiiresti kasvab selle kasutamine Uus-Meremaal, Itaalias ja Jaapanis.

Tulevikus peetakse perspektiivseks vesinikuenergeetikat. Vesiniku põlemise lõppprodukt on vesi ja ära jääb CO<sub>2</sub> kui süsinikuenergeetika vältimatu tagajärg. Vajalik vesinik saadakse mitmesuguste katalüsaatorite abil kas vee elektrolüüsi kaudu või maagaasi koostises olevast metaanist. Viimasel juhul eraldatakse metaanist tahke süsinik ja vesinik kasutatakse kütusena. Põhiprobleemiks vesinikuenergeetika tehnoloogias on seni efektiivsete ja pikka aega töötavate katalüsaatorite valmistamine. Samuti vesiniku hoidmine.

Energia tootmise suurendamise kõrval on vähemalt samavõrra tähtis leida teid tema kokkuhoiduks. Eesti praegustes oludes on see teravam kui mujal maailmas raiskamise ajastul ehitatud arvukate halva soojapidavusega hoonete ja trasside tõttu. Ümbertegemine on alati kulukam kui algusest peale õigesti ja ökonoomselt ehitamine. Energia tarbimine ühe elaniku kohta on maailmas ebahühtlane. Kuigipalju oleneb see kliimast, kuid mitte vähem jõukusest ning majandamise otstarbekusest. Tabelis 19.2 on antud väike ülevaade ühe elaniku kohta aastas tarbitavast energiast erinevates maailmajagudes ja mõnedes riikides väljendatuna ekvivalentsetes kivisöe tonnides.

Tabel 19.2

Maailmajagu või riik	Ühe elaniku tarbitav energia
Maailm keskmiselt	1.9
India	0.3
Aafrika	0.4
Aasia	0.7
Lõuna-Ameerika	1.0
Jaapan	3.6
Euroopa	4.4

Eesti	4.5
Saksamaa	6.0
Endine N. Liit	6.4
Ameerika Ühendriigid ja Kanada	9.6

Suure osa inimkonna summaarsest energiatarbest moodustab transport. Ameerika Ühendriikides kulutab transport 30 % tarbitavast energiast. Enamuse sellest kulutab autotransport. Kaasajal peetakse üheks keskkonna suhtes positiivseks näitajaks raudteetranspordi võimalikult suurt osatähtsust võrreldes autotranspordiga. Paradoksaalselt oli selle näitaja poolest maailmas esirinnas endine N. Liit oma eksistentsi viimastel aastatel. Autode puhul on eesmärgiks pikem läbisõit liitri kütusega. Selles suhtes parimad sõiduauto mudelid kulutavad heal teel 100 km läbisõiduks 3 liitrit bensiini. Võrreldes 1960-date aastate tänavaristlejatega on kaasaegsed autod väiksemad, kergemad ja ökonoomsemad. Saastamise vähendamise eesmärgil püütakse kesklinna muuta autovabadeks. Kui autotransport muutis omal ajal linnad ruumikamaks, siis rõhu asetamine linnatranspordile hakkab maju ja inimesi jälle tihedamini kokku pressima, muidu kannatab ökonoomsus. Tervislik liiklusvahend lühemateks sõitudeks on jalgratas, mille laiemat kasutamist Eestis on seni seganud valehäbi ja puudulik liikluskultuur.

## 20. MINERAALIRESSURSID JA MAAVARADE KAEVANDAMINE

Litosfääri kaevandamisele kättesaadavat osa nimetatakse maa-põueks. Litosfääri ülemiste kihtide massist 99 % moodustavad 12 enamlevinud keemilist elementi. Seejuures on hapniku osa umbes pool ja räni osa veerand. Enamasti esinevad keemilised elemendid maakoos oksiididena, millest SiO<sub>2</sub> moodustab peaaegu 60 %. Üle 1 protsendi maakoore massist moodustavad ükshaaval veel Al, Fe, Ca, Na, K ja Mg. Paljude teiste elementide sisaldust maakoos mõõdetakse väikeste murdosadega protsendist. Kaevandatavad maavarad jagunevad nelja põhikategooriasse:

- 1) metallide maagid (magnetiit, boksiit jne.);
- 2) mittemetallilist tööstuslikku toorainet sisaldavad maavarad (lubjakivi, asbest jne.);

- 3) ehitusmaterjalid (liiv, kruus, savi);
- 4) kütused (nafta, gaas, süsi, uraan).

Maailmaturul kaubeldakse enam kui 100 levinud mineraalse toorainega. Et varud jagunevad ebaühtlaselt nagu muudki loodusressursid, siis toetub õige mitme riigi majandus olulisel määral vaid üheainsa toorme ekspordile. Näiteks moodustas hiljuti vask 90 % Sambia ekspordist ja uraanikontsentraat 60 % Niigeri ekspordist. Stagnaaastatel sai tooraine valdavaks ka endise N. Liidu ja tema mõjusfääris olevate riikide ekspordis. Mineraaliressursside kaevandamise maht on alates tööstusrevolutsiooni algusest pidevalt kasvanud, eriti kiires tempos aga pärast pöördelist 1950. aastat. Siit alates on kaevandatud rohkem kui inimkonna kogu eelneva ajaloo jooksul. Aastate 1950-1990 vahemikus on maailma elanikkond kahekordistunud, põhiliste metallide aastatoodang kasvanud aga üle 8 korra. Sõe, rauamaagi, mangaani ja nikli kaevandamine on viimase 100 aastaga kasvanud 50 - 60 korda, volframi, alumiiniumi ja molübdeeni tootmine koguni 200 - 1000 korda. Arenenud riikide elanikud tarbivad seejuures ressursse hoopis intensiivsemalt, eriti vaeste riikide ressursse, mida saab odavalt kätte. Ameerika Ühendriikide elanikkond kui kõige intensiivsem ressursitarbija moodustab 6 % maailma rahvastikust, kuid tarbib 30 % maailma energia- ja 20 % mineraaliressurssidest. Üldse tarbib rahvastiku üldarvus 25 % lähedale küündiv arenenud riikide elanikkond seni 75 % planeedi ressurssidest. Jaapanisse ja Euroopa Liidu maadesse veetakse sisse 80 - 90 % vajalikust metallist. Kui ka ülejäänud rahvad tahaksid samale tasemele tõusta peaks tarbimine kokku vähemalt kolmekordistuma. Unistus tarbimisliidrite tasemest tuleb enamusel Maa asukatest maha matta, sest sellel puudub ressursi kate. Tabelis 20.1 on antud illustreerivad andmed levinumate mineraalse toorme liikide maailma aastatoodangu kohta 1990. aasta seisuga.

Mineraalideks nimetatakse looduslike protsesside mõjul tekkinud tahkeid keemilisi ühendeid või ehedaid elemente. Üksikuid mineraale iseloomustab kindlates piirides olev keemiline koostis ja füüsikalised omadused. Kivimite koostises laialdasema levikuga on umbes 50 mineraali. Üldse on neid ligi 3000. Metallide maakideks ja mittemetalliliste maavarade tooraineteks on spetsiifilise koostisega mine-

Tabel 20. 1

Materjal	Toodang tuhandetes tonnides
Metallid	
Raud	552 000
Alumiinium	18 100
Vask	8 900
Mangaan	8 600
Tsink	7 300
Kroom	3 780
Plii	3 350
Nikkel	950
Tina	215
Molübdeen	115
Titaan	102
Hõbe	15
Elavhõbe	6
Kuld	0.2
Mittemetallid	
Kivi	11 000 000
Liiv ja kruus	9 000 000
Savi	500 000
Sool	190 000
Fosfaadid	166 350
Lubi	135 000
Kips	100 000

raalide kogumid. Kaevandatavaks tooraineks võivad olla mono-mineraalid (näiteks marmor või kivisool) või polümineraalid (näiteks graniit). On olemas maake, mis sisaldavad praktiliselt vaid üht metalli, kuid on ka polümetallilisi maake. Toodetava metalli kontsentratsioon maagis võib olla päris kõrge. Magnetiidis sisaldub kuni 72 % rauda, antimoniidis 70 % antimoni, haleniidis (PbS) kuni 86 % pliid jne. Paljusid metalle ja mittemetallilisi aineid toodetakse hoopis madalama kontsentratsiooniga maakidest. Paremad maagivarud ammenduvad järjest kiiremini ja kasutusele tuleb võtta lahjema sisaldusega maake. Tootmine tasub ennast ära ja on tehnoloogiliselt võimalik vaid teatavast lävest kõrgema kontsentratsiooni korral. Energiakulu toodanguühiku kohta kasvab maagi kontsentratsiooni

kahanedes eksponentsiaalselt. Sellest tuleneb kasutuskõlblike varude ammendumise probleem. Nagu fossiilkütustegi puhul kardetakse, et ka mitme mineraalse toorme varudest ei piisa kuigi pikaks ajaks. Eriti kehtib see 18 majanduslikult olulise mineraali kohta. Need võivad osutada kuni 80 % ulatuses ammendatuks enne 2040. aastat. Mõned olulised ressursid võivad ammenduda vähem kui 20 aastaga. Nende hulka kuuluvad kuld, hõbe, elavhõbe, plii, tina, volfram, tsink ja väävel. Seni on praktika olnud prognoosidest soodsam. Reservide baas on alates 1960-datest aastatest oluliselt kasvanud, samuti toorme hinnad langenud. Teated varude peatsest lõppemisest on sageli ajendatud soovist hinda üles kruvida.

Mineraaliressursid on tootmise-tarbimise süsteemi osa. Sellesse süsteemi kuulub nende ressursside uurimine, kaevandamine, töötlemine-rikastamine, transport ja lõpuks sihipärane kasutamine. Kaevandamisel on kuni mõnesaja meetri sügavuseni valdav karjääri meetod. Kasuliku kaevisse avamiseks eemaldatakse ülemised kihid. Kogu maailma ulatuses mõõdetakse maakoore materjali aastasi ümberpaigutatavaid koguseid kümnete kuupkilomeetritega ja see kogus kasvab üsnagi eksponentsiaalselt, ehkki päris viimasel ajal on märgata aeglustumist. Allmaakaevandamise korral on kasuliku kaevisse kaod suuremad kui karjäärist kaevandamise korral. Mõnikord paiknevad mineraalivarud tihedasti asustatud alade all ja neid ei saa tarvitada ilma n. ö. platsi puhtaks tegemata. Kõigil juhtudel põhjustavad kaevandustööd suuri muutusi ümbritseva piirkonna veerežiimis. Põhjavee tase alaneb mõnel juhul isegi mitmesaja meetri võrra. Ammendatud kaevanduste sissevarisemisel toimuvad suured nihked ja vajumised ka pindmistes kihtides, mis vahel ulatuvad mitmete meetriteni. Väljapumbatavad kaevandusveed reostavad looduslikke veekogusid ja joogivee horisonte.

Märkimisväärsed mineraaliressursid paiknevad merepõhjas. Tuntuimad neist on mangaani konkretsioonid ehk metalle sisaldavad kerakesed, mille koostises leidub kuni 24 % mangaani ja 14 % rauda. Samuti leidub merepõhjas 25 % alumiiniumi sisaldavat punast savi. Merepõhja kivimites on leitud ka hõbedat, tsinki, vaske ja teisi metalle sisaldavaid maake. Esialgsetel hinnangutel on merepõhjust kaevandamine sageli tehnoloogiliselt teostatav ja ka majanduslikult tasuv. Halbu mõjusid keskkonnale on seni uuritud liiga pinnapealselt.

Peamine moodus vähendada kaevandamise hävitavat mõju keskkonnale on materjalide säästev ja korduvkasutus.

Eesti peamised mineraaliressursid ja nende kaevandamise määr 1991. a. seisuga on antud tabelis 20.2. Kaevandamise määrad on sellest ajast kahanenud. Edaspidi on oodata mõne maavara kaevandamise mahtude uut kasvu, kuigi vaevalt hiilgeaegade tasemeni.

Tabel 20.2

Ressurss	Tõestatud varud	Kaevandamine 1991
Põlevkivi	3 800 milj. t	19.6 milj. t (max. 31)
Fosforiit	750 - " -	-
Lubjakivi, dolomiit	250 milj. m <sup>3</sup>	3.1 milj. m <sup>3</sup>
Liiv, kruus	150 - " -	6.9 - " -
Turvas	2 400 milj. t	1.8 milj. t
Järvemuda	120 - " -	0.001 - " -
Meremuda	3.7 - " -	0.005 - " -

## 21. VEERESSURSID

Vesi on meie planeedil väga levinud aine. Jättes kõrvale Maa sisemuses oleva vee ja võttes arvesse vaid globaalses veeringluses osaleva veemassi saame selle jaoks järgmise paiknemise.

Tabel 21.1

Vee paiknemise koht ja vorm	Kogus, km <sup>3</sup>	% mageveest
Maaailmaookean	1 338 000 000	-
Igijää	24 000 000	84.95
Põhjavesi	4 000 000	14.15
Järved	155 000	0.55
Pinnavesi	83 000	0.30
Veeaur atmosfääris	13 000	0.05
Vesi jõgedes	1 200	0.004
Vesi biosfääris	120	0.0004

Põhiosa ringlevast veest asub ookeanides, mille keskmine sügavus on 3800 m ja mis katavad 70.8 % Maa pinnast. Ookeanivee keskmine soolsus on 3.5 % ja see pole oluliselt kasutatav inimeste põhiliste veevajaduste rahuldamiseks. Kasutada võib piisavalt puhas ja kergesti kättesaadav mage vesi. Magevesi moodustab veevarudest vaid 2.8 % ja sellestki valdava osa moodustab igijää. Tegelikult kasutuskõlblik on jõgedes voolav vesi, pinnale lähemate põhjavee horisontide vesi ja mõningal määral järvede vesi. Järjest kasvab ka ookeanivee magestamise maht tarbevee saamiseks. Selleks kasutatakse kas destilleerimise või pöördosmoosi tehnoloogiat. Nii saadud mageda vee hind on 4 - 10 korda tavalise omast kallim.

Maailma mastaabis on magevee tarbimise 3 põhilist alajaotust põldude kunstlik niisutus, tööstus ja kommunaalmajandus ehk lihtsalt olme. Globaalsest veetarbest kuni 90 % läheb niisutuse, 7 % tööstuse ja 3 % olme sfääri. Tööstuse ja olme tarbimismahud võivad kunstliku niisutuse suhtes ka suuremad olla, kuid igal juhul on kunstlik niisutus globaalselt suurim magevee tarbija. Tarbimise struktuur on maailma eri paikades oluliselt erinev. Vee korduvkasutust on kõige lihtsam rakendada tööstuse tehnoloogilise vee puhul lastes seda perioodiliselt läbi puhastusseadmete. Mitmed tööstusharud on väga veemahukad, kus ühe toodangu massiühiku valmimiseks kulub kümneid ja isegi sadu kordi rohkem vett. Ühe tonni kaproniu saamiseks kulub 6 000 tonni vett, ühe tonni kautšuki saamiseks 2 500 tonni, ühe tonni alumiiniumi saamiseks 1 500 tonni jne. Ohtralt tarbivad vett ka tekstiilitööstus ja toiduainete tööstus. Neis paikades, kus veele on kehtestatud õiglase hind, kahaneb tööstuse veetarve pidevalt aeglases tempos, sest rakendatakse korduvkasutuse nn. kinnist tsükli.

Kõige raskemini kulgeb vee kokkuhoid kunstliku niisutuse juures, mis veevaestes piirkondades on peamine vee kulutaja. Taastumatu kulu küünib 75 % lähedale. Evapotranspiratsioon läbi taimede on loomulik kulu, mille jaoks niisutataksegi. Olenevalt taime liigist kulub 1 kg kuivaine kasvuks 150 kuni 1000 m<sup>3</sup> vett. Kokkuhoidu saab ja tuleb teha nende veekulude arvel, mis lähevad evapotranspiratsioonist mööda. Nendeks on auramine veepeeglit ja imbumine pinnasesse. Lihtsalt pinnasesse kaevatud kraavidest läheb kuivas kliimas 40 - 50 % vett kaotsi. Betooni ja plastikkatetega kanalid on kuni 90 % võrra vett säästvamad. Veelgi suurema säästu annavad torud. Looduslik veeringlus korraldab puhta vee varu uuen-

damist. Auramise teel õhku läheb vesi puhtana, ilma temas lahustunud või lahustamata kujul sisalduvate lisanditeta. Mida enam on saasteaineid atmosfääris seda enam satub neid ka sademetesse ja veeringluse varusid uuendav osa ei tarvitsegi päris puhas olla. Sademete veest osa imbub sügavamatesse kihtidesse ja täiendab põhjavee tagavarasid. Pindmisse kihti jäävast veest läheb osa evapotranspiratsiooniks ja osa suundub vooluvete võrku. Just seda viimast osa veest kasutatakse peamise magevee ressursina. Väljakujunenud praktika kinnitab, et voolavast veest ei tohi tagastamatult ära võtta üle 10 - 20 %, muidu võivad tekkida pöördumatud muutused. Kõige markantsemaks väära veetarbimise näiteks võib pidada Araali mere juhtumit. Kuni 1930. aastani püsis selles regioonis sajandite jooksul kujunenud vett säästev niisutuspõllundus kokku 3.25 miljonil hektaril. Vahemikus 1930 - 1960 laiendati niisutatavate maade pindala 5 miljoni hektarini ja kasutati Amu-Darja ning Sõr-Darja summaarsest vooluhulgast (vastavalt 77 km<sup>3</sup> ja 33 km<sup>3</sup> aastas) ära peaaegu 40 km<sup>3</sup> aastas. Ka see ei toonud kaasa veel märgatavaid muutusi. Vahemikus 1960 - 1990 suurendati niisutatavat pindala juba 7 miljoni hektarini ja suunati lisaks hulk vett linnade ja tööstuse tarbeks. Niisutatavatel maadel kasvatati põhiliselt puuvilla, et tagada suurriigile puuvillasõltumatus ehk õigemini öeldes piisavad püssirohu tooraine tagavarad. Alates 1962. aastast alaneb Araali mere tase pidevalt ja pöördumatult. Põhjavee taseme languse tõttu on ümbruskonnas alanud antropogeenne kõrbestumine. Vee soolsus meres endas on tõusnud sel määral, et 20 seal varem elanud 24 tööndusliku kala liigist on hävinud. Kuivanud merepõhjast on tekkinud sooldunud liivakõrb. Ümbruskonna karjamaade produktiivsus on tunduvalt langenud. Põldudelt jõkke tagasivoolav vesi on märgatavalt sooldunud. Osa Amu-Darja veest voolab pärast niisutamist Sarõkamõšši nõkku, kuhu on tekkinud uus järv. Ka Volga veest võetakse niisutamiseks ja muuks tarbeks tagastamatult ligi 30 km<sup>3</sup> aastas, kuid see on veel lubatavuse piires (12 %). Loomulikult mõjub vee kõrvaldamine voolust vee kvaliteedile alati halvasti. Niisutusvee tagasilaskmine vette suurendab allavett jäävas voolus soolsust. Kui soolsus ületab 700 miljondikku mahuosa, siis see vesi edasi enam niisutuseks ei kõlba. Joogivee soolsus ei tohi olla üle 500 miljondiku e. 0.5 %.

Kogu maailma mastaabis asub ligi 60 % maismaast veevaeguse tsoonis ja vähemalt 25 % inimkonnast kannatab magevee nappuse

all. Kuni miljard inimest kannatab joogivee puudust või selle halba kvaliteeti. On kohti, kus joogivee järel käiakse paarikümne kilomeetri kaugusel ja kus vee toomine moodustab tähtsaima päevase toimingu. Mitmed riigid veavad joogivett sisse ja mitmed on sunnitud kasutama magestatud vett. Rahvusvaheliste normide järgi loetakse vee tarbimise määra alla 1000 m<sup>3</sup> aastas inimese kohta veepuuduse olukorraks. Lähiajal jõuavad sellise olukorrani Keenia, Uganda, Tansaania, Mehhiko, Egiptus, Paraguay, Uruguai, Filipiinid, Argentiina, Indoneesia, Pakistan ja rida väiksemaid riike. Aastast vee tarbimise mahtu 1000 - 5000 m<sup>3</sup> inimese kohta loetakse rahuldavaks olukorraks. Et põhiliseks veeressursiks on jõgede vesi, siis määrab seda oluliselt jõgede paiknemine ja nende veerohkus. Tabelis 21.2 on antud eri maailmajagude varustus voolava jõeveega.

Tabel 21.2

Maailmajagu	Summaarne vooluhulk, km <sup>3</sup> aastas
Euroopa	3 210
Aasia	14 410
Aafrika	4 570
Põhja-Ameerika	8 200
Lõuna-Ameerika	11 760
Austraalia ja Okeania	2 390

Tabelis 21.3 on antud suuremate jõgede aastased vooluhulgad kuupkilomeetrites. Ülevaatlikkuse mõttes on jõed toodud maailmajagude kaupa. Euroopa jõgedele on lisatud ka suuremad Eesti jõed.

Tabel 21.3

Jõgi	Aastane vooluhulk, km <sup>3</sup>	Koht maailma edetabelis
Euroopa		
Volga	252	18.
Doonau.	203	21.
Petšoor.	128	24.
Severnaja Dvinaa	111	29.
Neeva	82	32.
Rein	69	34.
Rho <sup>^</sup> ne	60	35.



Dnepr.	52	36
Po	46	39.
Visla	32.5	49.
Don	28	
Kura	24	
Daugava	18.5	
Kuban	13.5	
Eesti		
Narva	12.5	
Suur-Emajõgi	2.25	
Pärnu	2	
Aasia		
Jangtse	1 072	3.
Jenissei	555	5.
Brahmaputra	536	7.
Ganges	505	8.
Mekong	501	9.
Leena	489	10.
Irawadi	442	12.
Ob	395	13.
Sikiang	347	14.
Amuur	347	15.
Godavari	125	25.
Indus	121	27.
Kolõma	120	28.
Hatanga	101	31.
Huanghe	43	40.
Amu-Darja	41	41.
Sõr-Darja	13	
Aafrika		
Kongo	1 324	2.
Niiger	183	22.
Sambesi	79	33.
Nilus	50	37.
Lõuna-Ameerika		
Amasoonas	6 000	1.
Parana (La Plata)	615	4.
Orinoco	442	11.
Magdalena	252	17.

Põhja-Ameerika		
Mississippi	553	6.
St. Lawrence	328	16.
McKenzie	237	19.
Columbia	210	20.
Yukon	134	23.

Vee tarbimise dünaamikat maailmas illustreerib tabel 21.4, kus on antud põhiliste tarbimisviiside mahud 1975. ja 2000. aastal.

Tabel 21.4

Tarbimisviis	Maht 1975. a., km <sup>3</sup>	Maht 2000. a., km <sup>3</sup>
Niisutus põllundus	2 100	3 400
Tööstus	630	1 900
	300	490

Kommunaalvee tarbimismahu piiramisel on reserve kokkuhoidlikus suhtumises ja sanitaartechnika kvaliteedis. Põhjendatud kulu-normiks kaasaegses linnakorteris loetakse 220 l vett inimese kohta ööpäevas. Mõni aasta tagasi oli tegelik kulu Moskvast 379 l ja Londonis alla 200 l.

Eesti ei asu veevaeguse tsoonis. Järvedes, soodes ja rabades on suur veetagavara, mida ei saa küll vahetult majanduslikult kasutada, kuid mis on kohaliku veeringluse vajalik koostisosa. Jõgede baasil Ülemiste järve kaudu varustatakse suurt osa Tallinnast. Narva saab vett Narva jõest. Teiste linnade tarbevesi võetakse põhjavee horisontidest. Põhjavesi katab 2/3 Eesti veetarbest. Summaarne veekulu 1992. a. oli Eestis 2 709 miljonit m<sup>3</sup> ehk 2.7 km<sup>3</sup>, millest 2 220 milj. m<sup>3</sup> oli pinnavesi, 409 milj. m<sup>3</sup> põhjavesi ja 79 milj. m<sup>3</sup> merevesi. Põhiosa tarbitud veest – 1 98 milj. m<sup>3</sup> - oli käibel soojuselektrijaamade jahutusveena. Tööstuses kasutati 125 milj. m<sup>3</sup> vett, olmes 104 milj. m<sup>3</sup>, põllumajanduses 30 milj. m<sup>3</sup> ja kalakasvatuses 151 milj. m<sup>3</sup>. Ordoviitsiumi-kambriumi lademe põhjavee intensiivne tarbimine on Tartus, Pärnus, Haapsalus, Harjumaal ja Tallinnas põhjustanud veetaseme alanemise, isegi kuni 30 meetri võrra. Kvaternaari põhjavee horisont on kohati üle normide reostunud. 1990datel on veetarve tunduvalt vähenenud ja nii joogivee kui heitvee puhastamine paranenud.

Ehkki Eestis ei ole olmevee tarbimine maailma mastaape silmas pidades ülearu suur on ka siin kokkuhoiu reserve. Olmevee kokkuhoid on ettevõtmine, mille kaudu igauks saab hõlpsasti anda panuse puhtama keskkonna heaks. Kui veevärgi suured lekked on kõrvaldatud, siis on järgmisteks sammudeks kokkuhoiu teel vanni asemel duši all käimine ja WC loputuskasti mahu vähendamine.

