



Veden väri

Ilmasto vaikuttaa veden värin
lisääntymiseen pohjoismaisissa järvissä



Miljoonat ihmiset juovat järvi- tai jokivettä Pohjoismaissa

Puhdas vesi ilman haitallisia organismeja ja kemikaaleja on välttämättömyys ihmisyyteille. Muihin maailman alueisiin verrattuna juomaveden tuotantoon käytetty raakavesi on Pohjoismaissa hyvälaatuista. Yleensä pohjavesi on parempi-laatuista kuin pintavesi. Silti miljoonat ihmiset Pohjoismaissa käyttävät järvistä ja joista peräisin olevaa vettä juomavetenään. Esimerkiksi Ruotsissa noin 50% väestöstä käyttää pintavettä, 25% käyttää tekopohjavettä ja vain 25% saa juomavetensä pohjavedestä.

Humus aiheuttaa ongelmia juomaveden puhdistuksessa

Suurin ero pohjaveden ja pintaveden välillä on se, että pohjavesi sisältää yleensä hyvin vähän orgaanisia aineita. Pintavesi sitä vastoin sisältää ajallisesti ja paikallisesti vaihtelevassa määrin orgaanista ainesta. Luonnontilaisissa vesissä suurin osa orgaanisesta aineesta on peräisin maaperästä. Nämä aineet värjäävät veden ruskean kellertäväksi (Valokuva 1). Tutkimukset pienillä vuoristo- ja boreaalilla valuma-alueilla Pohjoismaissa osoittavat, että vuosittainen humuskuorma, mitattuna orgaanisena kokonaishiilenä (TOC), vaihtelee 10 – 200 kg C ha⁻¹ y⁻¹. Värillistä orgaanista ainesta kutsutaan humukseksi tai veden humusaineiksi. Humus on aina tuottanut ongelmia vedenkäsittelylaitoksille, jotka pyrkivät tuottamaan korkealaatuista juomavettä. Jo vuonna 1908 Helsingin vesilaitoksella tehtiin kokeita humuksen vähentämiseksi. Vantaanjoesta otettuun veteen lisättiin rautasuolaa tarkoituksena saostaa humus ja savipartikkelit.

Humus on bakteerien ja sienien ravintoa, mikä voi edistää liiallisesti mikro-organismien kasvua vedenjakelujärjestelmässä aiheuttaen jälki-ongelmia kuten sairauksia, makua ja hajua. Näin ollen raakavesi täytyy käsitellä ennen kuin se saavuttaa juomaveden laatuvaatimukset ja voidaan jakaa kuluttajille. EU:n juomavesidirektiivi (98/83/EC) on tarkentanut vedenlaatuvaatimusten täytäntöönpanoa esimerkiksi humusspitoisuuden suhteen. Kemiallista käsittelyä (rauta, alumiini, polymeerit jne.), suodatusta ja/tai UV-säteilyä käytetään humusspitoisuuden vähentämiseksi hyväksyttävälle tasolle. Kloorausta voidaan käyttää viimeisenä käsitteilynä, jotta mikro-organismien tuotanto jakelujärjestelmässä pysyy hyväksyttävällä tasolla. Valitettavasti jäljelle jäänyt humus ja lisätty kloori saattavat reagoida keskenään ja muodostaa orgaanisia klooriyhdisteitä, jotka aiheuttavat epämiellyttävän hajun jo hyvin pieninä pitoisuuksina.

Mitä humus on?

Humusaineet, humus, ovat ruskeita aineita, jotka vapautuvat maasta sen kastuessa. Keltaisesta ruskeaan vaihteleva väri aiheutuu suurista ja monimutkaisista hiiliyhdisteistä, jotka ovat suurimmaksi osaksi peräisin hajoavasta eläin- ja kasviaineksesta. Humus voi myös olla osittain peräisin mikro-organismien, kasvien ja eläinten eritteistä. Humus on tärkeä tekijä epäorgaanisten ja orgaanisten ravinteiden kulkeutumisessa ja käyttökelpoisuudessa kasveille. Humus vaikuttaa raskasmetallien ja orgaanisten epäpuhtauksien toksisuuteen ympäristössä, koska se muodostaa komplekseja monien myrkyllisten aineiden kanssa. Se on myös emäs-happo-ominaisuksiensa vuoksi erittäin tärkeä tekijä pintavesien happamuu-delle. Useat pintavedet ovat humuksen johdosta luonnollisesti happamia (pH<6).

1990-luvulla laajentuneet vedenkäsittelyongelmat

1990-luvulla useilla pohjoismaisilla vedenkäsittelylaitoksilla oli suuria tuotanto-ongelmia raakaveden kohonneen humuspitoisuuden vuoksi. Raakaveden käsittelykustannukset nousivat huomattavasti ja silti juomaveden laatu huononi. Jotkut kunnat jopa arvioivat mahdollisuuksia vaihtaa vedenhankintaa toisiin, parempilaatuisiin lähteisiin. Näin ollen yhteiskuntaa kiinnostaa suuresti tietää nouseeko humuspitoisuus edelleen, tasoittuuko vai laskeeko se hyväksyttävälle tasolle? Tämän tiedon saavuttamiseksi kaivataan vastauksia tärkeisiin kysymyksiin, kuten mitä seurauksia on odotettavissa ilmastonmuutoksen aiheuttaman lämpimämmän sään ja suuremman sadannan myötä Pohjoismaissa? Tällä projektilla, jota rahoittavat Pohjoismainen ministerineuvosto, Ruotsin maatalousyliopisto (SLU), the Norwegian Institute for Water Research (NIVA), Suomen ympäristökeskus (SYKE) ja Uumajan yliopisto, on ollut tarkoituksena vastata näihin aihepiireihin liittyviin kysymyksiin. Joitakin tuloksia esitellään tässä esitteessä.

