

TURPEEN OMINAISUUKSIEN VAIKUTUS PELLON SALAOJITUKSEN
TOIMINTAAN

Diplomityö, joka on tehty opin-
näytteeksi Teknillisen korkea-
koulun rakennus- ja maanmittaus-
tekniikan osastolla vs. profes-
sori Juhani Kettusen valvonnassa
vuosina 1987-88.

ALKUSANAT

Tämän diplomityön olen tehnyt Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:ssä ja Teknillisen korkeakoulun vesitalouden laboratoriossa. Työn alkuunpanijana on ollut toimitusjohtaja Jussi Saavalainen Salaojakeskus ry:stä. Ohjaajana on toiminut diplomi-insinööri Seija Virtanen Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:stä ja valvojana vs. professori Juhani Kettunen vesitalouden laboratoriosta. Tutkimustyön aikana olen saanut arvokkaita neuvoja MMT Helinä Hartikaiselta laboratorionkokeiden järjestelyssä sekä va. professori Harri Seppäseltä rautabakteerien tunnistamisessa. Kaikille työni valmistumiseen myötävaikuttaneille esitän kiitokseni.

Espoossa 18.5.1988



Suvi Niini

Tekijä: Suvi Niini

Diplomityö: Turpeen ominaisuuksien vaikutus pellon
salaojituksen toimintaan

Päivämäärä: 18.5.1988

Sivumäärä: 114

Professuuri: Vesitalous

Koodi: YHD-25

Valvoja: Vs. prof. Juhani Kettunen

Ohjaaja: DI Seija Virtanen

Turvepeltojen salaojituksissa esiintyy ajoittain vajaa-toimintaa, jonka syyt eivät ilmene vikatarkastuksissa. Niiden on päätelty johtuvan turpeen ominaisuuksista. Tämän Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:ssä tehdyn tutkimuksen tarkoitus oli selvittää turpeen ominaisuuksia ja niiden vaikutuksia salaojien toimintaan.

Turpeen ominaisuuksia selvitettiin kirjallisuuden avulla. Salaojituksen kannalta merkittävimmät ominaisuudet ovat pieni vedenjohtokyky, suuri vedenpidätyskyky, korkea pohjaveden taso, voimakas painuminen kuivattaessa, maatumisen aiheuttamat epäedulliset rakennemuutokset sekä alavan sijainnin aiheuttama alttius paineelliselle pohjavedelle ja ruostesaostumille.

Kokeellisessa osassa selvitettiin Jalasjärvellä sijaitsevan Soinin tilan turvepellon salaojituksen vajaatoiminnan syyt. Niitä olivat: 1) ojituksen harvuus, 2) ojituksen mataluus, 3) pellon huono vedenjohtavuus, 4) pellon tiivistynyt ja maatunut pintakerros, mikä on seurausta kalkituksesta, muokkauksesta ja kuormituksesta, 5) pellon keskiosia kohti viettävä pinnanmuoto, 6) salaojien alkava ruostesaostuminen, 7) paineellinen pohjavesi ja 8) epäedullinen turvelaji.

Turvepellon kuivatusta suunniteltaessa salaojituksen toimintakykyä voidaan ennakoida mittaamalla pellon vedenjohtavuus, jonka tulisi olla yli 0,25 cm/h. Lisäksi voidaan määrittää turvelaji ja maatumisaste, jonka tulisi saraturpeilla olla alle 8 ja rahkaturpeilla alle 6. Ruosteongelma voidaan ennakoida pohjaveden rautapitoisuuden perusteella. Vaara on suuri, mikäli rautapitoisuus ylittää 15 mg/l.

Author: Suvi Niini

Thesis: Effects of peat properties on the performance of
field drainage

Date: 18.5.1988

Number of pages: 114

Professorship: Hydrology and Water
Resources Engineering

Code: YHD-25

Supervisor: Prof. (act.) Juhani Kettunen

Instructor: M.Sc.Eng. Seija Virtanen

Subsurface drainage of peat fields tends to fail from time to time, the reasons of which have not been clear in the fault checkings. The aim of this research was to determine the properties of peat and their effects on the performance of subsurface drainage.

The theoretical part consists of a literature survey on the characteristic properties of peat. Most remarkable properties in relation to drainage are: low hydraulic conductivity, high water holding capacity, high ground water level, considerable subsidence when drained, unfavourable changes in peat structure during decomposition as well as susceptibility to artesian ground water and allochthonous ochre clogging due to generally low position of peatlands.

In the experimental part, causes of the failure of the drainage system in Soini's peat field, Jalasjärvi, Western Finland, were examined. These were: 1) sparse drain spacing, 2) inadequate drain depth, 3) low hydraulic conductivity of the field, 4) compacted and decomposed surface horizon of the field, caused by liming, ploughing and loading, 5) inwards falling field shaping, 6) ochre clogging in the drain pipes, 7) artesian ground water and 8) unfavourable peat type.

When designing drainage, the performance of the drains can be estimated by measuring the hydraulic conductivity of peat. For reasonable performance of drainage, it should be more than 0.25 cm/h. Peat type and its degree of decomposition can be defined, and it should be less than H6 in Sphagnum peats and less than H8 in Carex peats. Clogging risk can be estimated by the iron content of the ground water. In Finland the risk is considerable, when iron content exceeds 15 mg/l.

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

1. Johdanto	7
Osa I: Kirjallisuustutkimus	
2. Turpeen luonne maalajina	9
2.1 Synty	9
2.2 Levinneisyys	12
2.3 Maatuneisuus	13
2.4 Luokittelu	15
3. Turpeen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet	21
3.1 Fysikaaliset ominaisuudet	21
3.2 Kemialliset ominaisuudet	38
3.2.1 Kemiallinen koostumus	38
3.2.2 Maatumisprosessi	45
3.2.3 Happamuus	49
3.2.4 Ioninvaihtokyky	50
3.2.5 Redoxpotentiaali	52
3.2.6 Ravinnepitoisuus	53
4. Mikrobiologiset ilmiöt turpeessa	55
4.1 Maaperän mikrobit	55
4.2 Mikrobit turpeen muodostumisessa	57
4.3 Mikrobipopulaatiot turpeen pintakerroksissa	58
4.4 Mikrobitoiminta syvällä turpeessa	60
5. Ruosteongelma turvepelloissa	61
5.1 Raudan esiintymismuodot maassa	61
5.2 Ruostesakan koostumus ja muodostuminen	62
5.2.1 Kemiallinen saostuminen	63
5.2.2 Mikrobien aiheuttama saostuminen	64
5.3 Autoktoninen ja alloktoninen rauta	68
6. Viljelytoimenpiteiden vaikutus turpeen ominaisuuksiin	71
6.1 Kuivatus	71
6.2 Muokkaus ja kuormitus	74
6.3 Lannoitus	76
6.4 Kalkitus	77

Osa II: Kokeellinen tutkimus

7. Kohdealueen kuvaus	79
7.1 Viljelyhistoria	79
7.2 Valuma-alue	80
7.3 Maaperä	82
8. Maastotutkimukset	88
8.1 Kasvillisuus	88
8.2 Pohjaveden korkeus	88
8.3 Salaojien kunto	90
8.4 Vedenjohtavuuden mittaus MSU-laitteella	91
8.5 Fe^{2+} -, pH- ja redoxpotentiaalimittaukset kentällä	93
9. Laboratoriotutkimukset	95
9.1 Turpeen vedenjohtavuus	95
9.2 Turpeen rautapitoisuus	97
9.3 Rautayhdisteiden poisuuton vaikutus turpeen vedenjohtavuuteen	98
9.4 Salaojasakan analysointi	101
10. Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	104
Viiteluettelo	107

1. JOHDANTO

Salaojitustoiminnan painopisteen siirryttyä Keski- ja Pohjois-Suomeen on turvemaiden salaojitus yleistynyt. Salaojitetuissa turvepelloissa ilmenee ajoittain vajaatoimintaa, jonka syitä ei ole voitu osoittaa. Niiden selvittämiseksi Salaojakeskus ja Salaojituksen tutkimusyhdistys ry. ovat vuodesta 1984 lähtien tutkineet märkyydestä kärsivää, vuonna 1979 salaojitettua Soinin tilan turvepeltoa Jalasjärvellä Etelä-Pohjanmaalla.

Tämä tutkimus on jatkoa Hiitiön (1984) ja Virtasen (1987) tekemille selvityksille, joissa osasyynä pellon kuivatusongelmiin mainittiin paineellinen pohjavesi, tavallista suurempi sademäärä vajaatoiminnan havaitsemisvuonna ja turpeen pieni vedenjohtavuus. Selvitykset eivät antaneet vastausta siihen, miksi vesi ei kulkeudu salaojiin, vaikka ne sijaitsevat pohjaveden pinnan alapuolella.

Tutkimuksessa pyritään selvittämään turvemaan fysikaalisia, kemiallisia ja mikrobiologisia ominaisuuksia peltoviljelyyn liittyvän kuivatuksen kannalta. Tavoitteena on salaojituksen toimimattomuuden syiden selvitys. Taustatavoitteena on yleisen määritysmenetelmän kehittäminen, jolla turvepellostä voi ennakoida, onnistuuko sen kuivatus tavanomaisella salaojituksella sekä toimivan ojituksen kehittäminen myös ongelmapelloille.

Tutkimus jakaantuu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa turpeen fysikaalisiin, kemiallisiin ja mikrobiologisiin ominaisuuksiin perehdytään kirjallisuustutkimuksella. Lisäksi siinä käsitellään salaojien ruostetta ja viljelytoimenpiteiden vaikutusta turpeen ominaisuuksiin.

Toinen osa on kokeellinen tutkimus Soinin turvepellon salaojituksen vajaatoiminnan syistä. Kohdealueen kuvauksessa käytetään hyväksi kartoista, kirjallisuudesta ja aikaisemmista tutkimuksista saatuja tietoja. Soinin turvepelloilla tehdyt mittaukset ja havainnot on suoritettu kesällä 1987. Laboratoriokokeet on tehty vesitalouden laboratoriossa syk-

syn 1987 ja talven 1988 aikana.

OSA I: Kirjallisuustutkimus

2. TURPEEN LUONNE MAALAJINA

2.1 Synty

Turve on eloperäinen maalaji, jonka ominaisuudet poikkeavat huomattavasti kivennäismaista. Sen orgaanisen aineen pitoisuus on suuri. Turvemaa on kevyttä ja usein hapanta. Pohjaveden pinta on turvemailla yleensä korkealla.

Turvetta syntyy pääasiassa kasveista, mutta myös mikro-organismeista ja eläimistä peräisin olevan orgaanisen aineksen akkumuloitumisen tuloksena. Akkumuloituminen on mahdollista, kun vetisyys ja happamuus estävät hajottajien tehokkaan toiminnan. Hajotusta hidastavat myös ravinteiden niukkuus ja matala lämpötila. Turpeessa on tunnistettavissa kohtalaisen hyvin säilyneitä kasvinosia ja solukoita, joista suhteellisen harvoja peittää aktiivisesti kasvava mikrobisto.

Hautautuessaan syvälle maankuoreen turpeesta muodostuu kuumuuden ja paineen vaikutuksesta kivihiiltä. Kivihiili-esiintymien laajuudesta ja levinneisyydestä voidaan päätellä, että turpeen muodostuminen on ollut yleinen ja tärkeä ilmiö ainakin 300 miljoonan vuoden ajan eli kolme neljänestä siitä ajasta, jona maakasveja on ollut olemassa. Kuitenkin vain pieni osa kasvien kokonaistuotannosta on varastoitunut jäädén siten syrjään hiilen kierrosta.

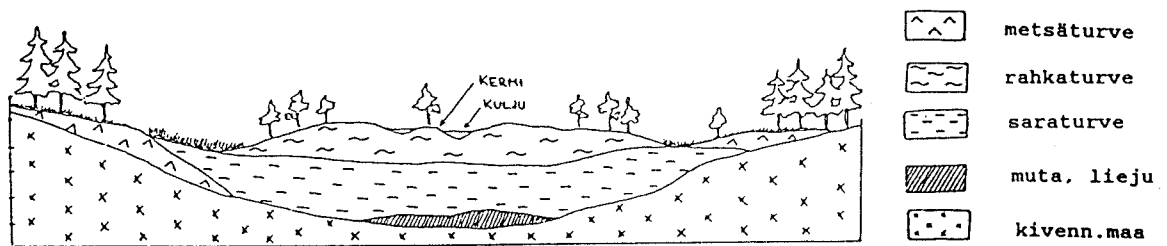
Turvetta muodostuu monentyyppisistä kasviyhteisöistä, joille on yhteistä että ne sietävät vetisiä kasvuympäristöjä. Paksun turvekerroksen muodostuminen vie tuhansia vuosia. Tällöin pohjaveden pinnan ja turpeen pinnan täytyy pysyä jotakuinkin vakiosuhteessa: joko alla oleva maa painuu tai veden pinta kohoaa. Turvetta muodostuu helpoimmin laaksoihin, altaisiin, matalille rannikkoalueille ja jokisuistoihin. Boreaalisen vyöhykkeen turvemaiden synnyssä jääkaudella oli suuri merkitys. Jäätikkö kulutti, kuljetti ja kasasi maata sekä painoi alustansa jättäen jälkeensä maaperältään ohuen, alavan ja järvisen maiseman. Ajan myötä

eutrofioituuessaan järvet lopulta kasvavat umpeen käyden läpi erityyppisten soiden sukkession. Suomessa yleinen metsämaan soistuminen saattaa saada alkunsa myös podsolimaannoksen rikastumiskerrokseen syntyvän kovan, vettäläpäisemättömän anturan johdosta. Tällöin maan pintakerrokseen jäävä sadevesi luo edellytykset rahkasammalen valtaan pääsylle.

Suomen turvetta muodostavat kasviyhdyskunnat luokitellaan suotyypeiksi, jotka ovat neva, letto, räme ja korpi. Nevat ja letot ovat aukeita ja vetisiä. Ne erotetaan toisistaan ravinnepitoisuuden perusteella. Letot ilmentävät kalkin ja ravinteiden runsautta; ne ovat vihreämpiä, monilajisempia ja rehevämpiä kuin nevat. Letoilla kasvaa rahkasammalten lisäksi lehtisammalia ja vaateliaita saroja, ja niitä on Suomen soista alle 10 %. Nevat ovat karuja, vähäravinteisia ja usein happamia soita, kasveina lähinnä rahkasammalta ja saroja. Rämeiden kasvillisuutta luonnehtivat männyt, aluskasveina on vaatimattomia rahkasammalia ja saroja. Korvissa kasvaa jopa suuria puita, kuusia ja jonkin verran koivuja.

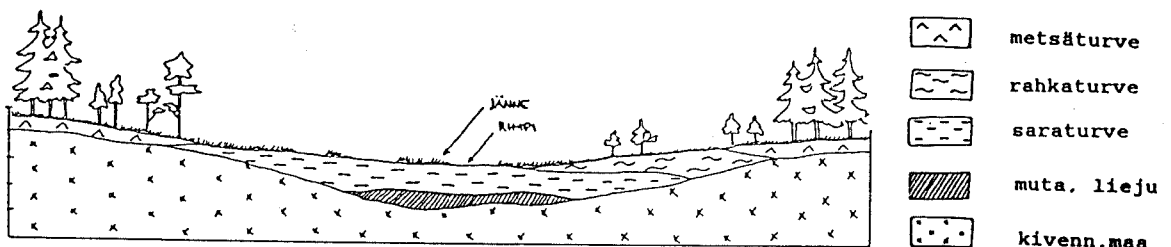
Turvekerrostumissa on useimmiten päällekkäin eri suotyyppien tuottamia kerroksia. Myös vaakasuunnassa suotyyppit saattavat vaihtua toisikseen. Näin muodostuu monenlaisia suoyhtymiä. Suomessa yleisimmät suoyhtymät ovat kohosuo ja aapasuo.

Etelä-Suomessa tavallisen kohosuon historia on seuraava: alimpana on muinaisen järven pohjaliejua. Sen päällä on matalan veden kasvillisuuden muodostamaa korte- ja ruokoturvetta. Tämän jälkeen tulevat sarojen jätteet vallitseviksi, mutta joukossa on usein runsaasti rantaniityiltä ja korvista peräisin olevaa puunjätettä. Lopuksi kun suon vanhin osa on kasvanut niin korkeaksi, ettei se enää jää tulvan alle, rahkasammal on ottanut ylivallan. Kuperan rahkasuon reunaosissa saraturve ulottuu usein pintaan saakka (kuva 1) ja on useimmiten raivattu pelloksi (Heinonen 1985). Koholla oleva keskiosa saa ravinteensa lähes pelkästään sadevedestä, mistä syystä rahkasuota nimitetään myös ombrotrofiseksi suoksi.



Kuva 1. Kohosuon poikkileikkaus.

Pohjois-Suomen laajojen aapasoiden rakenne on toisenlainen (kuva 2). Äkillinen kevätsulaminen aiheuttaa siellä säännöllisesti tulvia, jotka ehkäisevät rahkoittumisen. Aapasoiden keskiosat pysyvät sarojen ja vesipeittoa sietävien sammalien vallassa. Rahkasammalta on vain korkeamissa reunaosissa sekä mättäillä ja jänteillä. Aapasoiden kuivatus on hankalaa, sillä niihin virtaa vettä ympäröiviltä kivennäismailta. Niiltä ne saavat myös ravinteensa, eli ovat minerotrofisia.



Kuva 2. Aapasuon poikkileikkaus.

Muita Suomessa esiintyviä suoyhtymiä ovat karjalainen suoyhtymä, rinnesuo ja palsasuo. Ensimmäiset ovat Savossa tyypillisiä pieniä soita, jotka muodostuvat erityyppisten soiden verkostosta kovanmaan saarakkeiden välissä. Rinnesuot ovat vaarojen rinteillä ylhäältä tulevan lähdeveden ylläpitämiä lettoja, joita on lähinnä Kuusamossa. Ikiroutakumpuja sisältäviä suoyhtymiä sanotaan palsasoiksi, ja niitä on Pohjois-Lapissa.

2.2 Levinneisyys

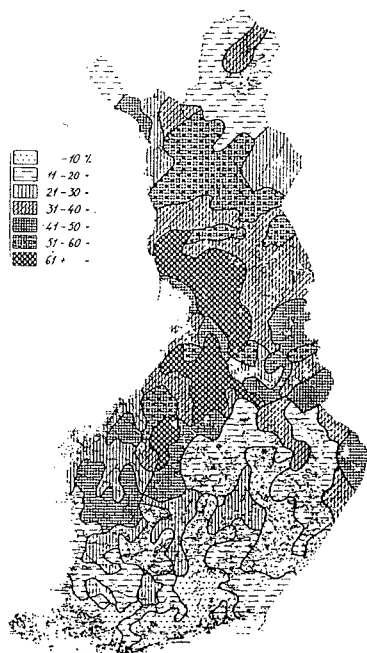
Vaikka turpeen muodostumiseen johtavia olosuhteita esiintyy kaikkialla maapallolla, turvemaat ovat yleisimpiä pohjoisen pallonpuoliskon viileän ja kostean ilmaston alueella. Trooppiset ja subtrooppiset suot muodostavat vain 5 - 8 % maailman turvevaroista. Maapallon historiassa trooppiset ja subtrooppiset alueet ovat kuitenkin olleet enimmäkseen paljon laajempia kuin nykyään. Pohjoisen pallonpuoliskon kivihiilestä suurin osa on syntynyt lämpimien alueiden turpeista (Given ja Dickinson 1975). Arviot maailman turveturvemaiden yhteispinta-alasta vaihtelevat 150 miljoonasta hehtaarista (Kivinen 1968) 420 - 450 miljoonaan hehtaariin (Holmen 1982). Turvemaiden jakautumista maittain ilmentää taulukko 1.

Taulukko 1. Turvemaiden määrä ja osuus maa-alasta eräissä maissa (Segeren ja Smits 1974).

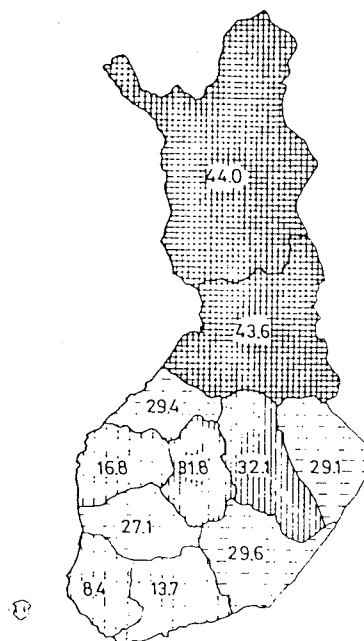
Maa	Pinta-ala milj. ha	Osuus maan kokonaisalasta %
Neuvostoliitto	71,5	3,2
Yhdysvallat	32,4	4,1
Indonesia	16,3	8,7
Suomi	10,0	29,7
Kanada	9,6	1,0
Ruotsi	5,0	11,1
Norja	3,0	9,3
Sarawak	2,5	20,5
Englanti	2,4	9,8
Malesia	2,0	15,2
Puola	1,5	4,8
Irlanti	1,2	16,9
Länsi-Saksa	1,2	4,9
Zaire	1,0	0,4
Itä-Saksa	0,5	4,7

Suhteessa maan kokoon Suomella on turvemaita eniten maailmassa. Niitä on noin kolmannes Suomen pinta-alasta (kuva 3). Näin ollen on luonnollista, että turpeella on Suomessa huomattavaa taloudellista merkitystä maa- ja metsätalousmaana sekä polttoturpeena. Varsinaisen suokasvilisyyden omaavat turvemaat ovatkin häviämässä pellonraivauksen, metsäojituksen ja polttoturpeen oton seurauksena.

Suomen peltoalasta lähes neljännes (22,8 %, Heinonen 1985) on turvepeltoja siitä huolimatta, että turvepeltojen kohtalona on muita peltoja useammin ollut paketointi. Turvepelto sijoittuvat pääasiassa Peräpohjolaan ja Pohjois-Suomeen, joissa paikoin jopa puolet pelloista on turvepeltoja (kuva 4).



Kuva 3. Turvemaalajien yleisyys prosentteina maa-alasta (Ilvessalo 1960).



Kuva 4. Turvemaalajien yleisyys prosentteina peltoalasta (Heinonen 1985).

2.3 Maatuneisuus

Maatumisella ymmärretään niitä kemiallisia ja fysikaalisia ilmiöitä, joiden vaikutuksesta kasvinrakenne hajoaa ja muodostuu humusta. Maatuminen on pääasiallisesti pieneliöstön aikaansaamaa kasviaineksen hajoamista eli kemiallista maatumista. Sen ohella kasvien jäännökset saattavat pilkkoutua myös mekaanisesti: lehdet irtautuvat varsista, varret katkeilevat jne. Maaveden jäätyminen ja sulaminen sekä maaperäeliöstö edistävät myös mekaanista kasviaineksen hajoamista (Päivänen 1982).

Vaikka luonnontilaisessa turvemaassa hajotus on hidasta, ajan kuluessa tapahtuva maatuminen muuttaa huomattavasti

turpeen rakennetta. Turpeen maatuneisuuden luonnehtimiseksi on otettu käyttöön maatumisaste, joka kuvaa sitä kulloistakin kasvinrakenteen hajoamisen vaihetta, joka tarkasteltavana olevassa turpeessa vallitsee. Mitä pitemmälle maatunutta turve on, sitä vähäisemmäksi muodostuu alkuperäisen kasvilajikoostumuksen vaikutus sen ominaisuuksiin ja maatumistuotteet tulevat dominoiviksi. Koska syvälle jäänyt turve on yleensä ehtinyt maatua pisimmälle, maatumisasteen määrittely on käyttökelpoinen tapa erotella turvemaan kerroksia.

Pohjoismaissa maatumisaste ilmaistaan yleensä von Postin asteikolla, jolloin se saa arvoja H1 - H10 maatumisasteen kasvaessa. Määrittely perustuu silmävaraiseen tarkasteluun. Tuoretta turvenäytettä puristetaan kädessä ja maatumisaste arvioidaan näytteestä erkanevan veden värin, sormien lomitse pusertuvan massan ja puristejäännöksen kimmoisuuden perusteella (taulukko 2).

Taulukko 2. Turpeen maatumisaste von Postin asteikolla.

Arvo	Maatuneisuus	Käyttäytyminen puristettaessa
H1	täysin maatumaton	puristettava vesi väritöntä, kirkasta
H2	lähes maatumaton	puristevesi lähes kirkasta
H3	hyvin heikosti maatumunut	puristevesi lievästi sameaa
H4	heikosti maatumunut	puristeneste vahvasti sameaa, jäännös puuromaista
H5	jonkin verran maatumunut	kasvirakenne selvä, puristettaessa valuu sameaa nestettä ja turvetta, jäännös vahvasti puuromaista
H6	kohtalaisesti maatumunut	kasvirakenne epäselvä, puristettaessa enintään 1/3 valuu sormien välistä
H7	vahvanlaisesti maatumunut	1/2 valuu sormien välistä, neste tummaa velliä
H8	vahvasti maatumunut	2/3 valuu sormien välistä
H9	lähes täysin maatumunut	lähes kaikki valuu sormien välistä
H10	täysin maatumunut	koko turvemäärä valuu kädestä

Von Postin maatumisasteikon käyttökelpoisuutta rajoittaa sen subjektiivisuus. Muita maatumisastetta kuvaavia tunnuslukuja ovat mm. turpeen tiheys, Pjavitshenkon maatumisprosentti, ekstinktiokerroin, lämpöarvo, r-arvo ja kuituisuus (Päivänen 1982).

Turpeen tiheys ja esimerkiksi von Postin asteikolla ilmaistu maatuneisuus korreloivat vahvasti keskenään. Pjavitshenkon menetelmä perustuu turpeen maatuneisuuden ja laboratoriossa mitatun tiheyden väliseen riippuvuuteen (Sarasto 1960). Ekstinktiokerroin määritetään kalorimetrisesti turpeen värin perusteella (Pakarinen ja Tolonen 1971). Myös lämpöarvo määritetään kalorimetrillä ja sen kasvu turpeen maatuessa johtuu lähinnä siitä, että turvemassan hiilipitoisuus on sitä suurempi, mitä maatuneempaa turve on (Pakarinen ja Tolonen 1971). Turpeen maatuessa sen vaikeasti hajautuvien aineosien osuus kasvaa. r-arvo tarkoittaa 72-prosenttiseen rikkihappoon liukenematonta turpeen aineosaa laskettuna painoprosentteina turpeen tuhkatomasta kuiva-aineesta (Keppeler 1920, Segeberg 1956).

Kuidut turpeessa ovat kasviaineksen palasia, joiden pituus ylittää 0,1 mm. Kuidut erotetaan märkäseulonnalla, kuivataan ja lasketaan niiden prosenttiosuus turvenäytteen kuivapainosta. Kuituisuus on Yhdysvalloissa yleisesti käytetty turveluokituksen peruste (Farnham ja Finney 1965). Neuvostoliitossa turpeen maatuneisuuden määrittämisessä standardimenetelmänä on sentrifugimenetelmä. Siinä turvemassassa oleva humus erotetaan kuituaineksesta sentrifugilla tapahutuvana seulontana. Sedimentoituneen humusaineen tilavuuden perusteella saadaan maatumisprosentti nomogrammistä (State Standard of the USSR 1976).

2.4 Luokittelu

Luokittelun tavoitteena on ominaisuuksiltaan erilaisten turpeiden ryhmittely siten, että samaan turvelajiin vietyjen turpeiden tärkeimmät ominaisuudet olisivat samat. Eri käyttömuodot edellyttävät turpeelta kuitenkin erilaisia ominaisuuksia ja saattavat vaatia erilaisia luokituksia.

Esimerkiksi kasvitieteessä käytetään luokittelun perusteena turpeen kasvilajikoostumusta. Lisäkritereinä on käytetty mm. suon ravinne- ja vesitalouden perusteita (ombrotrofinen, minerotrofinen). Geologiassa käytetään kriteerinä suon morfologiaa (kohosuo, aapasuo) ja turpeen suhdetta pohjaveteen (terrestiset, telmaattiset, limniset). Maa- ja metsätaloudessa on pyritty ottamaan huomioon turpeen ravinnepitoisuus (oligo-, meso- ja eutrofiset turpeet). Puutarhataloudessa taas on turpeen rakennetta pidetty huomioonotettavana tekijänä (karkea ja hieno, amorfinen ja rakeinen turve).

Suomessa turvemaaksi katsotaan maa, jossa orgaanisen aineksen pitoisuus ylittää 40 %. Suomen turpeissa orgaanisen aineksen pitoisuus vaihtelee välillä 44 - 93 % ollen keskimäärin noin 70 % (Urvas ym. 1979). Yleisimmin käytetty luokittelu perustuu turpeen kasvilajikoostumukseen. Maaperäkartoissa erotetaan vain kaksi luokkaa, *Carex*-valtainen turve eli saraturve ja *Sphagnum*-valtainen turve eli rahkaturve. Jako toimii myös yleisenä perusteena arvioitaessa soveltuvuutta viljelyyn: se erottaa karkeasti viljelyyn sopivat ja siihen huonosti sopivat turvemaat.

Kun suot ovat alkaneet kiinnostaa yhä laajempia piirejä ja turve on saanut uusia käyttömuotoja, on myös pyritty saamaan aikaan kaikkia tarkoituksia palveleva yleisluokittelu (International Peat Society 1972). Kansainvälisen suoseuran luokitusehdotuksessa peruskriteereinä käytetään turpeen kahta ominaisuutta, kasvilajikoostumusta ja maatumisastetta. Erikoisluokitteluja tarvittaneen kuitenkin korostamaan kunkin tutkimusalan erikoispiirteitä.

Kasvilajikoostumus on kriteerinä lähes ihanteellinen, sillä se ilmentää paitsi turpeen fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia, myös suon trofiaa ja kosteussuhteita. Suon morfologiaakin se kuvaa suhteellisen hyvin. Mitä pitemmälle kasvilajikoostumuksen selvityksessä voidaan mennä, sitä pitemmälle meneviä päätelmiä sen perusteella voidaan tehdä turpeen ja suon ominaisuuksista. Turve saattaa muodostua joko yhdestä tai hyvinkin vaihtelevasta määrästä kasvilajeja, joista kaikkia ei voida tunnistaa. Näin ollen

ne jaetaan neljään suokasvir ryhmään: rahkasammalet, lehtisammalet, sarat ja puumaiset kasvit.

Rahkasammalet muodostavat usein turpeen oleellisin osan. Ne ilmentävät suurella tarkkuudella kasvualustansa kosteus- ja happamuussuhteita ja antavat siten pitkälle meneviä viitteitä edustamastaan turvekerroksesta. Lehtisammalet ovat rahkasammalia heterogeenisempi kasvir ryhmä. Niistä olisi mahdollisuuksien mukaan mainittava tärkein turvetta muodostava suku tai laji. Sarojen ryhmä on luokittelussa käsitetty hyvin laajaksi ja siihen luetaan varsinaisten sarakasvien ohella myös heiniä ja muita ruohoja. Alajaottelulla olisi ilmaistava kasvisuku, esimerkiksi *Carex*, *Eriophorum*, *Phragmites*, *Scirpus*, *Equisetum* jne. Mitä saravaltaisempaa turve on, sitä vetisemmällä alueella se yleensä on muodostunut. Puumaisiin kasveihin luetaan puut, pensaat ja varvut. Suon laadusta ryhmä ei anna edellä esitettyjen ryhmien veroisia viitteitä. Käytännössä puunjäte viittaa korpiin ja runsaspuisiin rämeisiin. Puumaisten kasvien jäänteet sisältävät runsaasti humuksen lähtöaineena toimivaa ligniiniä ja hajoavat yleensä helpommin kuin sammalet ja sarat. Puuturve onkin yleensä verrattain pitkälle maatunutta.

Useilla soilla eri kasvir yhmät muodostavat omat kasvukerroksensa. Sammalet ja sarat saattavat olla tasaveroisia turpeen muodostajia. Eri ryhmien osuudet otetaan huomioon turveluokittelussa siten, että jos turvemassa sisältää vähintään 75 % yhden kasvin tai kasvir yhmän jäännöksiä, turvelaji saa nimensä tämän vallitsevan kasvin tai kasvir yhmän mukaan. Jos turve muodostuu kahdesta kasvista tai kasvir yhmästä siten, että kummankin osuus ylittää 25 % koko turvemassasta, on kumpikin kasvi tai kasvir yhmä mainittava turpeen nimessä. Ryhmä, jonka osuus on yli 50 %, mainitaan nimessä viimeisenä.

Maatumisen edistyessä ja maatumistuotteiden määrän kohotessa ne alkavat yhä enemmän vaikuttaa turpeen ominaisuuksiin. Tämän vuoksi maatumisaste soveltuu hyvin turveluokittelun toiseksi kriteeriksi.