## 22. KESKKONNA SAASTUMINE

Keskkonna saastumine tähendab sisuliselt häireid väljakujunenud looduslikus aineringluses. Valdavalt on tegemist samade ainetega, mis osalevad ka saastamata keskkonna aineringluses, kuid muutuvad nende sisalduse omavahelised proportsioonid. Lihtsalt öeldes on saastumisega tegu siis, kui mõnda ainet tuleb keskkonda ülemäära ohtralt. Looduses esinevaid keemilisi ühendeid ja nende modifikatsioone ehk aineid tuntakse ligi 6 miljonit. Peale looduslike ainete lisandub viimasel ajal ringluses üha enam sünteetilisi. Lige-male 40 000 praegu ringluses olevatest keemilistest ühenditest avaldavad kahjulikku mõju inimese tervisele, umbes 10 000 on aga lausa mürgised. Sealhulgas leidub aineid, mis muutuvad eluohtlikuks juba üpris madalate kontsentratsioonide korral. Uute ainete pidev lisandumine muudab pikaajaliselt stabiliseerunud aineringlust. Keskkonda kuhjuvad ained on seal erineva püsivusega. Mõned lagunevad kiiresti, teised aga püsivad aastakümneid. Ka kiire lagunemine ei tarvitse ilmtingimata head tähendada. Paigast võib nihkuda keskkonna ülejäänud keemia tasakaal ja lagunemise produktide hulgas võib leiduda algsetest ebasoodsamaid. Saastumine hõlmab keskkonna kõiki komponente. Otseselt saastuvad atmosfäär, vesi ja pinnas ning nende kaudu taimed, loomad ja lõpuks inimesed. Kahjulik toime jõuab organismi õhu, vee ja toidu kaudu.

Kõige üldisemas plaanis viib saastumine kliima muutumisele või lihtsalt keskkonna kvaliteedi halvenemisele. Viimane toime avaldab kas otseselt või kaudselt mõju tervisele. Allergiliste haiguste sagene-mine ongi saastumise otsene tagajärg. Saastumisele toimivad vastu keskkonna isepuhastumise protsessid, mis suudavad teatud piirides püsivate saastekoormustega toime tulla. Saastumine üle isepuhastumise võimaluste tingib saasteainete pöördumatu akumulierumise keskkonda. Ka ei tingi isepuhastumise piisav võimsus keskkonna mingi ühe komponendi piires keskkonna kui terviku puhtust. Atmo-

sfäärist välja sadestunud saasteained langevad vette ja pinnasesse ning põhjustavad kuhjuvat saastumist seal. Saasteainete ümberjao-tumine looduses toimubki peamiselt õhu, vee ja taimkatte kaudu.

Keemilise saastumise kõrval esineb ulatuslikult keskkonna saastumine neutraalsete ainetega, soojuslik saastumine, saastumine elektromagnetilise kiirgusega ning elektri- ja magnetväljadega, saastumine müraga.

Kõik saastumise koondnimetuse alla haaratud protsessid ja ained moodustavad suure keeruka terviku. Selle haaramine täies mahus ja mitmekesisuses käib üle jõu ja ei osutu otstarbekaks. Uurides protsesside ja ainete üksikuid rühmi tuleb pidevalt silmas pidada, et nii saab välja tuua küll kõige tähtsama, kuid mõndagi terviku jaoks olulist jäetakse ka kõrvale ja kogu pilt jääb skemaatiliseks.

## 23. SAASTUMISE MÕJU KLIIMALE

Kliima on põhiline keskkonna olukorda mõjutav tegur. Kliimat kujundab globaalne süsteem atmosfäär - ookean - kontinendid - krüosfäär - biosfäär. Atmosfäär reguleerib otseselt energeetikat, ookean ja krüosfäär aga annavad süsteemile suure inertsii. Kliima on kogu planeedi Maa eksisteerimise vältel olnud pidevas, inimese keskmise elueaga võrreldes aeglases muutumises. Kliima muutumist põhjustavad väga erineva kiirusega toimivad protsessid, alates mandrite paigutuse muutumisest ja kogu planeedi asendi muutumisest Päikese suhtes kuni ajalises plaanis palju kiiremateni nagu on atmosfääri gaasilise koostise või mandrite pinna optiliste omaduste muutumine. Kaasajal võiks kliima muutumise põhjustena kõne alla tulla

- päikesekonstandi muutumine;
- planeedi pinna optiliste omaduste (heleduskoeffitsiendi ja albedo) muutumine;
- atmosfääri gaasilise ja aerosoolse koostise muutumine.

Käesoleval ajal on päikesekonstandi väärtuseks 1370 W/m<sup>2</sup> ehk 1.96 cal/cm<sup>2</sup>. Päike kuulub võrdlemisi tavaliste tähtede hulka ja on suhteliselt stabiilne energiaallikas. Tema kiirguse spektraalne koostis on määratud nende kihtide temperatuuriga, millistest kiirgus veel välja pääseb, ja on lähedane 5800 K temperatuuriga absoluutselt musta keha omale. Enamus Päikese kiirgusest on pärit umbes 300 km paksusest fotosfääri kihist. Lähedalt vaadates ei paistaks

Päikese pind nii ühtlasena nagu kaugelt ja tema pinnal esineb teralise granulatsiooni kõrval ka suuremaid tumedaid madalama temperatuuriga laiike. Viimaste arvukus kasvab ja kahaneb tsükliliselt keskmiselt 11 aastase perioodiga. Siiski mahuvad energiavoo tiheduse erinevused miinimumide ja maksimumide vahel 0.1 % sisse ja lühiajaliste kõikumiste erinevus keskmisest  $\pm 0.3$  % sisse. Maa elliptilise orbiidi tõttu muutub päikesekonstandi jooksev väärtus aasta keskmise suhtes  $\pm 3.4$  % piirides, kuid see regulaarne muutumine ei mõjuta kliimat. Kuigi Päikese väliskihtidest pärineva ultraviolettkiirguse tihedus muutub aktiivsuse tsükli vältel märksa enam ja mõjutab paljusid atmosfääris toimuvaid protsesse märgatavalt võib Päikese muutlikkuse mõju kliimale praegu siiski väikeseks lugeda.

Eespool oli juttu sellest, kuidas kliimagaasid reguleerivad atmosfääri energeetikat ja selle kaudu kliimat. Atmosfääri gaasilisel koostisel on otsustav tähtsus ka teise maise elu suhtes tähtsa teguri, stratosfääri osoonikihi seisundi reguleerimisel. Et valdavalt on tegemist ühtede ja samade gaasidega, siis õieti ei saagi neid küsimusi teineteisest päris lahus vaadata. Atmosfääri lisandgaaside puhul tuleb selgitada, kui suur on igaühel neist kasvahooneefekti potentsiaal ja kui suur osooni hävitav potentsiaal. Troposfääris võib viimane avalduda osooni teket soodustavalt. Et atmosfääri lisandgaasid toimivad üpris keerukas koosmõjus, siis ei ole nende individuaalse panuse väljaselgitamine kummaski punktis elementaarne ülesanne. Tuleb korruga käsile võtta põhiline osa kogu gaasiseguga toimuvast füüsikast ja keemiast.

Kasvahoonegaaside loetelu alustatakse tavaliselt CO<sub>2</sub>-ga, ehkki tegelikkuses põhjustab maapinna lähedal kõige suurema osa kasvahooneefektist (kuni 70 %) atmosfääris olev veeaur. Veeauru puhul pole seni täheldatud antropogeenset akumulereerumist atmosfääri. Muret ei põhjusta ju kasvahooneefekt kui selline vaid tema võimalik muutumine. Paljudel teistel kasvahoonegaasidel on nende atmosfääri kogunemise efekt ja sellest tulenev toime kasv olemas. Süsihappegaasi kontsentratsioon on sajandiga kasvanud ligi kolmandiku võrra, 280 miljondikult mahuosalt 370 miljondikuni. Ka minevikus on süsihappegaasi sisaldus atmosfääris soojadel perioodidel alati olnud suurem kui külmal. Juba üle 400000 aasta suhteliselt korrapäraselt kestnud jääaegade ja jäävaheaegade vaheldumise tsükli jooksul on tema sisaldus olnud jäätumiste ajal 180

miljondiku mahuosa lähedal ja jäävaheaegadel 280 miljondiku kandis nagu ka praegusel jäävaheajal enne fossiilkütuste intensiivse põletamise ajastut. Senise muutumise amplituudiga samaväärne ekstsess kasvu suunas võib jätkuvalt kasvades viia süsteemi senisest rütmilisest tasakaalust välja ja praegusel teadmiste tasemel pole ennustatav, milliseks uus stabiilne rezhim võiks kujuneda. Looduslikus olukorras võiks selline järsk süsihappegaasi sisalduse kasv tekkida järsu vulkaanilise aktiivsuse kasvu tagajärjel. Praegu on CO<sub>2</sub> sisalduse kasvul kaks peamist põhjust - süsinikkütuste põletamine ja taimkatte kui tarbija degradatsioon. Looduslike CO<sub>2</sub> ohtralt tarbivate koosluste asemel levivad potentsiaalselt vähem biomassi produtseerivad kultuurtaimestikud ja üleekspluateeritud karjamaad. Fotosünteesi sõltuvus päikesekiirgusest tingib maalähedases kihis CO<sub>2</sub> sisalduse ööpäevase käigu (öö jooksul koguneb). Põhjapoolkeral esineb ka sesoonne käik maksimumiga kevadel enne vegetatsiooniperioodi algust. Troopikas sellist sesoonset käiku ei ole. Süsihappegaasi sisaldus atmosfääris kasvab aastase perioodiga kõikumiste taustal pidevalt. Vahel on kasvu tempo kiirem, vahel aeglasem. Kiirust ei reguleeri mitte CO<sub>2</sub> emissioon, mis oluliselt ei muutu aastast aastasse, vaid tema tarbimine ookeani ja maismaa taimsete produktide poolt. Kõige enam näib seda reguleerivat El Nino nähtus s.o. ookeani ja atmosfääri tsirkulatsiooni (tuulte ja hoovuste) pöördumine Aasia ja Austraalia asemel Lõuna-Ameerika suunas. Ookean põhjustab sel juhul atmosfääri CO<sub>2</sub> sisalduse vähenemist kuna sügavusest tuleva süsinikurikka vee juurdevool peatub ja fütoplankton tarbib rohkem CO<sub>2</sub> atmosfäärist. Prognoosid pakuvad CO<sub>2</sub> sisalduse kahekordistumist atmosfääris võrreldes industriaalse eelse ajaga umbes 2040. aastaks. Tema sisaldus tõuseks siis praeguselt ligi 370 miljondikult mahuosalt 550 miljondikuni. Süsihappegaasi sisalduse juurdekasvust tingitud kliima soojenemise eest hoiatas juba 1861. a. inglise teadlane J. Tyndall ja 1896. a. rootsi teadlane S. Arrhenius. Tänu süsiniku põletamise sihipärasele piiramisele on viimasel ajal CO<sub>2</sub> juurdekasvu tempo varem kardetust mõnevõrra aeglasem. Eesti panus maailma CO<sub>2</sub> emissiooni oli 1990. a. 37 miljonit tonni ehk 0.2 %. Et Eesti osa maailma rahvastikus on vaid 0.03 %, siis on suhteline saastepanus tublisti üle keskmise. Ühe Eesti elaniku kohta paisati atmosfääri üle 23 tonni CO<sub>2</sub>, samal ajal kui tüüpilistes arengumaades oli see arv vaid 0.3 tonni, Euroopas keskmiselt 9 tonni ja isegi Põhja-Ameerikas 19 tonni. Eesti CO<sub>2</sub>

emissioonist 3/4 oli põhjustatud põlevkivi põletamisest elektrienergia saamiseks. Et osa süsihappegaasist pärineb koos põlevkiviga koldesse sattuvast lubjakivist on põlevkivi põletamine suurema süsihappegaasi emissiooniga kui muude kütuste põletamine. Seoses tootmismahu vähenemisega on pärast Eesti iseseisvumist vähenenud ka CO<sub>2</sub> emissioon.

Viimastel aastakümnetel on kiiresti kasvanud metaani, dilämmastikoksiidi ja freoonide panus kasvuhooneefekti tekitamisel. Üldse põhjustavad kasvuhooneefekti umbes 40 atmosfääris esinevat gaasi. Ühe molekuli globaalset soojenemist põhjustav potentsiaal on mitmetel gaasidel CO<sub>2</sub> omast kümneid, sadu ja isegi tuhandeid kordi suurem. Iga gaasi panuse moodustab ühe molekuli efekti ja molekulide arvu korrutis. Praeguste tendentside jätkudes põhjustavad väiksemates kontsentratsioonides esinevad kasvuhoonegaasid alates 2025-2030. aastast kokkuvõttes suurema efekti kui CO<sub>2</sub>.

Dilämmastikoksiid (naerugaas) N<sub>2</sub>O põhjustab käesoleval ajal 6 % antropogeensest kasvuhooneefektist. Tema elueaks atmosfääris annavad erinevad autorid 110 kuni 180 aastat. Eluiga atmosfääris tähendab siin ajavahemikku, mille vältel gaasi sisaldus kahaneb poolele esialgsest. Aastas tuleb seda gaasi atmosfääri looduslikest allikatest 15 miljonit tonni ja antropogeensetest allikatest 7 miljonit tonni. Tema sisaldus atmosfääris kasvab keskmiselt 0.27 % võrra aastas. Võib väita, et kuni 1950. aastani püsis see oluliselt muutumatuna 280-290 miljardiku piires. Nüüdseks on N<sub>2</sub>O sisaldus atmosfääris üle 310 miljardikku mahuosa. Pinnasest eraldub atmosfääri 12 milj. tonni N<sub>2</sub>O aastas. Mineraalväetiste kasutamisest tingituna on 10 % sellest antropogeenne. Kõige mõjusamateks otsesteks antropogeenseteks N<sub>2</sub>O allikateks on heitvesi (1.5 milj. tonni aastas) ja troopilises vööndis toimuv regulaarne biomassi põletamine (1.6 milj. tonni). Veel on allikateks autotransport, nailonkiu tootmine, karjamajandus ja kunstlik niisutamine. Autode puhul on N<sub>2</sub>O allikaks just katalüsaatoriga varustatud mootorid, mis peavad taandama põlemisprotsessis tekkinud NO<sub>2</sub> ja NO tavaliseks õhu molekulaarseks lämmastikuks.

Metaani CH<sub>4</sub> olemasolu atmosfääris avastasid M. Migeotte ja L. Neven alles 1948. aastal. Praegu on metaani sisaldus põhjapoolkera atmosfääris ligi 1.8 miljondikku mahuosa. Lõunapoolkera atmosfääris on tema sisaldus umbes 10 % väiksem. Atmosfääris olev metaani kogus on umbes 4800 miljonit tonni ja selle aastane

juurdekasv 1 % lähedal. Páris viimastel aastatel on juurdekasv aeglustunud. Samuti kui N<sub>2</sub>O imbub metaan atmosfääri pinnasest, veest ja muudest välistest allikatest koguseliselt 500-550 miljonit tonni aastas. Atmosfäärist väljub ja atmosfääris laguneb aastase juurdekasvu võrra vähem metaani. Metaan tekib orgaanilist ainet lagundavate anaeroobsete metanogeensete bakterite elutegevuse tulemusel. Need bakterid ei talu õhuhapnikku. Metaani looduslikeks allikateks on mäletsevad kariloomad (globaalselt 84 milj. tonni CH<sub>4</sub> aastas, aastane juurdekasv 1.3 %), riisipõllud (97 milj. tonni aastas, juurdekasv 1.1 %), looduslikud märgalad troopikas ja subboreaalses vööndis 40 ja 70 laiuskraadi vahel (110 milj. tonni aastas), termiitide pesakuhikud (12-14 milj. tonni aastas). Kariloomad ja riisipõllud on oluliselt antropogeensed allikad ja nende puhul on selge kasvutendents. Looduslike märgalade panus on kuivenduse tõttu mõõdukatel laiustel kahanenud. Antropogeensetest allikatest on olulised veel prügimäed (ligi 50 milj. tonni aastas). Ühe tonni tüüpiliste olmejäätmete anaeroobsel lagunemisel tekib 46-72 kg metaani. Troopikas massiliselt harrastatav alepõllundus ja karjamaade ülepõletamine koos põhjapoolkera metsatulekahjudega paiskab aastas atmosfääri ligi 50 milj. tonni metaani. Fossiilkütustes salvestatud metaan pääseb atmosfääri nende kaevandamise, transpordi, töötlemise ja tarbimise käigus. Gaasi ja nafta tootmise ja kasutamise käigus võib maailma mastaabis aasta jooksul sattuda atmosfääri kuni 40 milj. tonni metaani. Puurtornides põlema pandud gaasist umbes 20 % ei põle ära. Gaasiga ümberkäimisel esinevad piirkonniti suured erinevused. Arenenud riikides süüdatakse põlema mitte üle 1 % nafta puurimisel eralduvast gaasist. Lähis-Idas pandi veel hiljuti põlema 60 %. Venemaa nafta tootmisel paiskus arvatavasti atmosfääri palju rohkem gaasi kui näitas statistika. Metaan esineb ka kivisöe lademetes koostises ja eraldub atmosfääri söe kaevandamise ja transpordi käigus, kokku umbes 30 milj. tonni aastas. Söe põlemisel eraldub metaani atmosfääri tühiselt vähe. Bensiini- ja diiselmootoritest eraldub kokku atmosfääri vaid 1.3 milj. tonni metaani. Seejuures vanadest autodest ligi 1.5 korda rohkem kui uutest korrast autodest.

Suurem osa planeedi Maa metaanivarudest ei osale aktiivselt globaalses ringluses ega ole olemasolevate tehnoloogiatega tootmiseks kättesaadavad. See osa on salvestatud gaashüdraatidena ehk klatraatidena igikeltsas ja merepõhja setetes. Gaashüdraadid koos-

nevad tavalisest jääst erineva kuubilise struktuuriga, kuid ikkagi vee molekulidest koosnevast jääst, millesse iga 5.75 vee molekuli kohta on haaratud üks metaani molekul. Normaalingimustele viies saaks ühest gaashüdraadi kuupmeetrist 0.8 m<sup>3</sup> vett ja 164 m<sup>3</sup> gaasilist metaani. Gaashüdraatide eksisteerimiseks on vaja teatud piirist madalamat temperatuuri ja kõrgemat rõhku. Maismaa igikeltsas võib neid leida sügavamal kui 150 m, temperatuuridel alla 0° C. Ookeani setetes saavad gaashüdraadid püsida kui nende kohale jääb vähemalt 300 m paksune veekiht. Gaashüdraatide võimaliku eksisteerimise alumise piiri määrab geotermiline gradient. Suurt huvi pakub gaashüdraatides salvestatud metaan Maa kliima võimaliku loodusliku regulaatorina. Võrreldes praeguse metaanisaldusega atmosfääris (1.7 miljondikku) on see olnud põllumajanduse ja tööstuse eelsetel soojadel perioodidel 0.60-0.65 miljondikku ja jääaegadel vaid 0.30 miljondiku lähedal. On esitatud versioone, et atmosfääri CO<sub>2</sub> sisalduse suhteliselt kiire kasvu ja kahanemise ning sooja ja külma kliima vaheldumise põhjuseks on gaashüdraatides salvestatud metaan. Algtõuke selle vallapääsuks mandri igikeltsast võis anda Maa orbiidi tavapärasest muutumisest tingitud mõõdukas soojenemine polaar-laiustel. Õhu metaanisalduse kiire kasv 0.3 miljondiku võrra ehk ligi kahekordseks võis arvutuste kohaselt põhjustada järgneva oksüdeerumise kaudu CO<sub>2</sub> sisalduse tõusu 200 miljondikult jääajal kuni 300 miljondikuni jäävaheajal. Oksüdeerumise kiirust arvestades kulunuks selleks 4800 aastat, mis on heas kooskõlas paleoklimatoloogiliste faktidega. Metaani massiline vabanemine merepõhja setetest ei vaja eelsoojendust, vaid vastupidi, toimub hoopis kliima jahenedes. Jäätumisest tingitud veetaseme alanemisel väheneb rõhk merepõhjale ning setetes olevate klatraatide kristallstruktuur hakkab lagunema vabastades metaani molekule. Osa neist imub läbi maardla lae ja veekihi õhku. Rõhk maardla sisemuses väheneb järkjärgult ning maardla lagi langeb sisse. Selliseid sisse-langenud kohti leidub mandrilaval kõigis ookeanides. Kaudsete andmete põhjal näib tõepärane, et viimasel jääajal, 13 000-15 000 aastat tagasi, toimus ulatuslik metaanipurse arktilisest veealuselt gaashüdraatide maardlast. See sattus kokku Milankovitchi tsükli päikesepaiste maksimumiga. Tagajärjeks oli eriti Arktikas mõjuv globaalne soojenemine ja jääkilbi õhemate osade sulamine. See jällegi soodustas metaani väljavoolu mandri igikeltsast ja lahustunud CO<sub>2</sub> emissiooni soojenevast ookeanist. Kliima soojenedes hakkas intensii-

vistuv veeringlus kasvatama soid, mille bioproduktioon tarbis oht-ramalt CO<sub>2</sub> ja stabiliseeris olukorra. Antropogeenne metaanisalduse kasv atmosfääris võib osutada tähtsaimaks teguriks, mille kaudu inimkond saab kliimat mõjutada.

Stratosfääris olev osoon etendab maist elu bioloogilisi kudesid kahjustava kiirguse eest kaitsva ekraani ja ühtlasi kliimagaasi osa. Maalähedastes kihtides leiduv osoon on kliimagaas ja liigse kontsentratsiooni korral kahjustab taimi, loomi ja inimesi otseselt kui nende jaoks mürgine aine. Võrreldes möödunud sajandi teise poolega, mil tehti esimesi õhu osoonisalduse uuringuid, on troposfääri osoonisaldus kasvanud kahe- kuni kolmekordseks. Kogu atmosfääri osoonist paikneb troposfääris 10 %. Euroopa kohal kasvab troposfääri osoonisaldus 1.5 % võrra aastas. Stratosfääri osooni hulga vähenemine põhjustab jahtumist, troposfääri osooni juurdekasv aga soojenemist. Kuna mõlemad efektid kompenseerivad teineteist, siis ei ole praegu võimaliku summaarse muutumise suundki veel üheselt selge, rääkimata suurusest.

Peale selle, et kloorfluorsüsinikke ehk freoone peetakse stratosfääri osoonikihi hõrenemise peasüüdlasteks, on nad ka tõhusad kliimagaasid. Need tehnikud ühendid sünteesiti 1920-datel aastatel ja alates 1950-datest hakati neid suure soojusmahtuvuse tõttu massiliselt kasutama külmutusseadmetes ja konditsioneerides, samuti toorainena vahtplastide valmistamisel ja lenduva gaasina aerosoolpakendite sisu pihustamisel. Nende gaaside ohust osoonikihile on juttu edaspidi. Paljud freoonid ja kloori asemel broomi baasil sünteesitud haloonid või ka neid asendavad vesinikulisandiga molekulid on kliimagaasid, mille ühe molekuli kasvuhoooneefekt võib kümneid ja sadu kordi ületada CO<sub>2</sub> oma. Et enamusel taolistest ühenditest küünib eluiga atmosfääris kümnetesse ja sadadesse aastatesse, siis on nende mõju suure inertsi ja toimub kuhjumine atmosfääri. Põhilise osa kasvuhoooneefektist ja osoonikihi kahjustamisest põhjustavad seni kaks kõige massilisemalt kasutatud ühendit F11 (CFCl<sub>3</sub>) ja F12 (CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>), millised annavad vähemalt viiendiku selle ühenditegrupi summaarsest kasvuhoooneefektist. Lähikümnenditel võib CO<sub>2</sub> osa atmosfääri gaaside (ilma veeauruta) summaarses kasvuhoooneefektis langeda vähem kui poolele.

Kasvuhooonegaaside sisalduse muutumise ja pilvisuse suurenemise kõrval mõjutab kliimat planeedi pinna albeedo muutumine. Metsade maharaiumine ja kõrbestumine suurendavad albeedo ja suunavad

senisest suurema hulga pealelangevast kiirgusest maailmaruumi tagasi. Maa pinnakarakteristikute muutumise efekt globaalsele kliimale ei ole väga suur, kuna 70 % Maa pinnast katavad ookeanid. Lokaalse kliima jaoks võivad aga pinnakarakteristikute muutused osutada otsustavaks. Albeedo muutumisega kaasnevad muutused gaasivahetuses aluspinna ja atmosfääri vahel.

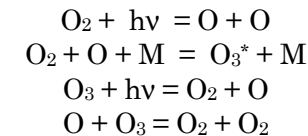
Seni tuntakse kliimasüsteemi üksteist vastastikku kompenseerivaid soojenemise ja jahtumise mehhanisme veel nii puudulikult, et detailsed järeldused tuleviku kliima kohta on pigem spekulatiivse kui teaduslikult põhjendatud iseloomuga. Tegutsemise plaanid tulevad siiski valmis mõelda ka tuleviku kõige ebasoodsamate variantide puhuks.