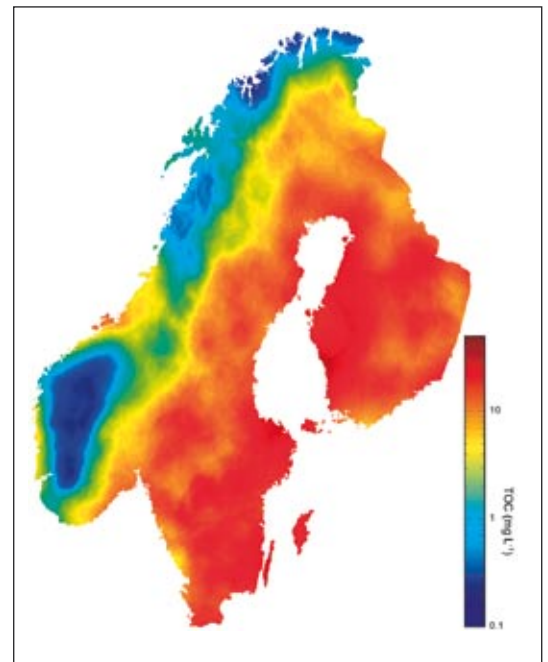
Norjan kirkkaat sekä Ruotsin ja Suomen värilliset vedet

Vuonna 1995 tehty pohjoismainen järvikartoitus koski noin 4 900 järveä. Orgaanisen aineen pitoisuus kokonaisorgaanisena hiilenä (TOC) mitattuna määritettiin jokaisesta järvestä. TOC antaa hyvän arvion veden humuspitoisuudesta. Erittäin alhaisia humuspitoisuuksia havaittiin vuoristoalueilla Norjassa (Kuva 1). Näkösyvyys näissä kirkasvetisissä järvissä, joiden TOC pitoisuus on alle 1 mg/l, saattaa olla yli 10 metriä. Värillisimmät vedet, joiden TOC pitoisuus oli usein yli 20 mg/l havaittiin Lounais-Ruotsissa ja Suomessa. Näkösyvyys näissä järvissä on harvoin yli yhden metrin ja jotkut niistä ovat kahvin värisiä (Valokuva 1).

Erot veden humuksen määrässä johtuvat pääasiassa ilmaston, maaperän ja kasvillisuuden aiheuttamista eroista maaperän humuksen huuhtoutumisesta. Humuspitoisuuteen vaikuttavat myös vesistön sisäiset prosessit kuten sedimentaatio, valo- ja mikrobiologinen hajoaminen jne. Korkeat humuspitoisuudet ovat yleensä suo- ja metsäalueilla, joilla on vähän järviä, eli alueilla, joiden maaperän hiilivarasto on suuri ja veden viipymä lyhyt. Alhaiset pitoisuudet ovat alueilla, joilla on niukka kasvillisuus, vähän orgaanista maata ja suuria järviä (pienet maan hiilivarastot ja pitkä veden viipymä). Humuspitoisuudet ovat yleensä korkeampia latvavesistöissä kuin alajuoksulla.

Tämä tieto ei ole uutta. Jo vuonna 1929 J.V. Eriksson lausui ”*Kaikki, jotka ovat kiinnittäneet edes vähän huomiota metsäalueidemme jokiin, ovat varmasti huomanneet seuraavat asiat. Pienimmät purot ovat yleensä tummanruskeita, erityisesti, jos ne virtaavat soilta. Kun ne yhtyvät suurempaan jokeen, veden väri vaalenee. Vaikka suurin osa järveen laskevista joista ovat veden väriltään tummanruskeita, järvestä laskeva vesi on väriltään vaaleampaa, ei ainakaan tummanruskeaa, mikäli järvi on vähääkään kookkaampi.*”

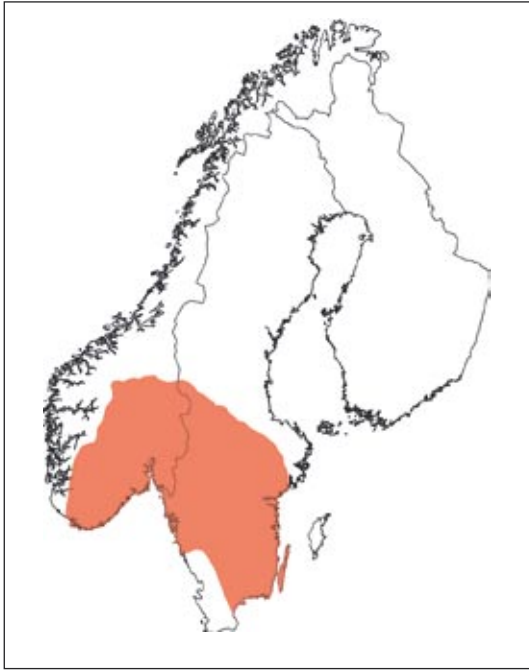
Lisäksi orgaanisen aineen pitoisuudet viime vuosisadan alussa (1916-1925) ovat hyvin samanlaisia verrattuna viime vuosikymmeninä (1965-2001) dokumentoituin pitoisuuksiin muutamissa Keski- ja Pohjois-Ruotsin joissa sekä Vätternjärveen laskevassa joessa (Domneån, Taulukko 1). Tämä aineisto osoittaa, että humuspitoisuuksissa ei ole tapahtunut mitään dramaattisia muutoksia viimeisen vuosisadan aikana.