Maatumisasteen mukaiset turveluokat ovat: vaalea turve (H1 - H3), tumma turve (H4 - H6) ja musta turve (H7 - H10). Vaaleassa turpeessa turpeen ominaisuudet määräytyvät miltei yksinomaan kasvilajikoostumuksen mukaan, tummassa turpeessa suunnilleen tasapuolisesti kasvilajikoostumuksen ja maatumistuotteiden mukaan ja mustassa turpeessa taas miltei yksinomaan maatumistuotteiden mukaan. Maatumisessa muodostuvat humusaineet ovat ominaisuuksiltaan jotakuinkin samantlaisia lähtöaineesta riippumatta. Pitkälle maatuneessa turpeessa erotetaankin vain yksi pääturvelaji, musta turve, ja se jaetaan rakenteen perusteella kahteen alalajiin, turvehumukseen ja turvemultaan.

Happamassa turvehumuksessa vesipitoisina kolloideina olevat humushapot antavat turpeelle saippuamaisen liukkauden. Kuivuessaan tällainen turve kutistuu menettäen samalla vedenimukykynsä. Runsaasti humushappoja sisältävää turvetta nimitetään rakenteeltaan amorfiseksi. Jos musta turve sisältää runsaasti kalsiumia tai magnesiumia (eutrofinen turve), humushapot muuttuvat heti syntyhetkellään kalsium- tai magnesiumhumaateiksi, joiden vesipitoisuus on humushapojen vesipitoisuutta alhaisempi. Niitä sisältävä turve ei tuoreenakaan tunnu saippuamaisen liukkaalta eikä turve kuivuessaan kovetu kokkareiksi, vaan muuttuu rakenteeltaan kuohkeaksi. Tällaista rakennetta nimitetään multamaiseksi, muruiseksi tai rakeiseksi.

Turpeet on ryhmitelty viiteen pääluokkaan. Suurempaan tarkkuuteen pyrittäessä käytetään alajaottelua - haluttaessa aina yksityisiin kasvilajeihin saakka (taulukko 3).

Taulukko 3. Turpeiden luokittelu kasvilajikoostumuksen ja maatumisasteen mukaan (International Peat Society 1972).

1. Rahkaturve

- 1.1 Vaalea rahkaturve (H1 - H3)
 - 1.1.1 *Acutifolia*-turve
 - 1.1.1.1 *Fuscum*-turve
 - 1.1.1.2 *Rubellum*-turve jne.
 - 1.1.2 *Palustria*-turve
 - 1.1.2.1 *Papillosum*-turve
 - 1.1.2.2 *Magellanicum*-turve jne.
 - 1.1.3 *Cuspidata*-turve
 - 1.1.3.1 *Cuspidatum*-turve
 - 1.1.3.2 *Balticum*-turve jne.
 - 1.1.4 Sararahkaturve
 - 1.1.5 Eutrofinen sararahkaturve
 - 1.1.6 Tupasvillarahkaturve
 - 1.1.7 Varpurahkaturve
- 1.2 Tumma rahkaturve (H4 - H6)
Alajaottelu tarvittaessa kuten edellä

2. Lehtisammalturve (H1 - H6)

- Haluttaessa jako vaaleaan ja tummaan kuten kohdassa 1
- 2.1 *Drepanocladus*-turve
 - 2.2 *Paludella*-turve
 - 2.3 Saralehtisammalturve jne.

3. Saraturve

Haluttaessa alajaottelu vaaleaan ja tummaan

- 3.1 *Carex*-turve
- 3.2 *Eriophorum vaginatum* -turve
- 3.3 *Scirpus caespitosum* -turve
- 3.4 *Phragmites*-turve
- 3.5 *Equisetum*-turve
- 3.6 *Scheuchzeria*-turve
- 3.7 *Cladium*-turve
- 3.8 Rahkasaraturve
- 3.9 *Phragmites-Carex* -turve
- 3.10 Metsäsaraturve

4. Metsäturve

Tavallisesti tummaa turvetta (H4 - H6)

- 4.1 Varsinainen metsäturve
(muodostunut puuaineksesta, karikkeesta ja pinta-kasvillisuudesta)
- 4.2 Puuturve (yli 75 % puuainesta)
 - 4.2.1 Koivuturve
 - 4.2.2 Mäntyturve jne.
- 4.3 Varputurve (yli 75 % varpujen jäännöksiä)
 - 4.3.1 *Betula nana* -turve
 - 4.3.2 *Ledum*-turve
 - 4.3.3 Kanervaturve jne.
- 4.4 Rahkametsäturve
- 4.5 Lehtisammalmetsäturve
- 4.6 Sarametsäturve

5. Mustaturve

- 5.1 Turvehumus
 - 5.2 Turvemulta
-

Monesti riittää vain viiden päätyypin käyttö. Kansainvälisen suoseuran luokittelu poikkeaa Suomessa aiemmin käytetystä oleellisesti vain siinä, että turpeen kasvilajikoostumuksen lisäksi maatumisaste on otettu luokittelun kriteeriksi.

Turvelaji määritellään silmämääräisesti. Hankaluuksia tuottavat keskinkertaisesti maatuneet turpeet, joista makroskooppiset jäänteet puuttuvat lähes kokonaan. Jokin hietaasti hajoava turvetekijä voi tällöin painottua liikaa. Mikroskooppisesti turvelaji saadaan paremmin ja tarkemmin selville. Tällöin sammalet tunnistetaan yleensä lehtien perusteella. Putkilokasvit ovat huomattavasti erilaistuneempia ja niillä on useita erilaisia tunnistettavia solukoita. Maatumisprosessissa parhaiten säilyvät epidermisolut, kuidut sekä puu- ja korkkisolut. Turvetekijöiden määrittäminen perustuu yleensä kullekin suokasvisuvulle tyypillisen epidermisolukon tunnistamiseen.

3. TURPEEN FYSIKAALISET JA KEMIALLISET OMINAISUUDET

3.1 Fysikaaliset ominaisuudet

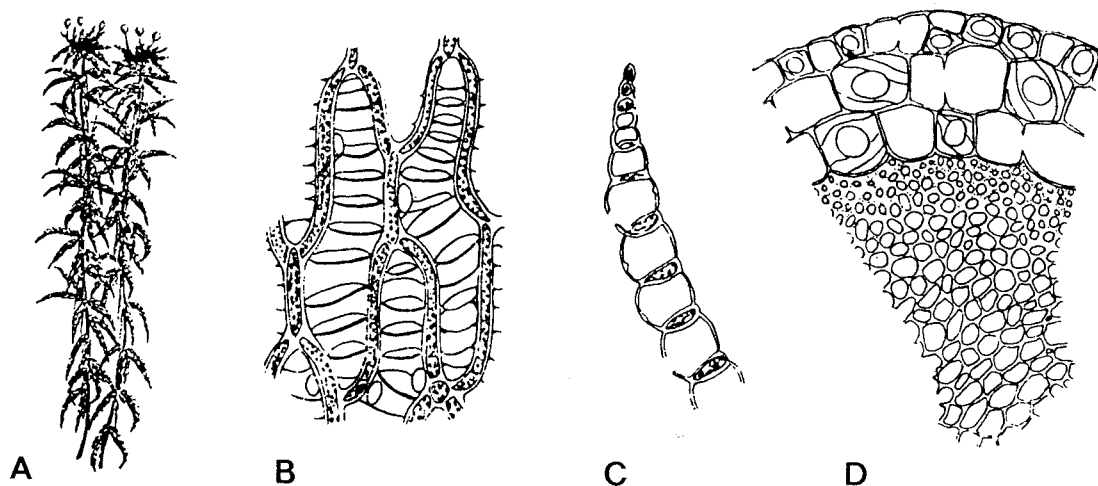
Seuraavassa esitetyt määritelmät perustuvat pääasiassa Päiväsen (1982) esitykseen turvemaan fysikaalisista ominaisuuksista.

Rakenne

Maan rakenteella ymmärretään sen yksittäisten hiukkasten kokoa ja muotoa ja niiden keskinäistä asentoa toisiinsa nähden. Turve koostuu kasviaineksesta, joka maatumisen edetessä hajoaa ja humifioituu menettäen alkuperäisen rakenteensa.

Viileässä ja lauhkeassa vyöhykkeessä tärkeimpiä turpeenmuodostajakasveja ovat rahkasammalet, joita tunnetaan Suomessa 37 lajia. Ne kasvavat jatkuvasti latvastaan ja lahoavat tyvipäästään. Juureksi ja varreksi erilaistuneita osia ei ole, vaan kaikki lehti- ja varsisolut pystyvät veden ja ravinteiden ottoon kuten korkeampien kasvien hiusjuurien pintasolut.

Olennaisia rahkasammalen mikrorakenteelle ovat lujat, kuolleet rahka- eli vesisolut, jotka ovat läpimitaltaan 10 - 20 μm (kuva 5). Ne ovat vahvaseinäisiä eivätkä painu kokoon kuivuessaan. Rahkasolut toimivat vesivarastoina ja pystyvät imemään vettä jopa kosteasta ilmasta. Seinämiensä huokosten kautta ne muodostavat sammalen sisäisen kapillaarisysteemin, joka pystyy kuljettamaan vettä sammalen kuivempiin osiin. Tähän perustuu kohosuon syntyminen, sillä rahkasammalien vesisolut kestävät suhteellisen hyvin maatumista ja turvaavat turpeessa kasvaville kasveille pitkäaikaisen, joskin niukan vedensaannin vielä turpeen pinnan noustua etäälle pohjavedestä (Puustjärvi 1969).



Kuva 5. a) Rahkasammalta b) lehtisolukkoa c) lehden osa poikkileikattuna d) varren osa poikkileikattuna (Puustjärvi 1969).

Maatumisessa turpeen rakenne muuttuu pääasiassa pieneliöstön aiheuttaman kemiallisen ja mekaanisen hajoamisen tuloksena. Puustjärven (1973) mukaan turpeen rakenneyksikköinä voidaan erottaa primaari- ja sekundaarihiukkasia sekä amorfista massaa.

Primaarihiukkaset ovat mekaanisen pilkkoutumisen tuloksena muodostuneita kasvien kappaleita. Erityisen kestäviä ovat kaarnan ja tuohen kappaleet, sarojen juurihuovasto ja tupasvillan tyvituppien jouhimaiset säikeet sekä kortteen varsien ja juurien kappaleet. Verrattain kestäviä ovat myös rahkasammalien lehtien ja varsien yksityiset solut. Primaarihiukkasten koko vaihtelee. Tupasvillan tyvituppi-solukon säikeet saattavat olla usean sentin mittaisia, kun taas rahkasammalien kappaleet ovat usein läpimitaltaan vain millimetrin murto-osia. Kasviaineksen palasia, joiden pituus on suurempi kuin 0,1 mm, kutsutaan kuiduiksi. Ne antavat turpeelle muista maalajeista poiketen myös veto-
lujuutta.

Turpeen maatuessa muodostuva humus on rakenteeltaan järjestymätöntä amorfista massaa, jonka orgaaninen koostumus vaihtelee. Erityisesti happamassa turpeessa muodostuu sidosaineena toimivia vesipitoisia kolloideja, joiden vaikutuksesta turpeen rakenne tiivistyy.

Korkean pH:n omaavassa turpeessa humushapot saostuvat vähävetisinä kalsiumhumaatteina. Syntyneet hiukkaset ovat sekundaarisia. Kasviaineksesta muodostuneet sidosaineet liittävät sittemmin hiukkaset suuremmiksi joukkioiksi eli muruiksi. Tällöin alkuperäinen tiivis rakenne muuttuu huo-koiseksi.

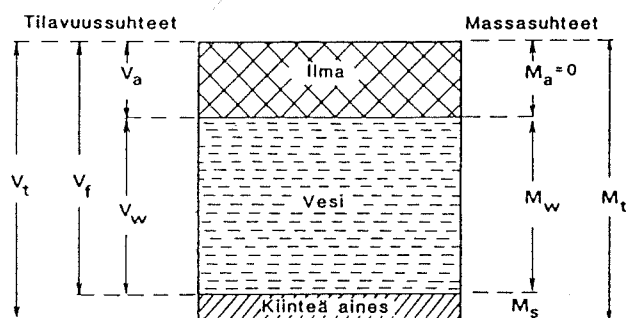
Tiheys

Tiheys voidaan määrittää sekä luonnontilaiselle turpeelle, jolloin puhutaan turpeen tiheydestä, tai siitä erotetulle kiintoainekselle, jolloin puhutaan turveaineksen tiheydestä. Turveaineksen tiheydestä on käytetty etenkin vanhemmassa kirjallisuudessa myös nimitystä turpeen ominaispaino.

Turpeen tiheydellä tarkoitetaan turvenäytteen sisältämän kuiva-ainemassan (kuivattu 105°C:ssa) ja saman turvenäytteen luonnontilaisen, useimmiten vielä vedellä kyllästetyn tilavuuden suhdetta:

$$(1) \quad D_b = \frac{M_s}{V_t},$$

missä D_b on turpeen tiheys, M on kuiva-ainemassa ja V_t on tuoreen näytteen luonnontilainen tilavuus.



Kuva 6. Kaavakuva turvemaan massa- ja tilavuussuhteista (Päivänen 1982).

Tällä tavoin määritellystä turpeen tiheydestä on aiemmin käytetty nimitystä todellinen tilavuuspaino. Mittayksikönä on tavallisimmin g/cm^3 tai kg/m^3 .

Turpeen tiheys vaihtelee tavanomaisimmin rajoissa $0,04 - 0,20 \text{ g/cm}^3$ pääasiassa turpeen maatuneisuudesta riippuen. Vertailun vuoksi todettakoon, että savi- ja hiekkamaiden vastaavalla tavalla mitattu tiheys vaihtelee välillä $0,8 - 1,95 \text{ g/cm}^3$. On myös muistettava, että turve- ja savimaissa maan vesipitoisuuden muutokset vaikuttavat maan tilavuuteen ja siten myös maan tiheyteen. Turve kutistuu kuivattaessa. Kutistuminen on sitä suurempaa, mitä maatuneempaa turve on ja mitä syvemmistä turvekerroksista näyte on otettu. Kutistumisessa on kuitenkin havaittavissa erittäin suurta vaihtelua. Päiväsen (1982) kokeissa 105°C :ssa vakio-painoisiksi kuivatut turvenäytteet kutistuivat $15 - 84 \%$ alkuperäisestä tilavuudesta.

Aiemmin on usein käytetty edellisestä poikkeavaa turpeen tiheyden määrittystä. Turvenäytteen tiheys on mitattu kuivatusta, jauhetusta ja tietyllä standardimenetelmällä tiivistetystä turpeesta. Näin määritettyä turpeen tiheyttä on kutsuttu laboratoriotilavuuspainoksi.

Turveaineksen tiheydellä tarkoitetaan turpeen kiinteiden ainesten tilavuusyksikön, josta ilma oletetaan kokonaan poistetuksi, kuivaainemassaa:

$$(2) \quad D_s = \frac{M_s}{V_s},$$

missä D_s on turveaineksen tiheys, M_s on kuiva-ainemassa ja V_s on kiinteän aineksen tilavuus.

Turveaineksen tiheys vaihtelee vain vähän ollen yleensä $1,4 - 1,6 \text{ g/cm}^3$. Likiarvona käytetään usein arvoa $1,5 \text{ g/cm}^3$. Kivennäismaa-aineksen samalla tavalla mitatun tiheyden likiarvo on $2,67 \text{ g/cm}^3$.

Turveaineksen tiheys määritetään useimmiten kuivatusta ja jauhetusta turpeesta. Kasvijäännösten tilavuus mitataan mittapullolla, jossa nesteinä on alkoholi.

Huokoisuus

Huokoisuus on maan kokonaishuokostilavuuden osuus kokonaistilavuudesta:

$$(3) \quad P = \frac{V_f}{V_t} = \frac{V_a + V_w}{V_s + V_a + V_w},$$

missä P on huokoisuus, V_f on kokonaishuokostilavuus, V_t on näytteen kokonaistilavuus, V_s on ilmatilavuus, V_a on vesitilavuus ja V_w on kiinteän aineksen tilavuus.

Kokonaishuokostilavuus (V_f) määräytyy turveaineksen tiheyden (D_s) ja turpeen tiheyden (D_b) perusteella seuraavasti:

$$(4) \quad V_f = \frac{D_s - D_b}{D_s}.$$

Useimmiten kokonaishuokostilavuus ilmaistaan prosentteina tuoreen, rikkomattoman turvenäytteen kokonaistilavuudesta. Koska turveaineksen tiheys vaihtelee vain vähän, kokonaishuokostilavuuden vaihtelu liittyy ennenkaikkea turpeen tiheyden vaihteluun. Erittäin heikosti maatuneessa turpeessa kokonaishuokostilavuus on noin 97 % ja pitkälle maatuneessa turpeessa noin 85 % maan tilavuudesta. Kivennäismaissa huokostilavuus vaihtelee välillä 30 (hiekkä) - 60 % (savi). Riippuen maan vesipitoisuudesta huokostila on vaihtelevasti veden ja ilman täyttämä.

Vesipitoisuus

Vesipitoisuudella tarkoitetaan vesimäärää, joka poistuu maasta, kun se kuivataan 105 °C:ssa vakiopainoiseksi. Vesipitoisuus ilmaistaan prosentteina joko kuivapainosta, tuorepainosta tai tilavuudesta:

$$(5) \quad W_1 = \frac{M_w}{M_s} \cdot 100 ,$$

$$(6) \quad W_2 = \frac{M_w}{M_w + M_s} \cdot 100 \quad \text{tai}$$

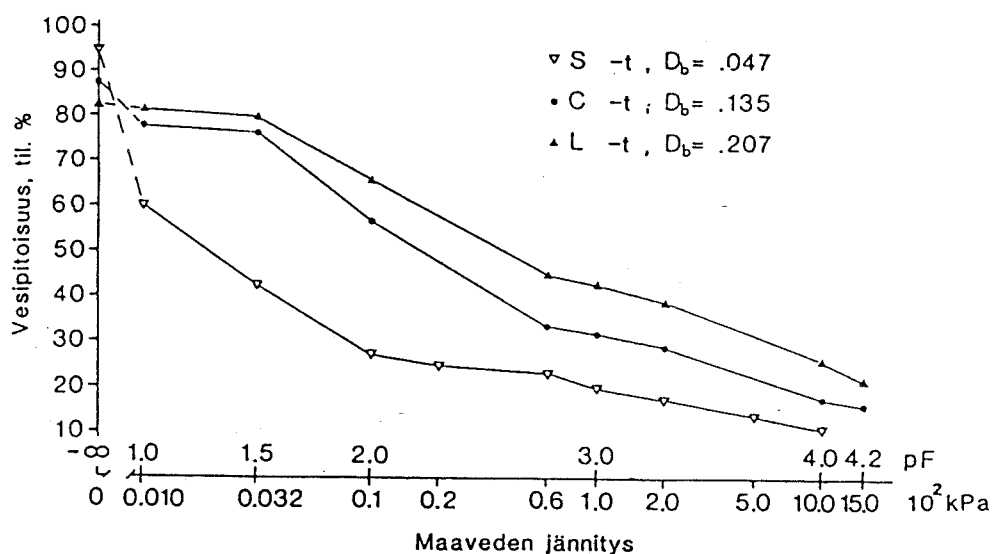
$$(7) \quad W_3 = \frac{V_w}{V_t} \cdot 100 .$$

Suhteessa kuivapainoon ilmaistu vesipitoisuus on täsmällinen, mutta epähavainnollinen; luonnontilaisessa turpeessa vettä voi olla jopa yli 2000 % kuivapainosta. Tuorepainoon suhteutettu vesipitoisuus taas on huono sikäli, että vesipitoisuuden mukana myös vertailusuure muuttuu. Suositeltavinta onkin käyttää tilavuusprosentteina ilmaistua vesipitoisuutta, sillä se on kasvien vedenkäytön kannalta tärkeintä tietää (Päivänen 1982).

Vedenpidätyskyky

Maan vesi on joko vapaasti painovoiman vaikutuksesta liikkuva vettä tai maahiukkasiin kapillaari-, adheesio- ja elektrokineettisin voimin sitoutunutta vettä. Sitovien voimien resultanttia kuvaa maaveden paine-energia eli maaveden jännitys. Maaveden jännitys ilmaistaan usein pF-luvulla, joka tarkoittaa veden irroittamiseksi maasta tarvittavan, vesipatsaan korkeutena (cm) ilmaistun paineen kymmenkantaista logaritmia.

Turpeen vedenpidätyskyvyllä tarkoitetaan vesipitoisuuden ja vastaavan maaveden jännityksen välistä vuorosuhdetta ja tavallisesti se esitetään graafisesti käyränä tai murtoviivana (kuva 7). Heikosti maatunut, huokoinen rahkaturve sisältää runsaasti vettä kyllästyskosteudessa, mutta maaveden jännityksen kasvaessa se pidättää vettä huonosti. Pitkälle maatuneiden turpeiden vesipitoisuus kyllästyskosteudessa on edellistä alhaisempi, mutta maaveden jännityksen kasvaessa veden poistuminen turpeesta on vähäisempää.

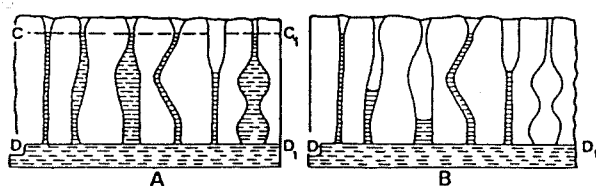


Kuva 7. Heikosti maatuneen rahkaturpeen (S), keskinkertaisesti maatuneen saraturpeen (C) ja hyvin maatuneen puuturpeen (L) vedenpidätyskyky ilmaistuna vesipitoisuuden ja maaveden jännityksen suhteena (Päivänen 1973).

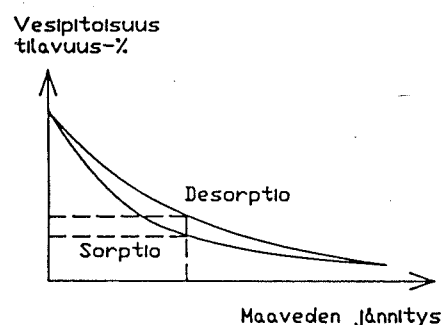
Turpeen tiheys selittää suhteellisen hyvin turpeen vedenpidätyskykyä. Mitä pienempi on turpeen tiheys, sitä suurempi on vesipitoisuus kyllästyskosteudessa. Tämä johtuu luonnollisesti suuremmasta huokostilavuudesta. Sensijaan suurilla maaveden jännityksen arvoilla vesipitoisuus on sitä suurempi, mitä suurempi on turpeen tiheys. Tiiviissä turpeessa suurin osa huokosista on pieniä huokosia, jotka pidättävät vettä hyvin.

Turpeen tiheyden lisäksi myös kasvinjäännöskoostumuksella on merkitystä veden pidättymisessä. *Palustria*-ryhmän rahkasammalten haaralehtien koko ja muoto selittävät niiden *Sphagnum fuscumiin* ja *S. recurvumiin* verrattuna suurempaa vedenpidätyskykyä maaveden jännityksen alhaisilla arvoilla silloin, kun turve on täysin maatumatonta.

Maaveden jännityksen ja vesipitoisuuden välisen vuorosuhteen määrittämisessä on otettava huomioon hystereesi-ilmiö, sillä maassa oleva kapillaarisesti pidättynyt vesimäärä riippuu huokosten koon lisäksi myös pohjavesipinnan muutoksen suunnasta (kuva 8). Samalla maaveden jännityksen arvolla maa sisältää desorptiotilanteessa enemmän vettä kuin sorptiotilanteessa. Hystereesin vaikutus maahan pidättyvään vesimäärään on todettu erityisen suureksi turvemaassa (Ilnicki 1982).

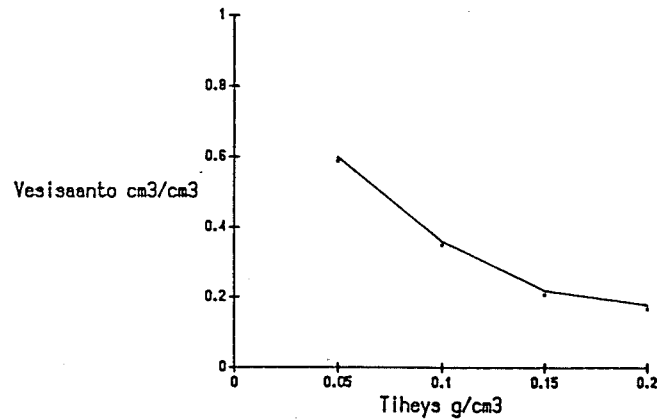


Kuva 8. Kapillaarivesi laskevan ja nousevan pohjavesipinnan yläpuolella. A: vesipinta laskenut tasolta C-C tasolle D-D₁, B: vesipinta noussut tasolle D-D₁. (Päivänen 1982)



Kuva 9. Hystereesin vaikutus pF-käyrään.

Turpeesta suoritettuja vedenpidätysmäärittäyksiä on myös sovellettu painovoiman vaikutuksesta poistuvan vesimäärän arvioimiseen. Tällöin on laskettu kyllästyskosteudessa ja pF 2:ssa turpeeseen pidättyneiden vesimäärien erotuksen suhde näytteen koko tilavuuteen ja tästä on käytetty nimitystä vesisaanto. Tiukasti ottaen kerrointa saisi käyttää vain turveprofiileissa, joiden ominaisuudet ovat kauttaaltaan samat. Edellä esitetyllä tavalla määriteltä vesisaanto riippuu turpeen tiheydestä kuvan 10 mukaisesti.



Kuva 10. Ojituksen vaikutuksesta poistuvan vesimäärän riippuvuus turpeen tiheydestä. Piirretty Päiväsen (1982) esittämien lukuarvojen perusteella.

Tämän mukaan painovoiman vaikutuksesta salaojiin poistuvan veden määrä pienenee voimakkaasti turpeen tiheyden ja maatumisasteen kasvaessa.

Huokoskokojakauma

Maaperän huokosto koostuu primaari- ja sekundaarihuokosista, joista edelliset ovat yksittäisten primaarihiukkasten väleihin jääviä huokosia, jälkimmäiset taas niistä muodostuneiden pysyvien aggregaattien eli sekundaarihiukkasten väleihin jääviä huokosia. Vedenläpäisykyvyn kannalta juuri sekundaarihuukokset ovat tärkeitä.

Yksinkertaistetussa muodossaan voidaan maan huokostila ajatella kapillaaritiehdyiden verkoksi. Tasapainotilan vallitessa kapillaarisessa maahuukosessa pintajännitysvoima on yhtäsuuri kuin vapaasta vesipinnasta mitatun vesipatsaan paino:

$$(8) \quad 2 \pi r \gamma = \pi r^2 \rho g h \cos \alpha,$$

missä r on kapillaarihuukoksen säde, γ on veden pintajännitysvakio (72,75 dyn/cm 20°C:ssa), ρ on veden tiheys, h on vesipatsaan nousukorkeus, g on maan vetovoiman kiihtyvyys (981 cm/s²) ja α on veden reunakulma.

Tavallisimmin tehdään se oletus, että reunakulma veden ja kapillaarihuokosen materiaalin välillä on nolla, jolloin

$$(9) \quad r = \frac{0,1484}{h} = \frac{0,15}{h}.$$

Jos esimerkiksi turpeessa olevan veden jännitys on 100 cm vesipatsasta, suurimpien vedentäyttämien huokosten säde on 0,015 mm. Tietty maaveden jännitys vastaa siis tiettyä huokoskokoa maassa (taulukko 4).

Taulukko 4. Eri maaveden jännityksiä vastaavat keskimääräiset huokosten halkaisijat (Päivänen 1982).

Maaveden jännitys		Huokosen halkaisija
pF	cm H ₂ O	μm
1	10	300
1,5	32	100
2	100	30
3	1 000	3
4	10 000	0,3
4,2	15 000	0,2

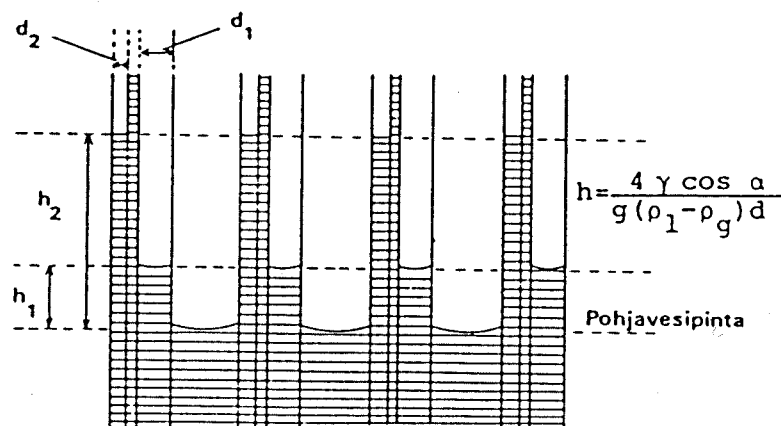
Huokoskokojakauma lasketaan turpeeseen eri maaveden jännityksen arvoilla pidättyneiden vesimäärien avulla. Huokoset jaetaan kokonsa perusteella makro- eli ilmahuokosiin (> 30 μm), keskikokoisiin eli vesihuokosiin (0,2 - 30 μm) ja mikrohuokosiin (< 0,2 μm). Sadevedet imeytyvät maahan lähinnä makrohuokosten kautta. Keskikokoiset huokoset ovat kasveille tärkeitä, koska makrohuokosissa vesi ei pysy ja mikrohuokosten vettä kasvit eivät pysty käyttämään. Turpeen tiheyden kasvaessa makrohuokosten määrä vähenee voimakkaasti ja keskikokoisten ja pienten huokosten määrä nousee.

Kasveille käyttökelpoinen vesi turpeessa

Kasveille käyttökelpoisena vetenä pidetään yleensä kenttäkapasiteetin ja pysyvän lakastumispisteen (pF 4,2) välillä maahan pidättyvää vettä. Kenttäkapasiteetilla tarkoitetaan sitä vesimäärää, joka ei valu pois painovoiman vaikutuksesta (Puustjärvi 1963). Määritelmä edellyttää veden vapaata suotautumismahdollisuutta alaspäin eli syvällä olevaa pohjavesipintaa.

Kenttäkapasiteettia vastaava maan vesipitoisuus antaa kuvan siitä, millaiseen kuivattavaan vaikutukseen ojituksella on mahdollisuus päästä. Kyseinen maan kosteus ilmaistaan yleisimmin pF -arvolla ja kivennäismailla sitä pidetään suhteellisen kiinteänä, maalajia kuvaavana tunnuksena.

Lähestyttäessä pohjavesipintaa kapillaarivesi täyttää yhä suuremmat huokokset (kuva 11) ja tasapainotilaa (kenttäkapasiteettia) vastaava maan kosteus kasvaa. Käytettäessä maaveden jännityksen mittayksikkönä vesipatsaan korkeutta, tarkastelutason ja pohjavesipinnan välinen korkeusero ilmaisee siis suoraan tasapainotilaa vastaavan maaveden jännityksen (taulukko 5).



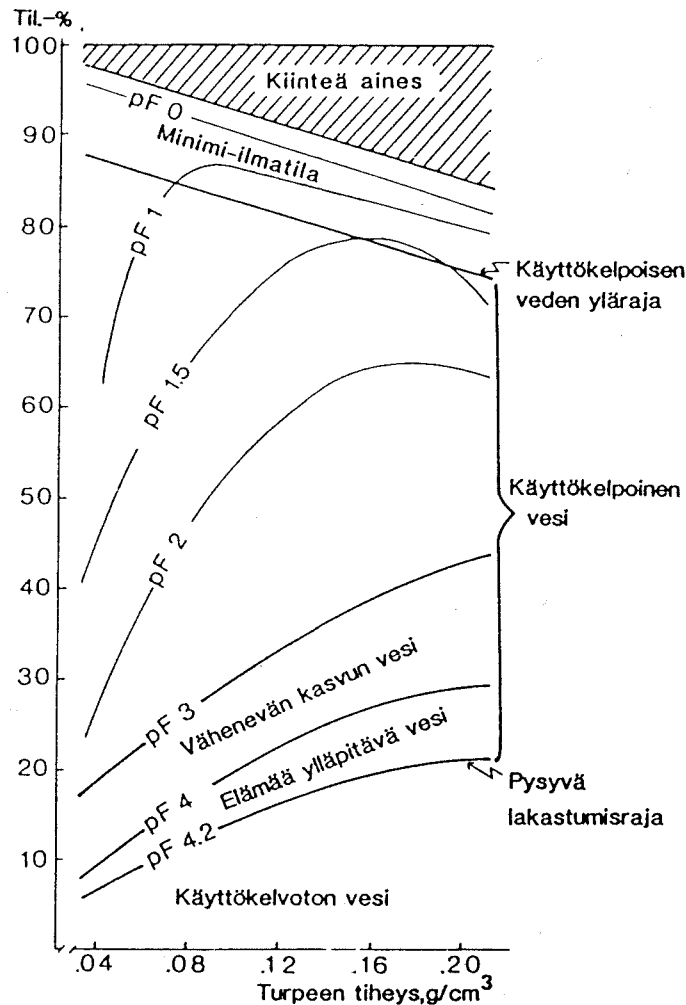
Kuva 11. Veden kapillaarisen nousukorkeuden ja huokosten läpimitan välinen riippuvuus (Ahti 1972).