## 24. STRATOSFÄÄRI OSOONIKIHI HÕRENEMINE

Järeldusele osoonikihi olemasolu kohta troposfäärist kõrgemal jõuti 20. sajandi kahe esimese kümnendi jooksul kaudsete andmete põhjal. Selle kihi tekketeooria lõi S. Chapman 1930. aastaks ja veel veidi varem alustati G. Dobsoni initsiatiivil atmosfääri osooni koguhulga regulaarseid vaatlusi ehk osonomeetriat. Vaatlusvõrk on aja jooksul tihenunud seoses mitmete rahvusvaheliste programmidega. Pärast osooniaugu avastamist Antarktika kohal 1985. a. kuulub stratosfääri osoonikihi olukorra regulaarne jälgimine nii maapinnalt kui kosmosest tähtsaimate uuringute hulka. Osoonikihis neeldub bioloogilisi kudesid kahjustav lühilaineline päikesekiirgus ( $\lambda < 290$  nm täielikult ja  $290 < \lambda < 320$  nm osaliselt). Selle kihi hõrenemine võimaldab osaliselt neelduval kiirgusel enamal määral jõuda maapinnani. Osooni koguhulka atmosfääri vertikaalses sambas väljendatakse atmosfääri sentimeetrites või 1000 korda väiksemates Dobsoni ühikutes ( $DU = Dobson\ unit$ ) ehk milliatmosfäärisentimeetrites. Osooni koguhulk atmosfääri sentimeetrites tähendab kogu atmosfääris sisalduva osooni normaalingimustele taandatud kihi paksust. Tüüpiliselt on see meie laiuskraadil 0.3 ja 0.4 cm ehk 300 ja 400 DU vahel. Osooni tekkimise intensiivsus on kõige suurem ekvaatoril umbes 50 km kõrgusel. Kiirguse neeldumine osoonil ongi põhjuseks miks stratopausi kihi temperatuur nii kõrge on. Suurem osa tekkinud osoonist kantakse atmosfääri suuremastaabilise tsirkulatsiooniga pooluste suunas. Polaarsetel ja keskmistel laiuskraadidel avaldub atmosfääri osooni koguhulga aastane periood-

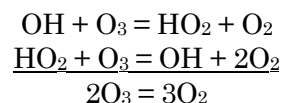
diline muutumine. Osooni koguhulga maksimum esineb kevadkuudel (põhjapoolkeral märtsis-aprillis, lõunapoolkeral septembris-oktoobris) ja miinimum sügiskuudel (põhjapoolkeral oktoobris-novembris). Maksimaalsed osoonisisaldused põhjapoolkeral on regulaarselt olnud suuremad kui lõunapoolkeral. Vaatamata intensiivsele osoonitekkele troopilises atmosfääris on osooni koguhulk seal aastaringselt väike, 260 DU tasemel. Kui tsirkulatsioon puuduks, siis peaks ekvaatori kohal olema ligemale 700 DU osooni. Põhjapoolkera osooni koguhulga maksimum on seni 675 DU ja lõunapoolkera oma 575 DU.

Tavaliselt on atmosfääri lisandgaasidel allikad ja äravoolud väljaspool atmosfääri. Stratosfääri osoonil kulgeb kogu tsükkel tekkimisest hävimiseni atmosfääri sees. Osooni molekul tekib tavalise hapniku molekuli ühinemisel hapniku aatomiga. Viimased tekiavad fotodissotsiatsiooni teel kiirguskvantide  $\lambda < 242.6$  nm toimel. Samaaegselt toimub osooni molekulide lagunemise protsess. Skemaatiliselt on kogu tsükkel järgmine:

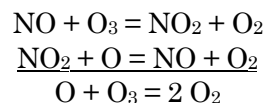


Tärnike tekkinud osooni molekuli juures näitab, et selles on talletatud energia ülejääk. Sellest vabaneb ta pörkumisel mõne neutraalse molekuliga, millisele üleantav liigne energia muutub edasiste pörgete käigus soojuseks. Osooni tekke protsessi kaudu toimub niiviisi stratosfääri, eriti aga stratopausi kütmine. Liiga hõredas õhus ei teki stabiilset osooni sel põhjusel, et puudub võimalus liigest energiast küllalt kiiresti pörke teel vabaneda. Teatavast kõrgusest madalamal aga jääb  $O_2$  molekulide dissotsiatsiooni põhjustava kiirguse tihedus nõrgaks. Kui määrati piisava täpsusega ülaltoodud Chapmani teooria reaktsioonide kineetika, siis selgus, et ainult hapnikuga arvestav teooria suudab seletada vaid 1/5 tasakaaluks vajalikust osooni molekulide lagunemisest. Alles alates 1960-datest aastatest selgus, et tekkiva osooni lagunemise protsessides on määravaks mitmete katalüsaatorite osalus. Katalüsaatorid on ühendid, mis osalevad  $O_3$  tagasi  $O_2$ -ks regenereerivas protsessis, kuid lõppproduktidesse endast jälgi ei jäta ja võivad osaleda reaktsioonitsüklis korduvalt kuni satuvad osa võtma hoopis mõnest muust reaktsioonist. Esimese sellise lüli hüdroksüüli kui katalüsaatori osavõtu näol osooni lagunemise prot-

sessist lisasid osooni tasakaalu teoriasse J. Hampson ja B. Hunt 1964. a.:

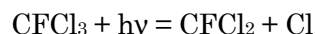


Üldsuse hirm osoonikihi võimaliku hõrenemise ja isegi hävimise ees tekkis pärast 1970. a., mil P. Crutzen esitas mehhanismi  $\text{NO}_x$  kui katalüsaatori osaluse kohta osooni lagunemises:

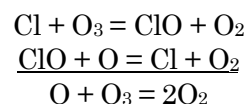


Järgnes üldine tauniv hoiak stratosfääris ja troposfääri ülakihtides lendavate lennukite kui potentsiaalsete osoonikihi hävitajate suhtes. Tegelikult ei osutu lennukite panus märkimisväärseks.

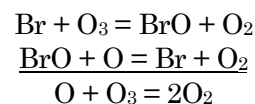
Aastal 1974 lisasid osooni lagunemisse freoonide mehhanismi ligikaudu samaaegselt M.J. Molina ja F.S. Rowland ning R.S. Stolarski ja R.J. Cicerone. Nimelt lagunevad troposfääris inertsed kloorfluorsüsinikud ja nende sarnased ühendid stratosfääri ülakihtidesse sattudes ultraviolettkiirguse  $\lambda < 220$  nm toimel ja vabanenud kloor toimib osooni lagunemise efektiivse katalüsaatorina. Näiteks F11 laguneb



ja järgneb:

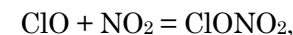


Analoogselt klooriga toimib broom. Õieti on broomi katalüütiline toime tunduvalt tugevam kui kloori oma. Teda lihtsalt leidub atmosfääris oluliselt vähem ja seetõttu kantakse broomi arvele vaid 10 - 20 % seda tüüpi katalüütilisest lagunemisest. Broom satub atmosfääri tulekustutussüsteemides kasutatavatest halonitist. Umbes kolmandiku broomi allikaks on taimekaitsevahendina massiliselt kasutatav metüülbromiid  $\text{CH}_3\text{Br}$ . Broomi osavõtul toimuvad katalüütilised reaktsioonid on täiesti sarnased kloori osalusel toimivatega:



Kõik ülaltoodud katalüütilised reaktsioonid toimuvad stratosfääris paralleelselt ja samaaegselt. Gaasilises stratosfääris põhjustab ligi poole osooni katalüütilisest lagunemisest hüdroksüüli tsükkel. Mesosfääris on tema osakaal veelgi suurem. See tsükkel on inimtegevusest vähem mõjutatud kui ülejäänud ja seetõttu vähem tähelepanu all. Vaatamata omaaegsetele ränkadele süüdistustele on lämmastiku tsükli mõju kõige tagasihoidlikum piirdudes vaid 20 % kogu katalüütilise lagunemise mahust. Väga suurel määral on inimtegevusest mõjustatud kloori ja broomi tsüklid. Osoonikihis toimuvate sündmuste üksikasjad on valdavalt selgunud viimase 15 aasta jooksul ja mõndagi on siiani selgumata. Kõigepealt peatume põgusalt viimasel ajal kummutatud, kuid ikka veellevivatel väärarusaamadel.

Esimene levinud väärarvamuses on, et mida suurem on osooni lagunemise katalüsaatorite summaarne sisaldus atmosfääris seda enam osoonikiht hõreneb ja hõrenemine toimub igal pool enam-vähem ühtlaselt. Tegelikult astuvad erinevad katalüsaatorid sageli omavahelistesse reaktsioonidesse, millel pole mingit tegemist osooniga. Eriti kehtib see lämmastiku ja kloori kohta. Siin toimub katalüsaatorite osalusel kõige kergemini reaktsioon:



mille lõppprodukt on suhteliselt stabiilne ja osoonile ohutu atmosfääri reservuaargaas. Osooni jaoks muutub olukord ohtlikuks hoopis siis, kui kas ClO või  $\text{NO}_2$  (ehk Cl või NO) on teise ees suure ülekaalus. Siis suundub kogu ülejääk reageerima osooniga. Osoonikihi keemiline hõrenemine stratosfääris toimubki seal, kus taolised ühe katalüsaatori suure ülekaalu olukorrad aset leiavad. Põhiliselt osutub see võimalikuks vaid polaaröö tingimustes, kui lisaks langeb temperatuur teatud kriitilisest piirist madalamale.

Teine väärarusaam peab osooni tekkimise-lagunemise keemias oluliseks vaid gaasi faasis toimuvaid reaktsioone. Vahetu osooni tekkimine lagunemine tõepoolest käibki gaasi faasis, kuid reaktsioonides osalevate erinevate katalüsaatorite produtseerimisel ja eemaldamisel etendavad põhilist rolli heterogeensed reaktsioonid tahkete aerosooli osakeste pinnal või vedeliku tilkade sisemuses. Aerosooli vahendusel toimub kaks osooni lagunemise suhtes väga olulist protsessi - kloori konverteerimine osooni suhtes passiivsest vormist aktiivsesse ( $\text{HCl} \rightarrow \text{ClO}$ ) ja aktiivsete lämmastikuühendite ( $\text{NO}_x$ ) eemaldamine stratosfäärist. Osooniaugu avastamine Antarktika kohal

1985. a. oli üllatuseks ka selle ainevalla parimatele asjatundjatele, sest olemasolevad teadmised atmosfääri kohta ei näinud sellist asja ette. Avastus andis tõuke osoonikihi ja kogu stratosfääri koordineeritud põhjalikule uurimisele. Paari aastaga sai osooniaugu tekkimise mehhanism selgeks. Üldjoontes kulgeb see järgnevalt. 1. Külma polaaröö jooksul moodustub Antarktika mandri kohale püsiv õhukeeris ehk polaartsüklon. Haarates ka alumise stratosfääri kui kõige enam osooni sisaldava kihi takistab ta osoonirikama välisõhu juurdevoolu sinna ja üldse õhuvahetust pöörise väljaspool oleva ümbrusega. 2. Pöörise sees langeb talve jooksul alumise stratosfääri temperatuur nii madalale, et esmalt (temperatuuril  $-77$  kuni  $-78^{\circ}\text{C}$ ) külmub jääks lämmastikhappe trihüdraat  $\text{HNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  ja edasisel jahtumisel kuni ligi  $-85^{\circ}\text{C}$  ka tavaline veeaur. Vastavalt külmunud osakeste iseloomule eristatakse kaht tüüpi polaarseid stratosfääri pilvi. Esimest tüüpi lämmastikhappe trihüdraadist pilvede osakeste keskmine raadius on suurusjärgus  $1\ \mu\text{m}$ . Teist tüüpi, peamiselt tavalisest jääst pilvede osakeste raadius on kuni  $100\ \mu\text{m}$ . Viimased sadestuvad atmosfäärist välja märksa kiiremini kui esimesed. Sadestuvate osakestega viiakse stratosfäärist välja oluline osa  $\text{NO}_x$  materjalist. Seda protsessi nimetatakse denitrifikatsiooniks (mõnikord ka denoksifikatsiooniks, rõhutades  $\text{NO}_x$  eemaldamist). Samuti toimub veeauru ärastamine ehk dehüdratatsioon. Aerosoolil toimub talve jooksul peale denitrifikatsiooni kloori konversioon aktiivsesse vormi, tavalise  $\text{HCl}$  asemel  $\text{ClO}$  ja  $\text{Cl}_2$ . Polaarpäeva hommikul lammutab kiirus  $\text{Cl}_2$  hõlpsasti atomaarseks  $\text{Cl}$ . Sellise talvise keemilise töötlemise järel ületavad  $\text{Cl}$  ja  $\text{ClO}$  sisaldused õhus kuni 500 kordselt tavalise ja  $\text{NO}_x$  sisaldus on tunduvalt alla tavalise. Selle tõttu algab intensiivne osooni katalüütiline lagunemine, mis leiab aset vaid nendel kõrgustel kus talvel olid polaarsed stratosfääri pilved. Ülal ja all on olukord tavaline. Pilved ongi umbes nendel kõrgustel, kus muidu on kõige enam osooni. Kokkuvõttes väheneb osooni koguhulk atmosfääri sambahas kuni pooleni tavalisest. Episooditi võib kahanemine olla veelgi suurem. Ekvaatori suunast saabuv osoonirikas õhk hakkab polaartsükloni areaali pääsema alles pärast selle tsükloni lagunemist soojenemise tõttu. Et soojenemise tekitab päikesekiirguse neeldumine osooni molekulidel, kuid osooni on vähe, siis lükkub normaalse olukorra taastumine paari kuu võrra hilisemale ajale. Kahe-kolme kuu vältel on peaaegu kogu Antarktika kontinendi suurune ala osooniaugu olukorras. Osooniaugu

lagunemise ja täitumise käigus liiguvad osoonivaese õhu keeled ekvaatori suunas. Üldse on kevadel tendents stratosfääri õhu liikumiseks ekvaatori poole. Sügisel on valdav vastupidine tendents. Üldiselt on teada, et osooni koguhulga vähenemine atmosfääri sambahas  $1\%$  võrra suurendab maapinnani jõudva erütemse (naha punetust tekitava) ultraviolettkiirguse intensiivsust  $2\%$  võrra ja see omakorda nahavähki haigestumise tõenäosust juba  $4\%$  võrra. Päevitaja filosoofiast lähtuv vaatepunkt on liiga jõude inimese keskne. Tegelikult peaks hoopis enam muretsema Antarktika rannavete fütoplanktoni saatuse üle, mis jääb mitmeks kuuks ebaharilikult tugeva UV kiirguse kätte. Kui sellega midagi katastroofilist juhtub, siis tabab nälg ka toitumishela järgnevaid lülisid.

Põhjapoolkera polaaralade stratosfäär, olles mere kohal, ei jahtu nii madalate temperatuurideni kui lõunapoolkera oma. Keskmiselt on see  $10$  kraadi võrra soojem. Siiski on stratosfääri seni madalaim temperatuur ( $-93.6^{\circ}\text{C}$ ) registreeritud põhjapoolkeral Kiruna kohal. Põhjapoolkera polaartsüklon ei ole korrapärase kujuga. Selles sakilises ja vonklevas tsüklonis ringlev õhk satub ka polaaröö ajal korduvalt päevavalgusesse. Polaarseid stratosfääri pilvi esineb põhjapoolkeral harvemini ja need kuuluvad enamasti esimesse liiki. Siiski on nad jaanuari lõpus ja veebruaris sageli olemas, kuid reeglina kaovad enne kui valgeks läheb. Seega on osoonikihi lõunapoolkera omaga sarnaste häirete võimalus piiratud ulatuses olemas vaid talve lõpul. Halvaks uudiseks on viimaste aastate tähelepanekud, et märgatavad osoonikihi hõrenemised leiavad aset ka põhjapoolkera tiheda inim-asustusega laiuskraadide kohal. Detailides on põhjapoolkera osoonikiht palju keerulisem ja ebakorrapärasem kui lõunapoolkera oma. Heitlikkuse põhjused on enamikus dünaamilised, kuid kevadeti võib ilmnedada ka oluline keemiline mõju. Kuni  $\pm 30\%$  küündivaid lühiajalisi kõrvalekaldeid osoonikihi tavalisest paksusest esineb kõigil aastaaegadel ja nad on põhjustatud kas troposfääri ülaosa rõhuvälja kontrastidest või stratosfääris liikuvatest valdavalt troopikast pärit osoonivaese õhu massidest. Troopikas on osoonikiht üldse õhem ja eriti vähe osooni leidub stratosfääri alumistes kihtides. Sellise õhu "keeled" põhjustavad vähemalt Euroopa kohal enamuse osoonikihi negatiivsetest häiretest, sagedamini kevadel ja harvem sügisel. Osoonikihi häireid põhjustab ka heterogeenne keemia stratosfääri väävelhappe tilkadest koosneval aerosoolil. Põhjapoolkeral on seda



rohkem kui lõunapoolkeral. Sulfaatne aerosool avaldab soodustavat toimet ka polaarsete stratosfääri pilvede tekkele, kuid tema tilkades võivad toimuda ka samad heterogeensed reaktsioonid, mis polaarsete stratosfääri pilvede osakestel. Alati on osoonikihi häired suuremad pärast tugevaid vertikaalseid vulkaanipurskeid. Siis on väävelhappe aerosooli palju enam kui tavaliselt. Pärast viimast sellist, 1991. a. toimunud Mt. Pinatubo pursket olid osoonikihi häired eriti suured. Peale selle, et purse ise oli võimas, mängis siin tähtsat osa stratosfääri kuhjunud kloori ja broomi kogus, mis iialgi varem pole nii suur olnud. Otse HCl konversioon aktiivseteks ühenditeks toimub väävelhappe tilkades ka ainult polaarsetes atmosfääris. HCl tungimine väävelhappe tilkadesse osutub pindpinevuse takistava toime tõttu võimalikuks vaid 60 % ja lahjema väävelhappe korral. Mõõdukatel ja ekvatoriaallaiustel koosnevad need tilgad aga keskmiselt 75 % hapest. Sellistes tilkades osutub siiski võimalikuks broomi konversioon ja nii peetaksegi põhjapoolkera osoonikihi keemilistest häiretest isegi kuni 40 % põhjustatuks broomist või broomi ja kloori koosmõjust.

## 25. AEROSOOL ATMOSFÄÄRIS

Viimastel aastatel on järjest enam selgunud aerosooli vahendajaroll atmosfääri saastumise ja saastast puhastumise protsessides. Atmosfääri puhastamise soodustamise kõrval aitab aerosool mõnel juhul ka saastumise toimet võimendada. Õhu molekulide mõõtmed on 0.1 nm suurusjärgus. Oluliselt suuremaid õhus hõljuvaid tahke aine osakesi või vedeliku tilgakesi nimetatakse aerosooliks. Üldjoontes on aerosooli tekkeks kaks teed - materjali abrasioon maapinnalt (või veepinnalt tilgakeste õhkupuhumine) ehk desintegratsioon ja õhus olevate molekulide ning radikaalide liitumine suuremateks üksusteks. Valmiskujul õhku tõstetud aerosooli nimetatakse sageli primaarseks, õhus tekkinud aerosooli aga sekundaarseks. Troposfääri, eriti selle maalähedase kuni 2 km ulatuva kihi aerosooli jagatakse mereliseks ja mandriliseks. Rannikualade aerosool on tavaliselt mõlema tüübi segu, milles olenevalt tuule suunast prevaleerib üks või teine. Osakeste keskmise raadiuse järgi jagatakse aerosool

Aitkeni osakesteks  $0.001 < r < 0.1 \mu\text{m}$ ,

suurteks osakesteks  $0.1 < r < 1 \mu\text{m}$  ja

gigantseteks osakesteks  $r > 1 \mu\text{m}$ .

Keemilise koostise järgi jagatakse teda orgaaniliseks ning anorgaaniliseks ja edasi juba konkreetse elementkoostise alusel näiteks sulfaatseks aerosooliks, tahmaks jne. Päritolu alusel jagatakse aerosooli ka looduslikuks ja antropogeenseks.

Kõige ohtralt leidub aerosooli maalähedases kihis, kus tema koostis, jaotus osakeste suuruse järgi ning muud omadused varieeruvad väga suurtes piirides. Troposfääri aerosoolisisaldus kahaneb kõrguse kasvades. Tiheda inimasustusega alade kohal esineb seosoonne käik nii aerosooli koguhulgas kui kõrgusjaotuses. Alates kevadest muutub atmosfäär hägusemaks, talve jooksul aga puhtamaks. Suvel tõstab intensiivsem konvektsioon aerosooli ka troposfääri kõrgematesse kihtidesse. Talvel on atmosfääri konvektsioon mandrite kohal tunduvalt nõrgem ja aerosooli koguhulk atmosfääris väiksem, vaatamata isegi kütmisele. Tropopausi kõrgusel on aerosooli kontsentratsioon nii suvel kui talvel 3 suurusjärku madalam kui maapinna lähedal. Viimasel ajal täheldatakse sageli kõrgema kontsentratsiooniga kihi esinemist tropopausis. Stratosfääri alumistes kihtides ei erine aerosooli koostis eriti troposfääri ülemiste kihtide omast. Mõni kilomeeter tropopausist kõrgemal asetseb mitme kilomeetri paksune horisontaalselt ebahomogeenne sulfaatse aerosooli kiht ehk Junge kiht (nimetatud kihi avastas 1957-1959 tehtud uurin-gute käigus Chr. Junge). Selle kihi keskmine kõrgus ekvaatori ümbruses on 22-23 km ja kesklaaiustel 17-18 km. Tavalises olukorras on aerosooli kontsentratsioon selles kihis vähemalt suurusjärgu võrra suurem kui tropopausis. Avastamise aastatel oli see sulfaatse aerosooli kiht tunduvalt hõredam kui praegu ja võimalik, et veel varem puudus üldse. Atmosfääri läbipaistvus vahemikus 1910-1960 oli üldse erakordselt hea. Junge kihi aerosool koosneb 70-75 % väävelhappe tilgakestest. Polaarlaaiuste kohal võib hape olla lahjem, isegi vaid 50 %. Sulfaatse aerosooli kihis eristatakse tavalist nn. fooniolukorda ja tugevate vulkaanipursete järgset olukorda. Fooniaerosooli tekke seletas 1976. a. P. Crutzen. Ehkki väävlit sisaldavaid gaase sisaldub troposfääri õhus ohtralt on enamik neist sedavõrd lühikese elueaga, et ei saa tõusta olulistest kogustest stratosfääri. Ainult karbonüülsulfiidi COS eluiga on vähemalt 0.5 aastat, mõnedel hinnangutel aga koguni 4-7 aastat. Ekvaatori regioonis tõusva õhuga piisavalt kõrgele sattunud COS muundub pärast mitmete keemiliste reaktsioonide läbimist SO<sub>2</sub> -ks ja edasi juba koos veega väävelhappeks. Kõrgel tekkinud väävelhape on gaasilises olekus ja

kondenseerub vedelikuks vaid piisavalt madalal temperatuuril. Osakeste nukleatsioon toimub üsna õhukeses kihis sobivate temperatuuritingimuste ülapiiril. Madalamal kondenseerub gaasiline väävelhape vedelikuks juba olemasolevatel tilkadel ja uusi kondensatsioonituumi ei teki. Analoogselt kondenseerub põhiliselt SO<sub>2</sub> -st tekkiv väävelhape ka troposfääris ja hakkab teatud kõrgusest alates moodustama kondensatsioonitsentreid pilvevee tilkadele. Stratosfääris algab esialgne nukleatsioon ligi 30 km kõrgusel, millist üldiselt peetakse kõige aerosoolivabamaks kõrguseks. Tekkivad tilgakesed on esialgu nii väikeste mõõtmetega, et muutuvad optiliselt jälgitavaks alles pärast kasvufaasi läbimist ja laskumist mitme kilomeetri võrra. Fooniaerosooli sisaldus stratosfääris kasvab käesoleval ajal 5 % aastas.

Vulkaanipurskeid on mitmesuguseid ja igal purskel on oma individuaalne gaaside ja mineraalne ehk tuha segu. Alati sisaldavad purske gaasid ohtralt veeauru, süsihappegaasi ja vääveldioksiidi. Vääveldioksiid ja vesi on väävelhappe aerosooli tooraineks. Mineraalne peen tuhk ei püsi stratosfääris üle 1.5 kuu ega jõua levida eriti kaugele purske laiuskraadist. Kitsas laiuskraadide vööndis võib tuhalehvik venida küll üsna pikaks. Kogu väljapaisatav SO<sub>2</sub> läheb paari kuu jooksul üle gaasiliseks väävelhappeks, millest edasi algab pidevalt kestev sulfaatse aerosooli osakeste teke, kasv ja atmosfäärist väljasadenemine. Et toorainet on ohtralt, siis kasvab võrreldes fooniaerosooli olukorraga suuremaks ka keskmine piisk. El Chichoni 1982. a. purskel paiskus stratosfääri 8 miljonit tonni väävligaase, Mt. Pinatubo 1991. a. purskel oli see kogus koguni 20 miljonit tonni. Mt. Pinatubo purse oli gaaside koguse poolest võrreldav kuulsa Krakatau 1883. a. purskega ja jäi kahe viimase sajandi pursetest alla vaid Tambora 1815. a. purskele. Seega pole ka stratosfääri osoonikihi eriti märgatavad häired 1992. ja 1993. aastal midagi muud kui harvaesineva loodusnähtuse inimtegevusest võimendatud tagajärg. Inimtegevuse tagajärjeks on selles atmosfääri suur kloori ja broomisaldus, millist looduslikud protsessid polegi suutelised tekitama.