Kuva 1. Humuspitoisuudet TOC:na mitattuna Fennoskandian järvissä ($n_{tot}=4900$ järveä). Kartasta näkyy voimakas länsi-itägradientti kirkkaista järvistä Norjan länsiosissa humusjärviin Suomessa ja Ruotsin itäosissa. Alueellinen vaihtelu johtuu ilmastosta, maannoksen paksuudesta ja kasvillisuustyypistä.

Joki	Ajanjakso	Keskiarvo KMnO_4 (mg/l)	Keskijohdonta KMnO_4 (mg/l)	Havaintojen lukumäärä
Domneån	1916-1925	61.3	16.2	51
	1966-2001	71.4	31.2	375
Klarälven	1916-1923	23.4	7.7	37
	1965-2000	28.4	9.2	426
Ljusnan	1916-1923	30.3	7.5	37
	1969-2001	36.0	13.8	356
Ljungan	1916-1923	23.6	4.3	36
	1969-2001	25.6	5.1	389
Indalsälven	1916-1923	19.9	2.4	35
	1969-2001	18.1	4.5	364
Skellefteälven	1916-1923	16.2	10.5	31
	1969-2001	17.3	8.3	382
Piteälven	1916-1923	13.2	4.6	34
	1967-2001	14.6	7.9	412
Abiskojokk	1919-1923	6.2	2.9	19
	1982-2000	5.2	5.1	226

Taulukko 1. Muutamien ruotsalaisten jokien humuspitoisuudet mitattuna KMnO_4 :n kulutuksena 1900-luvun alussa ja lopussa. Vuosien 1916-1925 aineiston on analysoinut J.V. Eriksson ja myöhemmän jakson aineiston SLU. Kahden tutkimuksen havaintopisteet sijaitsevat lähellä, mutta eivät ole identtiset.



Kuva 2. Alueellinen humuspitoisuuden kehityssuunta TOC:na mitattuna Fennoskandian järvissä. Varjostetun alueen järvissä on ollut tilastollisesti merkitsevä ($p < 0.05$, $n_{tot}=344$ järveä, Mann-Kendall) humuspitoisuuden nousu ajanjaksolla 1990-1999.



Kohonneita humuspitoisuuksia eteläisessä Skandinaviassa 1990-luvun aikana

Humuspitoisuuksien muutoksia 1990-luvulla tutkittiin 344 referenssijärvessä Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa. Ihmisen vaikutus näiden järvien veden laatuun rajoittuu ainoastaan ilmaperäiseen laskeumaan ja metsätalouteen. Tilastollisesti merkitseviä kehityssuuntia havaittiin pääasiassa Norjan kaakkoisosan ja Ruotsin eteläosan järvissä (Kuva 2). Samanlaisia kehityssuuntia on humuspitoisuuksissa havaittu myös Skotlannin vesistöissä. Nämä tulokset vahvistavat monien vedenkäsittelylaitosten havainnot kohonneista humuspitoisuuksista.

Hydrologiset ominaisuudet vaikuttavat humuspitoisuuksiin

Karlskronan, Falunin ja Tukholman kunnat ovat ystävällisesti antaneet aineistoa käyttöömmä Lyckebyån-joen ja Rogsjön- sekä Görveln-järven orgaanisen aineen pitoisuuksista 1940-luvulta lähtien. Samanlaisia, permanganaatin ($KMnO_4$) kulutukseen orgaanisen aineen hapetuksessa perustuvia määritysmenetelmiä on käytetty vedenkäsittelylaitoksissa koko ajanjakson ajan. Aineistosta voi havaita joitain esimerkkejä pitkän ajanjakson vaihteluista humuspitoisuuksissa eteläisessä Ruotsissa, joka on vastaava alueen kanssa, jossa kohonneita humuspitoisuuksia dokumentoitiin 1990-luvulla.

Kolmen vesistön valuma-alueesta yli 70% on metsää tai suota. Hydrologiset ominaisuudet ovat kuitenkin hyvin erilaiset (Taulukko 2). Lyckebyån-joen veden viipymäaika on joitain päiviä ja järviä on vain 4% valuma-alueen pinta-alasta. Görväl-n-järven osavaluma-alue sijaitsee Mälaren-järven, joka on Ruotsin kolmanneksi suurin järvi, itäpuolella. Sen veden viipymä on 0,6 vuotta (Mälaren = 2,8 vuotta) ja valuma-alueen järvisyys 11%. Rogsjön-järvellä on pitkä veden viipymäaika, 5,6 vuotta ja valuma-alueen järvisyys on suuri, 14%. Teoriassa Rogsjö-järven veden vaihtumiseen kuluisi 5,6 vuotta, kun taas Lyckebyån-joen vesi vaihtuu jatkuvasti.

Lyckebyån-joki reagoi nopeasti sateeseen ja lumen sulamiseen, ja sillä on huonot mahdollisuudet sisäisillä prosesseilla alentaa humuspitoisuuksia. Görväl-n-järvi ja erityisesti Rogsjön-järvi reagoivat viiveellä sään vaihteluihin ja niillä on hyvät mahdollisuudet humusmäärän pienentämiseen järven sisäisillä prosesseilla. Nämä erot kuvastuvat humuspitoisuuksiin, jotka ilmaistaan sekä veden värinä että $KMnO_4$:n kulutuksena (Taulukko 2). Ajanjaksolla 1940-2002 veden väri oli keskimäärin 4 kertaa korkeampi Lyckebyån-joessa kuin Görväl-n-järvessä ja yli 7 kertaa korkeampi kuin Rogsjön-järvessä.

