



## Pruunistumine

- Inglise k. *brownification* (*browning*)
- Jõgede ja järvede vee värvuse muutumine pruunimaks valgalalt pärineva lahustunud orgaanilise aine sisalduse tõusu tagajärjel



## Orgaaniline aine veekogudes

- Taimse, loomse ja mikroobse päritoluga erinevas lagunemisastmes orgaaniliste ühendite segu
- Jaotus vastavalt päritolule:
  - autohtoonne – veekogus endas toodetud
  - allohtoonne – valgalalt sisse kantud
- Fraktsioonid:
  - partikulaarne (*particulate organic matter*, POM)
  - lahustunud (*dissolved organic matter*, DOM)
- Enamus orgaanilisest ainest leidub veekogudes lahustunud kujul

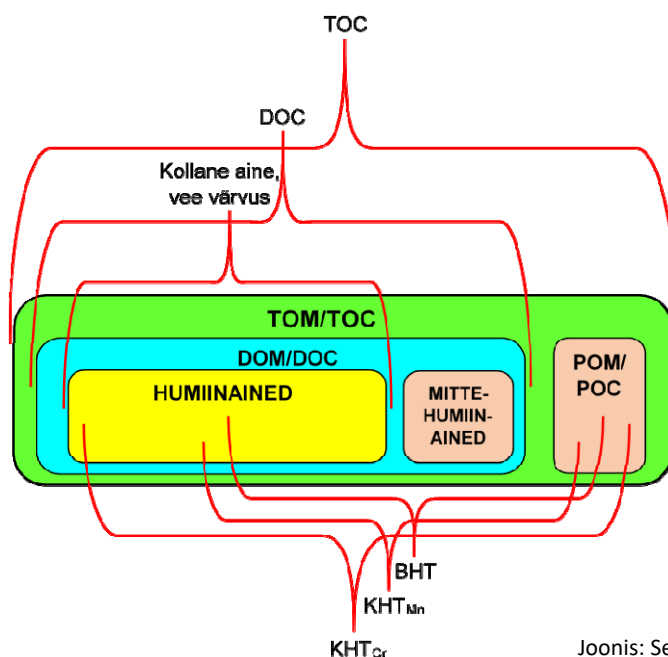
## Lahustunud orgaaniline aine (DOM)

- Mittehumiinained – kergesti lagundatavad
- Humiinained – maismaa taimkatte lagunemisel tekkinud keerulise koostisega orgaanilised ühendid
  - satuvad veekogusse valgalalt
  - muudavad vee värvuse kollaseks või pruunikaks
  - moodustavad kuni 90% DOM koostisest



Foto: M. Sepp, 2017

## Näitajad orgaanilise aine sisalduse mõõtmiseks



Joonis: Sepp et al., 2018



## Veepoliitika raamdirektiiv

- Kohustuslikud füüsikalise-keemilised elemendid järvedes:
  - läbipaistvus
  - temperatuuriolud
  - hapnikusisaldus
  - soolsus
  - hapestumus
  - toitainetesisaldus
- Orgaanilise aine sisaldus ei ole kohustuslik element
- Soovituslikud näitajad:
  - läbipaistvus – värvus
  - hapnikusisaldus – BHT, KHT, DOC, TOC
  - hapestumus – TOC
- Pooltes liikmesriikides ei mõõdeta järveseires ühtegi orgaanilise aine näitajat (Sepp et al., 2018)

Viide: Sepp, M., Kõiv, T., Nõges, P., Nõges, T., 2018. Do organic matter metrics included in lake surveillance monitoring in Europe provide a broad picture of brownification and enrichment with oxygen consuming substances? Science of The Total Environment 610-611, 1288-1297.

## Pruunistumise levik

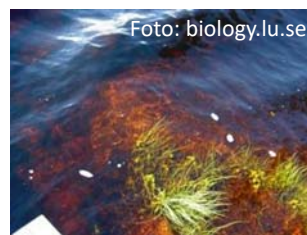


Foto: biology.lu.se

- DOM sisaldus on tõusnud ja vee värvus tumedamaks muutunud paljudes põhjapoolkera jõgedes ja järvedes
- Märkati juba 1990. aastatel
- Pruunistumist on täheldatud Rootsis, Norras, Soomes, Ühendkuningriigis, Iirimaa, Kesk-Euroopas ja Põhja-Ameerikas
- Piiratud parasvöötme, kus lahustunud humiained on peamine järvede vee värvust muutev tegur
- Vee värvuse tõus enamasti suurim pruuniveelistes järvedes
- Märkatud ka teistes järvetüüpides, nt. oligotroofsetes ja eutroofsetes heledaveelistes järvedes