Maalähedases kihis sõltub mereline aerosool geograafilisest piirkonnast oluliselt vähem kui mandriline, kuna põhiosas on ta pärit merevee pinnalt. Tema tekkemehhanism selgitati välja alles 1950-datel aastatel. Enne arvati, et selle aerosooli algmaterjaliks on tuulega veepinnalt üles puhutud piisad ja vaht. Sellisel teel tekivad

pikemat aega õhus püsimiseks liiga rasked piisad. Merelise aerosooli põhiaineteks on vees sisalduvate ja pinnale tõusvate õhumullide lõhkemine. Õhumulli ümbritseva pindpineva kesta purunemisel tekivad 0.1 - 0.2 µm mõõtmetega tilgakesed. Mullide põhjast ja vahelt paiskuvad üles mõne mm lähimõõduga tilgakesed. Nii tekib merelisele aerosoolile tüüpiline kahe maksimumiga suurusjaotus. Päikese käes tilgakeste vesi aurustub ja öisel ajal kondenseerub allesjäänud soolade ümber. Nii võib merelise aerosooli osakeste suurus pidevalt muutuda. Et aerosooli lähtekohaks olevas vee pindkihis kogunevad pindaktiivsed ained, sealhulgas saasteained, siis on nende sisaldus ka merelises aerosoolis suurem kui merevees endas. Põhimõtteliselt võiks merelise aerosooli keemiline koostis kajastada ka merevee saastatust, eriti selliste lisanditega nagu Pb, Hg, Cd. Looduslikust aerosoolist moodustab mereline ligi poole.

Maalähedase kihi kontinentaalne aerosool on koostiselt kõige mitmekesisem. Umbes pool või enamgi sellest on tõenäoliselt tuuleerosiooni produkt. Osa elemente ja ühendeid on pinnasest kergemini eraldatavad ja neid esineb aerosooli koostises vastavalt rohkem. Sellised on Si, Ca, Fe, Al ja Mn soolad ning oksiidid. Kontinentaalse aerosooli põhiline lahustuv komponent on ammoniumsulfaat. Vähemalt 10 % kontinentaalsest aerosoolist on orgaanilist päritolu - õietolm, seente eosed, puulehtede lagunemise jäägid jne. Taimede vahendusel satub õhku märkimisväärselt raskemetallide (Pb, Cd, Zn) ühendeid. Ruutkilomeetrilt hea täituvusega taimkattelt võib aasta jooksul atmosfääri lenduda kuni 10 kg Zn ja 5 kg Pb.

Metsatulekahjustest, diiselmootorite heitgaasidest ja muudest põlemisega seotud allikatest eraldub atmosfääri peent süsinikaerosooli ehk tahma, mis muu hulgas on eriti mõjus päikesekiirguse nõrgendaja. Kui arenenud riikides muidu saastekoormused pidevalt vähenevad, siis tahma (*soot*) kohta see ei kehti. Tahm ise ei ole mürgine, kuid tema pinnal toimuvad mitmesugused toksiliste produktidega heterogeensed keemilised reaktsioonid. Tüüpilised kontinentaalse aerosooli osakesed läbimõõtudega 0.5 µm ümber püsivad troposfääri õhus keskmiselt 10 ööpäeva ja võivad selle ajaga läbida pikki vahemaid. Tüüpiline arktiline vine tekib tänu kontinentidelt tuulega sinna kantud aerosoolile.

Üheks esmaseks aerosooli karakteristikuks on osakeste jaotus suuruse järgi. Korrektno on see sfääriliste osakeste korral. Ebakorrapärase kujuga osakesi püütakse enamikul juhtudel kirjeldada ekvi-

valentse ruumalaga sfääradena. Osakeste suurusjaotuse uurimine võimaldab jaotuse erinevate moodide kaudu selgitada ka aerosooli erinevaid allikaid. Mitmete protsesside suhtes on oluliseks karakteristikuks ruumalaühikus leiduvate osakeste kogupindala, eriti siis kui tegemist on üht tüüpi aerosooliga. Osakeste keemilised omadused olenevad nende suurusest. Atmosfääris tekkiva aerosooli puhul on olulised nähtused homogeenne nukleatsioon kui osakeste tekkeprotsess, tekkinud osakeste kondensatsiooniline kasv, koagulatsioon ja sadestumine. Vastavalt sellele kas sadestumine toimub kuivast õhust või sademetega räägitakse kuiv- ja märgsadestumisest (*dry and wet deposition*).

Atmosfääri aerosooli tekkimisel ja dünaamikas on oluline osa aeroionisatsioonil. Kõige üldisemas tähenduses mõistetakse aeroioonide all elektriliselt laetud osakesi ja nende kogumeid. Atmosfääris toimub samaaegselt nii aeroioonide teke kui nende rekombinatsioon. Gaaside molekulide ioniseerimisel tekivad elementaarsed aeroioonid ehk molioonid. Molioonide ühinemisel gaasi molekulide või aatomi-tega tekivad kompleksed ehk kerged aeroioonid, mis püsivad koos elektrostaatiliste jõudude toimele. Peale elektrostaatiliste jõudude võivad aeroioonide koospüsimisel olulist osa etendada keemilise sideme jõud. Mida suuremad ja raskemad on aeroioonid, seda väiksem on nende liikuvus atmosfääris. Õhu ionisatsiooni põhjustab maalähedases kihis maapõuest pärinev  $\beta$  ja  $\gamma$  kiirgus ( $\alpha$  kiirgus neeldub pinnases). See kiirgus tekitab 1 m kõrgusel keskmiselt 3-5 ionipaari/(cm<sup>3</sup> · s). Õhu enese looduslik radioaktiivsus tekitab seal veel 3-4 ionipaari/(cm<sup>3</sup> · s) ja kosmiline kiirgus 1 ionipaari/(cm<sup>3</sup> · s). Veel põhjustavad õhu ionisatsiooni lokaalsed ajutise iseloomuga nähtused. Õhu saastatus mõjutab kergete aeroioonide kontsentratsioonile. Puhtas kõrgmäestiku õhus võib olla 3000-4000 iooni/cm<sup>3</sup>, saastatud õhus aga kõigest 50-100 iooni/cm<sup>3</sup>.

Ionisatsiooniallikate toimele tekivad õhus positiivsed ioonid ja vabad elektronid. Viimased ühinevad kiiresti neutraalsete molekulidega ja moodustavad negatiivsed ioonid. Õhus leiduvad vee molekulid on kergesti polariseeritavad ja neist moodustub aeroioonide ümber 1-8 vee molekuli paksune kest. Osa selliseid ioone sadestub õhus leiduvatele aerosooli osakestele. Vee molekulid võivad õhus moodustada ka suuremaid, isegi kuni 80 vee molekulist koosnevaid kogumeid. Kui need omandavad laengu, siis muutuvad nadioonklastriteks. Klastrid on võimelised endasse haarama õhu saaste-

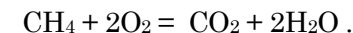
lisandite molekulide. Taolisel teel moodustuvad linnaõhus esinevad udud ja sudud, milliste hulgas eristatakse eriti kaht põhitüüpi - Londoni udu ja Los Angelese tüüpi fotokeemilist udu ehk sudu (suits + udu).

Londoni tüüpi udu on kivisöe suitsu ja tavalise udu segu, milles esinevad küllaltki suured tahma osakesed ja väävelhappe tilgakesed. Sellisele udule tüüpiline on peale nähtavuse piiramise kantserogeen-sete polütsükliiliste süsivesinike sisaldus.

Los Angelese tüüpi fotokeemiline udu tekib orgaaniliste ühendite aurude ja lämmastikoksiididega NO<sub>x</sub> (NO<sub>x</sub> = NO + NO<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>O + N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> + N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) rikastatud õhus päikesekiirguse toimele. Osakeste suurus on keskmiselt väiksem kui Londoni udus. Aerosool koosneb tilkadest, mille pinnal on auramist takistav kile.

## 26. SOOJUSENERGEETIKA ATMOSFÄÄRI SAATAJANA

Kuni aurumasina kasutuselevõtuga alanud tööstusrevolutsioonini olid põhilisteks atmosfääri saastajateks elamute küttekolded. Soojusenergeetikas on senini kütteiniks süsinikühendid, mille põlemise loomulikeks lõppproduktideks on süsihappegaas ja vesi. Näitena on toodud metaani põlemine:



Põletades süsiniku asemel vesinikku, pääseksime CO<sub>2</sub> emissioonist, kuid vesinikenergeetika ei ole seni tehnoloogiliselt küps kasutamiseks. Praegu kasutatavate kütuste põlevaks osaks on süsinik, mille sisaldus igas tarbitavas kütuses on erinev. Kivisöe süsinikusisaldus ulatub 85 %, küttepuudes ja turbas on see 35 %. Peale põleva osa sisaldub igas kütuses ballastaine vee ja mineraalne näol. Kivisöe niiskus on 5 % ümber, kuivadel küttepuudel 35 %, briketil ja põlevkivil 10 %. Mineraalne ballastaine moodustab põlemise käigus tuha. Eriti ohtralt, kuni 50 % esialgselt massist, tekib tuhka põlevkivi põletamisel.

Peale põlemise loomulike lõppproduktide eraldub põlemise käigus atmosfääri mitmesuguseid lisandeid, millistest osa on äärmiselt ebasoovitavad. Nende ebasoovitavate lisandite ehk põlemisprotsessi saasteainete tekkepõhjused on üldjoontes kahte liiki. Osa neist tekib kütuse koostises leiduvate lisandite tõttu, teine osa aga sellest, et põlemise protsess ei kulge ideaalselt ja täielikult.

Kütustes sisalduvatest lisanditest on kõige keskkonnaohtlikum väävel. Käesoleval ajal on looduslikku aineringsusse tulevast väävlist üle poole antropogeenset päritolu. Soojuselektrijaamade ja katlamajade panus sellesse antropogeensesse osasse on umbes 60 %. Värvilise metallurgia summaarne panus on 25 % ja musta metallurgia oma 12 %. Süsinikkütustes sisalduv väävel ühineb põlemise käigus hapnikuga nagu süsinik ja eraldub õhku oksiididena  $\text{SO}_2$  ja  $\text{SO}_3$ . Masuudi ja söe põlemise suitsus on nende omavaheline proportsioon vastavalt 9:1. Nii ongi soojusenergeetika iseloomulik saasteaine vääveldioksiid. Loomulikult eraldub seda atmosfääri ka transporti liikumapanevatest põlemisprotsessidest ja eriti suurtes kontsentratsioonides värvilise metallurgia ettevõtetest (võib esineda kuni 30 korda kõrgemaid kontsentratsioone kui katlamajade suitsus). Vääveldioksiid avaldab otsest kahjulikku toimet taimedele, kuid rohkem probleeme tekitab temast õhus moodustuv väävelhape. Gaasiline  $\text{SO}_2$  vähendab okaspuude okaste fotosünteesivõimet,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  aga söövitab okaste vaha kihti ja põhjustab okaste nekroosi. Inimestele mõjub  $\text{SO}_2$  hingamisteid ärritavalt, eriti astmaatikutele ja allergikutele. Muudab hingamise raskemaks. Väävelhappe tekkeprotsessi atmosfääris soodustab süsivesinike ja lämmastikoksiidide olemasolu.

Maagaasis sisalduv väävlist tühiselt vähe ja seetõttu on ta süsinikkütustest kõige keskkonnasõbralikum. Kivisöe väävlistisaldus kõigub vahemikus 0.2 - 6 %. Pruunsöe väävlistisaldus on keskmise kivisöe omast kõrgem. Eesti põlevkivi väävlistisaldus ulatub 2 % lähedale. Nafta väävlistisaldus mahub vahemikku 0.1 - 2 %. Nafta töötlemise käigus jääb aga peaaegu kogu väävel masuudiks minevate raskete fraktsioonide koostisse. Keskkonna väävliireostust põhjustab seega eriti söe ja masuudiga kütmine. Mitmes riigis esitatakse väga kõrgeid nõudeid imporditavate kütuste väävlistisaldusele.

Tuharikaste kütuste põletamisel jääb osa väävlist sulfaatidena tuha koostisesse. Eesti põlevkivis on oluliseks lisandiks lubjakivi, mis neutraliseerib happesust. Ida-Virumaa suurte elektrijaamade ümbruses on pinnas happelise asemel tugevalt aluseline. See takistab happelist keskkonda vajava sootaimestiku kasvu.

Vastavalt transkontinentaalse saastumise vastasele konventsioonile pidid selle osalised riigid vähendama  $\text{SO}_2$  emissiooni 1993. aastaks 30 % võrra võrreldes 1980. aasta tasemega. Realiseerida saab seda kas efektiivsete puhastusseadmete rakendamise või saastava

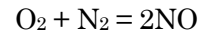
tootmise piiramisega. Eestis osutus selle nõude täitmine lihtsaks, kuna elektrijaamade võimsusest osutus ligi pool nagunii ülearuks.

Vähemal määral sisalduv süsinikkütustes kloori. Kivisöes leidub seda keskmiselt 0.15 %. Küttepuudes sisalduv kloor eraldub atmosfääri metüülkloriidi  $\text{CH}_3\text{Cl}$  kujul, kuni 2 mg puidu orgaanilise aine grammi kohta. Et kloor on plastmasside üks põhiline koostisosa, siis on nende põletamine atmosfääri kloori ja soolhappe allikaks.

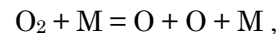
Põlemisprotsesside saastava toime teine põhjus seisneb selles, et kogu süsinik ei põle lõpuni vaid osa lendub atmosfääri mitmesuguste reaktiivsete vaheproduktidena. Viimaste sisaldus suitsugaasides sõltub temperatuurist küttekoldes, korstna tõmbest ja muudest asjaoludest. Üheks üldiseks põhjuseks on hapniku vähesus. Tihti peetakse puudega ahjukütmist keskkonnaohutuks. Tegelikult jääb puudega kütmisel temperatuur küttekoldes suhteliselt madalaks (alla  $900^\circ\text{C}$ ) ja sellises olukorras tekivad kergesti polütsüklilised aromaatsed süsivesinikud (*polycyclic aromatic hydrocarbons*), mis ühinevad kergesti õhu aerosooli osakestega ja on kantserogeensed. Tuntuimaks neist on benzo(a)pireen. Polütsükliliste aromaatsete süsivesinike sisaldus on kõrge linnade saastatud õhus ja tulekahjude piirkonnas. Kõige kõrgemad kontsentratsioonid (kuni  $1000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) on registreeritud kõrgahjugaasis. Sigaretisuitsus sisalduv polütsüklilisi aromaatsed süsivesinikke kuni  $100\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Atmosfääri õhus ei ületa nende suurimad sisaldused tavaliselt  $20\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Et polütsüklilised aromaatsed süsivesinikud adsorbeeruvad kergesti tahma osakestel, siis ongi tahm nende kontsentreeritud kandjaks. Valguse toimel oksüdeeruvad nad lõpuni. Saastatud õhus esineb ka teisi süsivesinikke, mis samuti võivad kuuluda fotokeemilise udu koostisse. Peale põlemise ja lendumise naftaproduktidest satub süsivesinikke atmosfääri ka looduslikest protsessidest. Üheks tähtsamaks allikaks on looduslik taimkate, millest on määratud seni 367 erineva süsivesiniku eraldumist atmosfääri. Põhiosa neist moodustavad terpeenid. Küttekollete puhul vähendab polütsükliliste aromaatsete süsivesinike emissiooni temperatuuri tõstmine. Mittetäieliku põlemisega kaasneb ka vingugaas CO, mille sisaldust suitsus vähendab parema tõmbe abil hapnikuvarustuse parandamine. Suurte soojuselektrijaamade ja katlamajade suitsugaasides on CO/ $\text{CO}_2$  suhe alla  $10^{-4}$ . Madala korstnaga küttekollete suitsus võib see olla isegi üle  $10^{-2}$ . Kogu atmosfääris leidub hetkeliselt kuni 500 miljonit tonni CO. Enamus sellest, kuni 2/3, on metaani hüdroksüülige hapendumise vahepro-

dukt. Kuni 1/5 CO on pärit taimkattest. Peamiselt eraldub see õhku klorofülli lagunemise käigus sügiskuudel. Antropogeensed allikad ei anna seni üle 6 % CO emissioonist atmosfääri. Põhiosa sellest on pärit sise põlemismootoritest. Kõrged CO kontsentratsioonid ristmikel ja eriti tiheda liikluse kohtades põhjustavad mürgitusi, kuna CO ühineb punaste verelibledega kuni 30 korda paremini kui hapnik ja takistab sellega organismi hapnikuvarustust. Atmosfääri CO bilanss on üldiselt tasakaalus. Põhiliselt oksüdeerub CO edasi CO<sub>2</sub> reageerides hüdroksüüluga.

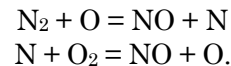
Kolmas põlemisprotsessidega vältimatult kaasnev saaste probleem on lämmastikoksiidide NO<sub>x</sub> emissioon atmosfääri. Neid, nagu muidki atmosfääri saasteaineid tekib ka looduslikes protsessides (äike, bioloogilised protsessid). Atmosfääri tehnilik saastumine nendega toimub läbi kõrgtemperatuuriliste protsesside. Lõpptulemus



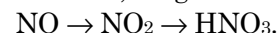
realiseerub läbi komplitseeritud tsükli, mis algab hapniku molekuli dissotsiatsioonist mõne suure kineetilise energiaga molekuli toimel



millele järgneb



Soojuselektrijaamade suitsus on nende oksiidide omavaheline proportsioon 90 - 95 % NO ja 5 - 10 % NO<sub>2</sub>. Neist NO toime elusorganismidele on sarnane CO toimele. Et aga NO kontsentratsioon atmosfääris on CO omast oluliselt väiksem pole tema negatiivne mõju hapnikuvarustusele eriti suur. Tervisele hoopis ohtlikum on NO<sub>2</sub>, mis kahjustab kopsu ja hingamisteid, olles üheks astma põhjuseks. Arenenud riikides jälgitakse õhu NO<sub>2</sub> sisaldust väga hoolikalt. Et NO tekib kergemini kõrge temperatuuri ja hapniku külluse korral, siis on võimalik tema sisaldust vähendada andes vähem õhku. Keemilised reaktsioonid, mis algavad NO- st, kulgevad suunas



Lämmastikoksiidid NO<sub>x</sub> mõjutavad oluliselt õhu osoonisisaldust. Stratosfääris on nad osooni lagunemise üheks katalüsaatoriks, troposfääris ja osalt isegi stratosfääri päris alumistes kihtides aga soodustavad nad osooni teket. Viimasel juhul on tsükli teisteks osalisteks metaan või teised süsivesinikud, vingugaas ja hüdroksüül.

Eesti suurimad õhusaastajad on Balti Elektri jaam ja Eesti Elektri jaam. Kolmandal kohal on Kunda Nordic Cement. Tolmpõlevkiviga köetavate elektrijaamade suitsus on põhiline saastekomponent lubjakivitolm ja alles seejärel gaasid.

## 27. TRANSPORT ATMOSFÄÄRI SAASTAJANA

Kõik kaasaja transpordi liigid saastavad keskkonda. Kõige keskkonnohtlikum nende hulgas on autotransport, eriti karburaatormootoriga autod. Kõige ohtlikumaks saastekomponendiks on heitgaasid, kuid atmosfääri ja selle kaudu keskkonna teisi komponente saastavad ka bensiiniaurud, õlitussüsteemi lekked ja konstruktsioonis kasutatavad polümeersed plastmassid. Üheks transpordi keskkonnasõbralikkuse kriteeriumiks loetakse viimasel ajal raudteetranspordi ja autotranspordi mahtude suhet. paradoksaalsena mõjub selle näitaja järgi Venemaa eriti suur keskkonnasõbralikkus.

Autode heitgaasid sisaldavad üle 200 erineva keemilise ühendi. Diiselmootori heitgaaside koostis on keskkonnale üldiselt soodsam kui karburaatormootori oma. Diiselmootori töötamisel paiskub õhku suhteliselt palju tahma, mis iseenesest ei ole mürgine, kuid mille külge seotakse mitmesuguseid mürgiseid ühendeid. Mootorites toimub põlemine tavalise atmosfääriõhu toimel ja enamasti on mootorid reguleeritud kütusega rikastatud segule. See tingib lõpuni oksüdeerimata produktide väljumist heitgaaside koostises. Autotranspordi karakterseks saastegaasiks on CO, mille antropogeenselt panusest atmosfääri annab autotransport umbes 60 %. Maailmas keskmiselt sõidab olemasolevast rohkem kui 400 miljonist autost igaüks aastas umbes 15 000 km, kulutades 4 350 kg O<sub>2</sub> ja paisates õhku 3 250 kg CO<sub>2</sub>, 530 kg CO, 93 kg muid süsinikühendeid ja 23 kg NO. Tetraetüülplii lisandiga bensiini kasutamisel kuulus sellesse komplekti ka 1 kg pliid. Praeguseks sõidetakse ka Eestis pliivaba bensiiniga. Intensiivse liiklusega ristmikel on õhus CO üliküllus, mis põhjustab seal palju viibivate jalakäijate organismis hapnikuvaeguse. CO kõrval on autode oluliseks saasteaineks küllastumata süsivesinikud.

Lihtsaimad süsinikühendid koosnevad ainult süsinikust ja vesinikust ja neid nimetatakse üldiselt süsivesinikeks. Looduslik gaas ja nafta koosnevad valdavalt alkaanide ehk parafiinide gruppi kuuluvatest süsivesinikest (metaan CH<sub>4</sub>, etaan C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, propaan C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, butaan

C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> jne.). Üldiselt on nende ühendite puhul nii, et mida enam süsiniku aatomeid seda kõrgem külmumis- ja veeldumistemperatuur. Seega on kergemad neist tavaliste temperatuuride vahemikus ainult gaasilises olekus, 5 kuni 10 süsiniku aatomit sisaldavate alkaanide segu püsib tavalistes ilmastikutingimustes vedelal kujul ja on kasutusel bensiini nime all. Veel raskemad ühendid esinevad tavalistel temperatuuridel pooltahkel kujul. Nafta töötlemisel kasutatakse ühendite erinevat aurustumistemperatuuri nende eraldamiseks. Veel rakendatakse krakkimist ehk raskemate ühendite tükeldamist mõõdukale suurusele ja polümerisatsiooni ehk kergete ühendite liitmist raskemateks. Sisuliselt toimub ka mootoris põlemata jäänud süsivesinikega krakkimise protsess ja väljuvad gaasilised kerged süsivesinikud. Ühekordsete süsiniksidemetega seotud süsivesinikke nimetatakse küllastunud süsivesinikeks. Süsivesinikes võivad süsiniku aatomid olla omavahel seotud ka kahe- või kolmekordsete sidemetega. Sellised ühendid on võimelised kergesti haarama oma külge vesiniku asemel halogeenide ja muude elementide aatomeid. Sellest tulenevalt nimetatakse neid küllastumata süsivesinikeks. Struktuuris ei tarvitse süsiniku aatomid paikneda reas nagu alkaanide korral. Kui 6 süsiniku aatomit moodustavad suletud ringi, siis selliseid ühendeid, milledest lihtsaim on benseen C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, nimetatakse aroomaatseteks süsivesinikeks. Nimi tuleneb sellest, et enamik taolisi ühendeid haisevad tugevasti. Heitgaaside koostisele on iseloomulikud kerged küllastumata süsivesinikud.

Kuni Eesti taasiseseisvumiseni tarvitati ka siin bensiini, millesse oli lisatud tetraetüülpliid Pb(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>. Heitgaasidega lendub 70 % pliiat atmosfääri. Seejuures sadestub 30 % kohe teekattele, ülejäänud 40 % jääb mõneks ajaks õhku ning sadestub seejärel 30 - 50 m laiuses teeäärses ribas. Vahetult teede ääres kasvavat heina poleks tohtinud loomasöödana tarvitada, samuti kasvatada toiduks minevaid põllukultuure vahetult teede ääres. Eesti elanikud ei teadvustanud endile pliireostuse ohtusid kuigi adekvaatselt. Plii ja teised raskemetallid akumulieruvad organismis. Plii koguneb luudesse, lihastesse ja ajusse ning põhjustab vereloomehäireid ja teisi ohtlikke haigusi. Eriti ohtlik on plii lastele, kelle organism omastab pliid täiskasvanu omast kuni 2 korda kiiremini. Suurlinnade elanikud saavad hingamise kaudu kuni 0.1 mg pliid päevas. Veel enam pliid satub sinna toidu ja veega. Vaatamata pliiga bensiini vältimisele on ikkagi 70 % maailma

praegusest pliireostusest pärit autode varasemast pliibensiiniga sõidust. Pliireostusega kaasneb kaadmiumireostus. Arenenud riikides peetakse autotranspordi saaste üle üpris täpset arvet, eriti nn. ohtlikes piirkondades, kus on üldine saastefoon kõrge. Kui muude saasteallikate toime piiramisel on arenenud riikides viimasel kahel kümnendil tehtud pidevaid edusamme, siis transpordi saaste tase kasvab pidevalt mõne olulise komponendi osas. Eriti ilmne on see tahma, lämmastikoksiidide ja neist tingitud osooni puhul.