Taulukko 5. Kenttäkapasiteettia vastaavan pF-arvon riippuvuus pohjavesipinnan etäisyydestä (Ahti 1972).

Etäisyys pohjavesipinnasta cm	Maaveden jännitys pF
10	1,00
30	1,47
50	1,70
100	2,00

Esitettyihin lukuihin päädytään maalajista riippumatta kaikissa tapauksissa, joissa tarkastelupisteen ja pohjavesipinnan välillä on kapillaarinen yhteys. Turvemailla, joissa pohjaveden pinta on aina suhteellisen lähellä maanpintaa, kenttäkapasiteettia vastaava pF-arvo riippuu siten pohjavesipinnan syvyydestä eikä turvelajista (Ahti 1972). Koska pohjaveden syvyys vaihtelee ja lisäksi turpeessa kenttäkapasiteetin saavuttaminen sateen jälkeen saattaa kestää kauan, kenttäkapasiteetti-käsite ei sellaisenaan sovellu turvemaan vesiolojen kuvaukseen.

Kaikki vesi, joka on maassa kyllästyskosteutta ja lakastumisrajaa vastaavien kosteustilojen välillä, on käyttökelpoista ainakin siinä mielessä, että veden sitoutuneisuus ei estä kasvien vedenottoa. Liiallinen vesi kasvualustassa saattaa kuitenkin aiheuttaa niin heikon maan tuuletuksen, että hapen saanti ja hiilidioksidin poistuminen muodostuvat kasvua rajoittaviksi tekijöiksi. Usein esitetään 10 %:n ilmatila minimirajaksi, joka on välttämätön korkeampien kasvien juuristojen normaalille kehitykselle. Tähän perustuen kasveille käyttökelpoisen veden ylärajaksi sopii se turpeen vesipitoisuus, jonka vallitessa turpeen ilmatila on 10 % (Päivänen 1973). Käyttökelpoisen veden ylärajalla vallitsee tällöin turpeen maatuneisuudesta riippuen erilainen maaveden jännitys (kuva 12).



Kuva 12. Kasveille käyttökelpoinen ja käyttökelvoton vesi turpeessa (Päivänen 1973).

Vedenjohtavuus

Johtavuus- ja läpäisevyysskäsitteet erotetaan yleensä siten, että johtavuus riippuu myös virtaavan aineen ominaisuuksista, kun taas läpäisevyys riippuu ainoastaan maahuokosten laadusta. Maan vedenjohtavuudella samoin kuin vedenläpäisevyydellä tarkoitetaan kuitenkin useimmiten samaa asiaa: huokoisen maan ominaisuutta, joka ilmaisee kuinka hyvin se johtaa vettä eli kuinka helposti vesi voi sen läpäistä.

Turpeen vedenjohtavuuden kohdalla ollaan yleensä kiinnostuneita vedellä kyllästetyn maan ominaisuuksista. Darcyn laissa vedenjohtavuutta eli hydraulista johtavuutta kuvaava kerroin k ilmaisee veden virtausnopeuden hydraulisen gradi-

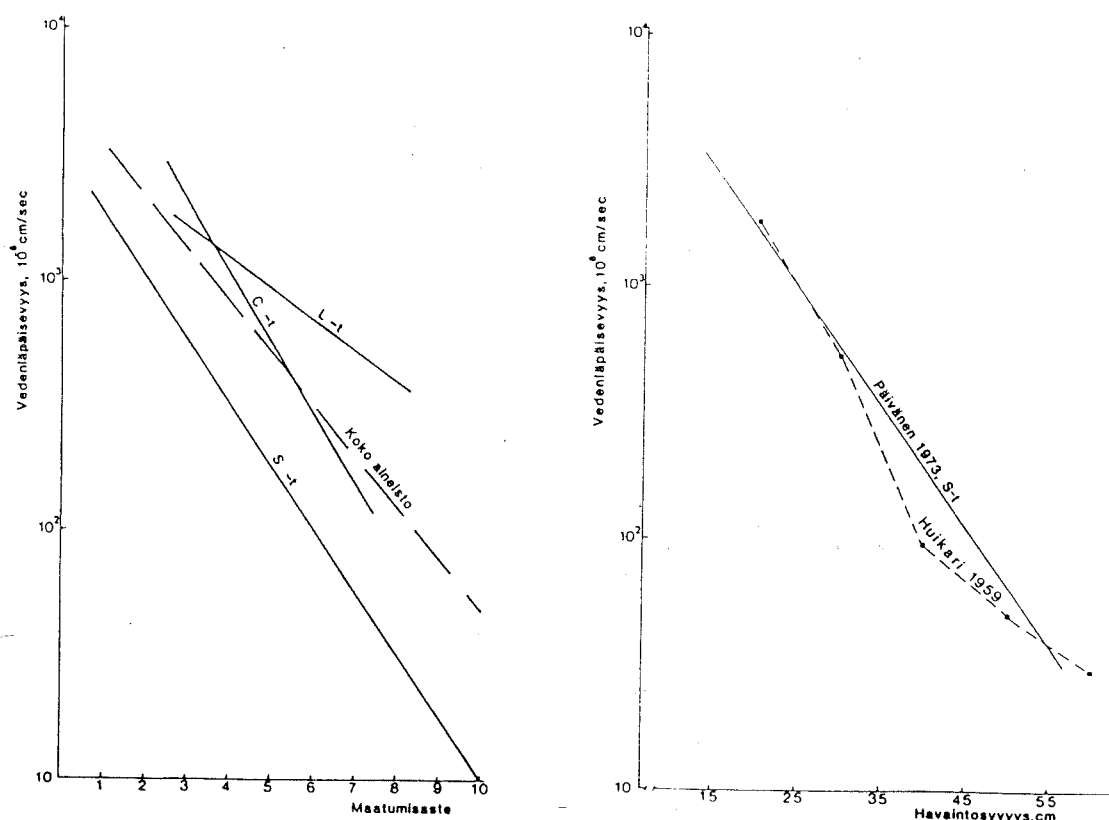
entin suunnassa. Turpeen vedenjohtavuus kyllästetyssä tilassa voidaan siis esittää seuraavasti:

$$(10) \quad k = \frac{Q}{A (h/l)},$$

missä k on vedenjohtavuus, Q on maanäytteen aikayksikössä läpäissyt vesimäärä, A on maanäytteen poikkipinta-ala ja h/l on hydraulinen gradientti.

Suomessa mitatut turpeen vedenjohtavuusarvot vaihtelevat väljissä rajoissa: $2,0 \cdot 10^{-6}$ - $1,1 \cdot 10^{-2}$ cm/s (Päivänen 1982). Vedenjohtavuus heikkenee voimakkaasti maatuneisuuden ja tiheyden kasvaessa. Tarkasteltaessa maatuneisuudeltaan samanlaisia turpeita vedenjohtavuus on yleensä suurempi puunjäännös- ja saravaltaisissa turpeissa kuin rahkaturpeissa. Turpeen vedenjohtavuus heikkenee myös siirryttäessä pintakerroksista syvempiin turvekerrokseen (kuva 13). Tämä johtuu pintakerrosten suuresta makrohuokosten ja -tiehyiden määrästä, mikä on seurausta lähinnä kasvien juuriston aiheuttamasta liikkeestä, lahoavista juurista ja maaperäeläinten toiminnasta.

Kahden helposti määritettävän riippumattoman muuttujan (havaintosyvyys ja turpeen tiheys tai maatumisaste) funktiomalli selittää vedenjohtavuuden vaihteluista rahkaturpeissa yli 70 % sekä sara- ja puuturpeissa noin 60 %. Turpeen tiheys kuvaa turpeessa olevien huokosten määrää ja havaintosyvyys vedenjohtavuuteen vaikuttavia paineoloja ja muita tekijöitä. Veden liikkumiseen vaikuttaa kuitenkin ennen kaikkea huokosten koko, suuntautuminen ja niiden väliset yhteydet. Näiden seikkojen mittaaminen ja sijoittaminen ennustemalliin on jo niin monimutkaista, että helpompaa on tarkkuutta vaativissa tapauksissa pyrkiä vedenjohtavuuden suoraan mittaamiseen (Päivänen 1982).



Kuva 13. a) Von Postin maatumisasteen vaikutus turpeen vedenjohtavuuteen rahka-, sara- ja puunjäännösvaltaisissa turpeissa b) havaintosyvyyden vaikutus turpeen vedenjohtavuuteen (Päivänen 1973).

Vedellä kyllästymätön maa johtaa myös vettä, mutta ei siinä mitassa kuin kyllästynyt. Kun vesipitoisuus alenee kyllästyspisteestä, suuret huokoset kuivuvat ensiksi. Lisäksi virtausreitit saattavat mutkistua ja muutoksia voi ilmetä veden ominaisuuksissa. Näistä syistä vedenjohtavuus laskee nopeasti vesipitoisuuden aletessa. Vedenjohtavuus saattaa laskea jopa 1/100 - 1/1000:aan kyllästyneen tilan arvostaan, kun vesipitoisuus alennetaan 1/3:aan (Klute 1965). Veden liikkeisiin huokosissa vaikuttaa myös lämpötila. Lämpötilan kohotessa veden viskositeetti alenee ja se kulkee nopeammin ja pienemmissä huokosissa.

Lämpöolot

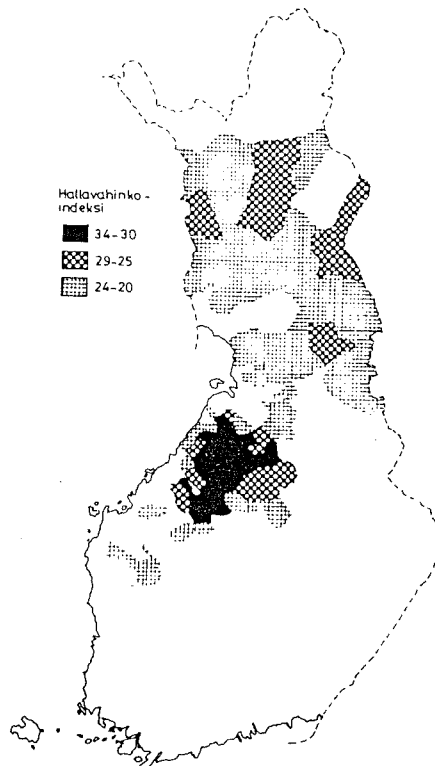
Maan lämpösuhteiden kannalta tärkeitä ominaisuuksia ovat ominaislämpökapasiteetti ja lämmönjohtokyky. Ominaislämpökapasiteetti on se lämpömäärä, joka tarvitaan nostamaan yhden gramman ainemäärän lämpötilaa yhdellä asteella. Veden suuren ominaislämpökapasiteetin ($4,12 \text{ J/gK}$) johdosta maan vesipitoisuus vaikuttaa huomattavasti maan ominaislämpökapasiteettiin. Kuivan turpeen ominaislämpökapasiteetti on $0,61 \text{ J/gK}$ ja vedellä kyllästyneen turpeen $3,91 \text{ J/gK}$. Esi-merkiksi hiekalle vastaavat arvot ovat $1,19$ ja $2,84 \text{ J/gK}$.

Lämmönjohtokyky on lämpömäärä, joka yhdessä sekunnissa kulkee yhden senttimetrin paksuisen levyn läpi, kun lämpötilojen ero levyn eri puolilla on yksi aste. Veden lämmönjohtokyky on $0,00696 \text{ J/cm s K}$. Maan lämmönjohtokyky riippuu lähinnä maan huokostilan ilma- ja vesisuhteista. Turvemaassa, jonka tiheys on pieni (suuri kokonaishuokostila), lämmönjohtokyky on sitä pienempi, mitä kuivempaa maa on. Tämä johtuu ilman heikosta lämmönjohtavuudesta.

Turpeen huono lämmönjohtokyky aiheuttaa sen, että lämpeneminen tapahtuu hitaasti. Routa sulaa turvemailta myöhään. Kasvukauden aikana turvemaan lämpötila on pintakerrosta lukuunottamatta huomattavasti alhaisempi kuin kivennäismaan (Pessi 1966). Maan lämpötilalla on vaikutusta juuriston ravinnonottoon sekä kasvien kehitysnopeuteen varsinkin kasvun varhaisvaiheessa. Kasvukausi muodostuu siten turvemaalla lyhyemmäksi kuin kivennäismaalla, mikä rajoittaa viljelykelpoisten kasvien valikoimaa.

Huonon lämmönjohtokyvyn lisäksi turvemaiden heikkoon lämpötalouteen vaikuttaa se, että veden haihtuminen sitoo energiaa ja että turvemaille on tyypillistä alava sijainti. Yön alin lämpötila suolla saattaa olla useita asteita alhaisempi kuin läheisellä rinteellä. Viljelyskasvien hallavauriot muodostuvat usein turvemailla suuremmiksi kuin kivennäismailla myös sen johdosta, että tuleentumiseen tarvittava aika on turpeella pitempi. Suurimmat hallavahingot sijoittuvat Suomessa selkeästi alueille, jotka ovat alavia ja soisia ja joilla pienilmastollisesti edullisia kasvu-

paikkoja on niukasti (kuva 14).



Kuva 14. Yhdistelmäkartta peltohehtaaria kohti lasketuista hallavahingoista. Korkein indeksiluku osoittaa, että vahingot ovat olleet asianomaisessa kunnassa suuria ja usein toistuvia (Valmari 1985).

3.2 Kemialliset ominaisuudet

3.2.1 Kemiallinen koostumus

Orgaaninen aines koostuu pääasiassa hiilestä (50 %), vedystä (8 %), hapestä (40 %) ja typestä (2 %) (Heinonen 1985b). Useat kasvifysiologisesti tärkeät yhdisteet sisältävät lisäksi seuraavia alkuaineita: fosfori, kalium, rikki, kalsium, rauta, magnesium, mangaani, sinkki, kupari, molybdeeni, boori ja kloori. Kasvit saattavat myös ottaa huomattavia määriä niille tarpeettomia aineita kuten piitä, natriumia ja raskasmetalleja. Kaikkiaan tuhkan osuus kasviaineksen kuivapainosta on yleensä 7 - 15 %. Maatuesaan kasviaineksen alkuainekoostumuksessa tapahtuu jonkin verran muutoksia. Typen osuus yleensä kasvaa, hapen osuus laskee tai kasvaa riippuen siitä tapahtuuko maatumisen pelkistävissä vai hapettavissa olosuhteissa. Humuksessa on hiiltä 45 - 60 %, vetyä 4 - 7 %, happea 25 - 50 % ja typpeä 0,5 - 7 % (Poutanen ja Mäkinen 1986). Pelkkä alkuainekoostumus ei kuitenkaan anna riittävää kuvaa turpeen kemiallisista rakenteista.

Turpeen kemiallisia yhdisteitä on yleensä selvitetty kasvifysiologiassa käytetyillä analyttisen biokemian menetelmillä. Tällöin turve fraktioidaan yleensä kasvinosien sisältämien hiilihydraattien, aminohappojen ja lipidien lisäksi ryhmään humusaineet, jotka syntyvät edellisistä humifioitumisen seurauksena. Uusien tehokkaiden analyysimenetelmien myötä pääpaino analysoinnissa on siirtynyt mainitusta karkeasta ryhmittelystä yksityisten, rakenteeltaan tunnettujen yhdisteiden määrittämiseen. Tunnistetut yhdisteet kattavat kuitenkin vain osan turpeen kokonaispainosta.

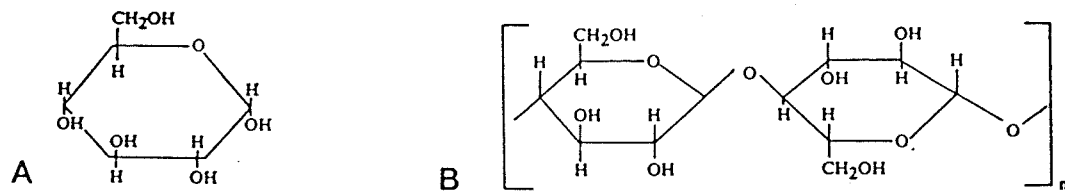
Seuraavassa esityksessä on päälähteenä käytetty Givenin ja Dickinsonin julkaisua vuodelta 1975.

Hiilihydraatit

Hiilihydraatit ovat aineita, joiden molekyyli- tai aldehydi- tai ketoniryhmä tai joiden hydrolyysissä muodostuu tällaisia aineita. Nimitys hiilihydraatti johtuu siitä, että niiden molekyyli- tai aldehydi- tai ketoniryhmä on yleensä vetyä ja happea samassa suhteessa kuin vedessä.

Hiilihydraatteihin kuuluvat sokerit, tärkkelys ja selluloosa. Sokereita muodostuu kasvien yhteyttämisreaktiossa, ja sokereiksi myös pilkkoutuvat kaikki hiilihydraatit ennenkuin toisenvaraiset eliöt voivat käyttää ne ravinnoksi. Selluloosa ja tärkkelys ovat glukoosin polymeerejä. Selluloosa muodostaa kasvien tukikudokset ja on runsaimmin luonnossa esiintyvä hiilihydraatti. Muita solunseinässä esiintyviä hiilihydraatteja ovat hemiselluloosat ja pektiiniaineet. Myös hemiselluloosa muodostuu sokერიyksiköistä, tärkeimpinä monomeereinä ksyloosi (57 %), uronihapot (8 %), arabinoosi (7 %), fukoosi (0,8 %) ja ramnoosi (0,2 %). Hemiselluloosat ovat selluloosaa lyhytketjuisempia ja helpommin hajaantuvia. Pekiiniaineiden yksikköinä ovat uronihapot, jotka syntyvät sokereista yhden hydroksyyli- tai aldehydi- tai ketoniryhmän hapettua karboksyyliryhmäksi. Tärkkelys toimii soluissa varavaravintona.

Turpeessa esiintyvät hiilihydraatit voidaan jakaa selluloosaan ja hemiselluloosaan. Selluloosan osuus turpeen orgaanisesta aineesta vaihtelee välillä 2 - 30 % ja hemiselluloosan välillä 5 - 50 %. Pitoisuudet riippuvat maatumisasteesta siten, että maatumisasteen kasvaessa polysakkariidien pitoisuus alenee. Lisäksi niiden polymerisaatioaste alenee maatumisen edistyessä. Erityisesti kasvien sisältämä hemiselluloosa kestää heikosti hajotusta, koska sille tyypillisiä sokereita on turpeessa vähän. Täten osa "hemiselluloosaksi" määritellyistä aineista lienee peräisin humusfraktion helposti hydrolysoituvista osista. Sen sijaan turpeessa yleisiä sokereita ovat glukoosi, ramnoosi, fukoosi, galaktoosi, mannoosi ja riboosi, jotka ovat peräisin etupäässä selluloosasta ja mikrobien hiilihydraateista. Rahkaturpeet sisältävät yleensä hiilihydraatteja enemmän kuin sara- ja metsäturpeet.



Kuva 15. a) Glukoosin ja b) selluloosan rakenne.

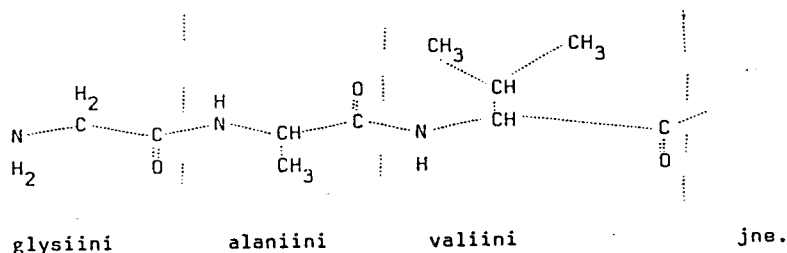
Aminohapot

Aminohappomolekyyleissä on ainakin yksi aminoryhmä ja karboksyyliiryhmä. Muuten rakenne voi olla alifaattinen (esim. leusiini, valiini) tai syklinen (fenyylialaniini, tryptofaani). Aminohapot liittyvät toisiinsa peptidisidoksin karboksyyliiryhmän reagoidessa toisen aminohapon aminoryhmän kanssa siten, että samalla syntyy vettä.

Aminohapot jaetaan valkuaisaineisiin sisältyviin aminohappoihin sekä niihin sisältymättömiin eli ei-proteiini-aminohappoihin. Valkuaisaineissa esiintyy 20 eri aminohappoa, joista muodostuneita polypeptidejä valkuaisaineet ovat. Valtaosa solun valkuaisaineista on entsyymejä, jotka katalysoivat solussa tapahtuvia biokemiallisia reaktioita. Valkuaisaineita esiintyy lisäksi solukalvossa ja jonkin verran solunseinässä sekä vararavintona siemenissä. Tunnetaan myös yli 200 sellaista aminohappoa, joita ei esiinny valkuaisaineiden rakenneosina.

Kasvinosissa olevien aminohappojen lisäksi turpeessa on bakteerien ja sienien syntetisoimista proteiineista peräisin olevia aminohappoja, joiden osuus voi olla merkittävä. Eri tutkimuksissa ilmoitetaan aminohappojen osuuden olevan 1 - 10,3 % turpeen orgaanisen aineen kokonaismäärästä. Turpeista on eristetty ainakin 17 yleistä aminohappoa, joiden keskinäinen jakauma poikkeaa vain vähän alkuperäkasveille tyypillisestä aminohappojakaumasta. Lisäksi on tunnistettu joukko ei-proteiini-aminohappoja, joista osa on bakteerisoluiissa esiintyviä, osan alkuperä on epäselvä. Yleensä myös jälkimmäiset yhdistetään mikrobitoimintaan. Aminohappojen kokonaispitoisuus kasvaa järjestyksessä elävä kasvi - karike - turve. Samassa järjestyksessä kasvaa myös

ei-proteiini- ja proteiiniaminohappojen suhde.



Kuva 16. Aminohappojen rakenne.

Lipidit ja muut orgaanisiin liuottimiin liukenevat yhdisteet

Kasveissa esiintyviä lipidejä ovat mm. neutraalirasvat, joita on siemenissä vararavintona, fosfatidit solukelmuissa, vahat kutikulassa ja isopreeniyhdisteet, joista osalla (karoteenit, gibberelliinit) on tärkeä fysiologinen merkitys. Neutraalirasvat ovat triglyseridejä, joissa kolmiarvoisen alkoholin (glyserolin) kaikki kolme hydroksyyli ryhmää ovat esteröityneet rasvahapon kanssa. Kasvirasvojen rasvahapot ovat tavallisimmin 16- tai 18-hiiliatomisia. Fosfatidit poikkeavat neutraalirasvoista siten, että kolmanteen hydroksyyli ryhmään onkin liittynyt fosforihappo, jolloin molekyylin toinen pää on hydrofobinen, toinen hydrofiilinen. Vahoissa taas alkoholiosa ei ole glyseroli, vaan suurimolekyylinen alifaattinen yksiarvoinen alkoholi. Isopreenin monikertoina muodostuu terpeenejä, jotka voivat edelleen hapettua lukuisiksi erilaisiksi yhdisteiksi. Lipidit eivät liukene veteen, mutta sensijaan helposti eetteriin ja alkoholiin. Lipidien lisäksi tähän fraktioon kuuluvat mm. hartsit ja fenolit.

Orgaanisiin liuottimiin liukenevien aineiden osuus turpeessa on yleensä 2 - 10 %. Niillä on merkitystä turpeen alkuperää selvitetessä, sillä lipidien rasvahapot ja etenkin lehtien pintoja peittävät vahat ovat spesifisiä tietyille kasvisuvulle tai jopa -lajille. Näytesyvyyden kasvaessa tyydyttämättömien rasvahappojen osuus pienenee ja pitkäketjuisten (yli 24 hiiliatomia) rasvahappojen osuus

kasvaa. Muutokset rasvahapoissa, kuten hajoaminen, kaksoissidosten tyydyttyminen ja täysin uusien rasvahappojen synteesi, ovat todennäköisesti mikrobien aikaansaannosta. Rasvahappojen tyydyttyminen voi tapahtua myös ilman hapen vaikutuksesta.

Humusaineet

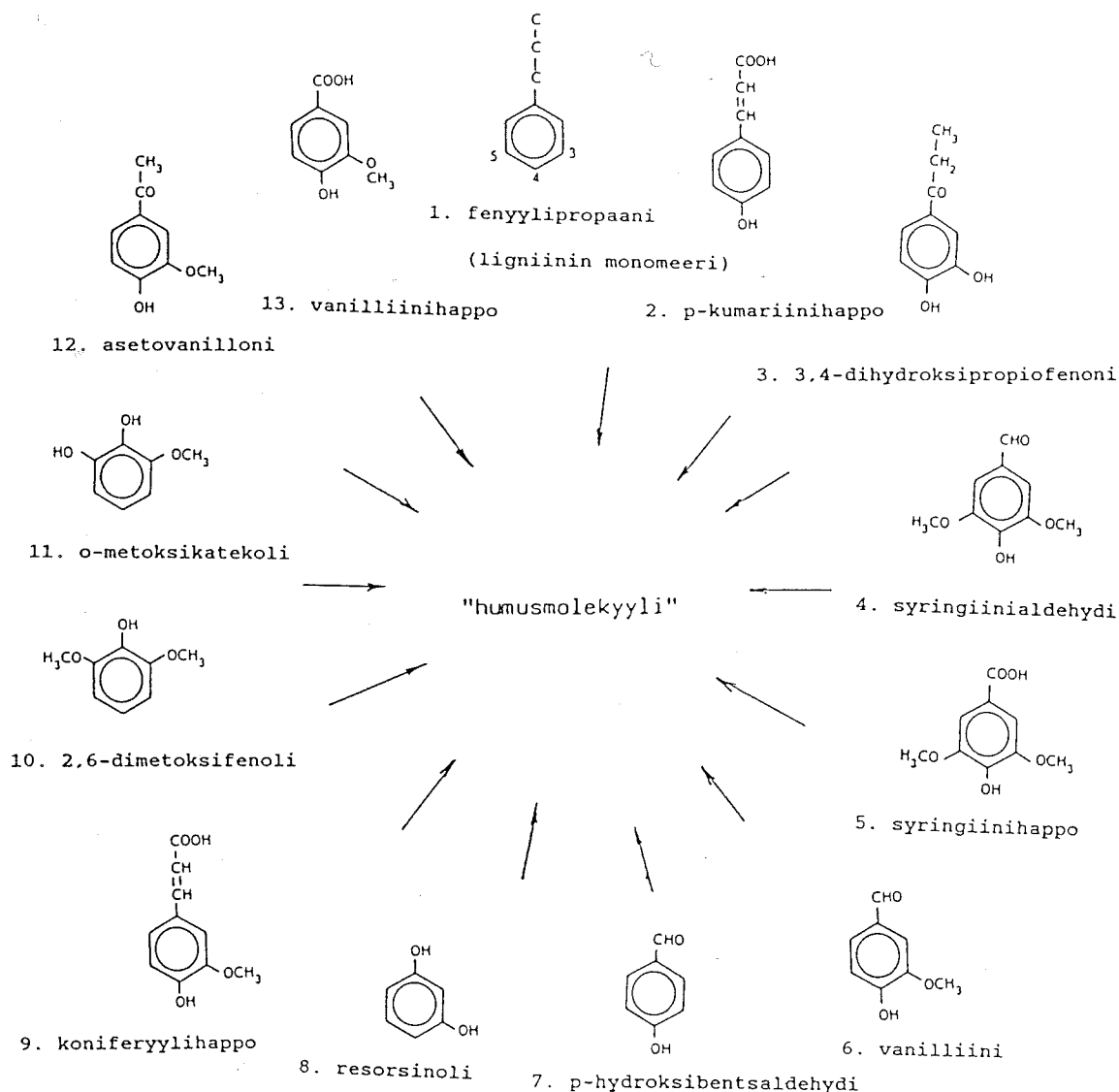
Humusaineet on yleisnimitys luonnossa esiintyville, biogeenisille, heterogeenisille orgaanisille aineille, joita syntyy kasvien sisältämistä yhdisteistä hajotuksen väli-
tuotteiden reagoidessa keskenään tai mikrobien syntetisoiman aineksen kanssa. Humusmolekyylit ovat suuria, sisältävät runsaasti rengasrakenteita ja ovat erittäin kestäviä hajotusta vastaan nimenomaan niissä olosuhteissa, joissa ne ovat syntyneet.

Humusaineet jaetaan kolmeen pääfraktioon liukoisuuden perusteella. Fulvohapot ovat humusaineiden vesiliukoinen osa. Humushapot ovat humusaineiden osa, joka ei liukene veteen happamissa olosuhteissa, mutta liukenee kun pH on yli 2. Humiini on se osa humusaineista, joka ei liukene veteen. Vesiliukoisuus on hyvä määrittelykriteeri, sillä se riippuu monista tärkeistä kemiallisista ominaisuuksista, kuten happamien funktionaalisten ryhmien määrästä, molekyylikoosta ja aromaattisuudesta.

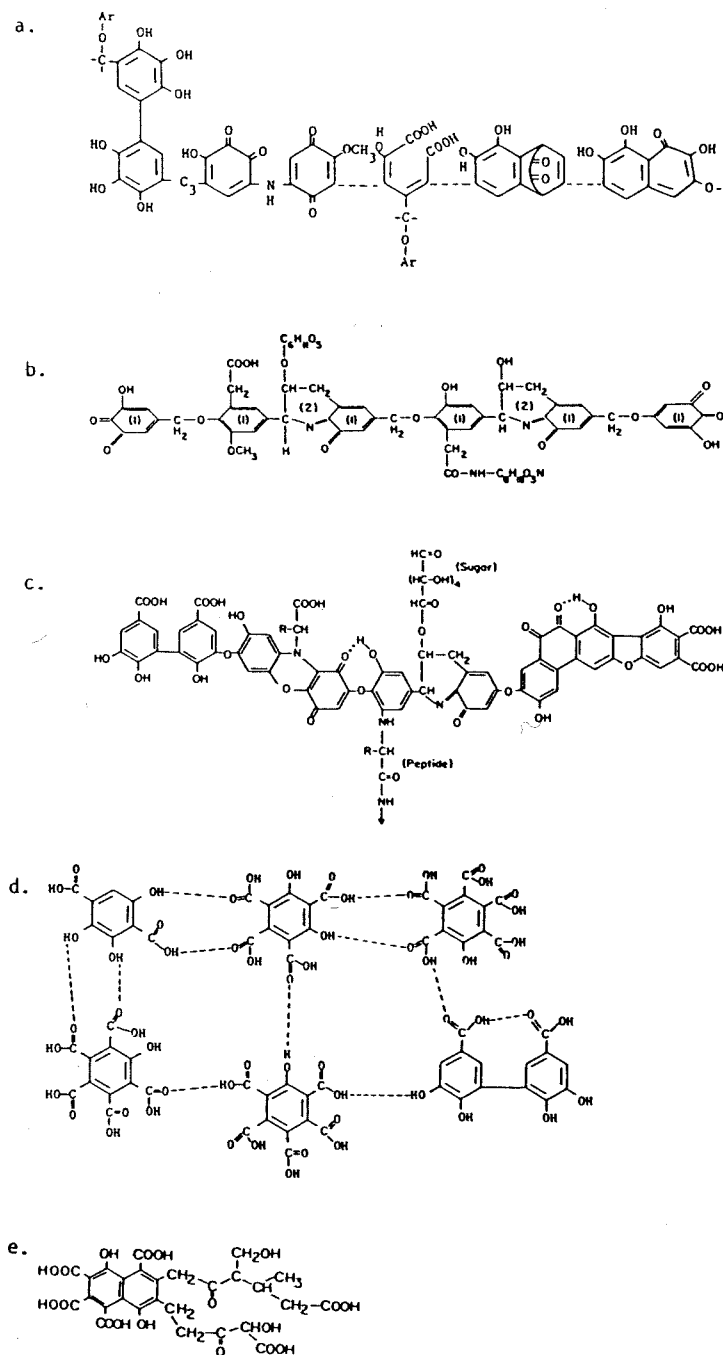
Humuksen kemia on ollut tutkimuksen kohteena jo yli kaksisataa vuotta. Edistyminen humusaineiden kemiallisen koostumuksen ja niiden suhteellisen molekyylikoon määrittämisessä on kuitenkin ollut varsin hidasta. Tähänastisilla eristys- ja fraktiointimenetelmillä ei ole pystytty eristämään humusaineita puhtaiksi yhdisteiksi, vaan aina joudutaan työskentelemään seosten kanssa, mikä rajoittaa määrittysten luotettavuutta.