## Olukord Eestis

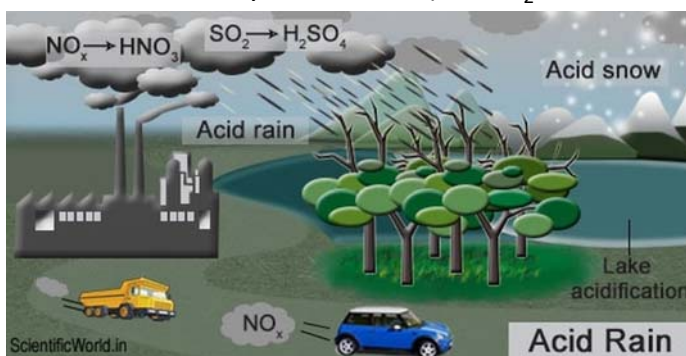


Foto: M. Sepp, 2017

- Eesti järvedes ja jõgedes ei ole pruunistumist täheldatud
- Pikaajalised andmerekad orgaanilise aine sisalduse kohta, kasutatud näitajad aastati erinevad
- Peamiselt mõõdetud hapnikutarvet:  $KHT_{Cr}$  ja  $KHT_{Mn}$  (esimesed andmed väikejärvedes 1925. a)
- Kollase aine sisalduse andmed väikejärvedes alates 1998. a
- Vee värvuse väärtusi platinium-koobalt skaalal on vähe
- **Väikejärvede seire püsivaatlusjärvedes ei ole kollase aine sisaldus viimase 10 aasta jooksul märgatavalt muutunud**

## Võimalikud põhjused: hapestumisest taastumine

- Ökosüsteemide hapestumisest taastumine väevli- ja lämmastikuoksiidide ( $\text{SO}_2$  ja  $\text{NO}_x$ ) heite vähenemise tulemusel
- 1979. a Genfi konventsioon (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution) on  $\text{SO}_2$  heidet edukalt reguleerinud



- $\text{SO}_2$  ja  $\text{NO}_x$  satuvad õhku gaasiliste tööstusheitmetena või transpordist
- Reageerivad õhuniiskusega, olles happeliste sademete allikaks

## Võimalikud põhjused: hapestumisest taastumine

- Happesademed kahjustavad metsi, veekogusid ja elustikku
- Ökoloogilised kahjustused suurimad Põhjamaades:
  - saasteainete kauglevi
  - muldade väike puhvervusvõime
- Hapestumise risk on kogu Euroopas oluliselt vähenenud



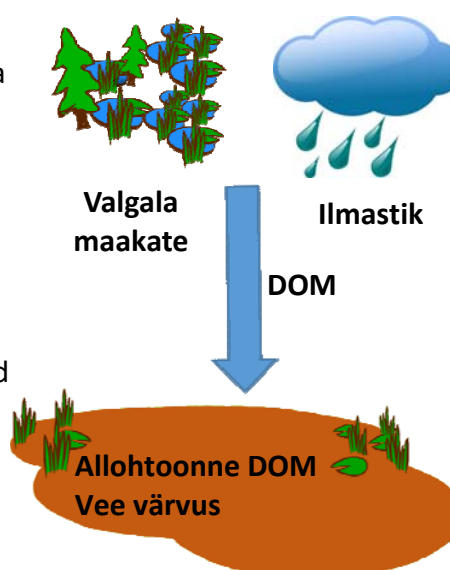
- Muldade ja järvede taastumiseks kulub aastakümneid

## Võimalikud põhjused: hapestumisest taastumine

- Koos väävelhappe atmosfäärilist sadenemise vähenemisega on tõusnud DOM sisaldus siseveekogudes
- Mulla hapestumisest taastudes suureneb mulla orgaanilise aine lahustuvus
- Mulla pH tõus muudab liikuvaks orgaanilise aine, mis happelisemate tingimuste korral oleks seotud
- See suurendab orgaanilise aine ärakannet veekogudesse
- DOM sisaldus oli Rootsi järvedes 100 aastat tagasi 2x kõrgem, vähenedes pidevalt kuni paarkümne aasta taguse ajani
- See kinnitab nn tagasipööratud hapestumise hüpoteesi