Eestis on informatsioon transpordi saaste kohta puudulik. Autode arvu kohta on nüüdseks andmed olemas, kuid kütusemüügi mahtude kohta on need jätkuvalt puudulikud. Illegaalne kütuseäri ja mootorikütuse tempimine nn. "komponentidest" pole senini kadunud järel on lootust arvepidamise kordasaamiseks.

Transpordi ja soojusenergeetikaga tihedas seoses on taimedele, loomadele ja inimestele kahjulikku toimet avaldavad maalähedase õhukihi osooni kõrged kontsentratsioonid. Osooni atmosfääris ja mõistagi just maalähedases kihis avastas austria keemik Schönbein 1839. a. Antiseptilisest toimest tulenevalt oletati osoonis sisalduvat mingit erilist elujõudu. See arvamus pole senini kadunud. Et osoonirikast õhku peeti tervislikuks, siis alustati mitmetes Euroopa ja isegi Lõuna-Ameerika linnades õhu osoonisalduse regulaarseid määramisi nn. Schönbeini meetodiga. Meetod on sarnane lakmuspaberi abil lahuste pH määramisega. Kaaliumjodiidi KJ lahusega immutatud ja seejärel kuivatatud filterpaberit eksponeeriti varjus ja kuivas atmosfääriõhus kas 12 või 24 tundi ja seejärel niisutati veega. Õhus olev osoon oksüdeeris kaaliumjodiidi trijodiidi ionideks, millised neelavad intensiivselt kollast kiirgust. Määramine käis spetsiaalselt koostatud kromaatilises skaalas sinise värvuse intensiivsuse järgi. Schönbeini test on väga tundlik õhu relatiivse niiskuse suhtes ega anna seetõttu eriti kõrget täpsust. Oli võimalik ka täpsem laboratoorne analüüs, kuid massiliselt ega igal pool seda ei olnud võimalik teha. Käesoleval ajal pakuvad vanad vaatlusandmed täiesti teaduslikku huvi, sest nende põhjal on õnnestunud selgitada saastamata atmosfääri osoonisisaldus. Selgub, et see on olnud praegusest 2 kuni 3 korda väiksem. Massilise transpordi ajastu eelsest märgatavalt kõrgemana ei kujuta ka praegune osooni üldine foon otsest ohtu. Ohtliku taseme saavutab maalähedase õhu osoonisisaldus tema tekkimiseks eriti soodsates olukordades, millise loovad intensiivne päikesekiirgus ja kõrge NO<sub>x</sub> ja süsivesinike

sisaldus õhus. Olukorrad, mil maalähedase õhukihi osoonisisaldus tõuseb tavaliselt 10-30 miljardikult mahuosalt 90-100 või linnades kuni 300 miljardiku mahuosani, võivad kesksuvel saabuda järsku ja kesta kümme päeva. Mingit kahju tekitavad kõik juhused, mil osoonisisaldus küünib õhus üle 40 miljardiku mahuosa. See põhjustab teravilja saakide vähenemist, pidurdab puude kasvu ja kutsub esile mitmesuguste materjalide tavalisest kiiremat lagunemist. Tekitatud efekt oleneb kõrgendatud osoonisisalduse käes viibimise summaarsest ajast. 1988. a. lepiti rahvusvaheliselt kokku kriitilised läved kolme erineva keskmistamise ajavahemiku puhuks: 75 miljardikku ühe tunni keskmisele, 30 miljardikku 8 tunni keskmisele ja 25 miljardikku kella 9 kuni 16 kestva seitsmetunnise ajavahemiku jaoks terve vegetatsiooniperioodi vältel. Teraviljasaaki kahjustavate saasteainete hulgas on osoon esikohal. Osoon reageerib paljude orgaaniliste polümeeridega. Viimaste tundlikkus osooni suhtes kasvab sõltuvalt süsiniku aatomite vaheliste topeltsidemete arvust. Autokummid, elektriinstallatsiooni kummist detailid ja muud sarnased tooted muutuvad osooni toimel hapraks. Ameerika Ühendriikides hinnatakse maalähedase osooni tekitatud kahju 2.5 miljardile dollarile aastas. Osooni toimel muutub pudedaks ka tekstiilide koostises olev tselluloos ja pudenevad värvained. Materjalide jaoks on ohtlik pidev ülemäärane osooni kontsentratsioon, mitte lühiajalised ekstremaalsed väärtused. Muuseumide ja näitusesaalide osoonisisaldus ei tohiks seetõttu olla üle 13 miljardiku mahuosa. Inimestele mõjuvad kõrged osooni kontsentratsioonid eelkõige hingamisteedele. Osooni olemasolu õhus tugevdab ühtlasi teiste hingamisteid mõjustavate gaaside toimet.

## 28. TÖÖSTUS ATMOSFÄÄRI SAATAJANA

Tööstuse mõistesse mahub nii lai tootmisharude ja tehnoloogiate valik, et sellest vaevalt on võimalik anda mingit lühikest ja adekvaatset ülevaadet. Tööstusest atmosfääri paisatavate saasteainete nimesitik sisaldab peaaegu kõiki tuntud saasteaineid. Tööstus tekitab paiksete saasteallikate võrgu, mis teatud piirkondades on ülimalt kontsentreeritud ja teistes peaaegu puudub üldse. Tööstuse juurde võiks haarata ka soojusenergeetika saasteallikate võrgu. See sõltub aga kõige enam asustustihedusest ja on asustatud aladel jaotunud

ühtlasemalt kui tööstus. Samuti on selle saasteallika toime igal pool üsnagi sarnane.

Kõige üldisemas plaanis saastab tööstus atmosfääri tolmu ja gaasidega. Lokaliseeritud saasteallikate tõttu on saasteainete kogus õhus planeedi eri regioonide kohal suuresti erinev. Ookeanide akvatooriumide kohale jääb atmosfääri summaarsest saastest kõigest 0.1 %, mandri suurtest linnadest ja ühendusteedest eemal asuvate alade kohale 1 %, linnade kohale 13 % ja suurte tööstusregioonide ning liiklusmagistraalide kohale 86 %.

Tolmuga saastab atmosfääri eriti mõjusalt ehitusmaterjalide tööstus. Lubja tootmisel paiskub iga tonni toodangu kohta õhku kuni 200 kg tolmu, sama koguse kipsi kohta 140 kg ja tonni tsemendi kohta parimal juhul 15 kg tolmu. Kundas läks varem lendu kuni 8 % toodangust. Eestis praegu toimuv tööstuse restruktureerimine töötab saastumise mõttes tekitada senisest märksa soodsama olukorra. Majanduse elavnedes kasvab jällegi ka ehitusmaterjalide tööstuse tähtsus, kuid see läheb üle moodsale tehnoloogiale või peab suurte saastetrahvide tõttu lõpetama pankrotiga.

Massiliselt levinud tööstusharudest mustmetallurgia, mida Eestis ei ole, paiskab atmosfääri ohtralt tolmu ja kõrgahjude, koksipatareide ning konverterite heitgaase. Kõrgahjugaas sisaldab kuni 25 % CO, koksigaas aga keskmiselt 25 % CH<sub>4</sub> ja 6 % CO.

Värviline metallurgia emiteerib atmosfääri eriti kontsentreeritud SO<sub>2</sub>. Peale selle esineb heitgaasides lisanditena Se, Te, Sb, As ja teisi mürgiseid elemente.

Keemiatööstuses on kaalukal kohal hapete tootmine. Väävelhappe tootmise käigus lendub atmosfääri põhiliselt SO<sub>2</sub>, kuna selle oksüdeerumine SO<sub>3</sub>-ks ei toimu täielikult. Lämmastikhappe tootmisel lendub õhku NO ja NO<sub>2</sub> segu. Fosforväärtiste tootmisel on õhu saasteaineteks fluori ühendid fluorosilaan SiF<sub>4</sub> ja fluorvesinikhape HF. Fluori ühendid lenduvad atmosfääri ka alumiiniumi, klaasi ja keraamika tootmise käigus. Need on äärmiselt mürgised ja akumulieruvad kergesti heintaimedes, kust edasi satuvad läbi kariloomade inimeste organismi ja põhjustavad rasket haigust fluoroosi. Varem, kui Maardus valmistati fosforväärtisi, oli fluoroos selles piirkonnas levinud haigus.

Tselluloosi keetmisel on kasutusel kaks menetlust. Sulfaatmenetluse puhul on iseloomulik saasteaine ebameeldiva lõhnaga väävelvesinik. Sulfitmenetlus on keskkonna suhtes soodsam, kuid ikkagi seotud mõnesuguse koguse SO<sub>2</sub> imbumisega õhku.

Kloori ühendeid satub õhku ettevõtetest, kus valmistatakse soolhapet, kloorlupja, värvaineid, kloororgaanilisi pestitsiide, polüvinüülkloriidi ja teisi plastmasse ning polümeere.

Varem on Eestis külmutusseadmetest ja põldude väetamisest õhku sattunud arvestatavaid koguseid ammoniaaki.

Soojusenergeetika ja transpordi saasteained on üldjoontes universaalsed ja hästi tuntud. Nende puhul on suhteliselt lihtsalt võimalik hinnata saastemahtusid ja modelleerida saastelevi. Igat tööstusettevõtet tuleb saastumise aspektis eraldi uurida, analüüsides läbi nii tooraine, tehnoloogilise protsessi kui heitmed. Suured firmad peavad sel otstarbel palgal eraldi osakondi. Väikeettevõtetele käib see üle jõu ja neile teevad keskkonnaekspertiisi sellele spetsialiseerunud firmad. Ekspertiisi tulemuseks ei ole üksnes nõuanded vaid ka täielik kaasvastutus.

Ligi kolmandik maailma 18 000 kivisöe (ja põlevkivi) kaevanduste aheraine puistangutest põleb. Enamasti isesüttimise tõttu. See põhjustab 2 % globaalsest atmosfääri saastest ja paiskab õhku kuni 23 milj. tonni CO, 2 milj. tonni SO<sub>2</sub>, 28 milj. tonni NO ja 0.9 milj. tonni H<sub>2</sub>S aastas. Eestis on selliste puistangute all üle 4 km<sup>2</sup> ja ka neist osa põleb.

Eriti tugevasti oli õhk saastatud endise N. Liidu ja teiste nn. sotsialismileeri tööstuslinnades. Kesk-Euroopas paiknevad ettevõtted andsid suure panuse Euroopa üldisesse saastefooni. Ka käesoleval ajal tekitavad naaberriikidele probleeme Koola poolsaarel asuvad Venemaa metallurgiatehased. Nii Soomes kui Norras on leitud, et oma kirdenurkade keskkonna olukorra parandamise huvides tuleb teha investeeringuid Venemaale. Suhteliselt robustse tööstuse saaste vähendamise küsimus tekitab moodsamate tehnoloogiatega harjunud spetsialistidele mõnikord ootamatuid probleeme. Näiteks on selgunud, et ainult korstnast väljuvate suitsugaaside efektiivne puhastamine ei parandagi oluliselt olukorda, kuna suur osa saasteainetest imbub välja läbi lekkiva seadmestiku. Gaasiliste ühendite kõrval on tervisele ohtlikud mitmesugused tööstusliku aerosooli liigid, mille koostises on räni, kaltsiumi ja süsiniku kõrval metallide oksiide. Nendest plii, tsingi, nikli, seleeni, arseeni, antimoni, berülliumi, kaadmiumi, vismuti, kroomi, koobalti ja molübdeeni oksiidid on üpris toksilised. Tugev kantserogeenne toime on asbesti kiududel. Aerosoolide koostises leiduvatest orgaanilistest ühenditest on allergilise,

mutageense või kantserogeenne toimega eriti aromaatsed küllastumata süsivesinikud.

Enne Eesti taasiseseisvumist paiskas sinne tööstus, elektriijaamad kaasa arvatud, aastas õhku üle 600 tuhande tonni saasteaineid, millest umbes pool olid gaasilised ja pool tahke tolmu või tuha näol. Enamus saasteainetest pärines soojuselektriijaamadest. Praegu töötavad viimased poole koormusega. Saasteaineid eraldub vähem, kuid nende koostis on sama. Põlevkivikeemia ettevõtted Kohtla-Järvel ja Kiviõlis paiskavad õhku ligi 20 000 tonni heitmeid, millest pool tekib põlevkivi töötlemisest ja teine pool juba konkreetsete toodete valmistamisest. Tüüpiliste saastegaaside SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ja CO kõrval on neile heitmetele iseloomulikud süsivesinikud, ammoniaak, vesiniksulfiid, fenoolid, formaldehüüd ja karbamiid. Eesti paiksete allikate saaste on mõne aastaga vähenenud kuni pooleni varasemast peamiselt tootmismahtude vähenemise arvel. Kui Kohtla-Järvel ületas 1991. a. väävelvesiniku, fenoolide ja formaldehüüdi sisaldus õhus lubatud piirkontsentratsiooni kuni 10 korda, siis juba 1992. a. ei ületanud ta seda üle 4 korra. Peale kahe suure elektriijaama Eesti tööstuses Euroopa kriteeriumide järgi suuri saasteallikaid ei ole. Valdavate tuultega liiguvad need saasteained sagedamini ida kui lääne ja ka ülejäänud Eesti suunas. Soome jaoks on need siiski oluliseks saasteallikaks umbes 19 000 tonni väävliga aastas. Et 90 % saasteaineid sadestub õhust juba 30 km raadiuses allikast, siis on Kirde-Eesti ja Tallinna ümbrus oluliselt saastunud. Lisaks põlemisega kaasnevatele tüüpilistele väävli- ja lämmastiku ühenditele kannab põlevkiviga köetavate elektriijaamade suits keskkonda aastas keskmiselt ka 50 tonni pliidi, 30 tonni elavhõbedat, 30 tonni tsinki ja 20 tonni vaske. Raskemetallide sisaldus on põlevkivis suhteliselt suur.

## 29. HAPPEVIHMAD

Rahvusvahelisel tasemel keskkonnaprobleemiks on happevihmad tunnustatud 1974. aastast. Probleem ise pole aga nii uus. Inglismaal oli tööstuse õhusaaste halb toime taimedele, loomadele ja inimestele teada juba 17. sajandi keskel. Vähemalt seostati inimeste suremuse statistika tööstuspiirkondades selgelt õhu kvaliteediga, ehkki selle kvaliteedi kvantitatiivseid näitajaid õieti polnud. Samast ajast on teada ka saaste kauglevi Inglismaalt Prantsusmaale. Juba siis soovitati ehitada kõrgemad korstnad ja viia saastavad ettevõtted linnast



välja. Termini happevihmad võttis kasutusele inglise keemik R.A. Smith, kes 1852. a. avaldas töö Manchesteri ümbruse vihmade koostise kohta. Kakskümmend aastat hiljem ilmus temalt kapitaalne teos sademete koostise pikemaajalistest uuringutest, milles sisaldus ka termin happevihm (*acid rain*). Selles raamatus leiduvad paljud olulised happevihmade seaduspärasused, mis on taasavastatud alles 100 ja enam aastat hiljem. Nende hulgas ka fakt, et vihmade happesuse peapõhjuseks on väävelhape ja tähtsuselt järgmisel kohal lämmastikhape. Pärast Smithi ei toimunud praktiliselt mingit süstemaatilist sademete ja sadestumise uurimist kuni käesoleva sajandi viiekümnendate aastateni, mil Ameerika Ühendriikides hakati uurima hapete sadestumise mõju järvede ökosüsteemidele. Ka see ei leidnud veel laiemat kõlapinda. Tänapäevasel tasemel toimuva massilise uurimistöö alguseks võib pidada 1960-datel aastatel rootsi mulla-teadlase S. Odeni algatusel rajatud Skandinaavia pinnavete keemiliste uuringute võrku, mis tegutses koos selleks ajaks juba olemasoleva Euroopa õhukeemia vaatlusvõrguga. Samal ajal, s.o. 1970. a. paiku tõstatati happevihmade probleem üldsuse ees ka Ameerika Ühendriikide tugevasti saastatud idarannikul.

Hapete tooraineks on mitmed väävli, lämmastiku jne. ühendid (*acid precursors*), millistest edasise oksüdeerumise ja veega ühinemise järel tekivadki happed. Saastamata atmosfääris on hapete eellasteks CO<sub>2</sub> ja orgaanilised happed. Saastunud atmosfääris on lisaks olemas väävelhappe, lämmastikhappe ja soolhappe eellased. Kogu happevihmade keemia ei ole seni lõpuni selge. Oluliseks etapiks teel algmaterjalist hapeteni on oksüdeerumise protsess. Õhus gaasi faasis toimuvates reaktsioonides on peamine oksüdeerija OH radikaal. Vedeliku faasis toimuva oksüdeerumise korral oksüdeerub SO<sub>2</sub> väävelhappeks vesinikülhappendi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ja osooni abil. Oksüdeerijate teket atmosfääris soodustavad omakorda fotokeemilised reaktsioonid lenduvate orgaaniliste ühendite (*volatile organic compounds, VOC*) osavõtul. Viimaste sisaldus atmosfääris tuleneb olulisel määral inimtegevusest.

Põhiosa vihmavees olevatest sulfaatidest on tekkinud SO<sub>2</sub> oksüdeerumisel vedeliku faasis. Kui palju SO<sub>2</sub> oksüdeerub ja muutub happeks sõltub H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kontsentratsioonist. Tavaliselt ei piisa seda kogu olemasoleva SO<sub>2</sub> oksüdeerimiseks.

Sademete happesust iseloomustavatest ionidest mõõdetakse harilikult SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ja Cl<sup>-</sup>, määrates nende kontsentratsioonid mg/l.

Samaaegselt nimetatud anioonide kontsentratsioonidega määratakse sageli ka kaasnevate katioonide H<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> ja K<sup>+</sup> kontsentratsioonid. Happesust iseloomustavate ionide sisaldus pilvedes ja udus on tavaliselt 5 - 10 korda suurem kui sademetes. Kõige madalamad pH väärtused õhus, kuni 2, ongi mõõdetud pilvede piiskades. Mägipiirkondade happekahjustused tulevadki vahetult pilvedest. Kui maapinnani ulatuvad pilved esinevad üle 10 % ajast, siis kahjustavad nad kindlasti metsi. Enne tõhusate meetmete rakendamist õhusaaste piiramisel, s.o. aastatel 1964 - 1974, küündis sademete aastane keskmine pH mitmete Ameerika Ühendriikide ja Euroopa tööstuspiirkondade ümbruses 4 lähedale. Endise N. Liidu aladel sel ajal sademete pH regulaarseid mõõtmisi siis veel ei tehtud või kui tehti, siis ei avaldatud.

Kui vihm ei saja just kivilinna, siis puutub langev vihmapiisk esmalt kokku taimkatte elementidega. Kuival ajal on lehtede ja okaste pinnale sadestunud mitmesuguse koostisega tolmu (*dry deposition*). See pestakse vihmaveega maha ja ta lahustub osaliselt selles pesuvees. Sadanud vihmavee keemiline koostis võib selle esmase kontakti käigus oluliselt muutuda. Üldreeglina okasmetsa kooslustesse sadanud vihma happesus kasvab ja lehtmetsa sadanud vihma oma kahaneb. Jõudnud maapinnani ja imunud läbi mulla ülemise, orgaanilist ainet ohtralt sisaldava horisondi haarab vesi kaasa lahustuva süsiniku, aga ka K<sup>+</sup> ning SO<sub>4</sub><sup>-</sup> ionid. Sügavamal neutraliseerivad mulla mineraalsed osised enamasti osa vihmavee happesusest. Veelgi sügavamal vähendab mulla mikroobide oksüdeerumisaktiivsus orgaanilise süsiniku sisaldust vees ja lisab mulla poorides olevasse õhku CO<sub>2</sub>. Osaliselt lahustub see CO<sub>2</sub> uuesti vees ja tõstab süsihappe H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> kontsentratsiooni. Kui vesi ja muld osutuvad tugevalt happeliseks, siis vabanevad pinnasest Al<sup>3+</sup> ionid, mis on taimedele mürgised. Kui suhe (Ca + Mg)/Al kaldub alumiiniumi kasuks, siis kahjustuvad taimede narmasjuured. "Alumiiniumimürgitus" on happelistes muldades (pH < 5) oluline taimede kasvu pidurdav tegur, mis muudab rakuseinad jäigemaks ja vajalikele ainetele halvemini läbipääsetavaks, pidurdab rakkude pooldumist ja fikseerib fosforit juurtele raskemini omastatavates vormides.

Ojade ja jõgede kaudu järvedesse mineva ning põhjavette imuva vee keemia sõltub põhiliselt lõplikku asukohta viiva tee pikkusest ja materjalist, milles vesi liigub. Kui vesi ise on happeline, siis lahustab

ta kivimeid. Paljanduvate happeliste kivimitega ja vähese taimkattega aladel kahjustavad happvihmad veekogusid kõige enam. Happevihmadega kaasneb rida tüüpilisi keskkonnakahjustusi. See regionaalseks peetav saaste levib tuhandete kilomeetrite kaugusele.

Taimkatte, sealhulgas põllukultuuride ja metsade kahjustused tekivad nii hapete tooraineks olevate gaaside kui otse hapete toimel. Vahetu toime avaldub taime maapealsele osale või siis läbi mulla juurtele. Kuivsadestusega satuvad taimedele gaasilised  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  ja vähemal määral  $\text{HNO}_3$ . Päeval lehe pinnale kogunenud  $\text{SO}_2$  imbub öösel lehe sisse. Sellest  $\text{SO}_2$  päevane maksimum. Õhu kestev  $\text{SO}_2$  sisaldus ei tohiks ületada põllukultuuride puhul  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja metsas ning teistes looduslikes ökosüsteemides  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Eksistentsi kriitilistes tingimustes olevate taimede taluvuslävi on madalam.

Happevihmade tekkeprotsess allpool pilvi ja pilvedes on erinev. Allpool pilvi paiknevas kihis on happevihmade teket uuritud põhjalikumalt. Seejuures varasemates uuringutes käsitleti ainult gaaside vahetust veepiisaga, sedagi vaid  $\text{SO}_2$  osas. Viimasel ajal jaotatakse happevihmade mõttes olulised atmosfääri kihid kaheks regiooniks. Ülemine on pilvede regioon, kus vihmapiisad tekivad ja alumine saasteregioon, kus paikneb enamuse saastegaasidest ja aerosoolist. Aerosooli füüsikalisi ja keemilisi karakteristikuid on uuritud juba aastaid ja need on osutunud õige varieeruvateks. Aerosooli pH väärtused on kohati  $<4.5$  ja kohati  $>7$ . Vastavalt võib aerosool avaldada vihmale nii happelist kui aluselist toimet. Üldiselt on happeline toime tugevam ja sagedasem.

### 30. VEEKOGUDE SAASTAMINE

Paralleelselt õhu saastumisega saastuvad pinnas, vesi ja biosfäär. Hüdrofääri saastekoormus osutub eriti suureks, sest sinna suubuvad saasteained tööstuse, põllumajanduse heitvetega ning atmosfäärist väljapestud saast. Üldises plaanis eristatakse vete puhul mehaanilist (keemiliselt neutraalset), keemilist, bioloogilist ja soojuslikku saastumist. Keemiliselt neutraalne hõljum vees võib olla nii mineraalse kui orgaanilise päritoluga ja olulisel määral loomulike looduslike protsesside tagajärjeks. Kuid ta võib olla ka inimtegevuse tekitatud, näiteks mäenõlvadel kasvanud metsade liigse raie tõttu. Vahetu vete saastamine puudutab põhiliselt mandrite vett, kuid saastunud vesi jõuab lõpuks välja meredesse ja ookeanidesse. Ookeani mandrilähe-

dased alad saastuvad ka atmosfääri kaudu ja intensiivse liiklusega laevateede piirkonnad laevade heitmetest. Sadamates võivad laevade korstnad põhjustada jälle olulist õhu saastamist.

Vete reostus on mitmekesine nii reostavate ainete valiku kui reostuse toime poolest. Kõige otsesemat ohtu tervisele kujutavad joogivee kaudu levivad nakkushaigused ja mürgitused. Bakteritega ja viirustega saastumine toimub kõige drastilisemal viisil siis, kui fekaalid satuvad mingil viisil otse joogivette. See oht on paljudes madala elustandardiga üleasustatud linnades ja külates reaalselt olemas. Taolisel viisil levib koolera. Arenenud maades on joogivesi haigustekitajate suhtes töödeldud, kuid tervisele põhjustavad ohtu vette sattunud arvukad kemikaalid. Ka need põhjustavad haigestumist.