Humuksessa yleisiä funktionaalisia ryhmiä ovat karboksyyli-, hydroksyyli-, karbonyyli-, metoksyyli- ja fenoliset hydroksyyli-ryhmät. Fulvohapot sisältävät merkittäviä määriä runsaasti karboksyloituneita ketjuja. Humushapoissa,

jotka ovat molekyylikooltaan suurempia, karboksyyli-ryhmien suhteellinen määrä on noin 20 % pienempi kuin fulvo-hapoissa. Liukenemattoman humiinin rakennetta on pystytty selvittämään vasta uusimmilla spektroskopiamenetelmillä. Humiini koostuu ligniinistä peräisin olevista rakenteista, polysakkarideista ja suuresta joukosta parafiinisia raken-teita, joiden oletetaan olevan peräisin mikrobeista. Ver-tikaalisen turvenäyteprofiilin tarkastelu osoittaa, että polysakkaridit hajoavat nopeasti syvyyden lisääntyessä, kun taas ligniini- ja parafiiniset rakenteet säilyvät selek-tiivisesti. Erityisesti jälkimmäiset ovat hyvin kestäviä ja ajan mittaan muodostavat kerosiinin ja hiilen tärkeän rakenneosan (Pihlaja 1986).



Kuva 17. Humuksen rakenneosia.



Kuva 18. Humus- (a-c) ja fulvohapoille (d ja e) ehdotettuja hypoteettisia rakenteita (Stevenson 1985).

Humusaineipitoisuus sara- ja metsäturpeessa on yleensä korkea, 30 - 80 %, sen sijaan rahkaturpeessa tavallisesti vain 5 - 25 %. Sammalet sisältävät vain vähän tai eivät lainkaan ligniiniä, mutta kylläkin useita putkilokasvien fenoliyhdisteille läheisiä rakenteita, kuten p-kumariinihappoa ja 3,4-dihydroksipropiofenonia (2 ja 3 kuvassa 17), joista rahkaturpeen humusaineet ilmeisesti muodostuvat. Humusaineiden pitoisuus kasvaa maatumisasteen myötä.

Monet humuksen funktionaalisista ryhmistä soveltuvat kompleksinmuodostukseen. Siten humusaineet sitovat metallikaationeja hyvinkin pysyviksi, liukenemattomiksi kompleksiyhdisteiksi. Erityisesti fulvohappojen Cu^{2+} -sitomiskyky on hyvin voimakas. Myös raudan uskotaan kompleksoituvan humusaineiden kanssa. Vulkaanisessa maaperässä fulvohappojen on havaittu sitovan jopa 12 % tuhka-aineita, joista valtaosa oli piidioksidia (Pihlaja 1986).

3.2.2 Maatumisprosessi

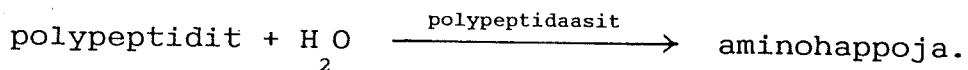
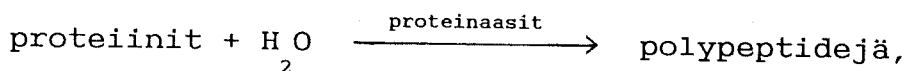
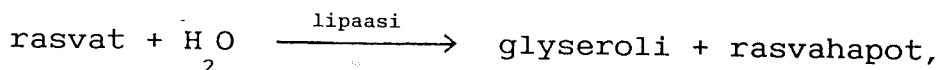
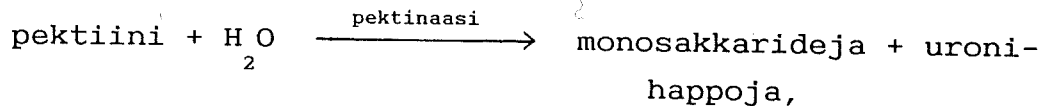
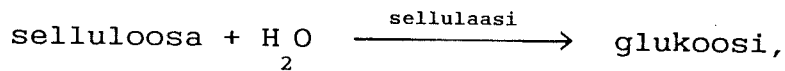
Kasvi- ja eläinjätteidien hajotessa maassa tapahtuu toisaalta mineraloitumista, toisaalta humifioitumista. Mineraloitumisessa orgaaninen aines hajoo epäorgaaniseksi yhdisteiksi kuten vedeksi, hiilidioksidiksi ja erilaisiksi suoloiksi, jotka siten vapautuvat uudelleen kasvien ja maan mikrobiston käyttöön. Humifioitumisessa hajotuksen välituotteista muodostuu amorfisena massana esiintyvää humusta, jolla on melkoinen kestävyys hajotustoimintaa vastaan. Samanlaisen kasvillisuuden vallitessa pitkän aikaa samalla paikalla muodostuu maahan tulevan ja hajoavan orgaanisen aineksen välille tasapaino, joka johtaa kyseiselle paikalle luonteenomaiseen orgaanisen aineksen pitoisuuteen. Soilla, missä märkyydestä johtuva hapen puute estää hajotusta, syntyy turvetta. Eräiden arvioiden mukaan kasvustojen orgaanisen aineksen kokonaistuotannosta akkumuloituu turpeeseen 7,5 - 10 %.

Hajotettavan aineksen koostumus riippuu kasvupaikasta ja kasvilajista, mutta yleensä suuri osa siitä on vettä (10 - 90 %), muutama prosentti mineraaliaineksia eli tuhkaa ja loput orgaanisia yhdisteitä. Näistä tärkeimpiä ovat kasvin solunseinän sisältämät selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini sekä solun sisällä esiintyvät sokerit, tärkkelys, typpi-yhdisteet, rasvat, vahat, parkki- ja väriaineet.

Ensimmäisenä vaiheena jätteidien hajoamisessa ovat solun sisäiset hajoamisreaktiot, joita solun omat entsyymit katalysoivat, kuten tärkkelyksen hajoaminen sokereiksi ja valkuaisaineiden hajoaminen aminohapoiksi. Seuraavassa vai-

heessa maaeläimet, kuten madot, punkit ja siirat, hienontavat ja sekoittavat karikkeainesta mekaanisesti. Lopuksi maan pieneliöstö hajottaa entsyymaattisesti suurimolekyyllisiä orgaanisia aineita yksinkertaisemmiksi ja reaktio-kykyisemmiksi yhdisteiksi.

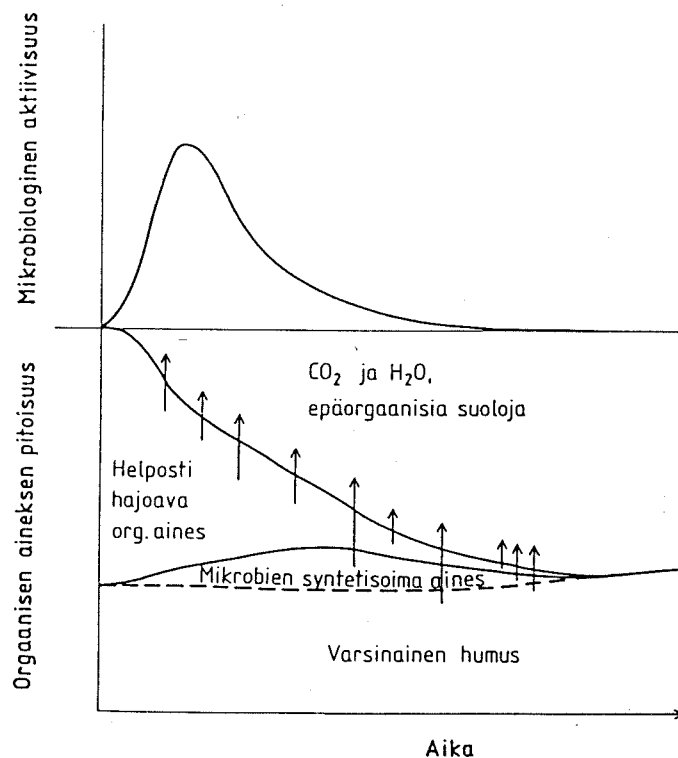
Suurimolekyyllisten yhdisteiden hajotus alkaa hydrolyysillä, jonka tuloksena yhdisteet pilkkoutuvat monomeereikseen spesifisen entsyymin katalysoimina, esimerkkeinä seuraavat prosessit:



Eri mikrobilajien kyky hajottaa monimutkaisia yhdisteitä riippuu siitä, pystyvätkö ne erittämään kyseiseen hydrolyysiin tarvittavaa entsyymiä. Hydrolyysin tuotteet ovat yksinkertaisempia ja liukoisempia kuin alkuperäiset yhdisteet ja toimivat erilaisten heterotrofisten mikro-organismien ravintona.

Hydrolyysiä seuraa siis mikrobisoluissa tapahtuva hapettuminen. Solut käyttävät hyväkseen siinä vapautuvan energian. Anaerobisissa oloissa muodostuu tällöin epätäydellisesti hapettuneita välituotteita, kuten orgaanisia happoja, alkoholeja ja vety- ja metaanikaasua. Typeä sisältävistä yhdisteistä muodostuu lisäksi ammoniakkia, amiineja ja rikkivetyä. Aerobisten mikrobien soluhengityksessä tapahtuvan täydellisen hapettumisen lopullisina tuotteina muodostuu vettä ja hiilidioksidia. Typellisistä lähtöaineista muodostuu lisäksi sulfaatteja ja ammoniakkia, minkä vuoksi niiden hajottamista kutsutaan ammonifikaatioksi.

Orgaanisen aineksen hajotus tapahtuu sukessiivisesti tiettyjen aineiden hajottamiseen erikoistuneiden mikrobipopulaatioiden seurattessa toisiaan. Ensin käytetään helpoimmin hajoava aines kuten vesiliukoiset hiilihydraatit, pektiinit ja valkuaisaineet ja viimeiseksi selluloosa ja ligniini (kuva 19). Koska mikrobit tarvitsevat samoja ravinteita kuin kasvit, hajotettavan aineksen ravinnepitoisuus on tärkeä tekijä. Ravinnepitoisuus korreloi orgaanisen aineksen mineraloituvuuden kanssa, joten mineraloituvuutta kuvataan usein hiilen ja typen suhteen avulla.

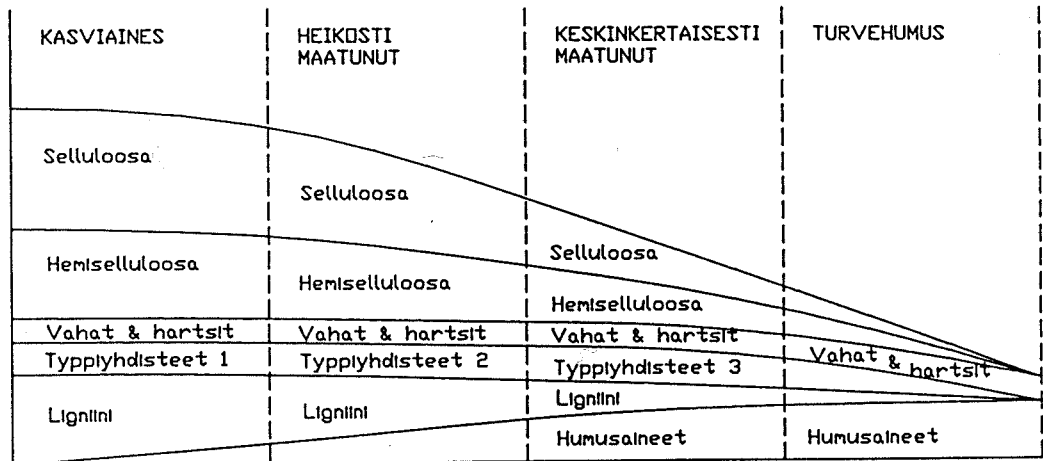


Kuva 19. Maan orgaanisessa aineksessa tapahtuvat muutokset kasvinjätteen maahan joutumisen jälkeen (Hartikainen ja Niskanen 1986).

Eläinkunnasta peräisin olevat jätteet hajoavat melko helposti, kun taas kasviaines hajoaa hitaammin, koska suhteellisen harvat mikrobit, lähinnä sienet, pystyvät hajottamaan sen sisältämää selluloosaa ja ligniiniä. Sienet sitovat hajotettavasta aineesta rakennusaineikseen suuremman osan kuin bakteerit, joten hajotus on hitaampaa sienten ollessa pääasiallisia hajottajia.

Humuksen muodostumisesta luonnossa on esitetty lukuisia teorioita. Yleisimmin hyväksytty on ehkä ns. ligniiniteoria (Stevenson 1982). Ligniiniä on putkilokasvien puutuneissa solunseinissä 10 - 30 %. Se sijaitsee selluloosan mikrofibrillien välisissä onteloissa, joissa se lisää solunseinän puristuskestävyyttä. Ligniinimolekyyli koostuu toisiinsa liittyneistä fenyylipropaaniyksiköistä. Ligniini on suhteellisen vaikeasti hajaantuvaa, ja luonnossa sitä hajottavat pääasiassa kantasienet. Teorian mukaan mikrobien syntetisoimat, ligniinistä peräisin olevat polyfenolit muuttuvat entsyymaattisten reaktioiden seurauksena kinoneiksi, jotka edelleen joko itsekondensaation kautta tai liittymällä aminoyhdisteisiin muodostavat tyypeä sisältäviä makromolekyyilejä (Poutanen 1986).

Mikrobien aikaansaama humifioituminen tapahtuu parhaiten neutraaleissa olosuhteissa, kun valkuaisaineita on saatavilla ylimäärin verrattuna liukoisiin fenoliyhdisteisiin. Humifioitumista tapahtuu myös ilman maaeliöstön myötävaikutusta, esimerkiksi happamassa suossa, jossa vähän tyypeä sisältävästä karikeaineksesta vapautuu reaktiivisia pienimolekyyllisiä yhdisteitä. Tämä on tosin paljon hitaampaa kuin biologinen humuksen muodostuminen (Hartikainen ja Niskanen 1986). Maatumisasteen kohotessa turpeen humuspitoisuus nousee. Täysin maatunut turve sisältää lähes pelkästään humusaineita (kuva 20).



Typpiyhdisteet: 1. Kasviproteiinit
 2. Kasvien ja mikro-organismien tyypilliset jäännökset
 3. Mikro-organismien tyypilliset jäännökset

Kuva 20. Kasviaineen hajoaminen humusaineeksi (Ekmania, 1981, mukaillen).

3.2.3 Happamuus

Maan happamuudella eli oksoniumionikonsentraatiolla tarkoitetaan yleensä maanesteen happamuutta. Happamuus ilmaistaan pH-arvolla, joka on oksoniumionikonsentraation kymmenlogaritmin vastaluku. Maan pH:n lukuarvo riippuu määrittäytavasta, sillä mittausta varten maa lietetään joko veteen tai suolaliuokseen.

Turpeessa happamuutta aiheuttavat erityisesti karboksyyli-ryhmät ja fenoliset hydroksyyli-ryhmät. Kaikella orgaanisella aineksella on taipumus hapettuessaan muodostaa karboksyyli-ryhmiä. Märässä ja vähähappisessa turpeessa mikrobiologinen hapetus jää usein epätäydelliseksi ja tuloksena orgaanisia happoja rikastuu turvekerrokseen. Turpeen fulvohapot sisältävätkin näitä ryhmiä suhteellisesti enemmän kuin kivennäismaiden fulvohapot (Given ja Dickinson 1975). Turpeiden fulvo- ja humushappopitoisuus vaihtelee kuitenkin laajasti ja lisäksi turpeen pH riippuu useista muista tekijöistä, kuten kallioperän laadusta, ilmaston humidisuudesta, kasvien kationien otosta ja maan hengityksestä, lannoituksesta sekä nykyään myös happamista sateista.

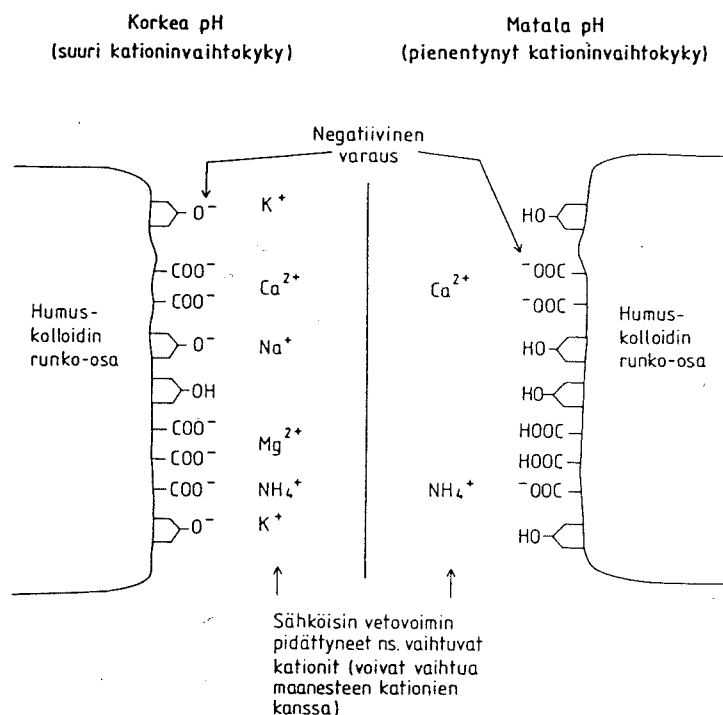
Karbonaattipitoinen maaperä turpeen alla on suhteellisen harvinainen ilmiö. Kuitenkin myös tavallisista silikaattimineraalimalaajeista, erityisesti moreenista saattaa rapautua metalli-ioneja, jotka yhdessä bikarbonaatin kanssa osittain neutraloivat happoryhmiä ja nostavat pH:ta. Tällaiset olosuhteet esiintyvät todennäköisimmin aapasoilla (saraturpeella), jotka saavat ioneja ympäristöstä virtaavan veden mukana. Rahkaturpeilla on yleensä alhainen pH, sillä ombrotrofisen luonteensa takia niiden metalli-ionien saanti on vähäistä. Kohosoiden pH on useiden tutkimusten mukaan 2,8 - 5,1 ja epäorgaanisen aineksen osuus 2,5 - 4 %. Aapasoilla vastaavat arvot ovat 2,8 - 7,4 ja 9 - 23 % (Given ja Dickinson 1975). Aapasoiden suuri pH-vaihtelu ilmentää sitä, että ionien saatavuus riippuu geologisesta asemasta. Yleissääntönä voidaan pitää, että saraturpeiden pH on luonnontilassa yli 4,5 ja rahkavaltaisten alle 4,5 (Heinonen 1985).

Happamuuden haitallisuus johtuu suuressa määrin eräiden metallien, lähinnä alumiinin ja mangaanin lisääntyneestä liukoisuudesta ja myrkyllisyydestä mikro-organismeille ja kasveille. Humus pystyy happoryhmiensä avulla sitomaan paitsi vetyioneja myös näitä metalleja, mikä vähentää niiden haitallisuutta kasveille. Kasvit sietävät siten turveilla alhaisempaa pH:ta kuin kivennäismailla, joissa liukoisia metalleja on enemmän ja niiden sitoutuminen on vähäisempää (Hartikainen ja Niskanen 1986).

3.2.4 Ioninvaihtokyky

Pienillä maahiukkasilla on yleensä negatiivinen kokonaisvaraus, minkä johdosta kationeja sitoutuu niiden pinnalle elektrostaattisin voimin. Nämä kationit ovat liikkuvia ja voivat vaihtua maanesteen eri kationien kanssa. Maahiukkasten pinnoilla olevat vaihtuvat kationit sekä dissosiotumiskykyinen vety muodostavat maan kationinvaihtokapasiteetin.

Turpeella ei ole pysyvää negatiivista varausta, mutta suuren ominaispinta-alansa (jopa $200 \text{ m}^2/\text{g}$, Puustjärvi 1976) sekä humuksessa esiintyvien funktionaalisten ryhmien ansiosta sillä on silti korkea kationinvaihtokapasiteetti. Humuksen kationinvaihtokapasiteetti riippuu kuitenkin ympäristön happamuudesta (kuva 21). Korkeassa pH:ssa funktionaalisten ryhmien vety dissosioituu maanesteen hydroksyyli-ionien houkuttelemana ja ryhmiin jää negatiivinen varaus, jolloin ne voivat sitoa kationeja. Sensijaan happamissa oloissa dissosioituminen on vähäistä ja kationeille on tarjolla niukasti sitoutumispaikkoja, sillä funktionaalisten ryhmien vetyioneja maanesteen kationit eivät pysty syrjäyttämään.



Kuva 21. Happamuuden vaikutus humuksen kationinvaihtokykyyn (Hartikainen ja Niskanen 1986).

Humuskolloidien ominaispinta-ala on 2 - 10 kertaa suurempi kuin mineraalikolloidien ja painoon suhteutettu kationinvaihtokapasiteetti vastaavasti suurempi, humuksella noin 300 cmol/kg ja esimerkiksi smektiitillä noin 90 cmol/kg (Brady 1984). Tilavuuden suhteen tarkasteltuna suurin osa

erosta kuitenkin häviää. Huomattavasti suurempiakin arvoja on ilmoitettu humuksen eri fraktioille: fulvohapot 800-900 ja humushapot 400 - 600 cmol/kg. Turpeiden kokonaisionin-vaihtokapasiteetti jää kuitenkin useimmiten arvon 200 cmol/kg alapuolelle (Given & Dickinson 1975).

3.2.5 Redoxpotentiaali

Redoxreaktioissa eli hapetus-pelkistysreaktioissa on kysymyksessä elektronien siirtyminen siten, että hapettava aine luovuttaa ja pelkistytvä aine vastaanottaa elektroneja. Redoxpotentiaali ilmaisee energiamäärän, joka tarvitaan elektronien irrottamiseen ionista tietyssä kemiallisessa ympäristössä. Se voidaan mitata redoxsysteemiin upotetulla platina- tai kultaelektrodilla potentiometrisesti voltteina. Veden redoxpotentiaali ilmaisee kuinka hapettavaa tai pelkistävää vesi on tunnettuun standardiin verrattuna.

Luonnossa hapetus-pelkistystapahtumat ovat useimmiten palautuvia, joten redoxpotentiaali kuvaa vedessä kulloinkin vallitsevaa tasapainotilaa. Tasapainoon vaikuttavat monet ulkoiset tekijät, kuten lämpötila, pH ja eri aineiden pitoisuudet. Maan redoxpotentiaalilla halutaan yleensä kuvata maaveden happipitoisuutta. Vedenkyllästämässä maassa redoxpotentiaali voi olla negatiivinen, hyvin ilmastuneessa maassa se on +400 ja +700 mV:n välillä (Wiklander 1978).

Turpeesta tehdyissä mittauksissa redoxpotentiaali on ollut pinnalla +300 - +680 mV ja alentunut enemmän tai vähemmän tasaisesti alemmaksi mentäessä, ollen kuitenkin positiivinen vielä huomattavan syvällä (Given ja Dickinson 1975). Aerobisten bakteeripopulaatioiden jyrkästä vähenemisestä ja sulfaatin pelkistymisestä päätellen anaerobiset olot vallitsevat kuitenkin jo redoxpotentiaalin laskettua +240:aan.

3.2.6 Ravinnepitoisuus

Koska turve muodostuu kasviaineksesta, se sisältää periaatteessa kaikkia kasvien tarvitsemia ravinteita (taulukko 6). Kasvit eivät kuitenkaan pysty käyttämään hyväkseen turpeen suurimolekyyllisiä orgaanisia yhdisteitä, vaan ottavat ravinteet pienimolekyyllisinä epäorgaanisina ioneina tai kelaatteina. Siten ravinteiden saanti riippuu hajotuksen nopeudesta ja on turvemailla usein rajoitettua. Etenkin typensitoja- ja nitrifikaatiobakteerien niukkuus luonnon-tilaisessa turpeessa aiheuttaa sen, että huolimatta turpeen 2 - 3 %:n typpipitoisuudesta typpi muodostuu tuotannon minimitekijäksi. Ei liene sattuma, että juuri soilla tavataan monia typen suhteen toisenvaraisia lihansyöjäkasveja, kuten kihokit, vesiherneet ja yökönlehti.

Taulukko 6. Eräiden suomalaisten turpeiden keskimääräisiä ravinnepitoisuuksia prosentteina kuivapainosta (Heikurainen 1979).

Turvelaji	N	K	P	Ca	pH
eutrofinen saraturve (letto)	2,5	0,3	0,6	1,29	5,5
saraturve	1,6	0,2	0,6	0,64	4,7
rahkaturve	1,0	0,2	0,3	0,29	3,4

Kaliumin, kalsiumin ja hivenravinteiden määrä turpeessa riippuu suurelta osin turvekerroksen alla ja ympärillä olevista maalajeista ja pohjavesisuhteista. Eniten niitä on minerotrofisissa turpeissa, mutta myös ombrotrofisiin rahkaturpeisiin niitä tulee jonkin verran diffundoitumalla pohjavedestä. Turpeessa kationiravinteet pidätyvät humuksen reaktiivisiin ryhmiin vaihtuviksi kationeiksi, jolloin ne ovat helposti kasvien käytettävissä, mutta suhteellisen hyvässä turvassa huuhtoutumiselta.

Humusaineiden kyvyllä reagoida metalli-ionien, -oksidien ja -hydroksidien kanssa on myös merkitystä turpeen ravinnetaloudessa. Niukkaliukoisten hivenravinteiden saatavuus parantuu niiden muodostaessa orgaanisten ainesosien kanssa liukenevia metallikelaatteja. Toisaalta joillakin humuksen

reaktiivisilla ryhmillä on taipumus sitoa metalleja hyvin pysyviksi, liukenemattomiksi kompleksiyhdisteiksi. Tällä tavoin mm. kupari sitoutuu kasvien ulottumattomiin. Turvemaiden luontainen kasvillisuus on kuitenkin sopeutunut valitsevaan elektrolyyttien vähäisyyteen.

Fosfaatti edustaa anioneja, joilla on spesifinen pidättymismekanismi. Pidätyspintoina toimivat maahiukkasten hydratoituneet rauta- ja aluminiumoksidit, joita turvemaissa on yleensä selvästi vähemmän kuin kivennäismaissa. Lisäksi turvemaissa myös esiintyvät orgaaniset anionit kilpailevat paikoista pidätyspinnoilla. Seurauksena eloperäisessä maassa fosforin sitoutumislujuus heikkenee ja saatavuus kasveille paranee (Hartikainen ja Niskanen 1986).

4. MIKROBIOLOGISET ILMIÖT TURPEESSA

4.1 Maaperän mikrobit

Maaperässä esiintyviä mikrobiryhmiä ovat bakteerit, sienet, levät ja mikroskooppiset eläimet. Suurin osa niistä elää maan ylimmässä 15 - 30 cm paksussa kerroksessa, jossa olosuhteet ovat suotuisimmat.

Bakteerit ovat yksisoluisia, alkeistumallisia organismeja. Niiden suuri lisääntymiskapasiteetti mahdollistaa nopean sopeutumisen ympäristön muutoksiin. Maan mineraaliaineksen ja orgaanisten kolloidien hyytelömäinen seos muodostaa niille lähes ihanteellisen kasvualustan. Bakteereja onkin yleensä maassa runsaasti, jopa 1 - 10 miljardia kappaletta maagrammaa kohti (Sarles ym. 1956). Niiden määrä vaihtelee kuitenkin voimakkaasti vuodenajan mukaan. Monet maabakteerit kykenevät tuottamaan itiöitä tai muita kestromuotoja, joiden avulla ne selviävät epäsuotuisien kausien yli, aloittaakseen kasvun taas kun olosuhteet muuttuvat otollisiksi.

Bakteerit ovat joko autotrofeja tai heterotrofeja. Autotrofit saavat energiansa hapettamalla epäorgaanisia yhdisteitä kuten ammoniumia, hiilidioksidia ja rikkiä tai rautaa. Autotrofien toiminta on elintärkeää korkeammille kasveille, sillä ne ovat lähes yksinään vastuussa muutamista ravinteiden kierrossa olennaisista entsyymaattisista reaktioista, kuten typen sidonnasta, nitrifikaatiosta ja rikin hapetuksesta. Suurin osa bakteereista on kuitenkin heterotrofisia eli ne ottavat hiilen, typen ja energian orgaanisesta aineesta ja toimivat siten hajottajina.

Nykyisin bakteereihin luettavilla sädesienillä on alkeistumallinen solurakenne, mutta ne muodostavat rihmastoja sienien tavoin. Sädesieniä saattaa olla maassa jopa kymmenesosa bakteerien määrästä. Ne viihtyvät humuspitoisessa, joskaan eivät kovin happamassa maassa ja antavat maalle tyypillisen mullan tuoksun. Sädesienet ovat tärkeitä hajottajia, sillä ne pystyvät pilkkomaan myös vastustus-

kykyisiä orgaanisia yhdisteitä, kuten selluloosaa, kitiiniä ja fosfolipidejä.

Sienet voidaan jakaa hiivoihin, homeisiin ja makrosieniin. Maaperässä mikroskooppisten homesienten osuus on suurin; ajoittain niiden merkitys jopa ylittää bakteerien merkityksen. Jotkut homeet viihtyvät happamassa ympäristössä, mistä seuraa, että homeet muodostuvat vallitsevaksi mikrobiryhmäksi happamilla mailla, joilla bakteerit ja sädesienet eivät pysty kilpailemaan. Sienten määrä vaihtelee tavallisesti sadasta tuhannesta miljoonaan yksilöön maagrammaa kohti (Brady 1984). Sienet käyttävät ravinnokseen orgaanista ainetta ja pystyvät hajottamaan mm. ligniiniä, selluloosaa, tärkkelystä ja sokereita. Erityisesti metsämaassa ovat tärkeitä useiden kasvien kanssa symbioosissa elävät mykoritsasienet, jotka saavat kasveilta sokereita ja muita yhteyttämistuotteita sienijuuren kautta. Sienet puolestaan tarjoavat kasveille kasvinravinteita, etenkin fosforia, jota ne pystyvät liuottamaan suoraan apatiitista.

Levät ovat lehtivihreällisiä organismeja ja pystyvät yhteyttämään korkeampien kasvien tavoin. Sitä varten ne tarvitsevat valoa ja elävät siis maan pinnassa tai hyvin lähellä pintaa. Syvemmillä ne esiintyvät yleensä lepottiöiden tai kystien muodossa. Yleisimmät maassa esiintyvät leväryhmät ovat viherlevät ja sinilevät. Myös pii-leviä ja keltaleviä on jonkin verran. Määrä vaihtelee tavallisesti tuhannesta sataan tuhanteen yksilöön maagrammassa (Sarles ym. 1956).

Mikroskooppisiin eläimiin kuuluvat alkueläimet (*Protozoa*), rataseläimet (*Rotifera*) ja sukkulamadot (*Nematoda*). Alkueläimet ovat eläimistä yksinkertaisimpia. Ne ovat yksisoluisia, mutta huomattavasti bakteereja suurempia ja rakenteeltaan monimutkaisempia. Ne viihtyvät ilmassa maassa populaation vaihdellessa yleensä muutamasta tuhannesta useaan sataan tuhanteen yksilöön maagrammassa (Brady 1984). Jonkin verran maassa esiintyy myös sukkulamatoja ja rataseläimiä sekä makroeläimiin luettavia pieneliöitä. Ravinnokseen ne syövät bakteereja ja muita mikrobeja. Bakteereihin kohdistuva saalistus saattaa nopeuttaa ravinteiden

kiertoa, mutta yleensä oletetaan eläinten osuuden hajotuksessa olevan vähäinen.

4.2 Mikrobit turpeen muodostumisessa

Saprofytyttisten bakteerien ja sienten toiminnan tuloksena yleensä kaikki orgaaninen aines mineralisoituu ja palaa kiertoon. Turvetta syntyy, kun orgaanisen aineksen hajoaminen on jostain syystä hitaampaa kuin muodostuminen. Soilla hapen ja ravinteiden vähyys sekä usein happamuus hillitsevät mikrobitoimintaa, mikä mahdollistaa paksujen turvekerrosten synnyn. Mikrobitoimintaa on lähinnä vain ohuessa pintakerroksessa.