## Teised võimalikud põhjused

- Pruunistumist on märganud ka piirkondades, mis ei ole hapestumise all kannatanud
- Peab olema veel põhjusi
- Maakasutuse muutused:
  - üleminek põllumajanduselt metsandusele
- Ilmastikutingimuste muutused
  - sajuhulga suurenemine
  - õhutemperatuuri tõus



## Võimalikud põhjused: maakasutuse muutused



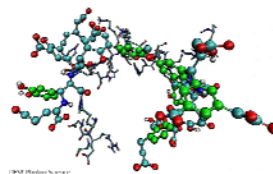
- Haritava maa vähenemine ja okasmetsade laienemine
- Boreaalsel valgalal on okasmetsad ja rabad peamine järvede DOM allikas
- Metsade laienemine suurendab DOM ärakannet valgalalt
- Üleminek põllumajanduselt metsandusele muudab mulla orgaanilise süsiniku varu
- Metsastamise mõju pruunistumisele avaldub pika viibeajaga
- Praegune vee värvuse tumenemine võib olla tingitud mitmekümne aasta tagustest maakasutuse muutustest

## Võimalikud põhjused: ilmastikutingimuste muutused



- Suurenenud sajuhulk ja saju intensiivsus muudavad maasse imbunud vee liikumist
- Suureneb vee kokkupuude mulla huumushorisonidiga
- Suurem äravool → suurem DOM äraanne veekogudesse
- Intensiivsem veevahtus → väheneb DOM eemaldamine veekogus endas
- Õhutemperatuuri tõus → primaarproduktiooni tõus maismaa ökosüsteemides
- Lühem aeg, kui maapind on külmunud → äraanne toimub pikema perioodi jooksul aastas

## Lisategurid: orgaanilise aine omadused



- Vee värvuse muutus tihti suurem kui DOM sisalduse tõus
- Värvust mõjutavad ka orgaanilise aine omadused
- Tagasipööratud hapestumise tulemusel suureneb DOM molekulmass ja aromaatsus
- Tõuseb eelkõige suurema molekulmassi ja aromaatsete rühmade sisaldusega orgaanilise aine fraktsioonide lahustuvus
- Sellised fraktsioonid on tumedama värvusega
- Orgaanilise aine omadusi seiratakse veekogudes harva, EL järveseires selliseid näitajaid ei mõõdeta

## Lisategurid: vee rauasisaldus



- Raud mõjutab samuti vee värvust
- Siseveekogude rauasisaldus on viimasel ajal tõusnud
- Nt. Roots, Soomes ja Ühendkuningriigis
- Muutused sõltuvad valgala muldade redokstingimustest
- Need määravad raua oksüdatsiooniastme ning lahustuvuse ja liikuvuse mullas
- Kõrge õhutemperatuur ja mulla kõrge niiskusesisaldus soodustavad redutseerivate tingimuste kujunemist mullas
- Suureneb raua ärakanne veekogudesse



## Ökoloogilised tagajärjed

- Orgaanilise aine lagunemine võib hapnikupuudust põhjustada
- Lisaks tekivad CO<sub>2</sub> ja CH<sub>4</sub>, mille emissioon atmosfääri panustab kasvuhoone-efekti süvenemisse
- Tumedamas vees väheneb eufootilise kihi paksus
- Valgusest võib saada fotosünteesi piirav tegur
- See mõjutab ka sekundaarproduksiooni
- Kalad näevad tumedas vees halvemini, nende toiduotsingud on piiratud
- Selle tagajärjel võib kalade suremus tõusta

## Sotsiaalsed tagajärjed

- Raskendab veepuhastust
- DOM võib vee kloorimise käigus vähkitekitavaid ühendeid moodustada
- Probleemiks piirkondades, kus joogivesi pärineb pinnaveekogudest
- Pruunistumine vähendab järvede virgestusväärtust
- Tumedaveelised järved on tihti ujujatele vähem ligitõmbavad



Foto: M. Sepp, 2015

## Tulevikutrendid

- Põhjusteks muutused ilmastikutingimustes ja maakasutuses → pruunistumine jätkub ka järgmistel aastakümnetel
- Põhjuseks tagasipööratud hapestumine → pruunistumine lõpeb koos tööstusrevolutsiooni-eelsete tingimuste taastumisega