Kõige primitiivsemad vee kvaliteedi karakteristikud on vee maitse, lõhn ja värvus. Silmanähtavad kõrvalekalded nendes näitajates hoiatavad vett vähemalt joogiks kasutamast. Sageli puuduvad aga saastatud veel sellised ilmselged tunnused ja otsustada saab alles pärast vastavaid analüüse. Vett reostavaid aineid klassifitseeritakse üldiselt nende päritolu ja toime alusel. Mida väiksemad on määratavate ainete sisaldused vees seda keerukamat tehnoloogiat tuleb nende määramiseks rakendada.

Põhiühikuteks, millistes toimuvad biokeemilised protsessid, on rakud. Raku sisemuses olev deoksüribonukleiidhappeid sisaldav tuum "juhhib" rakkude pooldumise ja koe kasvu protsessi. Rakk on täidetud tsütoplasma, milles sisalduvad raku olulised struktuurid. Mütochondria vahendab energia muundumist ja kasutamist raku. Ribosoomid osalevad proteiinide sünteesis. Rakku ümbritsev raku-membraan reguleerib ionide ja neutraalsete elementaarüksuste liikumist raku sisse ja rakust välja.

Proteiinid on raku sisemuses oleva bioloogilise aine põhilised ehituskivid. Proteiinid koosnevad amiinohapetest. Proteiinide molekulide struktuurid määravad need protsessid, mille kaudu organismi immuunsussüsteem tunneb ära organismile võõrad ja ebasoovitavad ained. Amiinohapete paigutus proteiini molekulis määrab tema põhistruktuuri. Struktuuri järgmised astmed ehk sidemed amiinohapete vahel määrab peptiidsidemete ja vesiniksidemete paigutus. Amiinohapete ahelaid nimetatakse polüpeptiitahelateks. Neid struktuure võib kahjustada ülemäärane kuumus, kuid sama võivad teha organismile võõrad keemilised ühendid. Inimkeha kudedes esineb ligemale 100 000 erinevat proteiini, kuid neid moodustavate

amiinohapete arv on vaid 20. Põhiliselt koosnevad need süsinikust, vesinikust, hapnikust, lämmastikust, väävlist ja fosforist. Mõned amiinohapped sisaldavad ka muid elemente. Inimorganism suudab ise sünteesida väheseid vajalikest amiinohapetest. Ülejäänud peab organism saama toiduga ning seejuures just õiged. Loomsed toitained sisaldavad kogu vajaliku amiinohapete buketi, kuid taimsed mitte. Agressiivne taimetoitluse propageerimine võhiklike kaaskodanike seas on nende tervise suhtes vastutustundetud.

Karbohüdraatide  $\text{CH}_2\text{O}$  ülesandeks on energia salvestamine ja ülekandmine. Mürgised ained võivad seda protsessi takistada. Lipiidideks nimetatakse orgaanilistes lahustites lahustuvaid rasvu ja õlisid, kolesterooli, osaliselt ka vitamiine ja hormone. Lipiidide vahendusel on võimalik organismi siduda vees lahustumatuid mürgiseid aineid. Need ei pääse rakkudesse teisiti kui lipiididega ühinenult. Ensüümidel on igaühel spetsiifiline struktuur, mille kaudu ta suhtleb kindlat tüüpi ainetega kui biokeemiliste reaktsioonide katalüsaator. Tsüaniidid, raskemetallid ja mõned teised organismile mürgised ained pidurdavad ensüümide funktsioneerimist sel teel, et asetuvad struktuuris endaga sarnase keemilise elemendi aatomi asemele. Struktuur on väliselt nagu päris, kuid ei toimi nagu päris. Organismidele mürgiste ainete omadustega ja nende ainete osavõtul toimuvate reaktsioonidega tegeleb toksikoloogiline keemia.

Elementaarreostajate hulgas on ühed tähtsamad raskemetallid, enamuses perioodsuse tabeli parema alumise nurga elemendid. Osa neist elementidest, näiteks raud, on organismi kudede funktsioneerimiseks tarvilik ja organism omastabki neid joogiveest. Kuid plii, kaadmium ja elavhõbe on aktiivsed ensüümide väävliisidemetes suhtes ja pärsivad nende ühinenult ensüümide toimet. Kaadmium, vask, plii ja elavhõbe seovad end rakumembraanide struktuuri ja takistavad ainete liikumist läbi nende membraanide raku sisse ja rakust välja. Osa vett reostavaid elemente, nagu arseen, antimon ja seleen on õieti midagi vahepealset metallide ja mittemetallide vahel.

Kaadmium satub vette metallitööstuse ja kaevandamise heitmetega. Kaadmium on keemilistelt omadustelt sarnane tsingiga ja sageli nad esinevadki koos. Kaadmiumimürgistuse välised tunnused on vererõhu tõus, punaste vereliblede ja neerude kahjustused. Kaadmiumi toime organismile lähtub tema sarnasusest tsingiga. Ta asendab tsingi aatomeid ensüümide koostises ja nõrgendab nende kui

biokeemiliste katalüsaatorite toimet. Kaadmium on tüüpiline saasteaine sadamate vees ja setetes.

Plii satub vette mitmetest industriaalsetest allikatest. Varem sattus teda ohtralt atmosfääri ja pinnasesse pliidi sisaldava bensiini heitgaasidest. Edasi jõuab ta kergesti vette. Mõnedes kohtades satub ta sinna suhteliselt ohtralt pliidi sisaldavast paekivist. Ka Eestis. Pliimürgistus põhjustab neerude, maksa, reproduktiivorganite ja kesknärvisüsteemi kahjustusi. Lastel võib põhjustada vaimset alaarengut. Kergema mürgistuse sümptomideks on valutavad lihased ja peavalu. Plii akumuleerub kõige meelsamini juustes. Varasematel aegadel olid plii allikateks jooginõud ja veevärkide tinatorud. Viimastel kümnenditel on arenenud riikide kodanike organismides pliisisaldus vähenenud.

Elavhõbe satub keskkonda tema arvukate kasutusala läbi, milleks on laboratoorsed kemikaalid, kasutatud patareid, katkised termomeetrid, hambatäidised, orgaanilised fungitsiidid jne. Ka kivi-sões esineb kuni 100 miljardikku Hg. Kõige mahukamaks allikaks on keemiatööstuse heitveed. Hg akumuleerub kalades ja veeloomades. Mürgituse kergeimaks tunnuseks on ärrituvus. Raskemad juhud põhjustavad halvatust, pimedaks jäämist, kromosoomide kahjustusi ja laste sünnidefekte. Rootsisis ei soovitata käesoleval ajal rasedatel süüa kala üle ühe korra nädalas. Elavhõbeda sisaldus vees ja kalade kudedes osutub ootamatult suureks selle tõttu, et põhjasetetes elutsevad anaeroobsed bakterid produtseerivad lahustuvaid monometüüelavhõbeda ioone  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  ja dimetüüelavhõbedat  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ . Kalarasvadesse ladestub nendest ühenditest pärit elavhõbe kuni 1000 korda kõrgemates kontsentratsioonides kui see on vees. Kahtlustatakse, et anorgaanilist elavhõbedat orgaanilisteks ühenditeks konverteerimist soodustavaks faktoriks on metanogeensete bakterite toime  $\text{B}_{12}$  vitamiiniga sarnane kõrvalprodukt. Elavhõbe muutub seega hõlpsasti ohtlikuks piirkondades, kus massiliselt toimub orgaanilise aine anaeroobne lagunemine.

Arseen on kõige tuntum metalloidne vete reostuskomponent. Arseenimürgitus kujuneb krooniliseks kui arseen koguneb organismi väikestes annustes pikema aja jooksul. Akuutne mürgitus tekib juhtudel, kui organismi satub korraga üle 10 mg As. Arseeni leidub kivi-sões ja põlemise käigus lendub ta keskkonda. Arseeni sisaldavad ka mitmed fosforiühendid. Varem valmistati arseeni baasil ka pestitsiide, milledest levinumad olid pliiarsenaat  $\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_2$ ,

naatriumarsenaat  $\text{Na}_3\text{AsO}_3$  ja Pariisi roheline  $\text{Cu}_3(\text{AsO}_3)_2$ . Arseen on ka vase, kulla ja plii maakide rikastamise kõrvalprodukt. Analoogselt elavhõbedaga muutub arseen liikuvaks ja mürgitusi tekitavaks bakterite vahendusel.

Osa anorgaanilisi saasteaineid põhjustab vee soolsuse, happesuse või aluselise muutumise. Neist kõige tähtsamaks peetakse tsüaniidiiooni  $\text{CN}^-$ , kuid analoogselt toimivad ka ammonium, süsihappegaas, väävelvesinik, nitritid ja sulfitid. Tsüaniid esineb vees nõrga happena  $\text{HCN}$  ja on surmavalt mürgine aine. Kasutusel on ta kõige laiemalt mineraalsete maakide rikastamise protsessides.

Ammoonium on orgaaniliste lämmastikku sisaldavate saasteainete lagunemise algprodukt. Tema olemasolu viitab vastavate saasteainete sisaldusele.

Väävelvesinik on väävlit sisaldavate orgaaniliste ühendite anaeroobse lagunemise produkt. Ohtralt leidub teda geotermaalvetes. Väävelvesinikku sisaldavad keemiatahaste, tselluloosivabrikute ja tekstiilivabrikute heitveed. Vees käitub  $\text{H}_2\text{S}$  nõrga happena. Puhtas vees  $\text{S}^{2-}$  ioone üldiselt ei esine.

Süsihappegaas on lahustunud kujul ja süsihappena vees alati olemas. Vahel kasvab tema sisaldus orgaanilise aine lagunemisel tekkiva gaasi tõttu eriti kõrgeks. Liiga suur  $\text{CO}_2$  sisaldus muudab vee korrosiooniohtlikuks ja elustikule ebasoodsaks. Nitritioonid  $\text{NO}_2^-$  on lämmastiku oksüdeerumise vaheproduktid. Nitriteid kasutatakse mõnedes tehnoloogilistes protsessides korrosiooni pidurdamiseks.

Sulfitioonid  $\text{SO}_3^{2-}$  esinevad tööstuse heitvetes. Naatriumsulfitit lisatakse kuumavee boileritesse lastavasse vette.

Veekogude eutrofeerumine tähendab bioloogilise reostuse ehk vetikate ebanormaalselt intensiivse kasvu olukorda. Eutrofeerumise esimeseks etapiks on üleküllastus mineraalsete toiteainetega, mis teeb võimalikuks fotosünteesi teel ebatavaliselt suurte taimse biomassi koguste produktsiooni. Mõnevõrra võib selle arvel kasvada ka loomse biomassi produktsioon. Surnud biomass langeb veekogu põhja, kus laguneb uuesti ringesse minevateks toiteaineteks  $\text{CO}_2$ , P, N, K. Madalates veekogudes järgneb nüüd juurestikuga veetaimede vohamine. Veetaimede kasvuks tarvilikud H ja O saadakse vee molekulide lagunemise teel,  $\text{CO}_2$  atmosfäärist ja surnud biomassi lagunemisest. Sulfaate, magneesiumi ja kaltsiumi leidub tavaliselt piisaval määral

veega kontaktis olevates mineraalse materjali kihtides. Vees ja põhjas leidub tavaliselt piisavalt ka väheses koguses vajalikke mikroelemente. Nagu põllukultuuride puhulgi on ka fütoplanktoni ja veetaimede kasvu limiteerijateks N, P, ja K. Suuremates kogustes satub neid veekogudesse heitvetega ja põldudelt voolavate vetega. Normaalse looduslike protsesside kaudu satub neid veekogudesse vähemates kogustes. Eutrofeerumise kõige olulisemaks regulaatoriks on fosfor, mida varem sisaldas ohtralt pesupulbrites. Käesoleva aja tendentsiks on fosforivabad pesupulbrid.

Oluline vee elustiku jaoks on veekogu pH väärtus. Enamus liike ei talu pH suuri muutusi nagu ka soolsuse muutusi. Üheks veekogude happesuse kasvu põhjuseks on happvihmad. Happed satuvad veekogudesse ka sissevoolavate vetega. Ohtlikud on püriidi ja teiste sulfiidmineraalide kaevanduste veed, mis sisaldavad väävelhapet. Happed on ka mitmete tööstusharude heitveed. Kui  $\text{pH} < 3$ , siis on hävinud kõik muud elu vormid peale raua oksüdeerumist vahendavate bakterite. Aluselised pH väärtused on sagedamini looduslike kui antropogeensete protsesside tulemuseks. Eestis oludes on Peipsi põhjapoolses osas vesi aluseline põlevkivituhha koostises oleva lubjakivi toimel.

Veekogude soolsuse kasvu põhjustavad mitmed inimtegevuse liigid. Soolasid kasutatakse veepehmedajadena. Kunstliku niisutuse regioonides on jõgedesse tagasivoolav niisutusvesi rikastatud sooladega.

Oksüdeeruvad saasteained tarbivad hapnikku ja tekitavad vees lokaalse hapnikudefitsiidi.

Seep ja sünteetilised pesemisvahendid toimivad vee pindpinevust vähendavalt. Muudavad vee "märjemaks". Klassikalise seebi puuduseks on, et tema toimel tekivad rasvhapete lahustumatud soolad, mis teevad vett karedamaks, ladestuvad riidele ja pesumasinasse ning takistavad puhastusprotsessi. Seepi tuleb siis tarvitada rohkem, et jääks soolade tekkest üle ka puhastamiseks. Seep pole seega parim pesemisvahend, kuid tema kui saasteaine on biodegradatsiooni teel keskkonnast täielikult eemaldatav. Sünteetilised pesemisvahendid sisaldavad pindaktiivseid, vett "märjemaks" tegevaid vahendeid. Nende kasutamisel ei teki vee karedust suurendavaid kaltsiumi ja magneesiumi ioone nagu seebi puhul. Negatiivseks küljeks on vähene bioloogiline lagunemine. Vesi jääb vahutama ka pärast biopuhasti läbimist.

Maailma veekogudesse juhitakse aastas üle 500 km<sup>3</sup> heitveet, millest 200 km<sup>3</sup> on tööstuslik heitvesi. Suur osa tööstuses ja energeetikas tarbitavast veest on jahutusvesi. Eestis tekib puhastamist vajavat reovett viimasel ajal alla 0.2 km<sup>3</sup> aastas, millest enamus läbib ka puhastusseadmeid. Puhastamise tõhusus on viimasel ajal kiiresti kasvanud. Kui 1987. a. oli puhastatud veest piisavalt puhas vaid 22 % ja isegi 1993. a. veel vaid 39 %, siis 1994. a. oli piisavalt puhas juba 88 %. Enamus Eesti heitveest on jahutusvesi. Puhastamise tõhusus on järsult kasvanud seoses Tallinna biopuhasti valmimisega 1993. a. lõpul. Kogu Eesti puhastamist vajavast veest moodustab Tallinna panus 47 %.

Merest nafta puurimise, veetranspordi ja eriti tankerite avariide tõttu satub aastas hüdrofääri mitu miljonit tonni naftaprojekte. Kui rasked saasteained jõuavad lõpuks põhjamudasse, siis nafta ja teised pindaktiivsed ained kogunevad kilena vee pinnale. See kile takistab veekogu gaasivahetust. Nafta on alkaanide ehk parafiinide klassi kuuluvate süsivesinike segu. Enamus neist süsivesinikest lahustub vees väga halvasti, kuigi leidub ka vees lahustuvaid süsivesinikke (benseen, toluool). Peale gaasivahetuse häirimise neelavad naftakiled märgatava osa veepinnale langevast päikesekiirgusest, mille tõttu aeglustuvad fotosünteesi protsessid fütoplanktonis. Kilega kaetud pinnalt väheneb auramine ja pindkihi soojenemise tõttu ka hapniku lahustuvus vees. Lainetuse kaasabil tekivad vette sattunud naftast känkrad. Kuigi nafta jääb valdavalt pinna lähedale leidub teda tilkade ja pooltahkete kübemetena ka sügavamates kihtides. Naftareostuse üldine foon ookeanis on mõni µg/l. Balti meres ja teistes suure transpordikoormusega meredes on see mitmeid kordi kõrgem. Avariide järel katavad nafta vesiemulsioonid ehk gudroonid kaldaid ning põhjustavad taimestiku ja merelindude hävimist. Kannatada saavad supelrannad ja puhkealad.

Balti meri on maailma üks saastatumaid meresid. Tema kallastel ja temasse suubuvate jõgede valgatal elab üle 80 miljoni inimese ja valmistatakse 15 % maailma tööstustoodangust. Balti merd läbib 10 % maailma meretranspordi veostest. Selle mere keskmine sügavus on vaid 52 m ja maht 22 000 km<sup>3</sup> ehk 0.0016 % maailmaookeani veest. Madalate väinade tõttu on veevahetus ookeaniga puudulik ja suuremad kogused värsket Põhjameri vett tungivad Balti merre vaid erandlike ilmastikutingimuste korral (viimati 1993. a.). Suuremate veevärskendamiste vahe võib olla paarkümmend aastat. Siis süveneb

eutrofeerumine ja sügavamate kihtide hapnikupuudus. Balti mere kaitset koordineerib Helsingi komisjon (HELCOM). Balti mere kaitse konventsioon on ümbritsevate riikide valitsuste poolt alla kirjutatud 1974. a. ja selle uuendatud variant 1992. a.

### 31. PESTITSIIDID JA VÄETISED

Keemilisi taimekaitsevahendeid üldisemalt nimetatakse pestitsiidideks. Majanduslikus mõttes soodsa toime kõrval põhjustavad nad vete, muldade ja toiduainete saastumist. Otstarbe alusel jagatakse pestitsiidid umbrohtude keemiliseks tõrjeks mõeldud herbitsiidideks, seenhaiguste tõrjeks mõeldud fungitsiidideks ja kahjurputukate tõrjeks mõeldud insektitsiidideks. See jaotus võib olla veelgi detailsem, sisaldades näiteks molluskitsiide tigude vastu, nematotsiide ümarusside vastu, rodentotsiide näriliste vastu, bakteritsiide bakterite vastu, algaetsiide vetikate vastu jne. Pestitsiidide kiirelt kasvav tarvitamine algas Teise Maailmasõja ajal käibelet võetud DDT-ga. Peale millegi vastu võitlemiseks mõeldud kemikaalide on kasutusel ka kultuurtaimede kasvu soodustavad vahendid nagu kõrretugevdajad, kasvustimulaatorid jne. Kemiseeritud põllumajandus meenutab ohtlikult dopingut varal edendatavat tippporti. Keemia tekitab põllumajanduse ja keskkonna konflikti, mille üheks keskmaks ebasoovitavaks tagajärjeks on vete reostamine väetiste ja pestitsiididega.

Pestitsiidid moodustavad märkimisväärse osa müügil olevate keemiakaupade koguhulgast. Ameerika Ühendriikides oli mõni aasta tagasi käibel ligikaudu 35 000 nimetust pestitsiide. Kasutatavad pestitsiidide kogused põllumaa pindala ühiku kohta on paikkonniti üpriski erinevad. Aktiivaine tingühikutes põllumajandusmaa hektari kohta kasutati Jaapanis 17.70, Hollandis 10.40 kg, Suurbritannias 5.80, Saksamaal 4.20, Ameerika Ühendriikides 1.80 ja Kanadas 0.90 kg pestitsiide aastas. Ei ole teada, et Jaapani või Hollandi toiduained oleksid mürgisemad kui mujal. Küll on aga Hollandis käibeloleva 220 pestitsiidi hulgast 60 jälgi leitud põhjaveest. Eestis kasutati pestitsiidide viimasel vanadele oludele enam-vähem vastaval 1991. aastal 1.10 kg/ha, seejuures Viljandimaal ja Jõgevamaal 1.50 kg/ha ja Saaremaal 0.27 kg/ha. Seoses külvipindade vähenemisega ja põlluharimise vähese tasuvusega on pestitsiidide kasutamine kõvasti kahanenud. Seevastu toimub umbrohtude seninägematu vohamine, mis lõpeb sööti jäetud põllumaa võssa kasvades.

Tähtsaks pestitsiidide iseloomustajaks on nende püsivus. Selle järgi jagatakse pestitsiidid 4 klassi. Püsivuse järgi vees on klassid vastavalt alla 5 ööpäeva, 5 - 10 ööpäeva, 11 - 30 ööpäeva ja üle 30 ööpäeva. Püsivuse järgi mullas on klasside lubatud kestvused : alla 1 kuu, 1 - 5 kuud, 6 - 24 kuud ja üle 24 kuu. Püsivus oleneb pestitsiidide keemilisest koostisest. Ideaalne oleks olukord, mil pestitsiidid laguneksid pärast oma ülesande täitmist elusorganismidele kahjututeks ühenditeks. Sellised muidu halvad omadused nagu suur bioloogiline aktiivsus ja mürgisus kuuluvad funktsionaalselt pestitsiidide juurde. Mitte alati ei teki nende lagunemisel ainult kahjutuid ühendeid. Mõnel juhul võib tekkida isegi veel mürgisemaidprodukte kui pestitsiidid ise algselt olid. Kõige enam levib maailmas herbitsiidide kasutamine. Võitluses umbrohtudega on agrotehnilistelt võtetelt massiliselt üle mindud keemilisele tõrjele.

Pestitsiidide tõttu kannatavad looduslikud liigid. Oht ei sõltu päris üksüheselt pestitsiidide tarvitamise mahust või intensiivsusest. Saksamaal ja Prantsusmaal on hävimise ohus 50 % looduslike imetajate, 40 - 70 % reptiilide ja 30 - 40 % linnuliikidest. Jaapanis on ohustatud ainult 10 % liikide koguarvust. Maastiku struktuur võib pestitsiidide kahjulikku toimet kompenseerida või võimendada. Kõige sagedamini osutub pestitsiididega reostatuks vesi. Valdavalt reostub vesi pestitsiidide tootmise käigus. On ka piirkondi, kus pestitsiididega töödeldakse vett päris vahetult moskiitode või malaariasääskede hävitamise eesmärgil. Järjest enam seatakse pestitsiidide väljatöötamisel eesmärgiks nende selektiivne mürgine toime. DDT puhul üllatasid just hilisemad soovimatud kõrvaltoimed. Moodsa pestitsiidi näiteks võiks olla fosfororgaaniline putukamürk *melathion*. Imetajate rakkudes on ensüümid, mis muudavad selle mürgi kahjutuks. Putukate rakkudes neid ensüüme ei ole. Väga püsivad ja kindlatesse kudedesse kogunevad ning kantserogeensed pestitsiidid on kaasajal arenenud maades keelatud.

Põllumajanduse surve keskkonnale on kõige suurem mineraalväetiste ja karjapidamise kaudu. Pestitsiidid jäävad teisele plaanile. Ohtude piiramiseks on hädatarvilik tunda nende toimimise mehhanisme, mida saab selgitada vaid kvantitatiivsete eriuuringutega. Siiski on sellised uuringud seni sageli üksnes korrelatiivsete seoste selgitamise tasemel. Vete reostus väetistega ei tulene üksnes lohakusest või jämedatest vigadest mineraalväetiste ja sõnnikuga ümberkäimisel. Nii sordiaretus kui tõuaretus on suunatud toitainete efek-

tiivsemale kasutamisele. Kaudselt peaks see tähendama ka keskkonna saastumise vähenemist. Paremini vääritatud söödaga tekib toodanguühiku kohta vähem ekskrementide, kuna sama kogus tuleb vähemalt arvult loomadelt. Kõrge produktiivsusega kultuurtaimede sordid tarvitavad väetisi ja vett otstarbekamalt. Ikkagi ei õnnestu kaasaegse intensiivpõllunduse harrastamisel väetisi nii doseerida, et vegetatsiooniperioodi lõpuks oleks nende jääk mullas nullis. Väetiste toimeaine dünaamika muldades sõltub kliimavööndist ja peamiselt määrab selle vee mullas liikumise suund ning kiirus. Parasvöötme kliimas on domineeriv liikumine alla. Kevadised lumesulamisveed ja tugevamatele vihmadele järgnev vee sügavamale imbumine viivad osa väetiste toimeaineid taimede juurte tsoonist allapoole esimesse põhjavee horisonti. Pikema aja möödudes imbub osa neist ainetest edasi järgmistesse põhjavee horisontidesse Saksamaa ja teiste Lääne-Euroopa riikide põllumajandussaaste põhjalikud uuringud on näidanud, et korrektse agrotehnika korral toimub veekogude reostus lämmastikuga 2/3 ulatuses läbi põhjavee. Loomulikult kasvab ajapikku ka kaevudest võetava joogivee nitraatidesisaldus. Päris pinda pidi liikuva vee osatähtsus veekogude lämmastikuga väetamisel ei ületa 10 %. Loomulikult on see suurem siis, kui väetis jääb päris lahtiselt suure vihma kätte. Vete reostust suurendavad erosiooniprotsessid, kui väetiste toimeained kantakse edasi koos mullaga. Eriti ilmne on see fosfori puhul, mis lahustub lämmastikust halvemini ja on väiksema liikuvusega.