Tutkittaessa turpeen muodostumista usein seurataan turvetta muodostavien kasvien jäännösten hajoamista niiden muuttuessa osaksi turvekerrosta. Latter ja Cragg (1967) havaitsivat, että rahkaturpeen pinnalla kasvavan harjasvihvilän lehdet menettivät vuosittain 20 - 30 % kuivapainostaan kahdena ensimmäisenä vuotena kuolemansa jälkeen. Tänä aikana lehdissä havaittiin joukko mikroskooppisia sieniä, mutta kun lehdet hautautuivat syvemmälle turvekerrokseen, sienirihmaston määrä laski jyrkästi. Hajoavista lehdistä löytyi suhteellisen harvoja bakteerilajeja, mutta kylläkin useita eläinlajeja.

Rahkasammalten hajoamista tutkittaessa (Kox 1954, Chastukhin 1967) on havaittu, että useiden selluloosaa tai pektiiniä hajoittavien sienten ja bakteerien puhdasviljelmät eivät pysty hajottamaan rahkasammalta. Sekaviljelmissä hajotus lisääntyi jonkin verran, mahdollisesti usean entsyymin yhteisvaikutuksen johdosta. Rahkasammalsolukon kyky vastustaa hajotusta johtuu ainakin osittain soluseinien monimutkaisesta rakenteesta; ne koostuvat ksylaaniyksiköitä sisältävästä selluloosasta ja niissä on runsaasti pektiiniä sekä sphagnoli-nimistä fenoliyhdistettä. Syiksi epätäydelliseen hajotukseen on esitetty myös turvetta muodostavien kasvien sisältämiä mikrobitoimintaa inhiboivia aineita. Turpeesta on kuitenkin löydetty sekä mikrobitoimintaa estäviä että kiihdyttäviä aineita (Given ja Dickinson 1975).

4.3 Mikrobipopulaatiot turpeen pintakerroksissa

Lukumäärältään runsain organismiryhmä turpeessa on bakteerit. Populaatiotiheyden määrittämisessä esiintyy kuitenkin suurta hajontaa riippuen turvelajista ja käytetystä laskentamenetelmästä. Bakteriviljelyssä tulosta vääristää kaikkien tunnettujen kasvualustojen selektiivisyys, kun taas suorassa havainnoinnissa tulevat helposti lasketuiksi sekä elävät että kuolleet solut.

Käyttämällä suhteellisen yleispätevää kasvualustaa ja aerobista inkubointia on useissa tutkimuksissa saatu bakteeritiheyksiksi rahkaturpeiden pintakerroksissa $340 \cdot 10^3$ - $55 \cdot 10^6$ kappaletta kuiva-ainegrammaa kohti. Suoraan havainnoimalla tiheydet ovat olleet $1,8 - 3,9 \cdot 10^9$ /cm³ (Given ja Dickinson 1975).

Kvalitatiivisissa tutkimuksissa on huomiota kiinnittänyt eräiden tärkeiden fysiologisten ryhmien harvalukuisuus turpeiden bakteerifloorassa. Tutkituissa turpeissa on ollut erittäin vähän aerobisia typensitojabakteereja siitä huolimatta, että kokonainen joukko typpibakteereja normaalisti elää symbioosissa monien turpeellakin kasvavien kasvien kanssa. Myös nitrifikaatiobakteereja on niukasti varsinkin rahkaturpeissa, samoin kuin aerobisia selluloosaa hajottavia bakteereita. Sensijaan saraturpeissa niitä on enemmän. Happamissa turvemaissa esiintyy sulfaattia pelkistäviä ja tiosulfaattia hapettavia bakteereja, mutta alkuaainerikin hapettajat ovat harvinaisia. Myös anaerobisia lajeja esiintyy jonkin verran jo turpeen pintakerroksissa.

Ombrotrofisissa rahkaturpeissa usein esiintyviä bakteerisukuja ovat mm. *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Achromabacter* ja *Arthrobacter*. Saraturpeessa yleisiä sukuja ovat *Bacillus* ja *Clostridium*. Myös sädesieniä on turpeessa jonkin verran, ainakin suvuista *Streptomyces*, *Micromonospora* ja *Nocardia*. Useilla *Streptomyces*-lajeilla on antibioottinen vaikutus gram-negatiivisiin bakteereihin.

Turpeen pintakerroksissa esiintyy runsaasti mikroskooppisia sienisiä, jotka ovat turvemailla bakteerejakin tärkeämpiä

hajottajia. Myös sienipopulaatioiden määrityksissä esiintyy suurta hajontaa. Latter ym. (1967) arvioivat sienirihmaston määräksi happamalla rahkaturpeella 160 - 320 m³ / cm³. Rahkaturpeelle luonteenomaisia sukuja ovat *Penicillium*, *Cladosporium*, *Trichoderma*, *Mucor*, *Mortierella*, *Cephalosporium* ja *Geotrichum*. Kantasienten itiöemät eivät ole yleisiä aktiivisesti muodostuvilla rahkaturpeilla, mutta yleistyvät, jos turpeen pinta jostain syystä kuivuu. Useat happamien turvemaiden sienet ovat harvinaisia tai puuttuvat kokonaan kivennäismaista. Saraturpeilla sienten lukumäärä on useimmiten suurempi kuin rahkaturpeilla, samoin kuin lajien runsaus. Useat edellämainituista sienisuvuista esiintyvät myös saraturpeilla, mutta vallitsevina ovat yleensä *Fusarium*, *Cylindrocarpon*, *Arthrinium*, *Volutella* ja *Pseudeurotium*.

Leväpopulaatioista turpeen pinnassa on vain vähän arvioita, ja ne vaihtelevat välillä 10 000 - 1 000 000 kpl kuiva-ainegrammaa kohti. Joskus, varsinkin jos kuivatus on aiheuttanut kasvipeitteen harventumista, rahkaturpeen pinnalla saattaa olla ohut leväketto, joka koostuu pääasiassa yhtymälevistä. Suurelta määrät piileviä tai koristeleviä eivät ole harvinaisia suovesissä. Sinilevillä typensitojina on merkitystä turpeen kasviyhteisön ravitsemuksessa.

Vähäravinteinen turve ja sen varassa elävä mikrobisto tarjoaa myös maaperäeläimille niukan ja yksipuolisen ravinnon, minkä lisäksi hapettomuus rajoittaa eläinten esiintymisen aivan turpeen pintaan ja elävään sammalkerrokseen. Toisaalta suo säilyttää vesivarastonsa pitkienkin kuivien kausien yli, joten turpeessa voi keskikesällä olla jopa runsaampi eläimistö kuin kuivemmissa maalajeissa. Turpeessa elää runsaasti maapunkkeja (*Oribatei*), änkyrimatoja (*Enchytraeidae*), sukkulamatoja (*Nematoda*) sekä kaksisiipisten (*Diptera*) toukkia. Suoturpeen eläinyhteisölle on tyypillistä, että se koostuu harvoista lajeista, mutta ne lajit jotka siinä tulevat toimeen, voivat olla hyvin runsaslukuisia. Koska isompia eläimiä on niukasti, kokonaisbiomassa jää pienemmäksi kuin useimmissa muissa ekosysteemeissä (Huhta 1973).

4.4 Mikrobitoiminta syvällä turpeessa

Luonnontilaisessa turpeessa pintaa syvemmällä mikrobitoiminta näyttää olevan erittäin vähäistä. Osoituksena tästä ovat turpeen sisältämät hyvin säilyneet kasvinosat, sekä esimerkiksi muutamit Skandinavian turvekerrostumista löydettyt hyvin säilyneet ihmisruumiit.

Kuitenkin syvimmissäkin turvekerroksissa on oloihin erikoistunutta mikrobitoimintaa, joka tosin saa aikaan vain vähäisiä muutoksia turpeessa pitkien ajanjaksojen kuluessa. Vallitsevana ryhmänä ovat bakteerit, joita on vielä 10 metrin syvyydestä löydetty 190 kpl kuiva-ainegrammaa kohti (Given ja Dickinson 1975). Bakteereihin kuuluvia sädesieniä on myös havaittu jonkin verran. Sensijaan sieniä syvällä turpeessa on tuskin ollenkaan.

Tärkeimmät mikrobitoimintaa syvällä turpeessa rajoittavat tekijät ovat alhaiset lämpötila ja happipitoisuus. Turpeessa elävien organismien on kyettävä kasvamaan alhaisissa lämpötiloissa, ja niidenkin kasvu on tällöin hidasta. Sienet ovat ehdottoman aerobisia eivätkä siksi pysty kasvamaan hapettomissa turvekerroksissa, ja bakteerilajeistakin suhteellisen harvat ovat anaerobisia. Lisäksi happamuus rajoittaa etenkin juuri bakteerilajistoa.

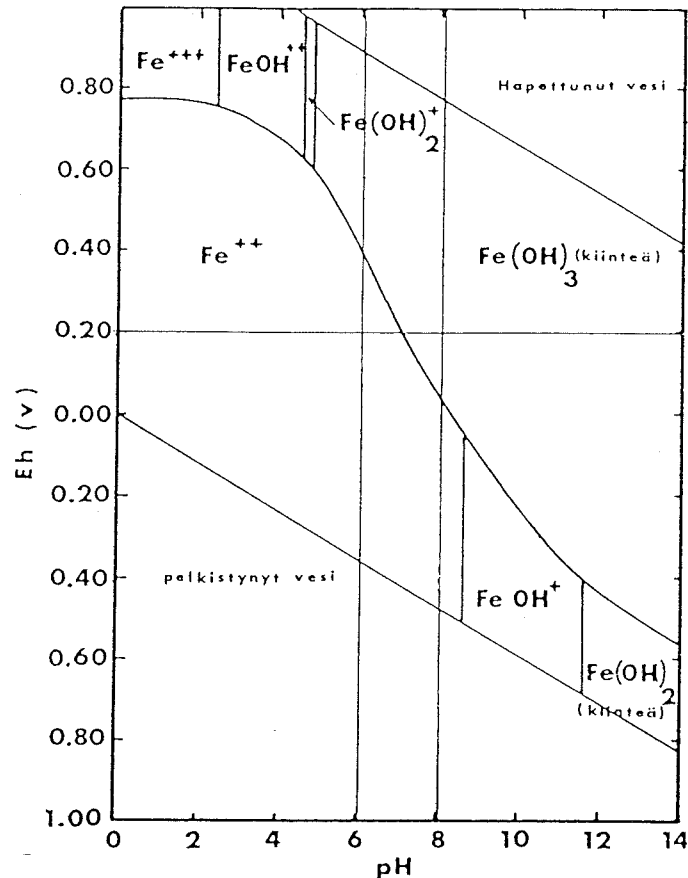
5. RUOSTEONGELMA TURVEPELLOISSA

5.1 Raudan esiintymismuodot maassa

Rauta on maankuoren neljänneksi yleisin alkuaaine (5,0 %), ja lähes kaikki maalajit sisältävät sitä jossakin muodossa. Tärkeimmät mineraalit ovat magnetiitti $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, hematitiitti Fe_2O_3 , göttiitti $\text{FeO}(\text{OH})$, rautasälpä eli sideriitti FeCO_3 , rikkikiisu eli pyriitti FeS ja magneettikiisu FeS (Read 1970). Rautapitoiset mineraalit rapautuvat suhteellisen herkästi, jolloin muodostuu raudan oksideja ja varsinkin hydratoituneita oksideja eli oksidihydroksideja ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Hydratoitunut rautaoksidi on amorfista, vailla säännöllistä kidemuotoa olevaa massaa, jolla suuren ominaispinta-alansa vuoksi on merkitystä reaktiopintana anionien pidättymisessä ja savimaan mururakenteen muodostumisessa. Rauta voi myös esiintyä liuenneena maanesteessä sekä vaihtuvina kationeina maahiukkasten pinnoilla. Lisäksi rauta on osana lukuisissa eloperäisissä kompleksiyhdisteissä ja kelaateissa, kuten polyfenoleissa ja humus-hapoissa.

Yhdisteissään rauta esiintyy yleensä hapetusluvulla +2 ja +3. Rauta(III)yhdisteet ovat luonteeltaan kovalenttisempia kuin rauta(II)yhdisteet, mistä johtuen Fe^{3+} -ionit hydrolysoituvat voimakkaammin kuin Fe^{2+} -ionit. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ on myös huomattavasti niukkaliukoisempi veteen kuin $\text{Fe}(\text{OH})_2$ (Sihvonen ym. 1983). Maanesteessä rauta on siten lähes pelkästään rauta(II)-muodossa.

Fe^{2+} hapettuu helposti Fe^{3+} :ksi. Neutraalissa ja emäksisessä liuoksessa riittää jo ilman happi tähän hapetukseen. Maaveden happipitoisuutta voidaan kuvata epäsuorasti redox-potentiaalilla. Eri pH- ja redox-olosuhteissa vallitsevat raudan muodot käyvät ilmi kuvasta 21. Sen mukaan happamis- ja pelkistävässä oloissa rauta on kahdenarvoisessa, liukoisessa muodossa ja pH-arvon tai happipitoisuuden noustessa muodostuu kolmenarvoista rautahydroksidia, joka saostuu liuoksesta.



Kuva 22. Raudan liukoisuus redox-potentiaalin ja pH-arvon funktiona (Stumm ja Lee 1960).

5.2 Ruostesakan koostumus ja muodostuminen

Rautapitoisista vesistä saostuvaa niukkaliukoista rautaoksidihydroksidia kutsutaan usein ruoste- tai okrasakaksi. Myös suo- ja järvimalmi sekä limoniitti tarkoittavat samaa yhdistettä. Luonnossa sakka ei yleensä ole puhdasta rautaoksidihydroksidia, vaan sisältää lukuisia muitakin yhdisteitä ja sen koostumus ja ulkonäkö vaihtelevat suuresti.

Tuoreena saostuman vesipitoisuus on erittäin korkea, yli 90 %, ja se on hyytelö- tai limamaista massaa, usein ruosteenruskeaa, oranssia, harmaata tai tummaakin. Vanhetessaan sakan vesipitoisuus alenee ja se voi iskostua kovaksi. Myös orgaanisen aineksen osuus on yleensä korkea, 2 - 50 %, mikä osaltaan viittaa mikrobien oleelliseen merkitykseen saostumien synnyssä. Rautaa on useimmiten runsaasti, joskin sen osuus vaihtelee voimakkaasti. Lisäk-

si saostumissa esiintyy alumiinia, mangaania ja kalsiumia sekä pieniä määriä muita metalleja (Ford 1985).

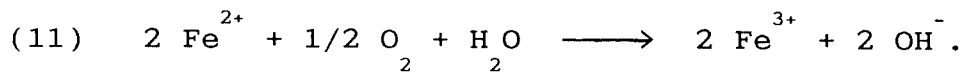
Taulukko 7. Salaojissa esiintyvän okrasakan koostumus (Petersen 1966).

Yhdiste	% kuiva-aineesta		
FeO	3,0	-	65,9
Al ₂ O ₃	0,2	-	39,3
MnO ₃	0	-	12,9
CaO	0,06	-	12,8
MgO	0,13	-	1,55
SO ₂	0	-	7,54
CO ₄	0	-	9,04
org. aines	25,5	-	53,5

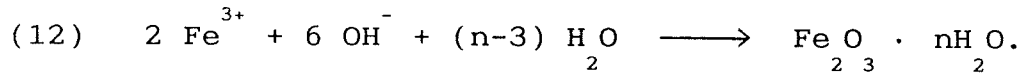
Saostumista tapahtuu, kun rautapitoinen pohjavesi pääsee tekemisiin hapen kanssa purkautuessaan pintavesiin lähteissä ja puroissa, mutta myös kaivoissa, vedenottamoissa ja salaojissa. Salaojissa hyytelömäisiä sakkamöykkyjä ilmestyy aluksi laskuaukon tienoille ja kohtiin, joissa imuojat aukeavat kokoojaan. Ruostesakka kerääntyy putken pohjalle ja muoviputkessa tyypillisesti myös ympäriinsä putken sisäpinnoille (Peltomaa 1983). Lopulta salaojaputken reiätkin tukkeutuvat, ja putki saattaa täyttyä lähes kokonaan, sillä vähentynyt virtaama ei pysty huuhtelevaan sakkaa pois. Uusi ojitus voi tällä tavoin tukkeutua muutamassa vuodessa (Kuntze 1982). Salaojan olosuhteissa sakka ei yleensä muodostu puhtaasti kemiallisesti, vaan pääasiallisesti mikrobitoiminnan tuloksena.

5.2.1 Kemiallinen saostuminen

Rautasakkaa muodostuu kemiallisesti, kun rauta hapettuu ja saostuu veden happipitoisuuden tai pH-arvon muutoksen seurauksena. Molekulaarinen happi voi hapettaa rauta(II)-ioneja lievästi happamissakin liuoksissa, joskin reaktio tapahtuu paljon nopeammin neutraaleissa ja emäksisissä olosuhteissa. Hapettumisreaktiossa Fe²⁺ toimii elektronin luovuttajana ja happi vastaanottajana:



Reaktiossa vapautuu energiaa 135,6 kJ. Muodostuva rauta-(III)-ioni reagoi välittömästi vapaiden hydroksyyli-ionien kanssa, jolloin syntyy niukkaliukoisia rautaoksidihydroksideja:



Reaktiotuotetta merkitään usein myös $2 \text{Fe}(\text{OH})_3$. Rautaoksidihydroksidi sisältää aluksi runsaasti vettä ja sillä on hyytelömäinen, imukykyinen rakenne. Sakan ikääntyessä siitä poistuu vettä ja se muuttuu hydrataatioasteeltaan matalammiksi oksidihydroksideiksi, jotka kuitenkin ovat vielä amorfisia. Kiteistä ruostetta ei ole eristetty salaojista, mutta periaatteessa ikääntymisen lopputuotteena syntyy götiittiä.

Kemiallinen hapettuminen on mahdollista, kun vähähappinen vesi kohtaa salaojaputkessa olevan ilman. Reaktiota nopeuttavat korkea pH, korkea happipitoisuus, matala hiilidioksidipaine sekä katalysaattorit platina ja kupari, eli olosuhteet, jotka harvoin vallitsevat turvemaassa. Kemiallista hapettumista ilmenee lähinnä heti salaojituksen jälkeen, kun hapen osapaine äkillisesti lisääntyy putkessa ja sen välittömässä läheisyydessä. Myöhemmin kemiallinen ja mikrobiologinen hapettuminen tapahtuvat rinnakkain ja arviot kemiallisen hapettumisen osuudesta vaihtelevat välillä 2 - 20 % (Kuntze 1982).

5.2.2 Mikrobien aiheuttama saostuminen

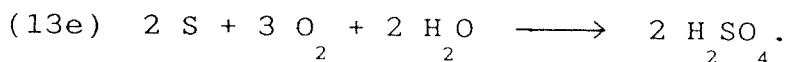
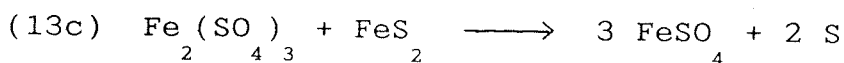
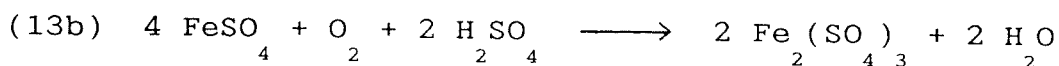
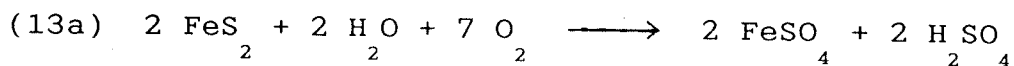
Raudan mikrobiologinen hapettuminen tapahtuu siten, että rautabakteerit ottavat rautaa absorptiivisesti solujensa pinnalle, missä ympäristö on alkaalinen. Solujen välittömässä läheisyydessä rauta hapettuu joko pH:n nousun seurauksena tai solun entsyymien katalysoimana (Kuntze 1982).

Lukuisat eri mikrobilajit voivat katalysoida raudan hapettumisreaktiota. Siihen, mitkä lajit sakassa ovat val-

litsevinä, vaikuttaa pääasiassa maan pH, mutta myös rautapitoisuus, orgaanisen aineen määrä, lämpötila sekä hapen ja hiilidioksidin osapaineet. Ekofysiologisten vaatimustensa erojen perusteella rauta(III)oksidia muodostavat mikrobit voidaan jakaa kolmeen pääryhmään:

- 1) sauvamaiset, asidofiiliset, kemolitoautotrofiset rautabakteerit suvusta *Thiobacillus*,
- 2) rihmamaiset, neutrofiiliset, luultavasti fakultatiivisesti kemolitoautotrofiset rautabakteerit suvuista *Gallionella*, *Sphaerotilus* ja *Leptothrix* sekä *Thiothrix*-suvun rihmamaiset rikkibakteerit,
- 3) heterotrofiset mikro-organismit, jotka mineralisoivat rautaa orgaanisista yhdisteistä.

Ensimmäisen ryhmän *Thiobacillus*-bakteerit ovat värittömiä, sauvanmuotoisia, 1 - 2 µm pitkiä organismeja. Ne vaativat voimakkaan happamia olosuhteita, pH 1,5 - 4,5 ja viihtyvät lämpötilassa +10°C - +45°C (Thorburn & Trafford 1976). Saavuttaakseen tällaisen happamuuden maassa täytyy olla runsaasti rautasulfideja FeS ja FeS₂, joiden hapettuessa syntyy rikkihappoa. Näin on yleensä laita esimerkiksi suol-suolaiseen veteen syntyneissä liejumaissa. *Thiobacillus*-bakteerit ovat ehdottoman aerobisia, mutta sietävät hyvin alhaistakin happipitoisuutta, ja asuttavat tyypillisesti hapellisten ja hapettomien olosuhteiden rajapintoja. Tarvitsemansa energian ne saavat hapettamalla pelkistynyttä rikkiä ja rauta- tai muita sulfideja, reaktion edetessä seuraavasti:



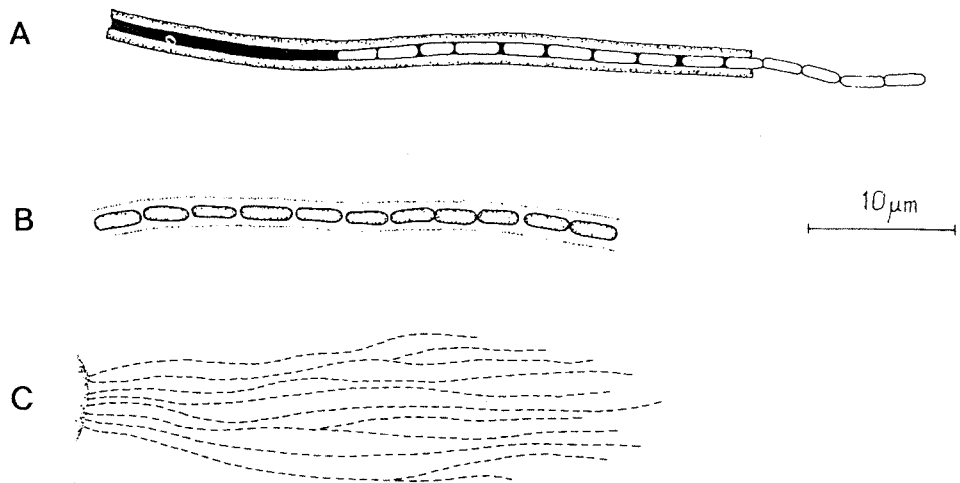
Tärkeimmät salaojissa tavatut suvun edustajat ovat *T. ferrooxidans* ja *T. thiooxidans*, joiden toimesta reaktio 3a tapahtuu vedenkyllästämän, FeS_2 -pitoisen maaperän ja salaojaputken aerobisen sisustan välisessä gradienttipinnassa (Kuntze 1982).

Lievästi happamassa ja neutraalissa ympäristössä vallitsevat toisen ryhmän rihmamaiset bakteerit, jotka pystyvät hapettamaan rautaa tai mangaania. Myös ne viihtyvät vyöhykkeessä, jossa anaerobiset, pelkistävät olosuhteet muuttuvat aerobisiksi ja hapettaviksi. Klassisten rihmamaisten rautabakteerien ekologiset rajat ovat suhteellisen kapeat, pH-optimi 5 - 8 ja redox-potentiaali +200 - +500 mV. Näissä oloissa tapahtuu jonkin verran myös kemiallista hapettumista.

Rihmamaiset rautabakteerit voidaan jakaa kolmeen ekotyyppiin, jotka ovat *Sphaerotilus-Leptothrix*-, *Gallionella*- ja *Thiothrix*- tyyppi (Kuntze 1982).

Sphaerotilus-Leptothrix -tyyppi

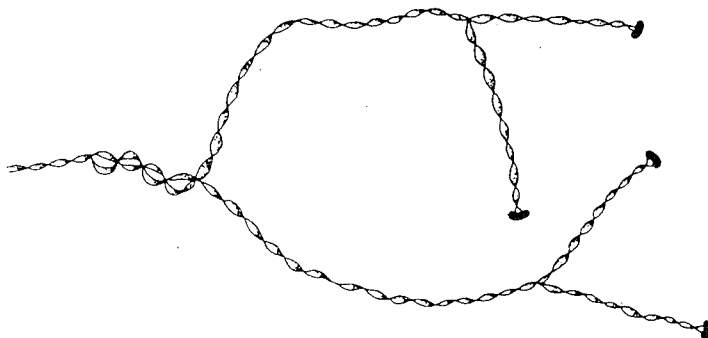
Bakteerisolut kasvavat pitkinä nauhoina tupen sisällä (kuva 23). Ne viihtyvät orgaanisesti kontaminoituneissa, virtaavissa vesissä. Ne ovat mikroaerofiilejä, eli viihtyvät ympäristössä, jossa liuenneen hapen pitoisuus on alhainen. Korkea hiilidioksidiosapaine edistää kasvua. Ne tulevat toimeen pienilläkin rautapitoisuuksilla, sillä raudan hapettaminen on luultavasti fakultatiivista; ne kykenevät myös hajottamaan orgaanisia yhdisteitä. Pringsheimin (1949) mukaan *Leptothrix*- ja *Sphaerotilus*-suvut ovat identtiset ja esimerkiksi tyypillinen jätevesi-indikaattori *Sphaerotilus natans* on eräs *Leptothrix ochracea* kasvumuoto. *Leptothrix*-muoto kasvaa puhtaassa vedessä, kun taas *Sphaerotilus*-muoto orgaanisesti saastuneissa vesissä. Myös *Crenothrix*inä ja *Clonothrix*inä pidetyt rautabakteerit voidaan luokitella tyyppin paikallisiksi muunnoksiksi. *Sphaerotilus-Leptothrix*- tyyppinen sakka on yleensä limaista ja väriltään harmaata, ruskeaa tai lähes mustaa.



Kuva 23. a) *Leptothrix ochracea*, b) *Sphaerotilus natans*, c) kaavakuva alustaan kiinnittyneestä *S. natans*-kasvustosta (Tikkanen 1986).

Gallionella-tyyppi

Gallionella lienee morfologisesti tunnetuin rautabakteerisuku. *Gallionellat* ovat autotrofeja, jotka käyttävät hiilenlähteenä epäorgaanista hiiltä ja typenlähteenä epäorgaanista typpeä. Ne vaativat kasvaakseen tarttumapinnan, johon ne kiinnittyvät erittämänsä säikeisen liman muodostamalla varsilla (kuva 24). Hapetuksessa syntyvä rautahydroksidisaostuma kasautuu varsien ympärille (Seppänen 1974). *Gallionellat* viihtyvät neutraaleissa, rautapitoisissa vesissä, joiden orgaanisen aineen pitoisuus on alhainen ja usein niitä esiintyy yhdessä *Sphaerotilus-Leptothrix*-tyypin bakteerien kanssa. *Gallionellan* mukanaolo antaa sakalle oranssin värisävyn.



Kuva 24. *Gallionella ferruginea* (Tikkanen 1986).

Thiothrix-tyyppi

Ruostesakassa esiintyy usein värittömiä, säikeellisiä rikkibakteereja suvusta *Thiothrix*. Ne viihtyvät biotoopin anaerobisissa, pelkistävässä osissa ja käyttävät hyväkseen myös orgaanisia yhdisteitä. Raudan hapettumista voidaan tällöin pitää fakultatiivisena prosessina (Kuntze 1982).

Kolmannen ruostesaostumia aiheuttavan mikrobiryhmän muodostavat heterotrofiset mikro-organismit, jotka käyttävät ravinnokseen humukselle tyypillisiä rautapitoisia orgaanisia yhdisteitä. Ne kykenevät hajottamaan kelaattikomplekseja ja käyttämään niiden orgaaniset ligandit energian-, hiilen- ja typenlähteenään, jolloin rauta vapautuu ja hapettuu. Rauta saostuu siis ikäänkuin sivutuotteena ja sen hapettumisessa vapautuvaa energiaa käytetään hyväksi vain vähän tai ei ollenkaan.

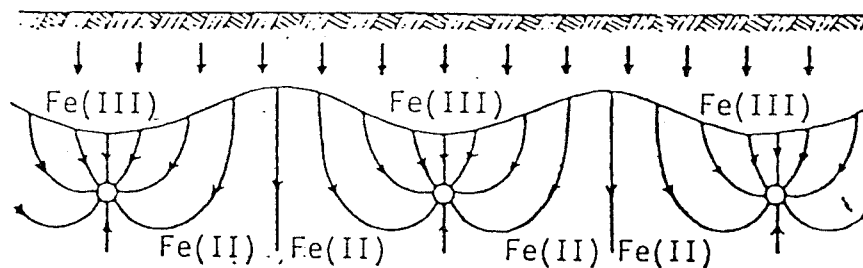
Tämän ryhmän organismit ovat yleisiä kaikentyyppisissä maissa ja vesissä. Tärkeimpiä ovat sauvamaisista bakteereista suvut *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Serratia*, *Acinetobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter* ja *Mycobacterium*, varrelliset bakteerit *Metallogenium* ja *Pedomicrobium* sekä erilaiset home- ja sädesienet kuten *Nocardia* ja *Streptomyces*. Ryhmän osuus salaojasakan muodostumisessa on laajalti tutkimatta, mutta ainakin *Metallogenium*-bakteereja on esiintynyt saostumissa (Alexander 1977, Kuntze 1982).

5.3 Autoktoninen ja alloktoninen rauta

Salaojiin saostunut rauta voi olla peräisin ongelma-alueen maaperästä (autoktoninen rauta) tai se voi kulkeutua pohjaveden mukana alueen ulkopuolelta (alloktoninen rauta).

Amorfisia oksideja eli raudan, alumiinin ja mangaanin oksideja voi maan savesfraktiossa olla jopa 20 %. Hapettomissa oloissa rauta pelkistyy liukoiseksi ja pääsee vajoveden mukana salaojiin (kuva 25), joissa se saostuu joko heti tai vasta lähempänä laskuaukkoa, missä edellytykset hapettumiselle ovat paremmat. Tyypillisiä autoktonisen raudan alu-

eita ovat siten veden vaivaamat savipitoiset maat ja varsinkin liejusavi, joka sisältää runsaasti rautasulfideja. Kuivatustilanteen parannuttua olosuhteet maassa ovat aerobiset ja rauta pysyy hapettuneena. Ruostesakan muodostuminen rajoittuu tällöin salaojituksen jälkeisiin muutamaan vuoteen. Myöhemmin salaojiin kulkeutuu vain rauta, joka pelkistyy väliaikaisen vesipeiton aikana ja jonka pitoisuus riippuu rapautumisesta ja salaojituksen toimintakunnosta (Kuntze 1982).



Kuva 25. Raudan kulkeutuminen salaojiin vedellä kyllästyneessä, homogeenisessä maassa (Aslyng 1970).

Ruostesakan esiintyminen savettomassa mineraalimaassa tai turvemaassa viittaa siihen, että rauta kulkeutuu paikalle pohjaveden mukana. Tämä alloktoninen rauta on mobilisoitunut rapautumisen tuloksena toisaalla ja saapuu ongelmaluueelle hitaan pohjavesivirtauksen mukana. Tällöin on odotettavissa pysyvä ruosteongelma, sillä pienikin rautapitoisuus riittää pitämään rautabakteerit hengissä. Jos täysin ilmastumaton pohjavesi tunkeutuu salaojiin, voi myös kemiallinen hapettuminen olla merkittävää.

Tyypillisiä alloktonisen raudan alueita ovat sellaiset laaksojen reunaosat, joissa rinteiden geokemiallisesti erilaisten johtomuodostumien vedet yhtyvät laakson pohjavesiin. Jos olosuhteet laaksossa ovat hapettavat (esimerkiksi ojitettu, kalkkipitoinen maa), rauta saostuu jo maaperässä, josta voi lopulta tulla erittäin rautapitoista. Jos sensijaan saapuva pohjavesi kohtaa pelkistävät olosuhteet, kuten märässä turvemaassa, saostuminen tapahtuu vasta salaojaputkissa, joiden toiminta on siten jatkuvasti uhatuna (Kuntze 1982).