Taulukko 2. Lyckebyån-joen, Rogsjön-järven ja Görveln-järven valuma-alueiden ominaisuudet sekä keskimääräiset veden värinä ja $KMnO_4$:n kulutuksena mitatut humuspitoisuudet ajanjaksolla 1940-2000.

Vesistö	Ominaisvalunta $dm^3 km^{-2} s^{-1}$	Veden viipymä (vuosia)	Valuma-alueen ala km^2	Metsän ja suon osuus	Järvisyys	Väri $mg Pt L^{-1}$	$KMnO_4$ $mg l^{-1}$
Lyckebyån	7.6	<0.01	810	79%	4%	103	56
Görväl-n	7.2	0.6	22 603	70%	11%	23	24
Rogsjön	9.1	5.6	190	84%	14%	13	16



Miten humusta mitataan?

Orgaanisen aineen määrää pintavesissä voidaan mitata monella eri tavalla.

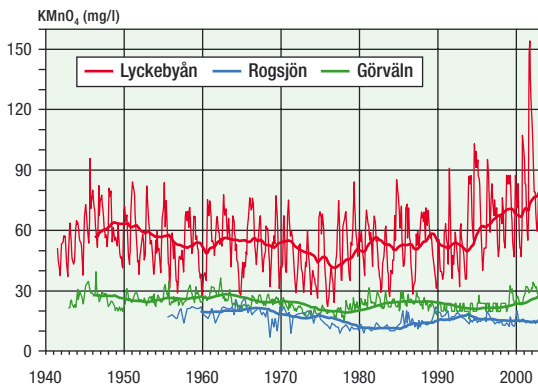
Alla olevassa listassa on esitetty muutamia esimerkkejä käytössä olevista menetelmistä.

Nimi	Selitys	Sisältö
TOC (mg C/l)	Orgaaninen kokonaishiili	Kaikki näytteen sisältämä orgaaninen hiili.
DOC (mg C/l)	Liennut orgaaninen hiili	Orgaaninen hiili, joka suodattuu tiettyä huokoskokoa olevan suodattimen läpi.
BOD ₇ (mg O ₂ /l)	Biologinen hapen kulutus	Bakteereiden 7 päivän aikana kuluttama happimäärä. Huonommin toistettavissa kuin COD.
COD _{Mn} (mg O ₂ /l)	Kemiallinen hapen kulutus	KMnO ₄ : n aiheuttama orgaanisen hiilen kemiallinen hajoaminen. Kromaattia (COD _C) käytetään teollisuuden vesiin.
KMnO ₄ (mg/l)	Kaliumpermanganaatin kulutus	KMnO ₄ : n aiheuttama orgaanisen hiilen kemiallinen hajoaminen. COD _{Mn} ≈ KMnO ₄ /3,95 ≈ DOC
Veden väri (mg Pt/l)	Veden väriä verrataan standardin väriin	Suodatetun näytteen väriä verrataan PtCl ₆ ⁻² -standardiliuoksen tai kiekon väriin. Humuksen lisäksi rauta ja mangaani värjäävät vettä. Subjekttiivinen menetelmä!
Veden absorbanssi	Absorbanssin mittaus	Suodatetun veden absorbanssi mitataan. Käytettyjä aallonpituuksia ovat esim. 254, 400, 420 tai 436 nm. Parempi tarkkuus kuin veden värillä.

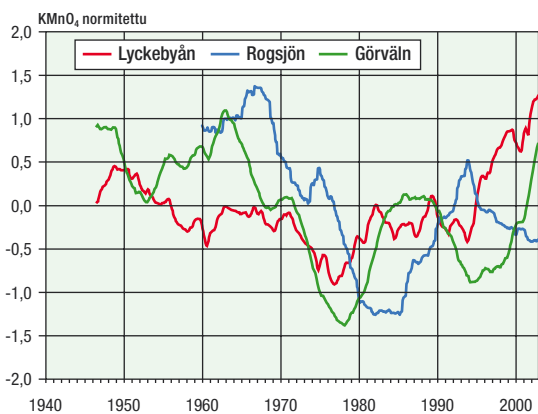


Pitkän aikavälin vaihtelut säässä vaikuttavat humuspitoisuustasoon

Humuspitoisuus vaihtelee jokaisessa vesistössä sekä vuodenaikojen että vuosien välillä. Pitkän aikavälin vaihtelut eivät ole yksinkertaisia suoraviivaisia kehityssuuntia. Sen sijaan aineisto osoittaa enemmän tai vähemmän syklistä tapahtumien kulun (Kuva 3a). Lyckebyån-joessa humuspitoisuus nousi 1940-luvun alussa ja oli keskimääräistä korkeampi noin kymmenen vuoden ajan vuoden 1950 molemmin puolin, minkä jälkeen se laski minimiin vuonna 1976. Sen jälkeen humuspitoisuus vähitellen nousi ja saavutti keskimääräisen tason 1993 ennen kuin saavutti suurimman arvon vuonna 2002 (Kuva 3b). Myös Rogsjön- ja Görvåln-järven aineisto viittaa sykliin kehityssuuntiin, mutta jaksottaisuus ja amplitudi vaihtelevat. Jaksottaisuutta tarkasteltaessa Görvåln-järvi näyttäisi olevan melkein samassa vaiheessa tai hiukan jäljessä (<2 vuotta) kuin Lyckebyån-joki, kun taas syklit Rogsjön-järvessä näyttäisivät olevan 4-7 vuotta jäljessä. Nämä vaiheen vaihtelut viittaavat siihen, että veden viipymä on tärkeä tekijä, joka vaikuttaa humuksen määrän huippujen ajoittumiseen eri vesistöissä.