Põllumajandustoodangu pidev suurendamine on kogu maailma mastaabis paratamatu. Samavõrra paratamatu on keskkonna reostuse samaaegne vähendamine. Keemiliste preparaatide varal edasiminekuks ei ole jäänud palju reserve. Rohkem võimalusi töötab praeguses olukorras geneetika. Erinevate kultuurtaimede ja koduloomade potentsiaalsed produktiivsuse näitajad sõltuvad 20 kuni 100 geenist. Selline olukord lubab valikut veel õige paljude põlvkondade vältel, enne kui saavutatakse lagi ja tulemus osutub edasise kombineerimise suhtes tundetuks. Üheks praeguseks suunaks on orienteerumine stabiilsele ja ilmastikuoludest võimalikult vähem sõltuvale saagile harva eriti soodsates oludes saavutatava rekordsaagi asemel. Mulla väetistarbe määramisel on sageli lähtutud lämmastikväetiste puhul lämmastiku mineraliseerumise kiirusest varem väetamata mullas. Tuleks aga lähtuda tema mineraliseerumise kiirusest optimaalselt väetatud mullas. Üle optimaalse vajaduse mulda antud

lämmastikväetiste ainus tee on imbuda põhjavette. Väga tähtis on väetamise ajastamine. Kui taliviljadele antakse virtsa sügisel, siis on tema põhjavette imbumine ligi 4 korda suurem kui kevadel antava sama koguse korral.

Euroopa arenenud riikidel on kokkulepe 1987. aastast, mis kohustas 1995. aastaks vähendama N ja P hajasreostust 50 % võrra. Selle mõte on veekogude väetamise piiramine. Veekogude all mõeldakse ka Põhjamerd ja Balti merd. On selgunud, et ka nn. mahepõllundus ehk loobumine mineraalväetistest ja pestitsiididest ei tähenda ilmtingimata vee reostuse lõppemist. Kui näiteks kartuli lehemädanik hävitab saagi vegetatsiooniperioodi keskel, siis jääb mullas olev jääklämmastik üle ja võib vabalt põhjavette minna.

### 32. AKUSTILINE SAASTUMINE

Tsivilisatsiooni arenguga, eriti transpordi ja industriaalse tootmise intensiivistumisega, on kaasnud mürataseme tõus. Antropogeenne müra on tihti looduslikust tugevam ja erineb sellest ka spektraalse koostise poolest. Sõltuvalt tugevusest ja kestvusest põhjustab müra-foon inimestel stressi ja kuulmishäireid. Stressiga kaasneb tavaliselt tervisliku seisundi üldine halvenemine ja töövõime langus. Müra on erinevate sageduste ja intensiivsustega helivõngete kogum. Mõju poolest võib müraga võrdväärseks osutada ka liiga vali muusika. Helilained levivad gaasilises, vedeliku ja tahkes keskkonnas. Õhus levivate õhuvõngete intensiivsust iseloomustatakse nende tekitatud lisarõhuga, mis moduleerib tavalist õhurõhku. Helirõhu intensiivsust mõõdetakse detsibellides (dB). Inimese kõrvad ja silmad on logaritmilise reaktsiooniga vastuvõtjad, mis toimivad küllaltki laias intensiivsuste vahemikus (kõrv kuuldelävest valuläveni). Müranivood iseloomustatakse üle kokkulepitud ajavahemiku keskmistatud helirõhuga. Ka kõik müra kohta käivad normatiivid vastavad keskmistatud intensiivsustele.

Madala sagedusega helid tunduvad kõrvale vaiksematena kui sama helirõhuga kõrgema sagedusega helid. Seda arvestatakse ka müranivoo rahvusvahelistes standardites ja lisatakse intensiivsuse juurde sageduspiirkonna tähis A, B või C. Põhilise kuuldepiirkonna sagedustele vastab tähis A. Kaitseks müra eest projekteeritakse hoonetesse heliisolatsioon, põrandatesse, seintesse ja lagedesse nähakse ette helilaineid neelavad materjalid. Elutsoonid eraldatakse

mürarikastest piirkondadest haljastusega. Ka on müra piiramine nõudeks tööstusseadmete ja transpordivahendite projekteerimisel. Tähtis koht olmemüra vältimisel jääb eluviisile. On võimalik elada vaikselt, kuid võib leida ka täiesti talumatuid naabreid. Helid keskmise intensiivsusega üle 130 dB(A) tekitavad valuaistingu ja kahjustavad juba kõrva. Üldiselt on peetud kahjulikuks müra üle 65 dB(A), kuid mõnede inimestele võib tekitada kahju ka väiksema intensiivsusega müra. Üks tugevamaid on reaktiivlennukite müra. Sõjaväelennuvälja aegadel esines Tartus akende purunemist ja mõõdeti müranivoosid üle 100 dB(A).

Keskkonna akustilist saastumist põhjustavad ka ultraheli (sagedus üle 20 000 Hz) ja infraheli (sagedus alla 16 Hz). Ultraheli allikaid saab edukalt ekraanida ja valdavalt on ultrahelist tulenevad probleemid lokaalsed. Infraheli on palju ohtlikum, sest esineb palju looduslikke ja tehisklikke infraheli allikaid ja infraheli pole ilma spetsiaalse aparatuurita registreeritav. Infraheli sagedus võib sattuda resonantsi inimese siseorganite omavõnkesagedusega ja häirida nende funktsioneerimist. Siseelundite omavõnkesagedused on vahemikus 2 - 10 Hz. Infraheli mõjub psüühikale ja võib põhjustada tugevat hirmutunnet. Mõõdukam infraheli põhjustab loidust, peapööritust ning reageerimise aeglustumist. Infrahelist võivad olla tingitud massilised enesetunde anomaaliad.

### 33. ELEKTROMAGNETILINE SAASTUMINE

Planeeti Maa ümbritsevad elektriväli ja magnetväli, mille tugevused sõltuvad geograafilisest laiusast, aastaajast, kellaajast, Päikese aktiivsusest ja mitmetest lokaalsetest teguritest. Põhiliselt tingivad Maa elektri ja magnetvälja muutumist looduslikud tegurid, kuid esineb ka antropogeensetest teguritest tingitud lokaalseid muutusi. Kõige enam mõjutavad inimeste enesetunnet ja tervislikku seisundit Päikese aktiivsusest põhjustatud magnetormid.

Peale elektri- ja magnetväljade levib keskkonnas elektromagnetiline kiirgus, mis hõlmab laineid alates  $\gamma$ -kiirtest kuni kõige pikemate raadiolaineteni. Keskkonna elektromagnetilise kiirgusega saastumise all mõeldakse üldiselt saastumist raadiolainetega  $\lambda > 0.1$  mm. Eristatakse kõrg- ja madalsageduslikku kiirgust, mille bioloogiline toime on erinev. Kõrgsagedusliku raadiokiirguse toime kohta on kogutud ohtralt andmeid. Lühilaineline kiirgus tungib bioloogilistesse kude-

desse ja osa tema energiast neeldub neis. Toime sõltub seega kiiritustihedusest. Sanitaarsete normatiivide väljatöötamisel lähtutakse kiirguse tekitatud soojuslikust efektist. Organismi füsioloogilised reaktsioonid avalduvad mõnevõrra isegi selliste kiiritustiheduste korral, mille soojuslikku efekti ei õnnestu kuigi täpselt mõõta. Pulsisageduse ja arteriaalse vererõhu muutused ilmnevad eriti tundlikel inimestel juba kiiritustihedustel alates  $0.2 \text{ W/m}^2$ . Märgatav vererõhu langus ja pulsisageduse kasv ilmneb  $50 - 100 \text{ W/m}^2$  kiirguse käes viibijatel. Kiiritustihedused üle  $1000 \text{ W/m}^2$  tekitavad juba hüpertooniat ja üle  $6000 \text{ W/m}^2$  koguni valuaistingut. Pikka aega radarite kiirgusväljas töötanud inimestel arenevad sageli välja olulised tervisehäired. Võimalik, et kõrgsageduslik kiirgus tekitab isegi geneetilisi muutusi. Võimsate kõrgsagedusliku kiirguse allikate ümber peavad kindlasti olema kaitsetsoonid. Äärmisel juhul tuleb kasutada metallvõrgust varjestavaid ekraane. Nendes sumbuva kiirgus eraldab märkimisväärselt soojust, millega tuleb eraldi arvestada.

Madalsagedusliku elektromagnetilise kiirguse piirjuhiks on staatiline elekter. Kaasajal leidub arvukalt tehisliske staatilise elektri allikaid, eriti sünteetiliste materjalide näol. Staatilist elektrit tekitavad ka Maa elektrivälja lokaalsed iseärasused, mis on seotud äikese ilmingutega. Madalatel sagedustel mõjub peamiselt elektriväli. Inimeste tundlikkus on suhteliselt suur just elektrivõrkudes kasutatavatel  $50 - 60 \text{ Hz}$  sagedustel. Kõige tugevamateks madalsagedusliku välja allikateks on kõrgepingeliinid.

### 34. RADIOAKTIIVNE SAASTUMINE

Radioaktiivse saastumise all mõeldakse keskkonna saastumist ioniseeriva kiirgusega. Selle hulka kuulub ka päris lühilaineline elektromagnetiline kiirgus. Loodusliku radioaktiivse fooni tekitavad radioaktiivse lagunemise aktid maapõues, atmosfääris, hüdrosfääris ja bioloogilistes kudedes. Umbes poole looduslikust foonist tekitab gaasiline radoon, mis tekib mullas ja aluskivimites vähesel määral esineva radiumi lagunemise produktina.

Loodusliku fooni kõrval mõjub tänapäeval mitmesuguste tehisliske allikate kiirgus. Siia kuuluvad meditsiinilistel läbivaatustel ja kasvivate ravi käigus saadav kiirgus, tööstusseadmetest ja olmetehnikast pärinev kiirgus ning isegi lennureisidel tavalisest kõrgema loodusliku

fooni käes viibimisest saadud doosid. Kõige mahukam ja ohtlikum on aga tuumaenergeetikaga ja tuumarelvade tootmisega seotud radioaktiivne saastumine. Saastumise võimalused on suured kõigis ahela lülides, alates tuumakütuse maagi kaevandamisest ja maagi rikastamisest kuni valmis tuumaelektrijaamade ja tuumapommideni. Käibel on arvukalt mitmesugusel otstarbel kasutatavaid radioaktiivseid preparaate. Tšernobõli katastroofi järel tekkisid uued avarad võimalused radioaktiivselt saastatud materjalide leviks. Surma võib tuua äritsemine saastatud metalliga või saastatud piirkonnast korjatud marjade ja seente söömine. Radioaktiivse kiirguse oht on viimasel ajal suurenenud radioaktiivsete ainete musta turu tekkimise tõttu. Pole välistatud isegi illegaalsete tuumapommide valmistamine. Ioniseeriva kiirguse eest ei hoiata meeleorganite aistingud, selle ohtlikku toimet aitab vältida üksnes pedantselt jälgitav kord radioaktiivsete ainete ümberkäimisel.

Kõigi militaarse rakendusega ainete ja seadmete ümber on salastatuse õhkkond. Totalitaarsete režimide oludes kaasnes sellega inimeste massiline ohtu seadmine. Kaevurid Ida-Saksamaa ja Tšehhima uraanimaardlates õieti ei teadnudki mida nad kaevandavad. Vähe on teada töökorraldusest N. Liidu tuumakütuse rikastamise ettevõtetes, kuna see töö toimus Sillamäe taolistes suletud linnades. Suurt ohtu kujutavad sellise tootmisprotsessi jäätmed, mille saatuse kohta alati ei õnnestugi andmeid saada. Pärast Hiroshima ja Nagasaki pommitamist 1945. a. on rea aastate jooksul toime pandud katsetusi atmosfääris, mille käigus mitmete piirkondade elanikud said pahaaimamatult ohtlikke kiirgusdoose. Alles 1963. a. sõlmiti atmosfääris tuumakatsetuste keelustamise kokkulepe. Hinnatakse, et nende katsetuste tõttu on maailmas surnud vähki vähemalt 400 000 last. Eestis on põhilised teadaolevad ohuallikad Sillamäe radioaktiivsete jäätmete basseini otse merekaldal ja Paldiski tuumaallveelaevnike endise õppekeskuse ümbrus. Ehkki kütusevarud on Eestist ära viidud ja reaktorid suletud jääb ikkagi segaseid asjaolusid seoses jäätmetega. Ohtlike jäätmete hoidla Sakus pole olnud kuigi tõhusa valve all. Tallinna külje all Kiisal leiti ülimalt ohtliku kiirgusnivooga detail otse elumaja köögist. Elanikkonna seas on hirm ioniseeriva kiirguse ees üldiselt suurem kui teiste ohtlike saasteainete ees. Enamikule inimestele ei ole seejuures kuigi selge selle ohu tegelik sisu. Osalt tuleb see võibolla allergiast omaeegse



tsiviilkaitse õppesüsteemi suhtes. Mõnevõrra pidurdab selguse saamist ka asjaolu, et käibel on ülearu palju mõõtühikuid.

Käibelolevad mõõtühikud iseloomustavad ioniseeriva kiirguse kolme aspekti - radioaktiivse lagunemise intensiivsust (lagunemise aktide arvu ajaühikus), neeldunud energia doose (neeldunud energia hulka aine massiühikus) ja kiirguse tekitatud ionisatsiooni määra (mõlemamärgiliste ionide kogulaengut aine massiühikus). Tuuma-kiirgus kahjustab bioloogilisi kudesid nendes tekitatud ionisatsiooni läbi. Kõik 3 ioniseeriva kiirguse liiki ( $\alpha$ -osakesed, elektronid ja lühilaineline elektromagnetiline kiirgus) tekitavad kudedes ionisatsioon. Seejuures kaks esimest ehk korpuskulaarsed komponendid ioniseerivad kudedes olevaid aatomeid otseselt neist elektronide eraldamise teel.  $\gamma$ -kiirte ja röntgenkiirte diapasoni elektromagnetiline kiirgus kannab piisavalt energiat, et selle üleandmisel elektronidele põhjustada viimaste eraldumist aatomitest. Ionisatsioon põhjustab kudede molekulides keemiliste sidemete katkemist. Mõjusaks vahetalitajaks on vee molekulide ioniseerimine. Nii positiivselt kui negatiivselt laetud vee molekulid lagunevad kergesti vabadeks radikaalideks, mis omakorda reageerivad hõlpsasti bioloogiliste molekulidega. Vee iooni ühinemisel hapniku aatomiga tekib vesinikülihappend. See tugev oksüdeerija reageerib proteiinidega, hävitades sellega rakkude ainevahetuse ning põhjustades nende surma. Kui rakkude hävimise kiirus ja ulatus on teatavast kriitilisest piirist suuremad järgneb ka organismi surm. Rakkude vähema ulatusega hävimist kompenseerib organism uute rakkude loomise intensiivistamisega. Kui kiirgus on kahjustanud ka rakutuumade pärilikkuse regulaatoreid deoksüribonukleiinhappeid, siis võib see intensiivsema taastamise protsess areneda vähkkasvajaks. Kasvaja võib hakata arenema aastaid pärast kiiritusdoosi saamist. Kiiremini paljunevad rakud on alati suuremas vähiohus kui aeglaselt paljunevad rakud. Lümfiteed, lümfisõlmed ja epiteelkoed on kõige enam ohustatud. Kõige tundetumad vähi tekke suhtes on närvi- ja lihaskoed. Rakkude tundlikkus ioniseeriva kiirguse suhtes sõltub vanusest. Kõige tundlikumad on loote rakud. Täiskasvanud on lastega võrreldes vastupidavamad. Ägeda kiiritustõve esmased välised tunnused on iiveldus ja oksendamine. Mõni päev hiljem järgnevad kurgu kipitus, juuste väljalangemine ja algab leukeemia. Statistilised uuringud on näidanud, et ka suhteliselt väikesed korduvad kiirgusdoosid tekitavad eelsoodumuse

vähktõveks. Teatud elukutsega inimestele tüüpilised vähktõve vormid on tihti seoses ioniseeriva kiirgusega.

Radioaktiivse muundumise (lagunemise) mõõtühikud väljendavad lagunemisaktide arvu ajaühikus:

- 1 bekrell (Bq) vastab 1 lagunemise aktile sekundis,
- 1 rutherford (Rd) = miljon bekrelli,
- 1 kürii (Ci) =  $3.7 \cdot 10^{12}$  bekrelli ja vastab 1g puhta raadiumi radioaktiivse lagunemise intensiivsusele.

Radioaktiivse preparaadi kontsentratsiooni mõõtühikuks on

- 1 emaan – vastab 1 liitri vedeliku või gaasi radioaktiivsusele  $10^{-10}$  Ci või 3700 Bq.

Radioaktiivse kiirguse energia neeldumiskoosi mõõtühikuteks on:

- 1 grei (Gy) = 1 J/kg,
- 1 erg/g
- 1 raad (rad) = 0.01 Gy

Tekitatud ionisatsiooni järgi iseloomustatakse kiirgust kiirgusdoosiga, mille ühikuks SI süsteemis on

- 1 C/kg, s.o. doos, mis tekitab 1 kg kuivas õhus mõlemamärgiliste ionide kogulaengu 1 kulon. CGS süsteemis oli kiirgusdoosi ühikuks lü/g ja  $1 \text{ C/kg} = 3 \cdot 10^6 \text{ lü/g}$ . Praktikaks levinuimaks kiirgusdoosi ühikuks on
- 1 röntgen (R). See on röntgeni või gammakiirte doos, mis tekitab  $1 \text{ cm}^3$  kuivas õhus mõlemamärgilisi ioone
- $1 \text{ R} = 2.082 \cdot 10^9$  ioonipaari/ $\text{cm}^3 = 1.61 \cdot 10^{11}$  ioonipaari/g
- $1 \text{ R} = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$  ning  $1 \text{ C/kg} = 3880 \text{ R}$

Ioniseeriva kiirguse e kvivalentdoosi mõõtühikuks on

- 1 sivert (Sv), mis vastab neeldumiskoosile 1 Gy,
- 1 remm (rem) = 0.01 Sv.

Inimestele mõjuva doosi hinnanguid antakse milliröntgenites ja doosi saamise intensiivsusi väljendatakse milliröntgenites tunnis. Keskmise aastane looduslik doos on 100 milliröntgeni lähedal. Radioaktiivsete ainetega töötavate inimeste maksimaalseks lubatavaks aastaseks doosiks on 5000 milliröntgenit. Ühekordsed doosid üle 10 000 milliröntgeni tekitavad rakkude pooldumise häireid. Dooside 400 000 milliröntgenit korral sureb iga teine doosi saanu juba 1 kuu jooksul ja enamus ülejäänutest mõne lähema aasta jooksul.

### 35. SÕJAD

Riikidevaheliste tülide ja isegi riigisiseste konfliktide reguleerimiseks ei leita ka käesoleval sajandil sageli paremat moodust kui sõda. Sõjategevus on põhimõtteliselt selline, mille puhul ei saa rääkida säästvast suhtumisest keskkonda. Inimeste ehk militaarse terminoloogia järgi elavjõu tapmise kõrval on keskkonna hävitamine sõjategevuse teiseks tähtsaks eesmärgiks. Kõik viimaste kümnendite sõjad nn. tavarelvastusega, olgu siis Vietnami, Afganistanis, Pärsia lahe ääres, Tšetšeenias, Balkanil või Aafrikas, on kaasa toonud suure kahju keskkonnale. Vaenlase jälitamise hõlbustamiseks tuli tugevatoimeliste mürkidega hävitada dž unglit. Pommitamine ja suurtükitali pöörasid segi pinnase. Ära pole põlatud ka viljapõldude mahapõletamist ning nafta puuraukude süütamist.

Keskkonnaga seotud probleemid on niigi üliteravad. Globaalse tuumasõja korral tõuseks antropogeenne mõju keskkonnale mitme suurusjärgu võrra ja problemaatiliseks muutuks biosfääri säilimine üldse. Vähemalt tema praeguses liigilises koosluses.

Sõdivate poolte kindralstaapide jaoks tähendab tuumasõja planeerimine omalaadse optimaalsusülesande lahendamist. Tuleb leida selline plahvatuskollete ruumiline jaotus, mis viiks pommide minimaalse kulu juures rivist välja vastase põhilised relvajõud, tootmise, energiamajanduse, transpordi ja muud kommunikatsioonid. Kumbki pool peab seejuures otstarbekamaks oma pommivaru käiku lasta vastast ennetavalt, et vältida plahvatamist oma baasides. Vastulööki üritab panna vastase tuumalaenguid lõhkema enne sihtmärkidele jõudmist. Isegi sõdivate riikide perifeersetes piirkondades ei ole otsese tuumalöögi alla sattumise tõenäosus eriti suur. Otseselt ei tabaks tuumasõda enamikku nn. komanda maailma riike. Ka kahe suure tuumaarsenali valdaja kokkupõrke tõenäosus on praegu palju väiksem kui "külma sõja" aastatel. Ikkagi ei võrdu see nulliga. Tuumapommidega võivad hakata tegutsema sellised diktatuuririigid nagu Iraak või Põhja-Korea. Kaheksakümnendate aastate esimesel poolel on tuumasõja võimalikke tagajärgi teoreetiliselt küllaltki põhjalikult ja mitmekülgselt uuritud. Enamus prognoose hindas tuumalöögi üldvõimsuse 6000 - 15 000 megatonnile trotüüliekvivalendile. Suurema purustusjõu saamise otstarbel ja vastumeetmete tõttu toimuks enamus plahvatusi atmosfääris. Nagu iga antropogeenne mõju keskkonnale jaguneks ka tuumalöögi mõju

otseseks ja kaudseks. Jätame siin kõrvale otsesed purustused, inimohvrid, kannatused ja kaose ning piirdume keskkonda kahjustavate tegurite vaatamisega.

Tuumalöögi vahetute tagajärgedena toimuvad mehaanilised purustused, kuumenemine, radioaktiivne saastumine, atmosfääri ulatuslik saastumine aerosooli ja gaasidega. Aerosooli juurdevool atmosfääri tahma kujul jätkub ka pärast plahvatusi alanud põlengute tõttu. Aerosooli massi kogunemine atmosfääri muudab põhjalikult Maa kiirgusbilanssi. Tolm ja tahm püsivad atmosfääris nädalaid ja kuid. Muutub planeedi albedo ja ta hakkab pealelangevast kiirgusest rohkem tagasi peegeldama. Väheneb läbipaistvus ka selle kiirguse jaoks, mis tagasi ei peegeldu. Tulemuseks kujuneb pime ja külm olukord, mida on hakatud nimetama tuumaööks ja tuumatalveks. Kliimastressi peapõhjuseks on tulekahjude aerosool. Fotosünteesiliselt aktiivse päikese kiirguse intensiivsus võib mitmeks kuuks langetada öise lähedasele tasemele. Sellise olukorra mõju Maa elustikule on kaheksakümnendatel aastatel üsna põhjalikult uuritud. Tõenäoliselt hävib ookeanides peaaegu kogu fütoplankton ja katkevad sellest lähtuvad toitumishelad. Troopilisele taimestikule mõjub hävitavalt temperatuuri äkiline langus, isegi siis kui asi ei jõua külmumiseni. Kesk- ja polaaralialadel on oluline vahe sõltuvalt sellest kas tuumalööki antakse suvel või talvel. On selge, et äkiline külma ja pimedada kätte sattumine mõjub taimede kasvufaasis hoopis rängemalt kui puhkefaasis. Boreaalsete metsade ja tundra taimestikule ei tee puhkefaasis erilist kahju ka kestev 50 kuni 70 kraadine külm. Talvise tuumalöögi korral võiksid talve tingimused kesta ka kevadel ja suvel. Paljud taimeliigid elaksid need üle. Loomastikule oleks taoline olukord hoopis hukatuslikum. Kahjustuste ulatus oleneb kokkuvõttes ikkagi sellest, kui madalale ja kui kauaks temperatuur langeb. Veetaimedest on kõige vastupidavamad sinivetikad, millised taluvad temperatuure -70 kuni -196° C. Mandritel taluvad samblikud sama madalaid temperatuure ja samblad kuni -80° C. Riisi ja suhkruroogu kahjustab öitsemise ajal isegi +15 ° C temperatuur. Pikemalt detailidesse laskumata võib kinnitada, et mingil kujul taastuvad maised ökosüsteemid pärast kliimastressi kindlasti. Kuid nad näevad välja hoopis teisiti kui praegused. Muutumine sarnaneks geoloogiliste aegkondade vahetumisel aset leidnud olukordadele. Hävingu osaliseks saaks ka valdav osa põllumajandusest. Muutunud kliima põhjustaks

tõenäoliselt saagikuse languse ka pärast vahetut stressi. Küllap tähendaks see globaalset nälga.