Jonkinasteinen ruosteongelma on suhteellisen yleinen osasy salaojien toimintahäiriöihin. Suomessa ruostesaostumat aiheuttavat ongelmia erityisesti Keski- ja Pohjois-Suomen turvemailla sekä karkeilla kivennäismailla. Salaojakeskusten vikatarkastuksissa ruostetta on esiintynyt yli puolella tarkastetuista turvepelloista (Puustinen ja Pehkonen 1986).

Usein sakkaumien yhteydessä esiintyi lietettyä, mikä turvemailla tarkoittaa putkeen veden mukana kulkeutunutta ja pohjalle sedimentoitunutta mutaa. Kuitenkin Suomessa ruosteongelma on usein suhteellisen vähäinen rautapitoisuudeltaan korkeissakin pelloissa. Tämä voi johtua maan yleensä alhaisesta lämpötilasta, mikä hidastaa mikrobitoimintaa.

Suomen oloissa tärkeimmät rautasaostumien syntyyn vaikuttavat tekijät ovat pohjaveden Fe^{2+} -pitoisuus, pH ja happi-tilanne. Peltomaan (1983) mukaan ruosteongelma voidaan ennakoida pohjaveden rautapitoisuuden perusteella taulukon 8 mukaisesti.

Taulukko 8. Pohjaveden rautapitoisuuden vaikutus ruostesaostumien esiintymiseen (Peltomaa 1983).

Rautapitoisuus	Vaikutus
< 5 mg/l	Ruostevaara lievä
5 - 15 mg/l	Selvä sakan muodostus, ei suurta haittaa 5 vuodessa
> 15 mg/l	Sakkautuminen merkittävää

6. VILJELYTOIMENPITEIDEN VAIKUTUS TURPEEN OMINAISUUKSIIN

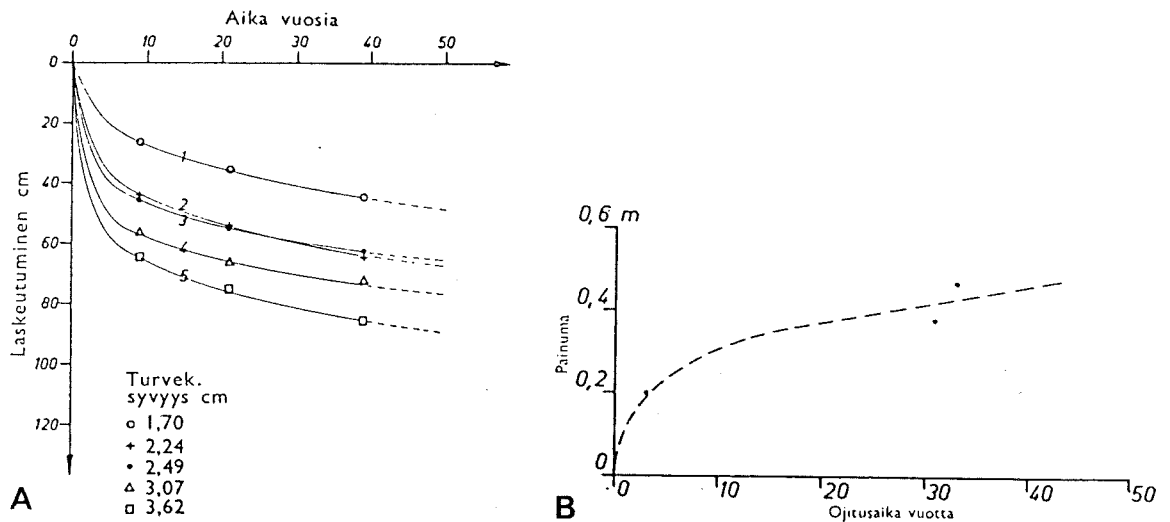
Soiden käyttö viljelysmaana alkoi laajamittaisena 1800-luvulla. Myös sodanjälkeisen asutustoiminnan yhteydessä raivattiin runsaasti peltoja soista. Suota on, kunhan se ensin kuivataan, paljon helpompi raivata pelloksi kuin metsää. Ojituksen lisäksi suoviljelyksillä välttämättömiä toimenpiteitä ovat lannoitus ja kalkitus ravinnepuutteiden ja happamuuden torjumiseksi. Suoviljelyksen alkuaikoina käytettiin myös pintaturpeen polttoa pellonraivaukseen ja ravinteiden vapauttamiseen. Toistuva muokkaus ja viljelykoneiston aiheuttama kuormitus vaikuttavat nekin turpeen ominaisuuksien muuttumiseen viljelyynoton jälkeen.

6.1 Kuivatus

Kuivatuksella pyritään alentamaan pohjaveden pintaa ja lisäämään maan pintakerroksen ilmatilavuutta niin, että viljelykasvien kasvu mahdollistuu ja saadaan mahdollisimman suuri sato. Eri kasvien kosteusvaatimukset vaihtelevat, mutta yleissääntönä voidaan pitää 60 cm:n kuivavaraa viljoille ja 30 cm:n kuivavaraa nurmelle. Lisäksi kuivatuksella parannetaan pellon kantavuutta, joka turvemailla on tyypillisesti heikko. Huikarin ym. (1963) mukaan turpeen vesipitoisuuden pellon pintakerroksessa tulee laskea noin puoleen kyllästystilasta, jotta pellon kantavuus olisi riittävä. Tiiviillä, maatuneella turpeella vesipitoisuus pF 2:ssa on yli puolet kyllästystilaan verrattuna, joten kuivumisen täytyy jatkua haihtumalla ennenkuin pelto saavuttaa riittävää kantavuutta vastaavan kosteustilan.

Luonnontilaisen suon pinta myötäilee turpeen vesipitoisuuden vaihteluja ja pohjavesipinnan taso selittää hyvin suonpinnan korkeusasemaa. Viljelyynoton jälkeen suon pinta alkaa laskea (kuva 26), mihin vaikuttaa pohjavesipinnan alenemisen lisäksi turpeen kuluminen. Kun pohjaveden noste lakkaa vaikuttamasta turpeen pintakerrokseen, alempiin kerroksiin kohdistuva kuormitus lisääntyy ja turvekerros tii-

vistyy. Turpeen kuluminen taas on seurausta maan pieneliöstön hajotustoiminnasta, jota kuivatus myös osaltaan edistää. Hajotuksen tuloksena turvetta menetetään kaasuina ilmaan, eivätkä syntyvät maatumistuotteet pysty kuitujen lailla ylläpitämään huokosrakennetta, jolloin turve tiivistyy.



Kuva 26. a) Rahkasuon pinnan laskeutumisen riippuvuus ojitusajasta Leteensuolla (Eggelsmann ja Mäkelä 1964) b) Suon pinnan laskeutuminen eri syvyisten turvekerrosten yhteydessä rahkasuolla Saksassa (Eggelsmann 1960).

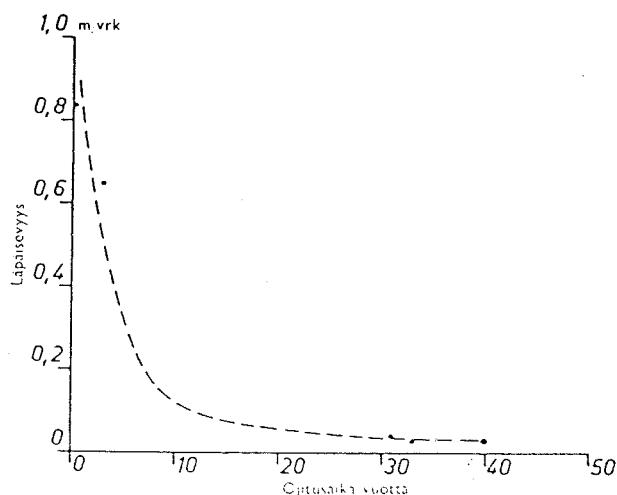
Heti kuivatuksen jälkeen painuminen on suurinta ja johtuu pääasiassa veden nostevoiman lakkaamisesta. Alkupainuman suuruuteen vaikuttaa kuivatussyvyys, turvekerroksen paksuus ja turpeen laatu. Painumisen ennustamiseen on kehitetty useita empiirisiä kaavoja (mm. Hallakorpi 1937, Panadiadi ja Ostromecki 1956, Segeberg 1960). Myöhempi laskeutuminen johtuu enimmäkseen kulumisesta. Kaiteran (1954) mukaan suoviljelyksen pinta laskee kulumisen takia alkuvuosina 1 - 2 cm vuodessa ja myöhemmin 0,5 - 1 cm vuodessa.

Turvekerroksen painuminen ja kuluminen alentaa ojituksen kuivatustehoa. Turpeen suuren vedenpidätyskyvyn takia salaojiin poistuva vesimäärä pienenee nopeasti ojien mataloitua. Painumista seurannut riittämätön kuivatussyvyys on ollut syynä vajaatoimintaan yli neljäsosalla vikatarkasteista turvepelloista (Puustinen ja Pehkonen 1986).

Turpeen mahdollisen epätasaisen painumisen vuoksi turvepeltojen salaojituksessa käytetään yleensä muoviputkia. Aiemmin yleisten lautaputkien käyttö loppui käytännöllisesti katsoen kokonaan 1970-luvun alussa.

Paineellinen pohjavesi on yksi salaojituksen riskitekijä. Vaikeuksia aiheuttavat tilanteet, joissa paineellista pohjavettä esiintyy peltoalueella, vaikka pinnalla ei havaitakaan selviä lähteikköjä. Tällainen tilanne esiintyy usein nimenomaan turvepelloilla, jos turvekerroksen alla on löyhempiä hieta- ja hiekkakerroksia ja pellon ympäristössä maasto on korkeampaa. Näissä olosuhteissa ongelmat ilmenevät vasta useita vuosia ojituksen jälkeen, kun turvekerros on painunut alaspäin ja ohentunut.

Turpeen vedenjohtavuus riippuu turvelajista ja turpeen tiheydestä tai maatumisasteesta. Kaikilla turvelajeilla vedenjohtavuus huononee voimakkaasti tiheyden kasvaessa. Kuivatusta seuraava tiivistyminen ja maatumisen kiihtyminen aiheuttavat huomattavan vedenjohtavuuden huononemisen viljelyn jatkuessa (kuva 27).



Kuva 27. Rahkaturpeen vedenläpäisevyyden riippuvuus ojitusajasta (Eggelsmann ja Mäkelä 1964).

Ojitus vaikuttaa turvemaan lämpöoloihin monin tavoin. Vesipitoisuuden mukana ominaislämpökapasiteetti laskee. Haihdunnalle altis vesimäärä, joka sitoo lämpöenergiaa, vähenee pintaturpeessa. Lisäksi ojat toimivat kylmää ilmaa poisjohtavina kanavina. Haitallista on, että pintaturpeen kuivuessa sen lämmönjohtokyky entisestään huononee. Tosin ajan mittaan turpeen tiivistyessä lämmönjohtokyky alkaa kasvaa. Pessin (1966) mukaan kuivatus alentaa hieman yön alinta lämpötilaa kasvillisuuden ylärajassa. Myös ojitetun suon routaantuminen alkaa ilmeisesti aikaisemmin kuin luonnontilaisen.

Kuivatus vaikuttaa myös turpeen kemiallisiin ominaisuuksiin. Kun vesipitoisuus vähenee ja turve painuu kokoon, humushapot konsentroituvat ja turpeen pH-arvo alenee. Seposen ja Haapalan (1979) referoimissa tutkimuksissa happamoitumista tapahtui 71 prosentissa aineistoa ja Ph-arvo laski ojituksen vaikutuksesta keskimäärin 0,19 yksikköä. Lisäksi kuivatusta seuraava hajotustoiminnan vilkastuminen aiheuttaa kasvinravinteiden mobilisoitumista.

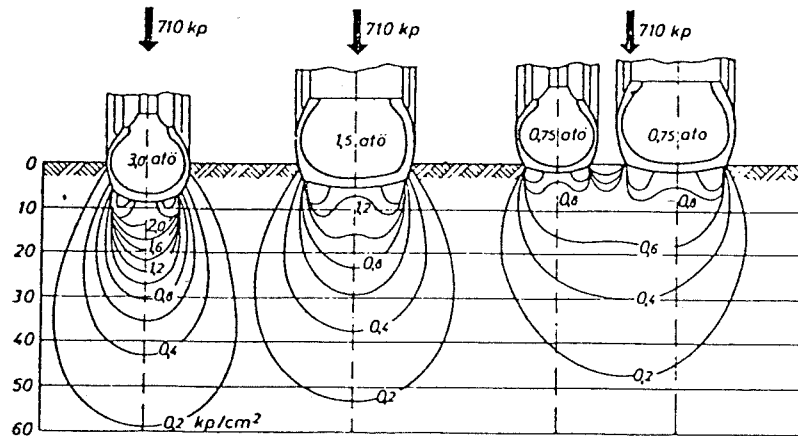
6.2 Muokkaus ja kuormitus

Muokkaustoimenpiteillä pyritään saamaan aikaan ihanteellinen kasvualusta viljelykasveille. Optimaaliseen mururakenteeseen sekä vesi- ja ilmatilavuuteen juuristovyöhykkeessä tähtääviä toimia ovat mm. kyntö, äestys ja jyräys. Kasvualustan parantumisesta hyötyvät kuitenkin myös maan mikrobit, joten muokkaus vauhdittaa orgaanisen aineen hajoamista. Kivennäismaissa tämä aiheuttaa orgaanisen aineen pitoisuuden putoamisen alemmalle tasolle, turvemaissa taas turpeen kulumista.

Turvemaiden muokkaus on kevyttä ja muokkauksen tarve olisi vähäinen, jos juolavehna voitaisiin torjua muilla keinoilla. Muokkauksen rajoittaminen vähimpään mahdolliseen on toivottavaa, sillä se hidastaisi humuksen hajoamista ja turpeen painumista. Muokkaus hienontaa turvetta ja kiihdyttää maatumista, jolloin makrohuokosten määrä vähenee ja vedenläpäisykyky pienenee. Muokkauskerros saattaa mutaan-

tua tiiviiksi ja vettä läpäisemättömäksi, mitä vielä pahentaa koneiden aiheuttama kuormitus.

Muokkauksen, kylvön ja sadonkorjuun yhteydessä peltoa kuormitetaan useita kertoja vuodessa raskailla koneilla, jotka painavat ja tiivistävät pellon pintakerroksia (kuva 28). Traktorin renkaiden painama pinta-ala on suuri. Jo neljällä ajokerralla tulee tallatuksi koko pellon ala (Elonen 1977). Tiivistyminen ei kuitenkaan tapahdu tasaisesti, vaan osa maata jää talleamatta ja osa tallautuu useaan kertaan. Kuormituksen johdosta maapartikkelit joutuvat lähemmäksi toisiaan ja huokokset painuvat umpeen, mikä pienentää entisestään turpeen heikkoa vedenjohtavuutta.



Kuva 28. Paineen jakautuminen maassa erilaisilla rengasratkaisuilla (Danfors 1970).

Puustisen ja Pehkosen (1986) salaojitusten vajaatoimintaa käsitelleessä tutkimuksessa peräti 72 prosentilla tutkituista turvepelloista toimintahäiriöt johtuivat tiivistymisestä, joka turvemaidella ilmeni nimenomaan muokkauskerroksen tiivistymisenä ja siitä johtuvana heikkona vedenjohtavuutena.

Heikosti läpäisevillä mailla vedet valuvat pääasiassa pintaa myöten salaojien kohdalle ja valuvat löyhemmän salaojakaivannon kautta salaojiin. Tiiviillä mailla ojatiheydellä ja sorasilmäkkeiden määrällä sekä pintavirtausten ohjailulla on siten keskeinen merkitys kuivatuksen onnistumiseen.

sessä. Salaojakaivannon täytön yhteydessä täytemaahan syntyy uusia huokosia. Nämä huokokset ovat kuitenkin labiileja ja suurin osa niistä tuhoutuu paineen ja veden vaikutuksesta. Silti täytemaa jää yleensä löyhemmäksi kuin kaivantoa ympäröivä maa. Koneiden aiheuttama tiivistyminen vähentää ajan kuluessa eroa.

6.3 Lannoitus

Turpeen luontaiset ravinnevarat vaihtelevat turvelajin mukaan, mutta yleensä ne ovat sen verran vähäiset, että menestyskäs viljely vaatii lannoitusta. Pohjois-Suomen turvepelloilla on yleensä kaikkien pääravinteiden puutetta, sensijaan Etelä-Suomen saraturpeissa typen mobilisaatio saattaa olla niin vilkasta, ettei typpilannoitusta tarvita. Hivenravinnelannoituksen tarvetta esiintyy eniten juuri turvepelloilla. Yleensä kysymyksessä on kuparin, boorin tai mangaanin puutos.

Ravinteiden saatavuuden parantuminen, varsinkin typen, joka on luonnontilaisessa turpeessa minimiravinne, tehostaa hajotusta. Seurauksena turpeen omat, kohtalaisen runsaat typpivarat saadaan nekin kasvien käyttöön. Hajotuksen tehostuminen aiheuttaa myös turpeen tiivistymistä.

Lannoituksen vaikutuksesta turpeen ravinnepitoisuus kohoaa, sillä koko lannoitemäärä ei päädy kasveihin tai huuhtoudu, vaan kertyy turpeeseen. Turpeen pintakerrokseen rikastuu mm. fosforia, kaliumia, rautaa ja alumiinia. Typen kokonaismäärä sen sijaan saattaa jopa aleta kiihtyneen mobilisaation takia, koska epäorgaanisessa muodossa typpi huuhtoutuu helposti. Urvaksen (1985) tutkimuksissa viljeltyjen turpeiden muokkauskerroksissa typpipitoisuus oli samaa luokkaa, fosforipitoisuus kuusinkertainen, kalium- ja kalسيومpitoisuudet kaksinkertaiset ja magnesiumpitoisuus noin kolminkertainen viljelemättömän turpeen pintakerrokseen verrattuna. Lannoituksen vaikutus näkyi myös hivenainepitoisuuksissa, selvimmin kuparissa, jonka pitoisuus viljellyssä turpeessa oli yli kymmenkertainen viljelemättömään verrattuna.

6.4 Kalkitus

Kalkituksen ensisijainen tarkoitus on happamuushaittojen torjuminen. Kalkitus edistää myös turpeen maatumista ja aiheuttaa siten muutoksia tiheydessä. Tiheyden kasvu heijastuu vedenjohtavuudessa ja jonkin verran myös turpeen lämpötilassa. Pessin (1966) mukaan kalkitusssa rahkaturpeessa Leteensuolla lämpötila on ollut kasvukauden alussa korkeampi kuin kalkitseemattomassa. Erot olivat kuitenkin pieniä.

Turpeen ioninvaihtokyky riippuu pH:sta siten, että kalkitus lisää turpeen kationinvaihtokapasiteettia. Korkea kationinvaihtokapasiteetti tasaa esimerkiksi lannoituksen seurauksena tapahtuvia ravinnetilan muutoksia maanesteessä ja lisää ravinnehuollon joustavuutta. Myös ravinteiden huuhtoutumisriski vähenee.

Useiden ravinteiden liukoisuus paranee pH:n noustessa, mikä helpottaa kasvien ravinteiden saantia. Päinvastoin käytettyviä, eli happamassa paremmin liukenevia ravinteita, ovat rauta ja mangaani. Kalkituksen seurauksena rautaa saostuu muodostaen amorfista rautaoksidihydroksidia. Alueilla, joilla on runsaasti rautaa, maan vedenjohtavuus saattaa kalkituksen takia pienentyä huokosten osittain täyttyessä rautasakalla (Kuntze 1982).

Hovde (1987) on todennut voimakkaan kalkituksen parantavan pitkälle maatuneen turvemaan rakennetta. Kalkituksen ja sitä seuraavan pH:n nousun vaikutuksesta humushapot muuttuvat kalsiumhumaateiksi. Nämä muodostavat turpeeseen sekundaarihiukkasia, jotka luovat turpeeseen mururakenteen. Riittävän suuren kalkkimäärän sekoittaminen koko peltoon tulee kuitenkin kalliiksi, joten kyseeseen tulee lähinnä salaojakaivannon täytemaan kalkitus. Kokeissa on saatu hyviä tuloksia sekoitettaessa täytemaahan 20 kg kalkkia kuutiometriä kohti. Puolta pienemmällä kalkkimäärällä vaikutus heikkeni selvästi. Kuntze (1982) varoittaa kuitenkin kalkitseemasta raskaasti rautapitoisuudeltaan korkeita peltoja.

Kuivatuksen, muokkauksen, lannoituksen ja kalkituksen vaikutukset ovat siis paljolti samansuuntaiset ja aiheuttavat turpeessa nopeutunutta maatumista ja tiivistymistä. Seurauksena turvekerros kuluu ja sen vedenläpäisevyys heikenee. Viljelytoimenpiteiden aiheuttaman kulumisen tuloksena paksukin turvekerros saattaa hävitä kokonaan. Esimerkiksi Porin lähellä sijaitsevan Lattomeren suon ollessa vielä luonnontilainen 1700-luvulla turvekerroksen paksuus oli neljä kyynärää eli 2,4 metriä. Tämän vuosisadan alussa mitattu pinta-ala oli 1400 ha ja se oli melkein kauttaaltaan jo viljelyksessä, syvyyden ollessa 0,3 - 1 m. Maataloudellisissa maaperäkartoissa vuodelta 1967 alueella on vain parin sadan hehtaarin laajuinen puolen metrin turvekerros, loput on savea ja hietaa (Urvas 1985).

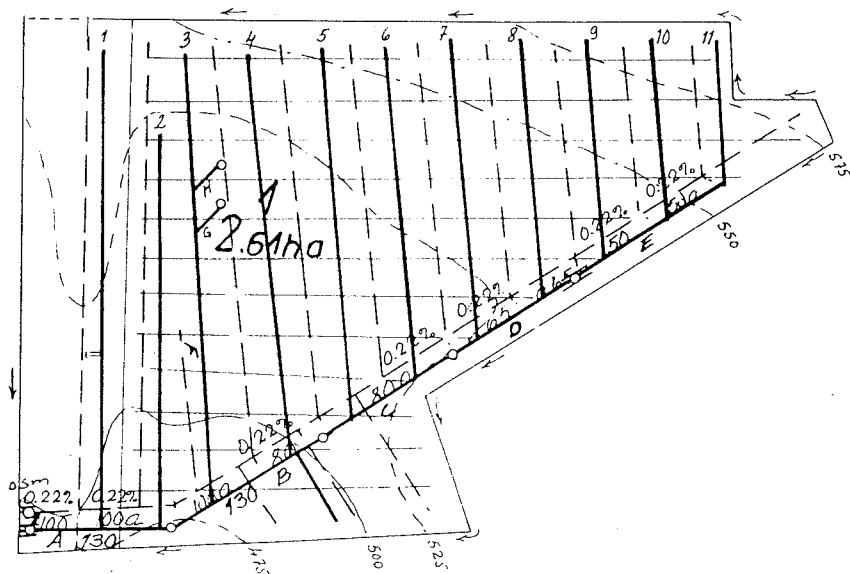
OSA II: Kokeellinen tutkimus

7. KOHDEALUEEN KUVAUS

7.1 Viljelyhistoria

Jalasjärvellä Etelä-Pohjanmaalla sijaitsevan Soinin tilan 2,6 hehtaarin turvepelto otettiin viljelykseen vuosisadan vaihteen tienoilla. Turpeen vähäravinteisuuden ja silloisen lannoitteiden huonon saatavuuden vuoksi pellon ravinnetilaa kohennettiin polttamalla peltoa vuosittain. Tätä jatkettiin aina 1940- ja 1950-luvuille saakka. Pellolla viljeltiin heinää ja ohraa.

Pellolle tehtiin salaojitussuunnitelma jo vuonna 1965, mutta salaojitus toteutettiin vasta kesällä 1979. Alunperin salaojitus suunniteltiin tehtäväksi lautaputkiojituksena. Salaojituksessa käytettiin kuitenkin nimellishalkaisijaltaan 40 mm:n korrugoituja muoviputkia. Putkien ympärysaimeena käytettiin soraa. Imuojien väliset etäisyydet ovat 20 m ja ojitussyvyudeksi on karttaan merkitty 120 - 150 cm (kuva 29).



Kuva 29. Soinin tilan turvepellolle vuonna 1979 tehty salaojitus.

Vuonna 1980 pellolle levitettiin kalkkia noin 6000 kg/ha. Kuivatus toimi vain salaojitusta seuranneena kesänä ja jo keväällä 1981 suuri osa pellosta jäi kesannolle märkyyden estäessä muokkauksen. Kesä 1981 oli lisäksi koko Suomessa poikkeuksellisen runsassateinen. Salaojituksen ja kalkituksen jälkeen pellolle oli tarkoitus kylvää kauraa, mutta kesän 1981 jälkeen sillä on kasvanut vain heinää sen kuivimmilla osilla.

Vuonna 1981 tehdyssä vikatarkastuksessa ei salaojituksen toimimattomuuden syytä saatu selville. Vajaatoiminnan vuoksi pelto on ollut Salaojakeskuksen ja Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tutkimuskohteena vuodesta 1984 lähtien.

Vuonna 1984 tutkittiin, onko alueella paineellista pohjavettä sekä selvitettiin maaperän kerroksellisuutta ja ilmasto-oloja. Nämä tutkimukset eivät kuitenkaan antaneet vastausta vajaatoiminnan syyhyn. Mahdollisina syinä arveltiin olevan pellon kalkitus ja/tai turpeen vedenpidätysominaisuudet (Hiitiö 1984). Kesällä 1985 tutkittiin pellon vedenjohtavuutta (Rintanen 1986). Vuonna 1986 selvitettiin lisäksi turvelaji- ja maatumisaste kerroksittain, turpeen rauta- ja alumiinipitoisuudet, pF-käyrä sekä paineellisen pohjaveden esiintyminen uusilla pohjavesiputkilla (Virtanen 1987). Selvitysten perusteella osasyinä toimimattomuuteen mainittiin runsasvetisinä aikoina esiintyvä paineellinen pohjavesi sekä turpeen pieni vedenjohtavuus.

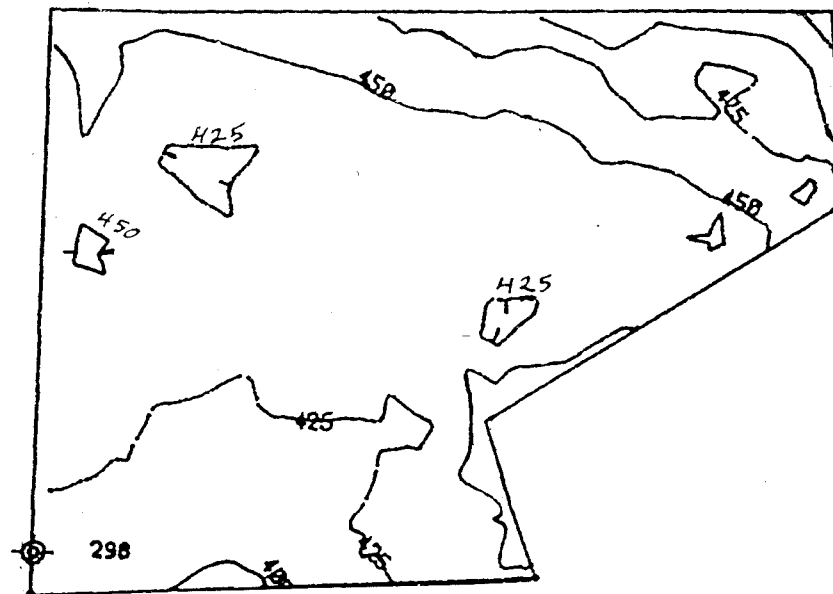
Pellon itäpuoliskolle tehtiin täydennysojitus kesällä 1986 ja loppuosalle kesällä 1987.

7.2 Valuma-alue

Pellon ympäristö on topografialtaan loivaa. Korkeusero 600 - 1000 metrin etäisyydessä oleviin ympäröiviin kalliopaljastumiin on 10 - 25 m. Pelto sijaitsee laakean laakson pohjoisosassa, laakson peltoja halkovan valtaojan alkupäässä. Arvioitaessa pohjaveden virtaussuunta korkeuskäyrien avulla pellon ympärysojien valuma-alueeksi saadaan

Alueen keskimääräinen vuosisadanta on ollut jaksolla 1961 - 1980 564 mm (mittaukset Jalasjärven Koskueen sadeasemalla). Vuosihaihдутта seudulla on suuruusluokkaa 350 mm/a (Solantie ja Ekholm 1985).

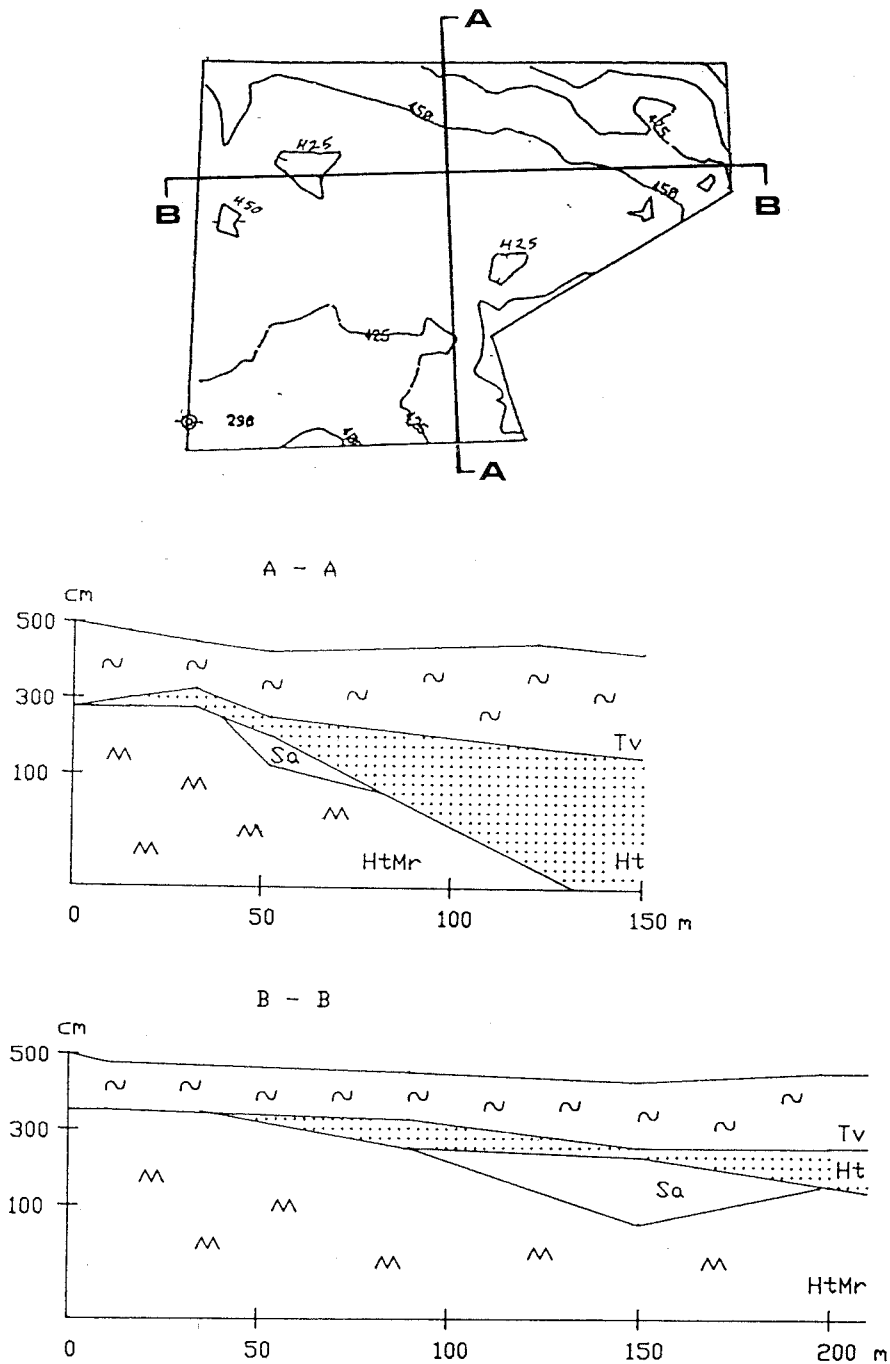
Pellon pinnanmuoto on esitetty kuvassa 31, joka perustuu vuonna 1986 tehtyyn vaaitukseen. Huomionarvoista kuvassa ovat pellon keskiosissa olevat, pintavesien poistvirtaamisen kannalta epäedulliset painanteet.