Kuva 3a. Humuspitoisuudet KMnO_4 :n kulutuksena mitattuna 1940-luvulta lähtien Lyckebyån-joessa (Etelä-Ruotsi), Rogsjön-järvessä (Keski-Ruotsi) ja Görvåln-järvessä (Keski-Ruotsin itäosa). Paksut viivat ovat 60 kuukauden liukuvia keskiarvoja.

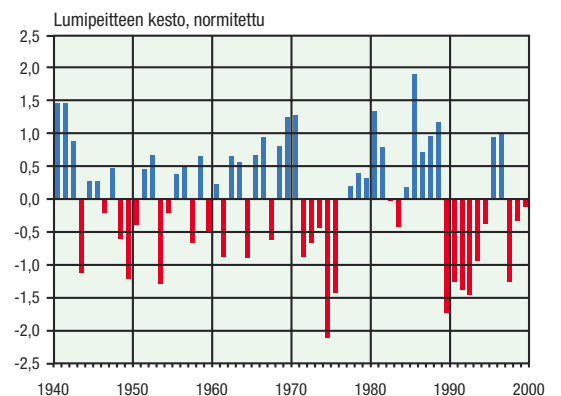
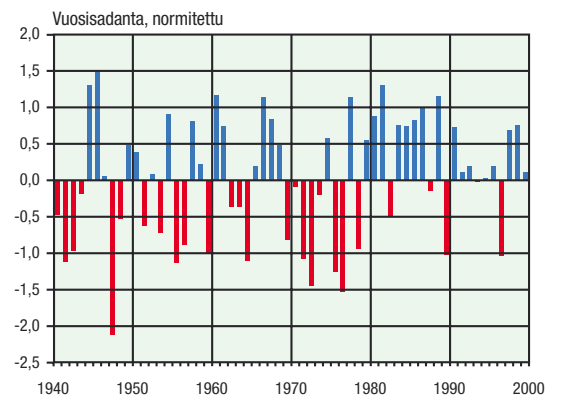
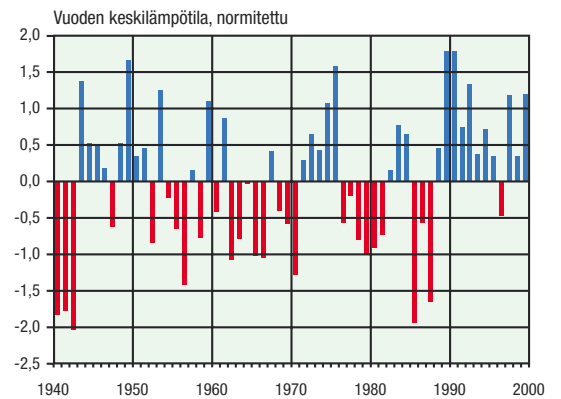


Kuva 3b. Viiden vuoden (60 kuukautta) liukuvat keskiarvot normitetuista, KMnO_4 :n kulutuksena mitatuista humuspitoisuuksista 1940-luvulta lähtien Lyckebyån-joessa, Rogsjön-järvessä ja Görvåln-järvessä. Normitettu arvo = (havaittu arvo – keskiarvo) / keskihajonta.



Humuspitoisuus nousi 1940-luvun alussa Lyckebyän-joessa (Kuva 3). Tämä ajoittuu samaan aikaan jakson kanssa, jolloin ilman lämpötila nousi, sadanta lisääntyi ja lumipeitekauden pituus talvisin lyheni. Lasku 1960-luvun lopulla ja 1970-luvulla ajoittuu samaan aikaan nousseen ilman lämpötilan, vähäisemmän sadannan ja lyhyempien lumipeitekausien kanssa (Kuva 4). Humuspitoisuuksien nousu 1970-luvun lopulla ja 1980-luvulla ajoittuvat samaan aikaan normaalia alempien ilman lämpötilojen, runsaamman sadannan ja pitempien lumipeitekausien kanssa. Normaalia korkeampi ilman lämpötila ja lyhyemmät lumipeitekaudet olivat tyypillisiä 1990-luvulla. Lyckebyän-joen alueella, missä dokumentoitiin nousseita humuspitoisuuksia, sadanta oli normaalia suurempi. Kahdella toisella alueella, sadanta vaihteli paljon enemmän ja oli keskimäärin pienempi kuin normaalisti 1990-luvun puolivälissä.

Laaja-alaiset syklit kolmessa vesistössä osoittavat, että ilmastolliset tekijät ovat olennaisia humuksen dynamiikalle. Lyckebyän-joessa on tilastollisesti merkitsevä positiivinen riippuvuus vuoden keskimääräisen humuspitoisuuden ja vuoden sadannan välillä. Sen kaltaista suhdetta ei ole nähtävissä Görvåln- ja Rogsjön-järvessä johtuen pitemmästä veden viipymästä ja siten viivästyneestä humuksen kierrosta. Positiivinen riippuvuus humuspitoisuuden ja veden virtaaman välillä on kuitenkin löydetty Rogsjön-järvestä. Ilmeisesti sadannan määrä on tärkeä humuksen huuhtoutumiselle maaperästä, ja siten se vaikuttaa myös humuspitoisuuksiin vesistöissä. Lyckebyän-joessa ei ollut havaittavissa riippuvuutta humuspitoisuuden ja ilman lämpötilan tai lumipeitteen keston välillä.