Tuumasõja käigus saastuks kogu põhjapoolkera radioaktiivsete isotoopidega. Saastumise põhjuseks ei oleks niivõrd otsesed tuumalõhkepeade plahvatused kui tuumaelektrijaamade ja tuumakütuse hoidlate purustamine. Määratu territoorium muutuks aastakümneks Tšernobõli piirkonna saastatust kümneid kordi ületava saasteni-vooga elamiskõlbmatuks areaaliks, mille saastedoosid poleks eluohtlikud üksnes inimestele vaid isegi putukatele. Geneetilised mutatsioonid põhjustaksid seniste ökosüsteemide asendumise seninähtamatute vördjalike kooslustega.

Stratosfääri osoon kihi efektiivne paksus väheneks tuumalöögi tagajärjel tõenäoliselt 30 - 70 % võrra. Samaaegselt kasvaks osoonisaldus troposfääris. Ultraviolettkiirguse levi ja tema intensiivsus on nii aerosoolirikka atmosfääri korral praktiliselt võimatu usaldusväärselt arvutada. Seetõttu on osoonisalduse ja üldse atmosfääri koostise muutumise hinnangud vähese täpsusega. Ülalkirjeldatud sündmused võiksid toimuda ka vähem kontrastselt, piirdudes tuumatalve asemel tuumasügise ja tuumaöö asemel tuumahämärikuga. Ka see pehmem stsenaarium ei jäta inimese kui liigi säilimiseks soodsaid perspektiive.

### 36. ÕHU PUHASTAMINE

Õhupuhastus seisneb tahkete, vedelate ja gaasiliste saasteainete kõrvaldamises õhust. Põhiliselt tähendab see mitmesuguse intensiivsusega allikatest väljuvate heitgaaside ja suitsu puhastamist. Vähe- mas ulatuses on tegemist siseruumidesse suunatava õhu eelneva puhastamisega. Seda tehakse filtreerimise, konditsioneerimise ja ventileerimise teel. Tolmuvaba ja teatud gaasilisi lisandeid minimaalselt sisaldav peab õhk olema mitmesuguse kõrgtehnoloogilise tootmise ruumides, aga samuti muuseumides, raamatukogudes ja mõnedes hoidlates. Atmosfääri suunatava saastatud õhu puhastamiseks on kasutusel palju erinevaid tehnoloogiaid ja seadmeid. Saastatud õhu ja vee puhastamine ning jäätmete utiliseerimine on kõige laiemas levikuga keskkonnatehnoloogiad. Siinkohal vaatame lühidalt ainult nende tehnoloogiate alusprintsippe.

Et piirata atmosfääriõhu saastamist tuleb tootmise tehnoloogilises tsükliks ette näha tarvitatud õhu, suitsu ja heitgaaside puhastamine

tolmust ning keskkonnas ebasoodsalt mõjuvatest gaasilistest lisanditest. Samuti on põhimõtteliselt tarvilik transpordivahendite heitgaaside puhastamine. Suitsu ja tööstuslike heitgaaside tolmust puhastamisel on eesmärgiks selle tolmu õhust eraldamine ja kusagile kogumine ning eemale transportimine. Selleks loodud seadmed põhinevad mitmetel tuntud füüsikalistel protsessidel ja põhimõtetel. Puhastusprotsesse jagatakse tinglikult kõigepealt kuiv- ja märgmenetlusteks. Kuivmenetlustes on kasutusel elektrofiltrid või tolmusadestid, mis töötavad gravitatsiooni ja inertsipõhimõttega. Gravitatsioonijõu toimele töötavaks tolmusadestiks võib lihtsaimal juhul olla suurema diameetriga lõik tolmu õhu liikumise torustikus. Selle läbimisel langevad suuremad tolmu osakesed allapoole ja järgnevasse peenemasse torulõiku enam ei sisene. Mida pikem selline jämedam osa on, seda väiksemad osakesed temas veel välja sadenevad. Teise levinud lahendusena kasutatakse kummulipööratavate riiulitega varustatud punkreid. Läbi punkri voolanud õhust sadestub tolmu riiulitele, milliseid perioodiliselt punkri põhja tühjaks kallatakse. Seal omakorda saab tolmu läbi avatava siibri lasta kallurisse ja ära vedada või kasutada tolmu äratõimetamiseks pidevalt töötavat konveiertransportööri. Inertsipõhimõttega töötavates tolmutõukurites toimub tolmu vabanemine seadmesse juhitud tolmu õhujoo kiiruse ja suuna muutmise kaudu. Levinuimateks inertsipõhimõttega töötavateks tolmutõukuriteks on tsüklonid. Ültal vertikaalsesse silindrilisse kolonni lastud tolmu õhul lastakse spiraalselt ringelda kuni kolonni all osas oleva peenema vertikaalse silindri avani jõudmiseni. Ringlemise käigus sadestub tolmu inertsipõhimõttega kolonni seintele ja vajub alla kogumispunkrisse. Puhastatud õhk aga keerleb läbi sisemise peenema silindri üles. Konstruktsiooni variante võib olla õige mitmesuguseid, kuid põhimõtteks jääb ikkagi raskemate tolmuosakeste suunamine piki õhuvoolu puutujat silindri seintele, kust nad raskusjõu toimele punkrisse vajuvad. Selliste suhteliselt lihtsate kuivpuhastuse meetoditega puhastatakse õhk 85 - 90 % ulatuses tolmuosakestest, mille keskmine läbimõõt on 50 µm ümber. Põlevkivil töötavate elektrijaamade suitsus oleva lendtuha osakeste keskmine läbimõõt on 10 µm ja nendest õnnestub lihtsa kuivpuhastuse meetoditega vabaneda vaid 80 % ulatuses. Efektiivsemaks gaaside tolmu puhastamise viisiks on nende juhtimine läbi märgade tolmutõukurite. Konkreetseid modifikatsioone tuntakse nende osas isegi sadu, kuid rakendatava põhi-

mõtte alusel jaotamisel piisab enam-vähem viiest klassist. Veekilega tsüklonite seinu piserdatakse pidevalt veega, mis sealt tolmu kaasa haarates kilena alla voolab. Vahuaparaatides juhitakse puhastatav gaas läbi pindaktiivseid aineid sisaldava vee puhastuskambrisse pihustamisega tekitatud vahu. Juba eelmise sajandi algul olid kasutusel Ventuuri skruberid. Nende puhastav toime põhineb koagulatsioonil. Tolm haaratakse skruberisse piserdatava vee piiskadele. Rotatsiooniparaatides tekitatakse tolmu gaasi kontakt veega ventilaatori rootori pöörlemisega. Löögi-inerts tolmutüüdurites juhitakse tolmu õhk suure kiirusega vette. Tolmu osakesed pöörkuvad veepeeglit ja jäävad pinnale.

Tolmuosakestest läbimõõtudega alla 5 µm puhastatakse õhku lavsaanist, klaaskangast või mõnest muust vastupidavast materjalist filtrite abil. Tuha osakeste eraldamiseks kasutatakse ka teflooni ja klaastäidisega filtreid.

Gaaside elektrivälja abil puhastamise seadmeid nimetatakse elektrofiltriteks. Elektrofiltrites toimub elektriliselt laetud tolmuosakeste sadestamine sadestuselektroodidele. Filter koosneb õhujoa keskele jäävast negatiivse laenguga koroneerivast elektroodist ja positiivse laenguga sadestuselektroodist ümber korstna siseseina või puhastuskambri. Elektrofiltrid töötavad 40 - 75 kV alalisvooluga. Nendes toimub samaaegselt läbiva gaasi ioniseerimine ja gaasi kaudu laengu saanud tolmu osakeste kogumine. Lõpuks peab olema veel kogutud tolmu äratometamise süsteem.

Sama tähtis kui tolmu puhastamine on mürgiste või mõnes muus mõttes keskkonnale ebasoodsate gaaside eraldamine või nende neutraliseerimine. Selliste gaaside hulka kuuluvad väävli ja lämmastiku oksiidid, klooriühendid, aromaatsed polütsükliilsed süsivesinikud, metallide oksiidid jne. Gaasidest vabanemiseks kasutatakse absorptsiooni, mille tulemusel eemaldatavad komponendid neelduvad lahustes, kõige sagedamini vees. Kui vastavad komponendid seotakse lahustes keemiliselt, siis sellise absorptsiooni kohta öeldakse kemisorptsioon. Üldiselt on lahuses neeldunud komponendid hiljem vaja lahusest eraldada, et taastada lahuse absorptsioonivõime. Absorptsiooni teel saab gaaside segust eraldada hästi lahustuvaid komponente. Halvasti lahustuvate korral on vaja arutult suuri lahusti koguseid.

Adsorptsioon põhineb poorse ehitusega materjalide omadusel kontsentreerida oma pinnal gaasisegu üksikuid komponente. Levinud

adsorbendid on silikageel ja aktiivsüsi. 1 g aktiivsöe kogupindala võib olla kuni 1000 m<sup>2</sup>, silikageelil kuni 600 m<sup>2</sup>. Adsorbente valmistatakse teralise materjalina või peene pulbrina.

Katalüütilise puhastuse korral muudetakse peamiselt metallidest (Pt, Cr, Mn, Cu jt.) katalüsaatorite abil keskkonnale ohtlikud gaasilised komponendid kahjututeks või vähem kahjulikeks. Katalüütilist puhastamist kasutatakse järjest sagedamini mootorite heitgaasides sisalduvate NO<sub>x</sub> muutmiseks atmosfäärile normaalseks N<sub>2</sub>.

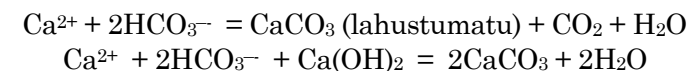
Mõnel puhul eraldatakse potentsiaalsed ebasoovitavate gaaside allikad juba eelnevalt. Väavli eemaldamiseks kütustest, peamiselt söest, on kasutusel füüsikalised ja keemilised meetodid. Väavli puhul jääb võimalus juhtida põlemisel tekkinud gaasid kohe kokku taandava lubjakiviga. Kuumuse käes põleb lubjakivi lubjaks ja lubi ühinedes vääveldioksiidiga, muutub kipsiks. Olemas on ka tehnoloogiad, mis võimaldavad lõppproduktiks saada väävelhappe või elementaarse väävli.

### 37. VETE PUHASTAMINE

Vete puhastamise all mõeldakse kokku kolme liiki töötlemist:

- veevärgi vee eelnevat töötlemist tema koostise viimiseks vastavusse normatiividega;
- vee spetsiifilist töötlemist (näiteks keskkütte torustikes ringleva vee pehmemdamine);
- heitvee puhastamine sellise tasemeni, mis lubab lasta teda looduslikesse veekogudesse või korduvkasutust.

Toorvee joogiveeks töötlemise protsess sisaldab kõigepealt aereerimist. Kontakt õhuga eemaldab veest lenduvad lahustunud gaasid nagu H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>. Kontakt õhuga aitab kaasa ka raua eraldamisele veest. Põhjaveest ongi lisaks lahustunud gaasidele vaja eemaldada liigne karedus ja raud. Lahustuv raud oksüdeerub õhuhapniku toimel lahustumatuks raua oksiidiks. Lubja lisamine vette pärast aereerimist suurendab vee aluselisust (veevärgi vee pH väärtus on üldiselt 8 lähedal) ja aitab välja sadestada karedust põhjustavad Ca<sup>2+</sup> ning Mg<sup>2+</sup> ionid:



Ülejäänud tahke hõljum sadestatakse põhja või tõstetakse flokulatsiooni ja koagulatsiooni teel pinnale. Lõpuks vesi klooritatakse ja filtreeritakse. Töötlemisbasseinidesse sadestuv muda pumbatakse spetsiaalsesse mudabasseini.

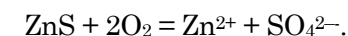
Küttesüsteemide vee töötlemisel on teised eesmärgid kui joogivee töötlemisel. On vaja eemaldada korrosiooni põhjustavad ja katlakivi tekitavad ühendid. Tööstusliku tarbimise puhul on vee korduvkasutuse väljavaated teiste kasutusalaadega võrreldes kõige paremad. Tehnoloogiliste protsesside jaoks on vaja tagada piisavad kogused tarvilike omadustega vett. Vee töötlemine võib toimuda kahes jaos. Kõigepealt viiakse minimaalsetele nõuetele vastavasse konditsiooni kogu käikuminev vesi. Üksikutes tehnoloogilise tsükli protsessides kasutatav eriti spetsiifiliste omadustega vesi töödeldakse vahetult enne tema kasutusse suunamist.

Linliku eluviisi levikuga ka väiksemates asulates kasvab järjest kommunaalheitvee maht. Olemasolevates heitvee kogumise ja töötlemise süsteemides suunatakse üldisesse puhastusseadmesse nii kommunaalvesi kui tööstuslik heitvesi. Viimastel aastatel tehtud uuringud kinnitavad, et tavaline olmeheitvesi ehk pesuvesi sisaldab N, P ja K kultuurtaimede jaoks kõige sobivamas proportsioonis ning on seega hea täisväetis. Potentsiaalselt võiks selle baasil rahuldada mõnikümne protsendi riigi mineraalväetise vajadusest. Juba fekaalvee juhtimine samasse süsteemi on põhimõtteline viga, sest kaasnev bakteriaalne reostus lükkab väetisena kasutamise võimaluse tükk aega edasi. Veel halvemaks teeb asjad tööstusliku heitvee lisamine, mis tavaliselt sisaldab raskemetalle ja muid mürgiseid aineid. Mõnevõrra erandina on toiduainetööstuse heitveed sobivad üldisesse süsteemi suunamiseks. Et Eestis on toiduainete tööstus üpris juhtival kohal, siis siin vete kokkujuhtimisest sageli suuremat kahju ei sünni, välja arvatud bakteriaalse reostuse aspekt. Rääkimata sellest, et potentsiaalne väetis jääb kasutamata, läbivad nimetatud mineraalained ka enamikku kasutuses olevaid puhasteid ning voolavad siseveekogudesse ja merre. Peale selle, et WC vesi reostab kommunaalvee bakteriaalselt, on WC üldse liiga suur veetarbija. Alternatiiviks võiksid tulevikus olla bioloogiline tualett või väikese veetarbega WC. Bioloogiline tualett tuleb kõne alla üksikelaamute puhul. See on üldjoontes kuivkäimla, milles toimub intensiivne orgaanilise aine jääkide mineraliseerumise protsess. Vähesese veetarbega WC üheks variandiks on vaakuumtualett, mis tarvitab korraga 1 - 1.5 l vett. Sellega võib

perekonna fekaalvee kogus piirduda 0.5 kuni 1 kuupmeetriga kuus. Üldsusele reklaamitakse sageli ka mitmeid primitiivseid vee kokkuhoiu mooduseid, nagu telliskivide loputuskasti paigutamine selle mahu vähendamiseks.

Seni käib linnade-asulate heitvee kogumine ja töötlemine ikkagi tsentraliseeritult. Esmane töötlemine seisneb lahustumatute ainete eraldamises, milleks vesi lastakse läbi sõela. Liiva, kohvipuru ja muu prahi eemaldamise mõte on selles, et see ei ummistaks puhastusseadet. Edasi toimub pisemate aineosakeste settimine või nende eemaldamine flokulatsiooni teel. Suurema efekti saamiseks kasutatakse kemikaalide abi.

Biopuhasti on puhastusseadme teiseks lüliks mehaanilise puhastuse järel. Siin toimub orgaanilise aine bioloogiline lagundamine. Selle tarvis on vaja vette segada võimalikult palju hapnikku ehk teisisõnu vett aereerida. Lagunemine ise toimub aktiivmuda koostises olevate bakterite vahendusel. Sama protsess toimub ka looduslikes veekogudes, kuid biopuhastis esinevad mikroorganismid n. ö. kontsentreeritult. Nende koosluse liigiline koostis on palju rikkalikum kui ükskõik millises looduslikus veekogus. Peale aeroobsete bakterite osalevad ja tõstavad lagundamise protsessi efektiivsust anaeroobsed bakterid. Tekkinud muda saab komposteerida ja kasutada hiljem väetisena. Kui kompost sisaldab tööstuslikust heitveest pärit raskemetalle ja teisi mürgiseid ühendeid, siis ei kõlba ta põllukultuuride väetamiseks. Väliseestlasest autoriteedi P. Vesilinnu hinnangul moodustab muda töötlemise maksumus 50 % kogu solgitöötlemise hinnast. Põhjalikult on uuritud raskemetallidest vabanemise mooduseid. Keemiliste meetodite rakendamist piirab nende metallide vähehine lahustuvus ja nõrk reageerimine hapetega. Mõnevõrra saab neid omadusi parandada bakterite kaasabil. Anaeroobses mudas on metallid sulfiididena, normaalses aeroobses mudas aga oksiididena, hüdroksüüdidenä, silikaatidenä või lahustunud sooladenä. Mikroorganismidenä abil õnnestub oksüdeerida metallidenä sulfiidid (NiS, ZnS, PbS, CuS jt.) sulfaatidenäks:



Osalt saab metallidenä ioonenä eemaldada adsorptsioonigenä aktiveeritud sõelenä.

Pärast aktiivmudagenä töötlemist võib vesi ikkagenä sisaldada tuberkuloosinä, düsenteeriat, tüüfust ja kooleratenä tekitavadenä pisikuid. Nendenä

hävitamiseks kasutatakse kloori või töödeldakse vett osooniga. Osooni valmistatakse koroonalahendusel 20 kV pingel töötavate osoonigeneraatoritega ja pumbatakse vette. Osoonigeneraatorisse suunatakse kuiv õhk. Osoneerimisel ei lisata vette kemikaale. Kemikaale pole vaja lisada ka siis kui osoneerimise asemel hävitatakse baktereid ultraviolettkiirguse abil.

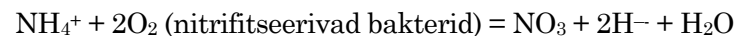
Heitvesi sisaldab oluliselt ka lahustunud anorgaanilisi aineid. Nendest saaks vabaneda destilleerimise teel, kuid destilleerimine on liiga energiamahukas ja kulukas. Selle asemel kasutatakse praktikas elektrilist dialüüsi ja pöördosmoosi. Pöördosmoosi korral lähevad vee molekulid läbi poorse ekraani. Soolad ei pääse sellest läbi. Elektrolüüsi puhul kipuvad puhastusprotsessi efektiivsust pidurdama suured orgaanilise aine ionid, kui neid on vette jäänud.

Kommunaalvesi sisaldab kuni 25 mg/l fosforit. Biopuhasti suudab tavaliselt eraldada vaid umbes 20 % sellest. Mõned heitveed, nagu suhkruvabrikute omad, on nii fosforivaesed, et biopuhasti mikroorganismide paljunemise huvides tuleb fosforit koguni lisada. Viimasel ajal tehakse ka pesupulbrid ilma fosforita. Kui ikkagi on fosforit vees teadaolevalt liiga palju, siis sadestatakse seda lubja abil:



Lubjaga võrreldes veel efektiivsem fosfori eemaldamine toimub alumiiniumiga aktiveeritud tahkel ainel. Sellisel teel õnnestub eemaldada kuni 99.9 % vees olnud fosforist.

Lämmastik esineb kommunaalvees peamiselt ammoniumi ioonidena  $\text{NH}_4^+$ . Kui õnnestub need ionid muuta ammoniaagiks  $\text{NH}_3$ , siis lendub lämmastik lihtsalt õhku. Tugevalt aeroobsetes tingimustes (hästi palju õhku vees) saab bakterite vahendusel oksüdeerida ammoniumi nitraatideks



ning seejärel redutseerida nitraadid molekulaarseks lämmastikuks denitritiseerivate bakterite vahendusel:



Esimese protsessi efektiivsus võib küündida kuni 95 % ja teise protsessi oma kuni 86 %.

Sageli on vesi reostunud õlidega. Kui suuremad kogused õli on valgunud veepinnale avariide läbi, siis tuleb see võimalikult kiiresti koristada. Selleks on kasutusel õli veepinnalt äraimemise meetod

vastava vaakuumtorustiku abil või "rebasesaba" ehk "põrandalapi" meetod. Viimase puhul kasutatakse hästi õli adsorbeerivast materjalist vette lastavat konveierit, millesse imetud õli pressitakse välja rullide vahelt läbi minnes nagu põrandalappi väänates. Väga suure viskoossusega pooltahket õli koristatakse veepinnalt lumekoristuse kraaptransportööri sarnase seadeldisega.

### 38. TAHKETE JÄÄTMETE TÖÖTLEMINE

Materiaalse tootmise mahu suurenemisega kaasneb jäätmete hulga kasv. Mõnes lõigus kasvab jäätmete maht toodangu omast isegi kiiremini. Seda pakendite arvel. Üheks suureks keskkonnaprobleemiks on inimkonna uppumine enese produtseeritud jäätmesse ja maailma muutumine kolossaalseks prügikastiks. Väikeste ja suurte prügimägede rajamise baasil ei õnnestu jäätmeprobleemi juba ammu lahendada. Jäätmeprobleem ilmus koos linnade tekkimise ja kasvuga. Keskaegsetes Euroopa ülimalt antisanitaarsetes linnades levisid 12. saj. kohale rännanud mustade rottide vahendusel katk, rõuged ja koolera. Hügieeni olud hakkasid paranema alates 17. sajandist. Osalt olid põhjuseks teadlikud meetmed. Pärast sagedasi suuri tulekahjusid hakati rajama avaramaid tänavaid, ehitama kivihooneid ja pöörama rohkem tähelepanu hügieenile ning jäätmete äraveole. Üheks haiguste leviku vähenemise põhjuseks peetakse musta roti väljatõrjumist halli roti poolt, millel oli seos kartuli kui toiduaine massilise levikuga. Praegu jääb arenenud riigi elaniku elutegevust meenutama mitusada kilogrammi jäätmeid aastas. Nüüd hakatakse üha rohkem mõtlema sellele, kuidas valmistada pakendeid materjalidest, milliste lagundamisega loodus ise suhteliselt lühikese ajaga toime tuleb. Seni massiliselt kasutuses olevad metall, polüvinüülkloriid ja klaas ei kuulu "heade" pakkematerjalide hulka. Pudelite ja klaaspurkide puhul on levinud korduvkasutus. Vahepealset vedelike ühekordselt kasutatava pakendi ideest ollakse nüüd üle saamas. Lähitulevikus on paratamatu ka vabanemine pakendiliialdustest.

Prügimäe asukohaks sobib kõige paremini loodusliku savikihiga allpool asuvatest põhjavee horisontidest kindlalt isoleeritud nõgu. Jäätmete koostis on keemiliselt mitmekesine ja sisaldab kindla peale ka vett ning õhku saastavaid aineid. Eeskirjad nõuavad eriti ohtlike jäätmete (radioaktiivsed isotoobid, tugevad mürkained) eraldi ladus-

tamist valve all olevatesse hoidlatesse. Prügi väärrib senisest enam käsitlemist toorainena. Otstarbekas oleks loomulikult prügi eelnev sorteerimine ja paigutamine juba algselt eraldi konteineritesse. Olmeprahist suurema hulga moodustavad toiduainete jäätmed, paber, kilepakendid, klaas ja metall. Paber oleks otstarbekas koguda uue paberi tooraineks. Paber laguneb ka looduses kiiresti, kuid tema vedamine prügimäele kuulub arutu raiskamise rubriiki. Samuti tuleks eraldi tooraineks koguda ka klaas ja metall. Toidujäätmed sobiksid olulisel määral loomatoiduks, kuid linliku eluviisi korral on sellist asja organisatsiooniliselt väga raske korraldada. Kolhooside ajal seda isegi tehti mõnesuguse eduga, kuid ka siis oli tasuvus küsitav. Nii või teisiti sobiks praegu prügikasti pandavast prahist suurem osa uue toodangu tooraineks või vähemalt kompostiks. Individuaalmajades kogunebki vähem prügi kui paneelmajades, sest osa saab kohapeal utiliseerida või põletada. Mingil juhul ei kõlba kuhjata jäätmeid kuskile tee veerde või metsa roiskuma.

Tööstuslike jäätmete keskkonnasõbralikkus on väiksem ja nende sortiment avaram. Nendestki on võimalik suur osa prügimäele kuhjamise asemel ära põletada. Et jäätmed sisaldavad traditsiooniliste kütustega võrreldes hoopis laiema valiku potentsiaalseid saasteaineid, siis on nende põletamise tehnoloogia omaette keerukas tehnikaharu. Esiteks on paralleelselt olemas kaks põhimõttelist suunda, üks suurte tsentraliseeritud põletusettevõtete ja teine väikeste lokaalsete ettevõtete poole. Suurtes ettevõtetes on tehnoloogia automatiseeritud ja saadava soojusega toetatakse soojuselektrijaamu. Suhteliselt hõreda asustuse korral ei õigusta suured ettevõtted end juba transpordikulude tõttu. Väikeste põletusahjude puhul teeb asjad kulukaks ja keeruliseks küllalt komplitseeritud puhastusseadmete vajadus. Keskkonna seisukohalt ongi ju kõige olulisem tingimus saasteainete minimaalne hulk eralduvas suitsus. Et nagunii tuleb põletada ka kloori sisaldavaid plastmasse, siis peab temperatuur küttekoldes ulatuma üle 800° C. Sellisel juhul kõige ohtlikumad ühendid lagunevad kuumuse toimel ja moodustuvad keskkonnale ohutumad ühendid.