Kuva 31. Soinin tilan turvepellon korkeuskäyrät.

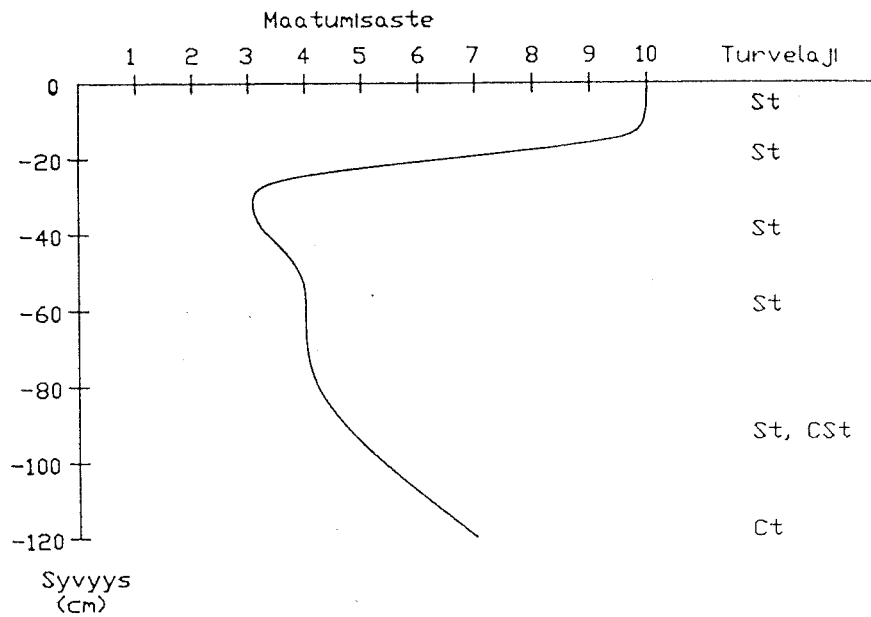
7.3. Maaperä

Peltolohkon maaperä on kartoitettu vuosina 1984 ja 1986 tehdyin kairauksin (Virtanen 1987). Turvekerroksen paksuus vaihtelee välillä 100 - 250 cm siten, että paksuus kasvaa pellon eteläreunaa kohti. Turpeen alla on hieta- ja hiesukerros, jonka paksuus vaihtelee nolasta 280 cm:iin turvekerrosta vastaavasti (kuva 32). Pohjamaa on hieta-moreenia. Pellon täydennysojituksen yhteydessä havaittiin kaakkoiskulmassa kallion olevan vain 170 cm:n syvyydessä.



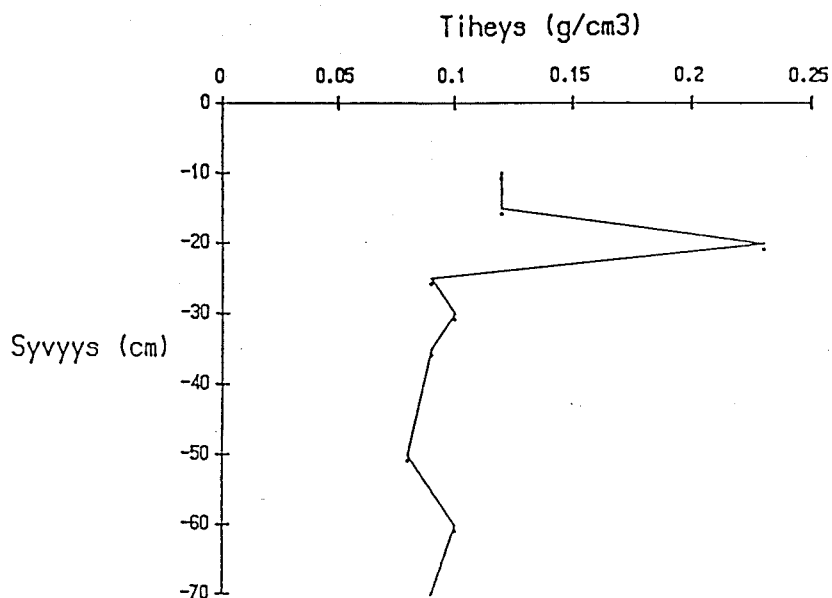
Kuva 32. Kairauspisteiden perusteella hahmoteltu pituus- ja poikkileikkaus pellon maalajeista (Virtasta 1987 mukailen).

Turvekerros on pääosin rahkaturvetta. Yli 90 cm:n syvyydessä mukaan tulee sarojen jäänteitä. Kesällä 1987 kaive-
tuissa kuopissa 80 - 90 cm:n syvyydestä alaspäin esiintyi runsaasti myös lehtipuun kappaleita. Turpeen maatumisaste on pienimmillään H3 30 - 40 cm:n syvyydessä ja kasvaa syvemmälle mentäessä aina H8 - H9:ään. Muokkauskerros on mutautunut (kuva 33) (Rintanen 1986, Virtanen 1987).



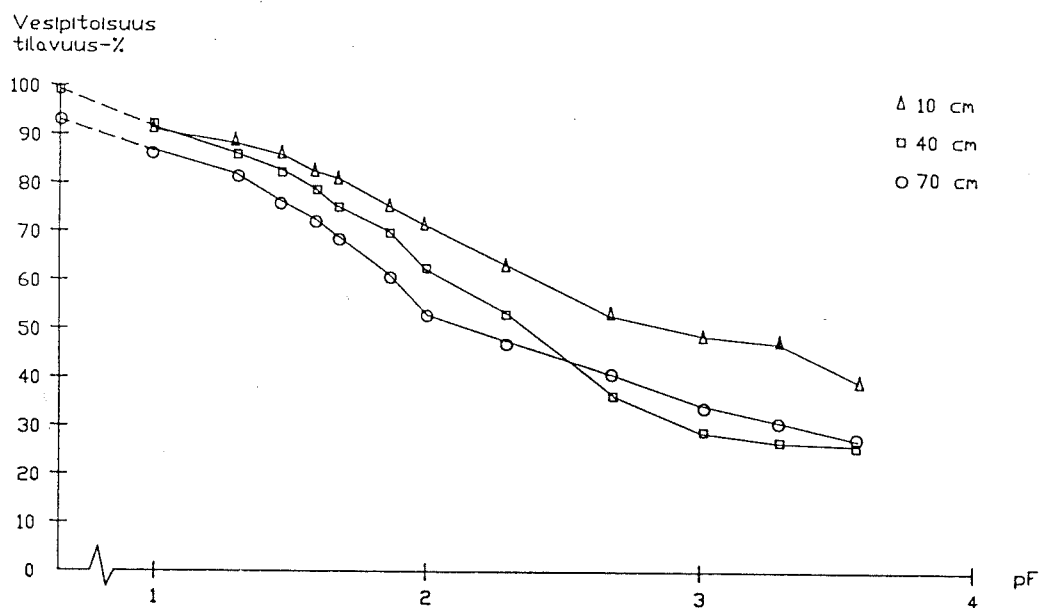
Kuva 33. Soinin turvepellon maatumisaste ja turvelaji eri syvyyksillä (Rintanen 1986, Virtanen 1987).

Vuonna 1986 selvitetttiin myös turpeen tiheyttä. Sen havaittiin vaihtelevan välillä $0,08 - 0,23 \text{ g/cm}^3$ (Virtanen 1987). Tiheys oli suurin muokkauskerroksessa (kuva 34).



Kuva 34. Turpeen tiheyden muuttuminen syvyyden funktiona Soinin turvepellossa. Piirretty Virtasen (1987) esittämien lukuarvojen perusteella.

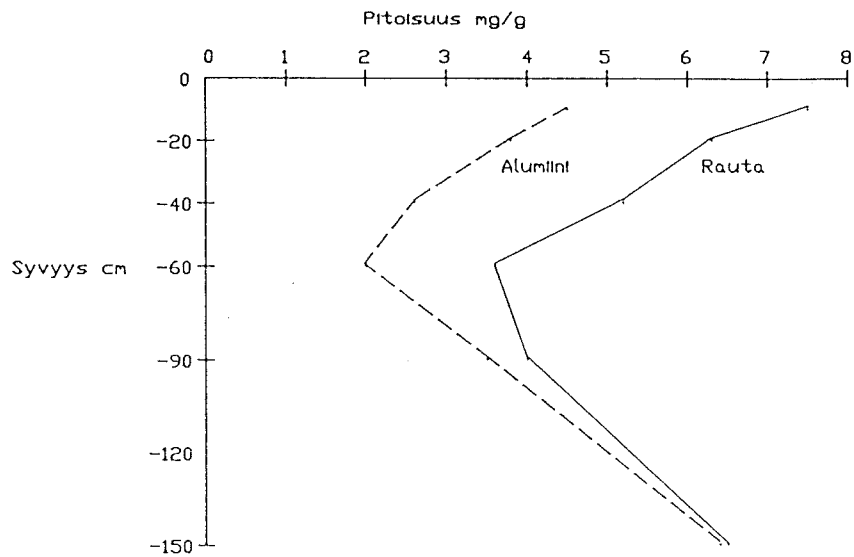
Turpeesta määritettyjen vedenpidätyskäyrien (kuva 35) mukaan 80 - 100 cm:n ojitusyvyydellä pintakerrosten vesipitoisuus vähenisi 60 - 74 tilavuusprosenttiin (Virtanen 1987).



Kuva 35. Soinin turvepellosta 10, 40 ja 70 cm:n syvyydestä otetuista turvenäytteistä määritetyt vedenpidätyskäyrät. Piirretty Virtasen (1987) esittämien lukuarvojen perusteella.

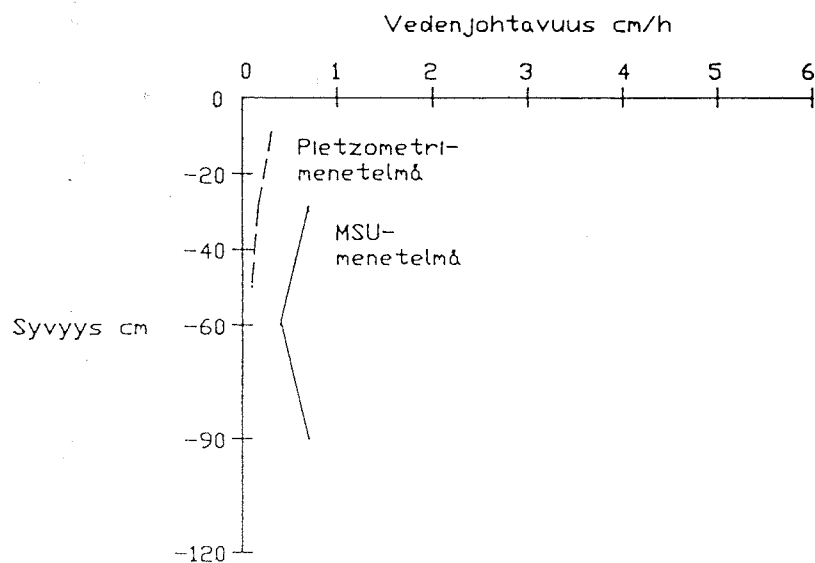
Turpeeseen pF 2:ssa pidättyneen vesimäärän perusteella suurten huokosten (halkaisija yli 30 μm) osuus turpeen tilavuudesta on pintaturpeessa noin 20 % ja 40 ja 70 cm:n syvyydessä noin 40 %.

Yhdeksi syyksi ojituksen vajaatoimintaan epäiltiin rauta- ja alumiiniyhdisteiden yhdessä kalkin kanssa muodostamaa huonosti läpäisevää kerrosta. Siksi selvitettiin turpeen rauta- ja alumiinipitoisuudet, jotka ilmenevät kuvasta 36.



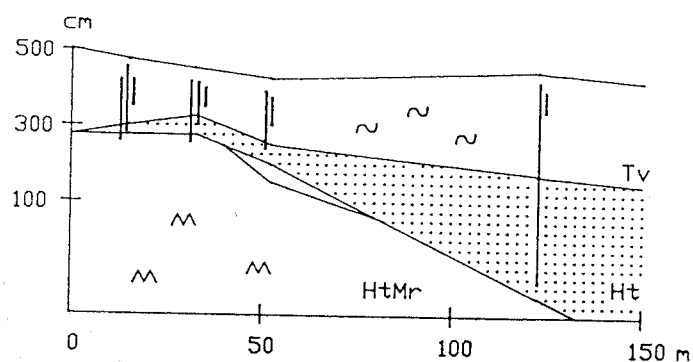
Kuva 36. Soinin turvepellon rauta- ja alumiinipitoisuudet eri syvyyksillä. Piirretty Virtasen (1987) esittämien lukuarvojen perusteella.

Turpeen vedenjohtavuutta on mitattu vuonna 1984 pietzometrimenetelmällä ja vuonna 1985 MSU-menetelmällä (kuva 37).



Kuva 37. Soinin turvepellolla vuosina 1984 ja 1985 mitatut vedenjohtavuudet. Piirretty Virtasen (1987) esittämien lukuarvojen perusteella.

Koska pelto sijaitsee ympäristöään alempana ja turvekerroksen alla on vettä paremmin johtava hieta- ja moreenikerros, edellytykset paineellisen pohjaveden esiintymiselle ovat olemassa. Esiintymisen selvittämiseksi pellolle asennettiin vuonna 1986 kärjestään vettäläpäiseviä pohjavesiputkia, jotka ulotettiin turve-, hieta- ja moreenikerrokseen (kuva 38).



Kuva 38. - Maalajipoikkileikkaus, jossa näkyy potentiaali-mittaukset, jotka osoittavat, että hietakerroksessa on vesipainetta (Virtasta 1987 mukaillen).

Pellolla esiintyy paineellista pohjavettä syksyisin ja todennäköisesti myös keväisin, eli ajankohtina, jolloin peltoa korkeammalla sijaitsevalle alueelle tulee runsaasti vettä (Virtanen 1987).

8. MAASTOTUTKIMUKSET

Tässä tutkimuksessa Soinin turvepellolla tehtiin havaintoja kasvillisuudesta, pohjaveden korkeudesta ja salaojien kunnosta. Lisäksi mitattiin kenttälaitteistoilla pellon vedenjohtavuus sekä maa- ja pohjaveden rautapitoisuus, happamuus ja redoxpotentiaali.

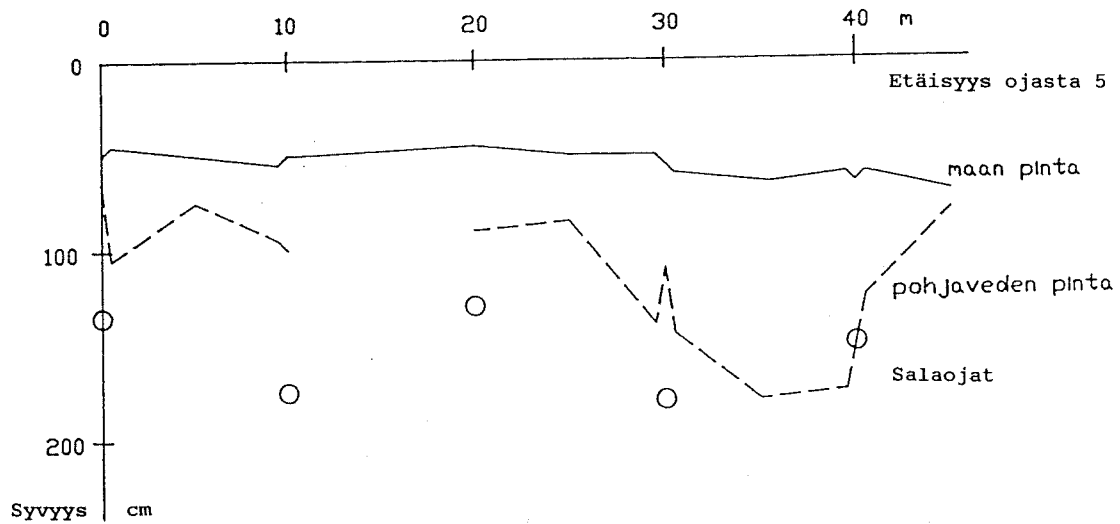
8.1 Kasvillisuus

Soinin turvepellon oltua vuodesta 1981 lähtien seitsemän vuotta viljelemättömänä sen on ehtinyt vallata kasvillisuus, joka selvästi ilmentää kasvualustansa vetisyyttä. Pellon kuivimmissa osissa kasvaa pääasiassa nurmilauhaa (*Deschampsia cespitosa*) ja timoteita (*Phleum pratense*), joita isäntä on niittänyt heinäksi mahdollisuuksien mukaan. Varsinkin pellon keskiosissa esiintyy runsaasti myös harmaasaraa (*Carex canescens*), polvipuntarpäätä (*Alopecurus geniculatus*), tupas- ja monitähkävillaa (*Eriophorum vaginatum*, *E. angustifolium*), ranta- ja jouhivihvilää (*Juncus alpinoarticulatus*, *J. filiformis*), suohorsmaa (*Epilobium palustre*) sekä kiiltopajua (*Salix phylicifolia*).

Pellon yleisin kasvi nurmilauha on tyypillinen rantojen, lähteikköjen, kosteitten niittyjen ja vanhojen nurmien laji. Muut luetellut lajit timoteita lukuunottamatta ovat nekin rantojen, lähteikköjen tai soiden kasveja.

8.2 Pohjaveden korkeus

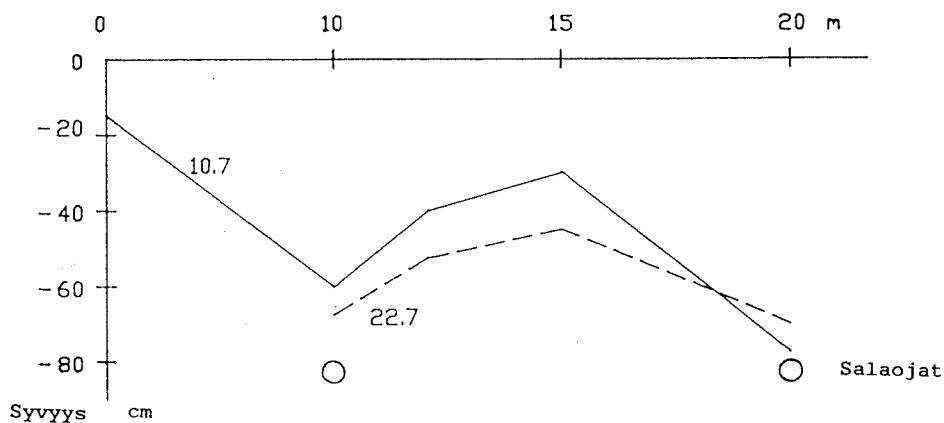
Pohjaveden pinnan käyttäytymistä tutkittiin asentamalla rivi pohjavesiputkia imuojia vastaan kohtisuoraan linjaan. Ennen talvea mittaukset ehdittiin kuitenkin tehdä vain kerran, asennusta seuraavana päivänä. Tulokset on esitetty kuvassa 39.



Kuva 39. 1.10.1987 havaittu pohjaveden pinnankorkeus.

Salaojan kohdalla olevasta huippuarvosta päätellen vedenpinta ei ollut kaikissa putkissa ehtinyt nousta todelliseen tasoonsa.

Kesällä pellon kuivavara havainnoitiin turpeeseen aiemmin kaivetuista kuopista ja kairarei'istä, joista viisi oli jotakuinkin linjassa. Niiden perusteella hahmoteltu pohjaveden pinnankorkeus ilmenee kuvasta 40.



Kuva 40. 10.7. ja 22.7.1987 havaitut pohjaveden pinnankorkeudet.

Salaojien kohdalla kuivavaraa oli jopa 80 cm, mutta paikoin ojien välisellä alueella sekä varsinkin traktorin pyöränjäljissä oli ilmivettä. Pohjaveden pinnankorkeus on kuivinakin aikoina ollut pellon määrimmillä osilla vain 30 - 40 cm maan pinnasta. Tällöin pintakerrosten kosteustila on 80 - 85 % ja vastaavasti ilmatilavuus 5 - 10 %, jolloin kasvien juuriston hapensaanti alkaa jo vaikeutua.

8.3 Salaojituksen kunto

Salaojaputkien kunto tarkastettiin kaivamalla putki esiin kahdesta imuojasta. Kokoojan kunto havaittiin täydennysojituksen yhteydessä, kun se jouduttiin alittamaan useista kohdista.

Putkien pohjalla oli harmaanruskeaa limaa noin 1 cm paksu kerros (kuva 41). Lisäksi putken seinämiä ympäriinsä peitti lähes yhtenäinen, ohut, limainen kalvo. Putken ulkopuoli oli puhdas, samoin kuin ympäryssora, joka aikaisempien tutkimusten mukaan on laadultaan ja määrältään moitteetonta. Vuoden 1984 tutkimuksessa, samoin kuin vika-tarkastuksessa, todettiin kokoojaputken rei'itys paikoin vaillinaiseksi. Sen johdosta kokoojan vedenottokyky lienee alentunut, mutta putken vedenjohtokykyyn se tuskin vaikuttaa.

Laskukaivossa ja tarkastuskaivoissa havaittiin runsaasti punertavia hiutaleita sekä pinnalla öljymäisesti kiiltelevä kalvo.

Esiinkaivettujen imuojien syvyydet olivat 80 ja 105 cm. Muualla ojastossa salaojasyvyyksiä havaittiin koetinkairalla ja ne vaihtelivat välillä 65 - 100 cm. Kairausten ja kuvassa 31 esitetyn vaaituksen perusteella imuojien kaltevuus on oikeansuuntainen ja riittävä ($> 0,3$ %).

Jos alkuperäinen salaojitussyvyys oli 120 - 150 cm, turve olisi vuoden 1979 jälkeen painunut lähes puoli metriä. Tämä tuntuu kovin suurelta ottaen huomioon, että pelto oli jo ennen salaojitusta kuivattu avo-ojin sekä että viljely-

toimet ovat suuresti vähentyneet salaojituksen jälkeen. Todennäköistä onkin, että salaojitus tehtiin suunniteltua matalammaksi, noin metrin syvyyteen.

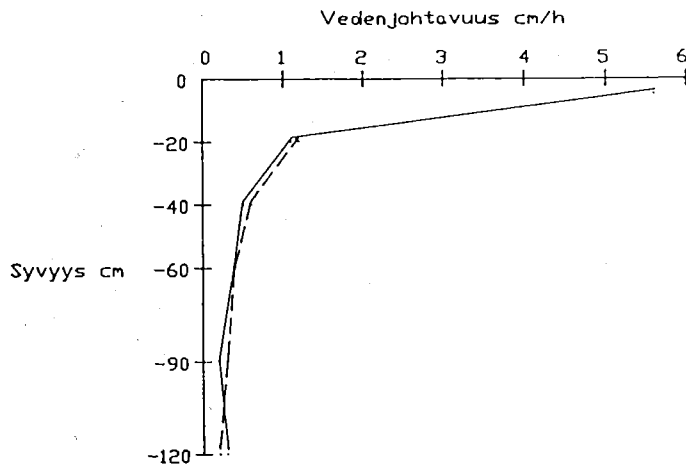


Kuva 41. Imuojista löytyi noin 1 cm paksu sakkakerros.

8.4 Vedenjohtavuuden mittausta MSU-laitteella

Turpeen pysty- ja vaakasuuntainen vedenjohtavuus mitattiin 5, 20, 40, 60, 90 ja 120 cm:n syvyydestä Michigan State Universityssä kehitetyllä menetelmällä eli MSU-laitteella (liite 1) (m.m. Merva 1979, Rintanen 1986).

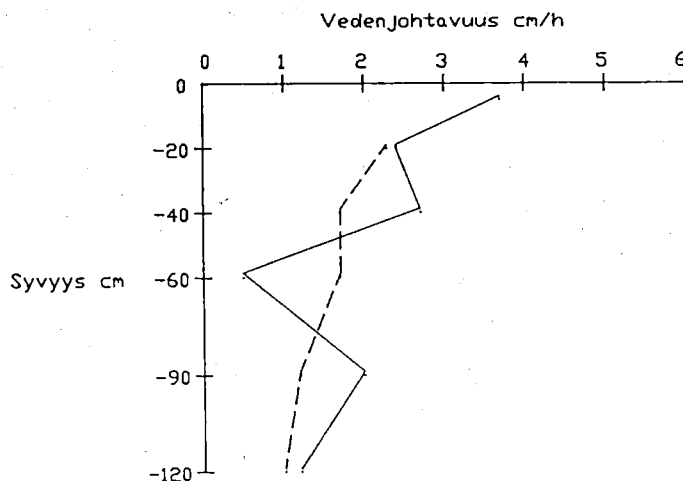
Juuristokerrosta lukuunottamatta vedenjohtavuus oli alhainen ja laski hieman syvemmälle mentäessä. Pysty- ja vaakasuuntaiset johtavuudet olivat suunnilleen yhtä suuria (kuva 42). Kenttämittausten perusteella pellon vedenjohtavuus ylittää hienoisesti Eggelsmannin (1978) esittämän arvon 0,25 cm/h, jota suuremmilla vedenjohtavuuksilla pellon salaojitus on kannattavaa.



Kuva 42. Soinin turvepellolla mitatut pysty- ja vaakasuuntaiset vedenjohtavuudet eri syvyyksillä. Pystysuuntainen vedenjohtavuus on esitetty yhtenäisellä viivalla ja vaakasuuntainen katkoviivalla.

Tulokset ovat sopusoinnussa vuosina 1984 ja 1985 pietzometri- ja MSU-menetelmillä mitattujen vedenjohtavuuksien (kuva 37) kanssa. Pintakerroksen aikaisempaa parempi vedenjohtavuus voi johtua monivuotisen ruohikon juuriston vaikutuksesta.

Yksi mittauspisteistä oli salaojakaivannon kohdalla ja siinä mitatut arvot olivat selvästi suurempia kuin edellä esitetyt (kuva 43).



Kuva 43. Salaojakaivannon kohdalla mitatut pysty- ja vaakasuuntaiset vedenjohtavuudet eri syvyyksillä.

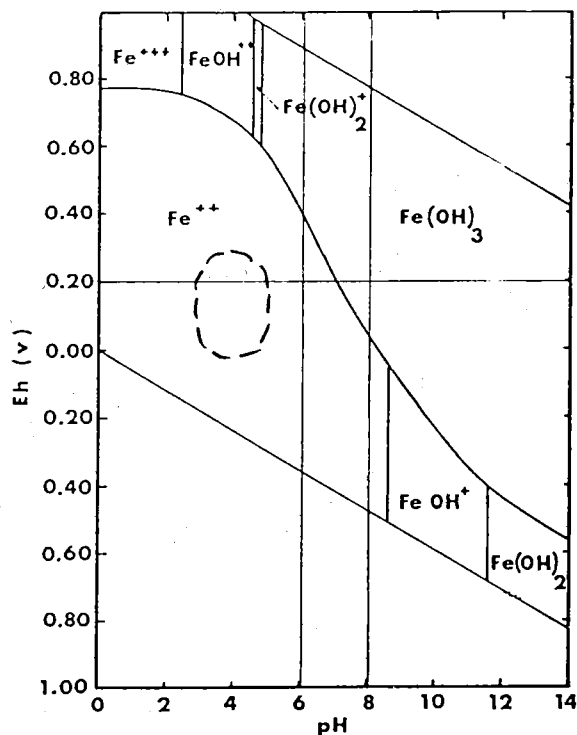
8.5 Fe^{2+} -, pH- ja redoxpotentiaalimittaukset kentällä

Ruosteongelman merkittävyyden selvittämiseksi mitattiin Hackin DREL/5-kenttälaitteistolla redoxpotentiaali, pH-arvo ja liukoisen raudan pitoisuus vesinäytteistä, joita otettiin pohjavesikaivosta, laskukaivosta, niska- ja reunaojista sekä turvekerroksen maavedestä (taulukko 9). Vertailun vuoksi mitattiin myös viereisistä toimivista ojastoista purkautuvan veden vastaavat arvot.

Taulukko 9. Soinin turvepellolla tehtyjen Eh-, pH- ja Fe^{2+} -mittausten tulokset.

Näyte	Eh mV	pH	Fe^{2+} -pitoisuus mg/l
Pohjavesikaivo	78	4,4	5,5
Laskukaivo	27	4,4	6,3
Turpeeseen kaivettu reikä	203	4,3	1,4
Niska- ja reunaojat (3 pisteen keskiarvo)	294	3,3	1,5
Toimivat ojastot (3 pisteen keskiarvo)	162	4,7	0,7

Tulosten perusteella pohjavedessä vallitsevat happamat, pelkistävät olosuhteet (kuva 44) ja siinä on melko runsaasti rautaa liuenneena. Reunaojiin läheisiltä turvekankailta valuvat vedet ovat happamia ja sisältävät jonkin verran rautaa. Toimivissa ojastoissa vesi sisältää selvästi vähemmän rautaa.



Kuva 44. Soinin turvepellossa vallitsevat happamuus- ja hapetus-pelkistysolosuhteet.

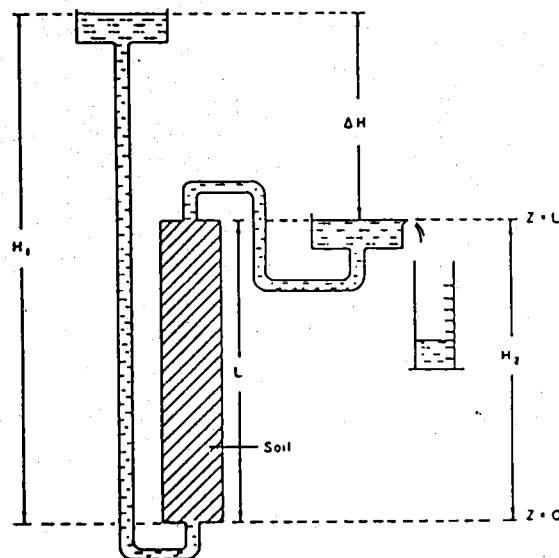
Peltomaan (1983) mukaan pohjaveden rautapitoisuuden ollessa luokkaa 5 - 15 mg/l salaojissa on havaittavissa selvä sakan muodostus, josta ei ole suurta haittaa 5 vuodessa. Koska raudan lähde on allohtoninen, on ruosteenmuodostus kuitenkin pysyvää ja kehittyy hitaasti yhä haitallisemmaksi.

9. LABORATORIOTUTKIMUKSET

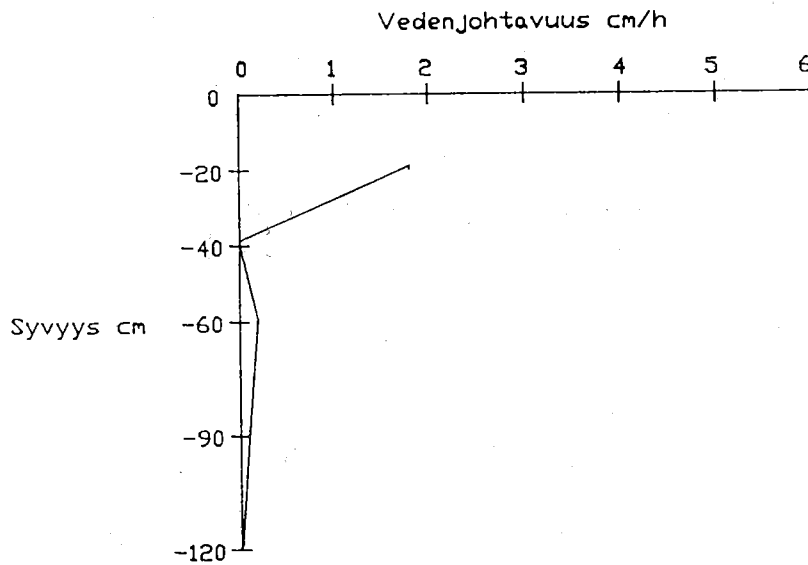
Laboratoriossa tutkittiin turpeen vedenjohtavuutta ja rautapitoisuutta, rautayhdisteiden poisuuton vaikutusta vedenjohtavuuteen ja salaojasakan koostumusta. Kustakin on seuraavassa esitetty lyhyesti materiaali, tutkimusmenetelmä ja tulokset sekä niihin vaikuttaneet seikat.

9.1 Turpeen vedenjohtavuus

Vedenjohtavuus määritettiin 20, 40, 60, 90 ja 120 cm:n syvyyksistä otetuista häiriintymättömistä maanäytteistä vakio-painekorkeusmenetelmällä (kuva 45). Tulokset olivat samaa suuruusluokkaa kuin kentällä saadut, joskin säännöllisesti kenttätuloksia pienempiä (kuva 46).