Kuva 4. Normitetun vuosittaisen keskilämpötilan (A), sadannan (B) ja lumipeitteen keston (C) keskiarvot SMHI -sääasemilla Växjössa (Etelä-Ruotsi), Falunissa (Keski-Ruotsi) ja Uppsalassa (Keski-Ruotsin itäosa). Normitettu arvo = (havaittu arvo – keskiarvo) / keskihajonta.



Lyhytaikaiset säävaihtelut aiheuttavat humuspitoisuuden huippuja kesällä tai talvella

Vuosien 1940–2000 välisenä aikana Lyckebyän-joessa suurimmat humuspitoisuudet (veden värinä mitattuna) esiintyivät 26 tapauksessa talviaikana, joulumaaliskuussa, ja 26 tapauksessa kesäaikana, kesä-elokuussa. Växjön säätilastojen mukaan talven humuspitoisuuden huiput osuivat vuosiin, jolloin syksyn ja talven sää, syys-maaliskuussa, oli normaalia kylmempi ($<1\text{ }^{\circ}\text{C}$), kuivempi ($<25\text{ mm}$) ja lumipeitteen kesto oli lyhyempi (<15 päivää) (Taulukko 2). Kesän humuspitoisuuden huiput ajoittuivat vuosiin, jolloin samat ominaisuudet koskivat kevättä ja kesää, maaliskuu-elokuuta. Humuspitoisuuksien huippuarvot vaihtelivat paljon eri vuosien välillä ollen talviaikaan $81 - 178\text{ mg Pt l}^{-1}$ ja kesäaikaan $81 - 224\text{ mg Pt l}^{-1}$.

Vuosien 1940 ja 1965 välillä talviset humuspitoisuuden huiput dominoivat (16 tapausta) kun taas kesäiset huiput olivat harvinaisia (3 tapausta). Vuoden 1966 jälkeen tämä tilanne muuttui ja kesäiset huiput dominoivat (23 tapausta) ja talviset huiput tulivat harvinaisemmiksi (10 tapausta). Tämä osoittaa, että syksyt ja talvet ovat tulleet lämpimimmiksi ja kosteimmiksi, kun taas kevät ja kesät ovat tulleet kylmemmiksi ja kuivemmiksi.

Vuosikymmenen tai pidemmässä mittakaavassa korkeat humuspitoisuudet ovat aiheutuneet jakson jokseenkin jatkuvasta sadannan kasvusta, kun taas alhaiset pitoisuudet ovat aiheutuneet pitemmistä kuivista jaksoista. Päinvastoin pitkäaikaiselle humusdynamikalle, vuosittaiset humuspitoisuuden huiput Lyckebyän-joessa liittyvät edeltävien 5–7 kuukauden kylmään ja kuivaan jaksoon.

Tulkintana näille kahdelle eri tilanteelle voisi esittää sen, että pitkäaikainen sadannan kasvu nostaa pohjaveden pintaa niin, että se pääsee kosketuksiin runsashumuksisen pintamaan kanssa laajoilla alueilla. Suurin osa orgaanisesta aineesta (yli 70%) on kerääntynyt mineraalimaan ylimpään kerrokseen, paitsi soilla, missä se on suurimmaksi osaksi varastoitunut turpeeseen. Talven ja kesän humuspitoisuuden huiput muodostuvat luultavasti silloin, kun pohjavesi väliaikaisesti tasoittuu ja pintavesivalunta on lähtöisin turvemaalta sekä pysyviltiltä humusrikkailta pohjavesivirtaama-alueilta. Ruotsin pohjoisosista on useita tutkimuksia, jotka osoittavat näiden rantavyöhykkeiden tärkeyden lyhytaikaiselle humusdynamikalle joissa.



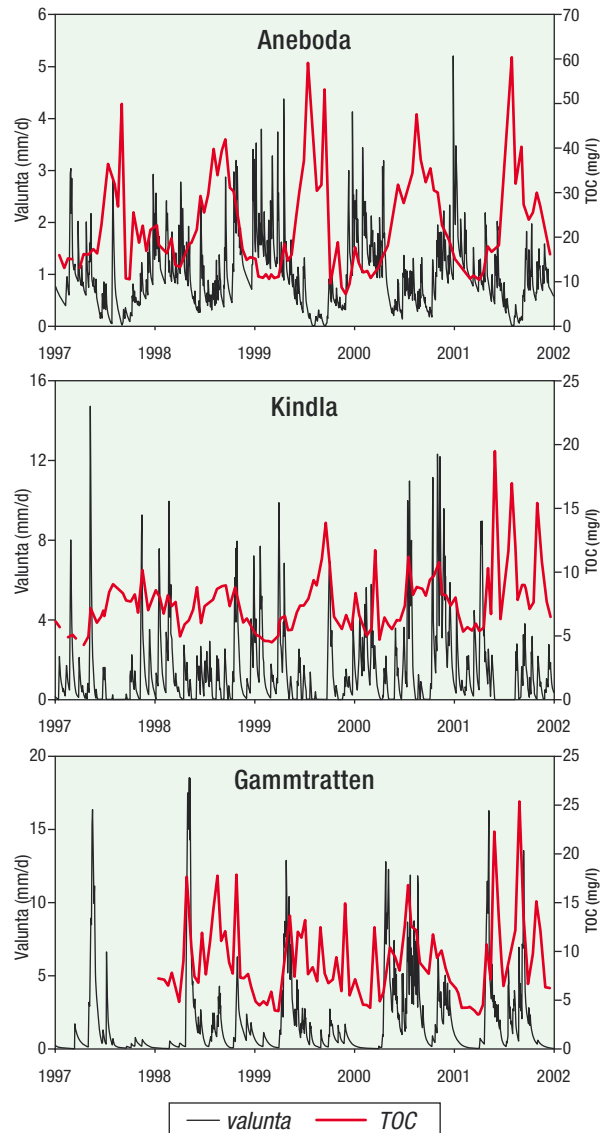
Rantavyöhykkeet tärkeitä humuspitoisuuksille

Kuvassa 5 on esitetty päivittäinen vedenvirtaus sekä joka toinen viikko mitatut humuspitoisuudet kolmelta, pieneltä valuma-alueelta (0.2-0.4 km²) vuodesta 1997 vuoteen 2001. Anebodan ilmasto muistuttaa Lyckebyån-joen ilmasto, jossa suurin vedenvirtaama on syksyllä ja talvella. Kindlan ilmasto muistuttaa Rogsjön-järven ilmasto, jossa valunta tapahtuu pääosin syksyllä ja keväällä, mutta sekä kesä- että talvitulvia esiintyy usein. Gammtratten sijaitsee Ruotsin pohjoisosassa noin 100 km länteen Uumajasta, jossa ilmasto on tyypillinen pohjoinen ilmasto kylmine talvineen, voimakkaaine tulvajaksoineen lumen sulaessa keväällä ja rankkasateiden aikana kesällä.

Anebodassa vuodenaikainen humusdynamiiikka on hyvin samanlainen Lyckebyån-joen kanssa, jossa suurimmat pitoisuudet ovat pienen virtaamaan aikana kesällä. Suuri vedenvirtaama syksyllä ja talvella näyttäisi laimentavan humuspitoisuuksia. Kindlassa humuspitoisuudet olivat pienet myöhäistalvella, kasvoivat tasaisesti keväällä ja kesällä ja saavuttivat maksimin aikaisin syksyllä. Humuspitoisuuden huiput esiintyvät usein lumen sulannan aikana keväällä ja muiden valunta tapahtumien aikana. Vuoden 2001 kuiva kesä oli poikkeus, jolloin korkeat humuspitoisuushuiput olivat kesällä Anebodan tapaan. Gammtrattenissa pienimmät humuspitoisuudet olivat pienen valunnan aikana myöhäistalvella, kun taas suuret pitoisuudet dokumentoitiin kaikkien vähääkään suurempien valuntatapahtumien aikana.

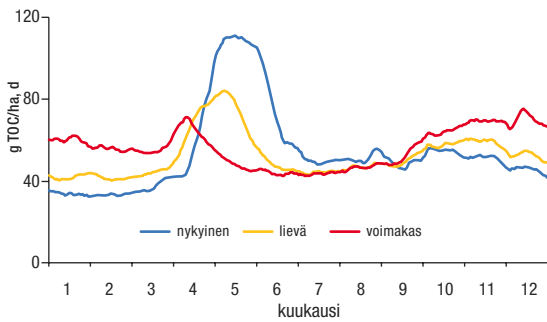
Paitsi ilmasto myös orgaanisen maaperän ala ja sijainti aiheuttavat eroja humusdynamiiikkaan näiden kolmen valuma-alueen välillä. Anebodassa pienet korkeuserot (30 m) ja runsaasti orgaanista ainetta sisältävä maaperä laajalla rantavyöhykkeellä ovat tunnusomaisia. Rantavyöhykkeen turve on luultavasti hyvin tärkeä humusdynamiiikalle alhaisen virtaaman aikana. Suuren valunnan aikana vähemmän orgaanista ainetta sisältävästä maaperästä valuma-alueen yläosista tulevan pohjaveden aiheuttama laimeneminen, lateraalinen virtaus turpeen päältä ja preferenssivirtaus (pohjaveden virtaus turpeen ”kanavissa”) ovat luultavasti tärkeitä. Kindlassa ja Gammtrattenissa korkeuserot ovat 100 m ja 135 m, ja ohut turve reunus peittää paikallisesti rantavyöhykkeitä. Kindlan valuma-alueen keskiosassa sijaitsee pieni suo. Tämä suo näyttäisi olevan tärkeä tekijä pienen valunnan aikana, mutta valuntatapahtumien aikana matala pohjavesi on kosketuksissa paljon orgaanista ainesta sisältävän maaperän kanssa rantavyöhykkeillä valuma-alueen muissa osissa aiheuttaen huippuja humuspitoisuudessa. Gammtrattenissa on kolme pientä suota lähellä vedenjakajaa, mutta orgaanista ainesta sisältävä maaperä rantavyöhykkeillä valuma-alueen muissa osissa näyttää olevan tärkein tekijä humusdynamiiikalle usein esiintyvien valuntatapahtumien aikana.

Isot vesistöalueet muodostuvat lukemattomista pienistä, edellä esitetyn kaltaista valuma-alueista. Osavaluma-alueet ovat eri luonteisia ja muodostavat monimutkaisen mosaiikkimaisen kuvion sisältäen joskus järviä. Täten humuspitoisuudet ison valuma-alueen purkupisteessä antavat keskimääräisen kokonaiskuvan hydrologiasta ja humusdynamiiikasta kaikissa vesistöalueen pienissä osissa.



Kuva 5. Päivittäinen valunta sekä joka toinen viikko määritetyt humuspitoisuudet TOC:na mitattuna vuosina 1997-2001 Anebodassa (A, Etelä-Ruotsi), Kindlassa (B, Keski-Ruotsi) and Gammtrattenissa (C, Pohjois-Ruotsi).





Kuva 6. Hietapuron (Etelä-Suomi) ennustettu päivittäinen humushuuhtouma (TOC) nykyisissä olosuhteissa (1990-luku)(sininen viiva), lievän ilmastonmuutoksen toteutuessa (1-3°C lämpötilan nousu, sadannan kasvu -1%:sta +15%:iin) (keltainen viiva) ja voimakkaan ilmastonmuutoksen toteutuessa (3-7°C lämpötilan nousu, sadannan kasvu -19%:sta +41%:iin) (punainen viiva).

Nousevatko humuspitoisuudet edelleen tulevaisuudessa?

Koska humusdynamiiikka on läheisessä yhteydessä sään pitkä- ja lyhytaikaisiin vaihteluihin, on ilmeistä, että humuspitoisuudet muuttuvat ajan myötä. Kun tarkastellaan pitkiä aikasarjoja, humuspitoisuudet vaihtelevat yli kolminkertaisesti. Jos sadanta vähenee merkittävästi vuosikymmenen aikana, on odotettavissa humuksen aiheuttaman värin vähenemistä vesistöissä. Jos sadanta lisääntyy merkittävästi, on odotettavissa värin lisääntymistä vesistöissä. Veden viipymästä riippuen vesistöt reagoivat nopeasti tai joidenkin vuosien päästä. Esimerkiksi Rogsjön-järven humuspitoisuus saataisi nousta tulevina vuosina vuoden 2000 erittäin suuresta sadannasta johtuen.

Koska tulevaisuutta koskevat sään kehitysarviot ovat erittäin epävarmoja ja eroavat paljon toisistaan, on vaikeaa tehdä luotettavia ennusteita humuspitoisuuden kehityssuunnista. Humuksen huuhtoutumista on simuloitu uudella mallilla perustuen aineistoon kahdelta pieneltä valuma-alueelta Suomesta. Ilmaston kehitysarviot ottavat huomioon mahdollisen maailmanlaajuisesta lämpenemisestä aiheutuvan lämpötilan nousun, mikä aiheuttaa lämpimämmät ja kosteammat talvet ja syksyt sekä kuivat kesät. Tulokset osoittavat, että vuosittainen humuksen huuhtouma saattaa lisääntyä pahimmassa tapauksessa 26%, vastaten 3-7 °C:n kausikeskilämpötilan nousua ja kausisadannan muutosta -19%:sta +41%:iin (Kuva 6).





Vaikutukset juomaveden käsittelyyn

Laajat, pitkäaikaiset, ilmaston aiheuttamat humuspitoisuuden vaihtelut ovat tosi-asiaa ja niitä pitäisi olla odotettavissa useimmissa järvissä ja joissa. Nämä vaihtelut tulisi ottaa huomioon vedenkäsittelylaitoksissa tulevaisuutta suunniteltaessa. Arvioimalla historiallisia veden värin ja orgaanisen hiilen pitoisuuden aikasarjoja vedenkäsittelylaitosten raakavedessä, on mahdollista saada hyvä arvio humusdynamikasta vedenhankinnassa. Jos korkeita humuspitoisuuksia on ilmennyt aikaisemmin, on niitä odotettavissa uudestaan.

Maailmanlaajuinen lämpeneminen on myös hyväksytty tosiasiaksi, mutta vielä emme tiedä tarkkoja ilmastovaikutuksia. Useimmat simulaatiot osoittavat kuitenkin kausidynamiikan muuttumista nousevan lämpötilan ja lisääntyvän sadannan lisäksi. Jos nuo kehitysarviot ovat relevantteja, vaikutukset ulottuvat humuspitoisuuksiin. Suomalaiset mallisimulaatiot osoittavat humushuhtouman kasvua. Lisäksi on esitetty oletus, että metsän lisääntynyt tuotanto 1900-luvulla on lisännyt hiilen varantoja maaperässä aiheuttaen ylimääräistä hiilen huuhoutumista. Molempia näitä kysymyksiä tulee seurata ja arvioida tulevaisuudessa.

Tämänkaltaiset epävarmuudet tekevät tulevaisuuden humuspitoisuustason ennustamisen vaikeaksi pohjoismaisissa järvissä ja joissa. Varma asia on kuitenkin se, että veden väri metsäalueiden vesissä lisääntyy ja vähenee syklisen kaavan mukaan. Nöyrä toteamus on, että tulevaisuudessa humuspitoisuuden vaihtelut ovat ainakin yhtä suuret kuin ennen.





Lisätietoja ja yhteyshenkilöt: "Climate induced variation of dissolved organic carbon in Nordic surface waters" –projektiä rahoittivat Pohjoismaisen ministerineuvoston ympäristön tilan seuranta ja arviointia rahoittava työryhmä (<http://www.norden.org>), the Department of Environmental Assessment, SLU (<http://www.ma.slu.se>), Suomen ympäristökeskus (<http://www.environment.fi/syke>) ja the Norwegian Institute for Water Research (<http://www.niva.no>). Kotisivuilta löytyy lisätietoja sekä pääsy veden laatu aineistoon. Yhteyshenkilöinä toimivat ja tämän esitteen sisällöstä vastaavat Stefan Löfgren (Ruotsi, projektin johtaja), Martin Forsius (Suomi) ja Tom Andersen (Norja).