Kuva 45. Vedenjohtavuuden mittaaminen vakio-painekorkeusmenetelmällä (Hillel 1982).



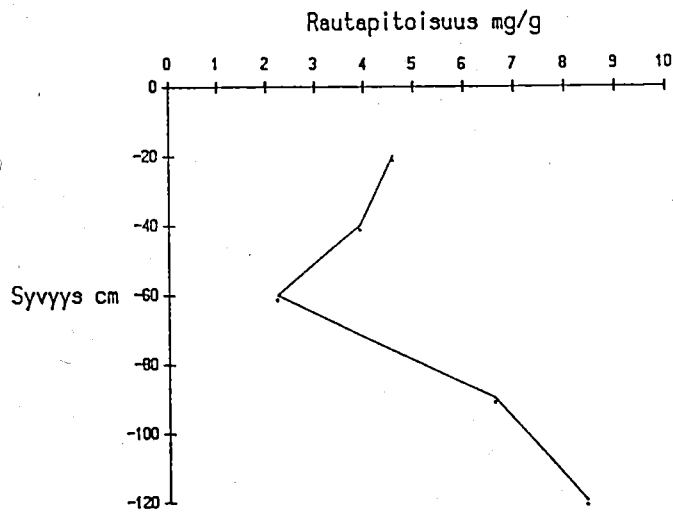
Kuva 46. Soinin turvepellon vedenjohtavuus vakiopainekorkeusmenetelmällä mitattuna.

Näyttelieriöiden halkaisija oli 5,4 cm ja korkeudet 3 ja 7 cm. Näytteiden pienuus vähentää mittauksen edustavuutta. Käytettäessä pientä näyttelieriötä todennäköisyys sille, että näytteessä olevat huokoskanavat päättyvät lieriön seinämiin on suurempi kuin suurta lieriötä käytettäessä. Pienellä lieriöllä saadaan tällöin liian pieni vedenjohtavuuden arvo.

Vakiopainekorkeusmenetelmässä mitataan maanäytteen läpi aikayksikössä virtaava vesimäärä. Virtauksen pienuuden johdosta aikayksikkönä käytettiin vuorokautta, jolloin mittalasisista tapahtuva haihdunta ehtii aiheuttaa virhettä. Haihdunnan suuruus selvitettiin rinnakkaisella mittalaseilla, johon laitettu vesimäärä punnittiin mittauksen alussa ja lopussa. Käytetyistä mittalaseista haihtunut vesimäärä oli keskimäärin 1,1 ml/d vaihdellen vain vähän perättäisissä mittauksissa. Määrä vastaa lähes puolta vedenjohtavuudeltaan heikoimman näytteen läpi tulleesta virtaamasta.

9.2 Turpeen rautapitoisuus

Rautapitoisuus määritettiin 20, 40, 60, 90 ja 120 cm:n syvyyksistä otetuista maanäytteistä. Rauta uutettiin kiu-
vatuista ja jauhetuista näytteistä 0,3-molaarisella happa-
malla ammoniumoksalaatilla (Tamm 1922) ja analysoitiin
sulfosalisyliihappomenetelmällä (Koutler-Andersson 1953).
Tulokset ilmenevät kuvasta 47.



Kuva 47. Soinin pellon rautapitoisuus eri syvyyksillä.

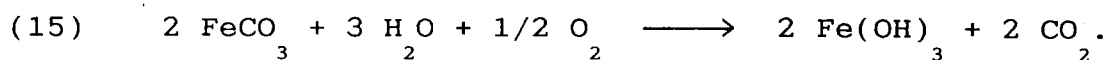
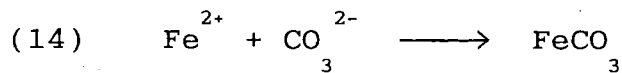
Pintakerroksen rautapitoisuus, 4,58 mg/g, oli lähes kaksi kertaa suurempi kuin Urvaan (1985) esittämä keskiarvo viljellyille rahkaturpeille, 2,55 mg/g.

Pinnan arvot voivat johtua lannoituksesta, kalkituksen aiheuttamasta raudan saostumisesta ja haihtumisen seurauksena tapahtuvasta konsentroitumisesta, kun huuhtoutuminen alaspäin on huonon vedenjohtavuuden ja paineellisen pohjaveden takia estynyt.

60 cm:stä alaspäin kasvavat rautapitoisuuden arvot selittyvät pohjaveden suurella rautapitoisuudella. Olosuhteet näissä kerroksissa ovat pelkistävät, joten merkittävä määrä maahan sitoutuneesta raudasta lienee orgaanisina rautayhdisteinä.

9.3 Rautayhdisteiden poisuuton vaikutus turpeen vedenjoh- tavuuteen.

Kalkituksessa käytettävän kalsiumkarbonaatin karbonaatti-
ioni muodostaa raudan kanssa niukkaliukoista FeCO_3 :a, joka
hydrolysoituessaan hapettuu $\text{Fe}(\text{OH})_3$:ksi:

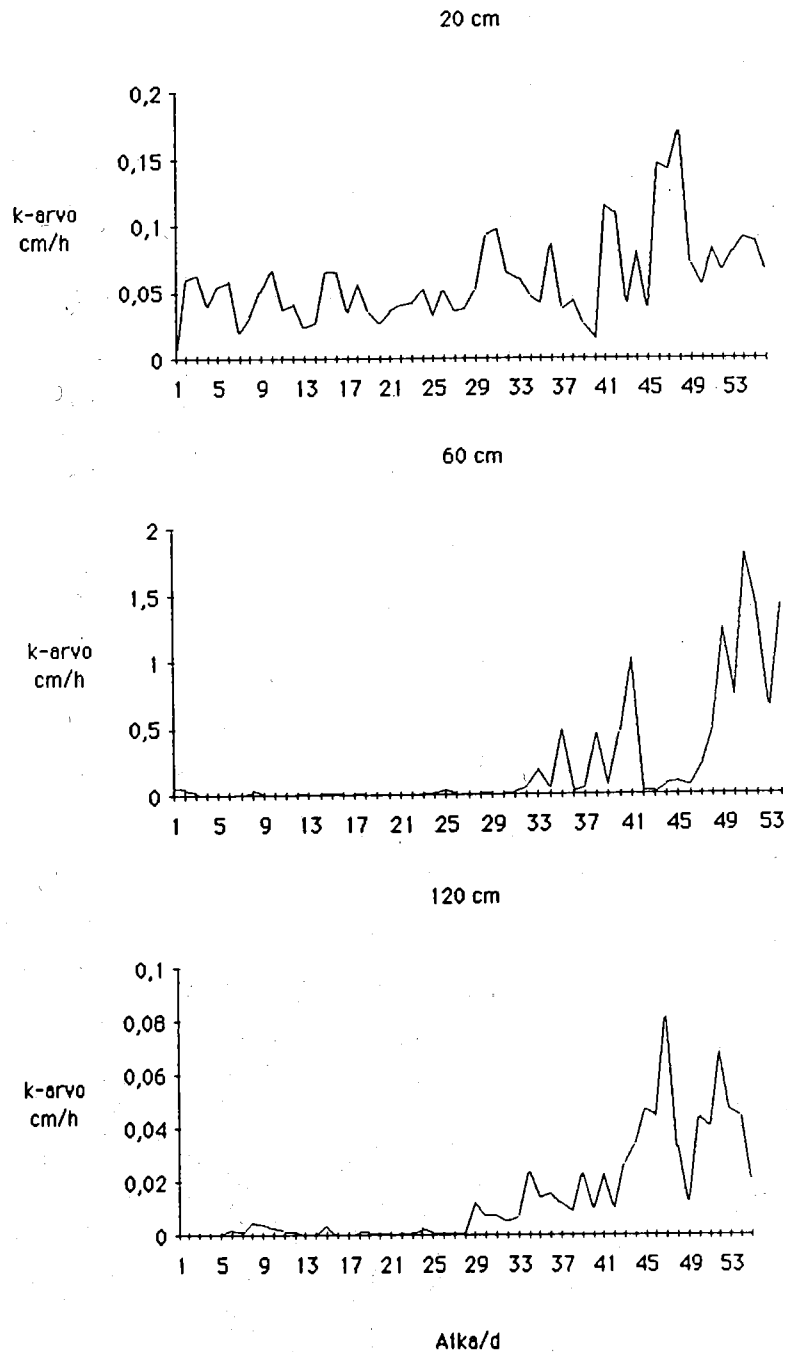


Lisäksi pH:n nousu sinänsä edistää raudan hapettumista ja
hydroksidisakan muodostumista.

Tukkiessaan maahuokosia sakkautuva kolloidimainen rautahyd-
roksidi saattaa pienentää maan vedenjohtavuutta. Tällaisen
heikosti läpäisevän kerroksen mahdollista olemassaoloa Soi-
nin turvepellossa yritettiin selvittää kokeella, jossa
tutkittiin, muuttuuko maanäytteen vedenjohtavuus, kun siitä
uutetaan pois rautayhdisteet.

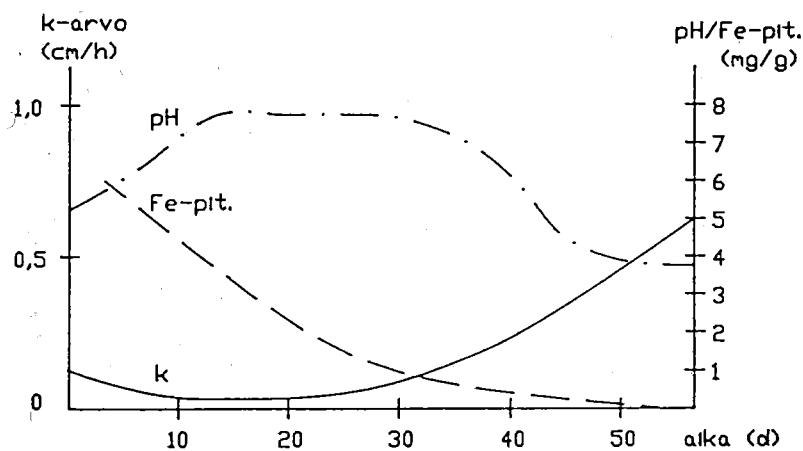
Kokeessa käytettiin samoja näytteitä kuin vedenjohtavuuden
mittauksessa. Uutto tehtiin vakiopainemenetelmällä tapah-
tuvaan vedenjohtavuuden mittaukseen kehitetyllä laitteis-
tolla siten, että veden sijasta näytteiden läpi johdettiin
Tammin uuttoliuosta. Uuttolioksen sisältämä oksaalihappo
muodostaa raudan kanssa vesiliukoisen oksalaattisuolan, jo-
ka poistuu virtauksen mukana.

Uuttoliuosta oli tarkoitus käyttää noin kaksi kertaa näyt-
teen tilavuuden verran. Vedenjohtavuuden kehitystä seurat-
tiin vuorokauden välein kunnes viimeinenkin näytesylinteri
oli läpäissyt halutun määrän uuttoliuosta. Lisäksi seurat-
tiin ajoittain näytteen läpi tulleen uutteen pH:ta ja rau-
tapitoisuutta. Vedenjohtavuuden kehitys ilmenee kuvasta
48.

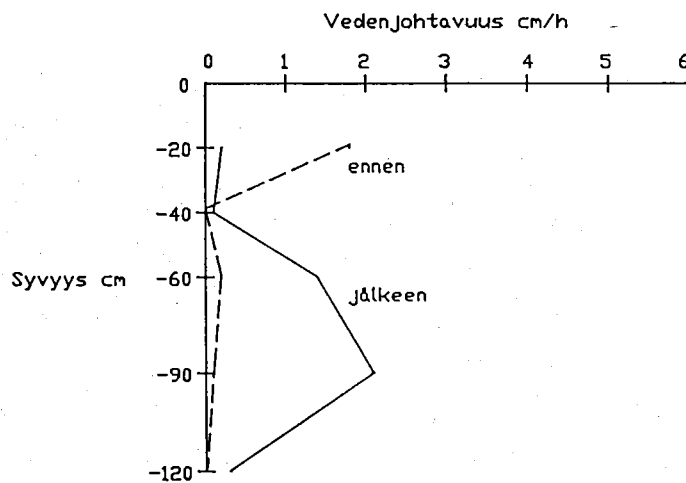


Kuva 48. Rautayhdisteiden poishuuhtelun vaikutus vedenjohtavuuteen 20, 60 ja 120 cm:n syvyyksiltä otetuissa turvenäytteissä.

Eri mittauskertojen välillä esiintyi huomattavaa vaihtelua. Kuitenkin tuloksissa oli havaittavissa nouseva trendi (kuva 49), ja vedenjohtavuus lopussa oli yleensä 2 - 10 -kertainen alkuperäiseen verrattuna (kuva 50). Uutteen rautapiitoisuus ja pH olivat aluksi korkeita ja laskivat kokeen kuluessa. Näytteestä poistuneen rautamäärän ja näytteen vedenjohtavuuden välillä havaittiin negatiivinen korrelaatio.



Kuva 49. Näytteen vedenjohtavuuden (k) sekä uutteen pH:n ja rautapitoisuuden yleinen kulku kokeen aikana.



Kuva 50. Vedenjohtavuus ennen ja jälkeen rautayhdisteiden poisuuttamista.

Mittaustulosten vaihtelua aiheutti ainakin se, että laitteistoon kerääntyneet kaasukuplat, jotka ilmeisesti olivat mikrobien hengityksessä syntynyttä hiilidioksidia, poistettiin ajoittain kallistamalla ja koputtelemalla. Toimenpiteen jälkeen mitattiin suurimmat vedenjohtavuuden arvot. Ravinteita sisältävä Tammin uuttoliuos voi edistää mikrobi-toimintaa näytteessä, mikä lisääntyneen kaasunmuodostuksen kautta heikentää vedenjohtavuutta.

Uutteen pH:n nousu 8:n tienoille kokeen alussa voi johtua siitä, että rautahydroksidin liukeneminen kuluttaa liuoksesta vetyioneja. Lisäksi näytteessä olevat mikrobit voivat käyttää ravinnokseen ammoniumoksalaatin sisältämän tyypin ja hiilen, jolloin oksaalihappo voi sitoutua neutraaleiksi yhdisteiksi.

Näytteen läpi tullut uute oli väriltään voimakkaan ruskeaa. On ilmeistä, että näytteestä poistui raudan ohella runsaasti humusaineita. Kun rauta-humus-kompleksiyhdisteistä poistetaan rauta, voivat myös humusosat päätyä helpommin liikkuvaan muotoon. Poistuneen humuksen vaikutus vedenjohtavuuteen voi olla merkittävä. Tämän johdosta kokeen perusteella ei voi todeta, että nimenomaan rautayhdisteet aiheuttaisivat näytteiden huonon vedenjohtavuuden. Kolloidimaisten humusaineiden ohella ne ovat kuitenkin vedenjohtavuutta heikentävä osatekijä.

9.4 Salaojasakan analysointi

Salaojissa esiintyneestä limamaisesta sakasta otettiin näytteitä, joista analysoitiin veden ja orgaanisen aineen pitoisuudet sekä kivennäis- ja mikrobikoostumus.

Vesipitoisuuden määrittämistä varten näytteitä pidettiin vuorokauden ajan +105-asteisessa uunissa. Vesipitoisuus arvioitiin tapahtuneen haihtumishäviön perusteella, ja se oli keskimäärin 93,5 % tuorepainosta. Orgaanisen aineksen osuus arvioitiin +550 °C:ssa tapahtuneessa poltossa jäljelle jääneen tuhkan painon perusteella. Orgaanisen aineksen osuus oli keskimäärin 51 % sakan kuivapainosta.

Kirjallisuuden perusteella yleisimmät kivennäisaineet ruostesakassa ovat rauta, alumiini, mangaani ja kalsium (m.m. Kuntze 1982). Niiden osuudeksi tutkitussa sakassa saatiin kuitenkin vain 8,3 % oksideiksi laskettuna (taulukko 10).

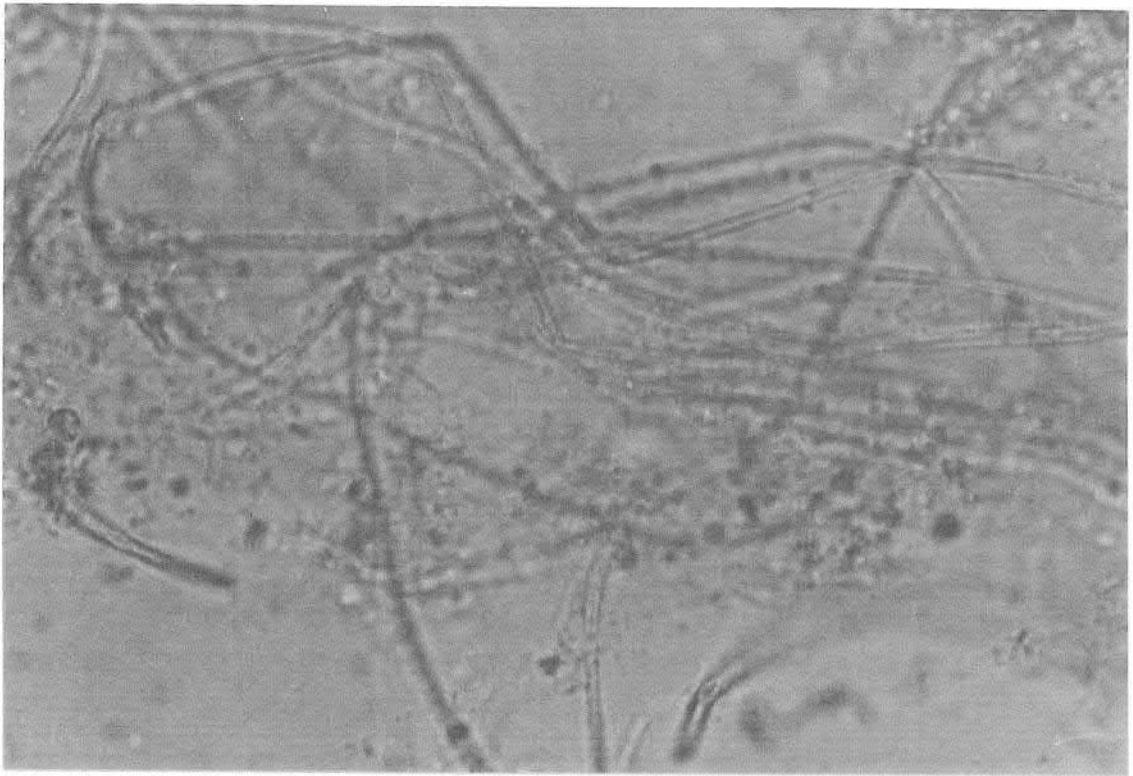
Taulukko 10. Soinin turvepellon sala-
oajasakan koostumus.

Yhdiste	% kuiva-aineesta
Fe ₂ O ₃	5,7
Al ₂ O ₃	1,0
MnO ₃	0,1
CaO	1,5
Org. aines	51

Rauta, alumiini ja mangaani uutettiin kuivatusta ja jauhe-
tusta näytteestä Tammin uuttoliuoksella, minkä jälkeen rau-
ta analysoitiin sulfosalisyylihappomenetelmällä, alumiini
aluminon-menetelmällä (McLean 1965) ja mangaani standardin
SFS 3033 mukaan. Kalsium uutettiin näytteistä 1-molaari-
sella ammoniumkloridiliuoksella ja analysoitiin standardin
SFS 3001 mukaan.

Tuloksiksi saatujen arvojen pienuus voi johtua siitä, että
uutteissa olleet ionit häiritsivät toistensa analyysiä.
Rautaa oli ilmeisesti kivennäisistä eniten, ja sen suuri
pitoisuus häiritsee ainakin kalsiumin ja mangaanin määri-
tystä. Toinen, uutteen käsittelyvaiheessa ilmennyt virhe-
lähde oli haihdutusjäännöksen epätäydellinen liukeneminen
suolahappoon. Analysoiduissa liuoksissa oli selvä kiinto-
ainesakka, joten osa näytteen sisältämistä kivennäisistä
jäi todennäköisesti määrityksen ulkopuolelle.

Salaojasakan mikrobikoostumusta tutkittiin tarkastelemalla
käänteismikroskoopilla elävää näytettä. Ylivoimaisesti
eniten sakassa oli *Sphaerotilus*-suvun tupellisia, nauha-
maisia bakteereja (kuva 51). Jonkin verran esiintyi bak-
teereja suvuista *Gallionella*, *Ochrobium* ja *Zoogloea*. Myös
tuoreen sakan harmaanruskea väri viittaa *Sphaerotilus*-
Leptothrix-tyyppiseen rautasakkaan.



Kuva 51. *Sphaerotilus*-bakteereja Soinin turvepellon sala-
ojista.

10. TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Puustisen ja Pehkosen (1986) mukaan salaojituksen toimintahäiriöiden syynä olevia vikoja, puutteita tai sellaisia tekijöitä, jotka vaikuttavat haitallisesti salaojien toimintaan, on keskimäärin viisi toimimatonta ojastoa kohti. Tässäkin Soinin turvepeltoa koskevassa tutkimuksessa löytyi joukko vikoja, puutteita tai haittatekijöitä, jotka yhdessä aiheuttavat salaojituksen epäonnistumisen.

Pellon vedenjohtavuus on pintaa lukuunottamatta alhainen, noin 0,35 cm/h, mikä on tyypillistä kohtalaisen maatuneelle turpeelle. Kuitenkin Eggelsmannin (1978) mukaan näillä luvkemilla salaojitus on vielä kannattavaa. Hooghoudtin ja Ernstin ojitusyhtälöillä laskettuna olisi ojavälin oltava luokkaa 6 - 7 metriä (Rintanen 1986). Suurin syy pellon ojituksen toimimattomuuteen onkin ilmeisesti ollut liian harva ojaväli.

Huonon vedenjohtavuuden syynä on turpeen maatumisen, sillä kasviaineksen hajotessa yhä pienemmiksi hiukkasiksi vähenee nimenomaan suurten, vettä johtavien huokosten määrä. Lisäksi pelto on turvelajiltaan rahkaturvetta, jonka rakenne muuttuu saraturvetta nopeammin maatumisen edetessä. Myös kalkitus alentaa rautapitoisen maan vedenjohtavuutta, koska se edistää raudan hapettumista huokokset tukkivaksi sakaksi. Turvekerroksen maatumisen jatkuessa on todennäköistä, että ojat mataloituvat ja että pellon vedenjohtavuus alenee edelleen. Huonon vedenjohtavuuden perimmäisenä syynä on tällöin turpeen maatuessa syntyvien humusaineiden kolloidinen ja vettäläpäisemätön rakenne.

Koska salaojakaivannon täytemaan vedenjohtavuus oli huomattavasti ympäristöään korkeampi, keskimäärin 1,7 cm/h, olisi edullista, jos pintavedet pääsisivät virtaamaan ojia kohti. Pellon pinnanmuoto on kuitenkin tässä mielessä kehno. Painanteet sijaitsevat pellon keskiosissa.

Pintakerroksen suuri tiheys (jopa 230 g/dm³) ja maatumisaste (täysin maatunutta) kertovat määrällä maalla ajamisen aiheuttamasta tiivistymisestä sekä viljelytoimenpiteiden

kiihdyttämästä maatumisesta. Kuormituksen aiheuttama tiivistyminen havainnollistui selvästi pellolle jääneissä traktorinjäljissä, joissa vesi viipyi viikkokausia.

Myös ojituksen mataluus on kuivatustehoa heikentävä tekijä. 80 - 100 cm:n ojitussyvyydellä pellon pintakerros saavuttaa 70 - 75 % kosteuden, mikä ei pellon kantavuuden kannalta ole riittävä. Pohjaveden pinta on pellon märimmissä osissa ollut parhaimmillaankin vain 30 - 40 cm:n syvyydessä.

Pohjaveden pinta kallistuu salaojia kohti. Sen perusteella ojat näyttävät toimivan, mutta maan huonon vedenjohtavuuden takia pohjaveden pinnan aleneminen on hidasta. Tilannetta pahentaa runsasvetisinä aikoina esiintyvä paineellinen pohjavesi.

Pohjaveden rautapitoisuus ja orgaanisen aineen runsaus turvemaassa muodostavat salaojissa esiintyneiden *Sphaerotilus*-bakteerien kannalta edullisen yhdistelmän. Toistaiseksi ruostesakkaa ei kuitenkaan ole niin runsaasti, että se olisi pääsyy kuivatusongelmiin. Raudan allohtonisen alku-perän vuoksi on tosin odotettavissa, että ruosteongelma ajan mittaan pahenee.

Epäiltyä kalkituksen rautayhdisteiden kanssa muodostamaa vettäläpäisemätöntä kerrosta ei tutkimuksessa havaittu. Kalkituksen merkittävin vaikutus lienee pH:n nousun johdosta tehostunut hajotus ja sitä seuraava pellon pintakerroksen mutautuminen. Kalkituksen vaikutus rajoittuu turpeen pintakerrokseen, jonka vedenjohtavuus oli kuitenkin hyvä pellolla monta vuotta rehottaneen ruohikon ansiosta.

Turvepellon salaojitusta suunniteltaessa olisi tärkeää tunnistaa ne turpeen ominaisuudet, jotka voivat aiheuttaa ojituksen toimintahäiriöitä. Avainasemassa on tällöin pellon vedenjohtavuuden mittaus. Vedenjohtavuudeltaan huonon turpeen kuivatus vaatii tiheän salaojituksen; muussa tapauksessa pelto ei sateiden välillä ehdi kuivua työskentelykuntoon.

Vedenjohtavuuden mittaus onnistuu nykyisillä menetelmillä suhteellisen nopeasti ja vaivattomasti myös maastossa. Toisaalta maastossa voidaan helposti määrittää turpeen maatumisaste. Turpeen vedenläpäisy- ja vedenpidätysominaisuudet riippuvat voimakkaasti maatumisasteesta, joten maatumisaste sopii hyvin salaojituksen soveltuvuutta turvepellolle kuvaavaksi ominaisuudeksi. Lisäksi pitkälle maatunut turve kulkee helpommin veden mukana, jolloin korkea maatumisaste kuvastaa myös salaojien liettymisriskiä.

Eggelsmann (1978) on esittänyt että turvepellon salaojitus kannattaa jos vedenjohtavuus ylittää arvon 0,25 cm/h. Päivänen (1973) on tutkinut maatumisasteen vaikutusta turpeen vedenjohtavuuteen suomalaisella aineistolla. Riippuvuuden perusteella salaojitusta voi suositella rahkaturpeille, joiden maatumisaste on korkeintaan H6. Saraturpeilla vastaava arvo on H8.

Pohjaveden rautapitoisuus on tekijä, jolla voidaan ennakoida salaojien ruostetukkeumia. Lisäksi on syytä selvittää pohjaveden pH, sillä mitä happamampaa vesi on, sitä suurempi on ruostesaostumavaara. Ruosteuhkaa voi myös arvioida silmämääräisesti havainnoimalla alueen avo-ojien ja luonnonvesien ulkonäköä. Veden pinnalla oleva kiiltävä kalvo, veden punaruskea väri tai sameus sekä pohjalla oleva ruostekerrostuma ovat merkkejä ruostevaarasta.

Toimivan salaojituksen suunnittelu ongelmapelloille vaatii tavanomaisesta poikkeavia ratkaisuja, joiden selvittämiseksi jatkotutkimukset ovat tarpeen. Huonosti läpäisevällä turpeella käyttökelpoinen ojitustapa saattaisi olla tiheä myyräojitus. Myös tiheään toistuvien sorasilmäkkeiden käyttö tai kaivannon täyttäminen läpäisevällä materiaalilla yhdessä pintavirtausten ohjailun kanssa voisi tehostaa ojitusta. Vanhoja, mutta nykyään kalliiksi käyneitä ratkaisuja ovat maanparannus sekoittamalla turpeeseen kiennäismaata sekä lautaputken käyttö ruosteisilla turveilla.

VIITELUETTELO

Ahti, E. 1972. Kenttäkapasiteetti ojitettujen turvemaiden vesisuhteiden ilmentäjänä. Suo 23(6), s. 105 - 109.

Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology. 2nd ed. New York, John Wiley & Sons Inc. 467 p.

Aslyng, H. C. 1970. Afvanding i jordbruget. København, Den Kgl. veterinaer- og landbohøjskole. 132 s. (Ref. Huh-tasaari 1980)

Brady, N. C. 1984. The Nature and Properties of Soils. 9th ed. New York, Macmillan Publishing Company. 750 p.

Chastukhin, V. I. 1967. Mikologiya i. Fitopatologiya, 1, 294. (Ref. Given & Dickinson 1975)

Danfors, B. 1970. Jord - fordon och maskiner. Uppsala, Jordbrukstekniska institutet, meddelande Nr 333. (Ref. Vak-kilainen 1980)

Eggelsman, R. 1960. Untersuchungen über Dränsackungen im Moor. Z.f. Kulturtechnik 1, S. 91 - 114. (Ref. Pessi 1966)

Eggelsman, R. 1978. Subsurface Drainage Instructions. ICID Bulletin 6. (Ref. McAfee 1984)

Eggelsman, R. & Mäkelä, T. 1964. Einfluss von Entwässerung und landwirtschaftlicher Nutzung auf die Durchlässigkeit des Moorbodens. Maat.-tiet. aikak. 36, S. 77 - 84.

Ekman, E. 1981. Non-energy producing use of peat. In: Report on Energy Use of Peat. Annex 3. Helsinki, Ministry of Trade and Industry of Finland. Pp. 50 - 58.

Elonen, P. 1977. Hyvä kylvöalusta maan rakennetta pilaa-matta. Käytännön maamies 4, s. 8 - 10.

Farnham, R. S. & Finney, H. R. 1965. Classification and properties of organic soils. Adv. Agronomy 17, pp. 115 - 162.

Ford, H. W. 1985. Iron ochre and related sludge deposits in subsurface drain lines. Gainesville, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. 12 p.

Given, P. H. & Dickinson, C. H. 1975. Biochemistry and microbiology of peats. In: Paul, E. A. & McLaren, A. D. (ed.). Soil Biochemistry Vol. 3. New York, Marcel Dekker inc. Pp. 123 - 212.

Hartikainen, H. & Niskanen, R. 1986. Humus maaperässä. Luonnon tutkija 90, s. 183 - 190.

Heikurainen, L. 1979. Peatland classification in Finland and its utilization for forestry. In: Kivinen, E. & Heikurainen, L. & Pakarinen, P. (ed.). Classification of Peat and Peatlands. Helsinki, International Peat Society. Pp. 135 - 146.

Heinonen, R. 1985. Suomen maaperä. Teoksessa: Köppä, P. (toim.). Kasvinviljelyoppi 1. 3. - 4. p. Helsinki, Kirjayhtymä. S. 45 - 67.

Heinonen, R. 1985b. Kasvutekijät. Teoksessa: Köppä, P. (toim.). Kasvinviljelyoppi 1. 3. - 4. p. Helsinki, Kirjayhtymä. S. 9 - 25.

Hiitiö, M. 1984. Tutkimus Soinin pellon ojituksen toimimattomuuden syistä. Salaojakeskus ry. Moniste. 12 s.

Hillel, D. 1982. Introduction to Soil Physics. New York, Academic Press Inc. 364 p.

Holmen, H. 1982. De organogena jordarna som odlingsjordar. 1. Kungl. Skogs- och Lantbruks Akad. Tids. 121, 3, s. 97 - 103.

- Hovde, P. 1987. Hvordan kan vi forbedre dreneringseffekten på tette jordarter. Aktuellt fra SFFL 1, s. 113 - 120.
- Huhta, V. 1973. Maaperäeläimistö. Teoksessa: Miettinen, M. & Kuronen, I. & Rautavaara, A. & Häyrinen, U. (toim.). Suoaapinen. Forssa, Luonto-liitto ja Suomen luonnonsuojeluliitto, Luonnonsuojelujulkaisuja Sarja A, N:o 2. S. 39.
- Huhtasaari, C. 1980. Om rostutfällningar i dräneringsledningar. En undersökning i Norrbottens län. Examensarbete i lantbrukets hydroteknik. Uppsala, Lantbruksuniversitet, avdelningen för lantbrukets hydroteknik. 75 s.
- Huikari, O. & Muotiala, S. & Wäre, M. 1963. Ojitusopas. Helsinki. 257 s.
- Ilnicki, P. 1982. Hysteresis der Wasserspannungskurve in organogenen Böden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 145, S. 363 - 374. (Ref. Päivänen 1982)
- Ilvessalo, Y. 1960. Soiden esiintyminen Suomessa. Suo 11, s. 55 - 62.
- International Peat Society. 1972. Classification of peat. Suo 23 (6), s. 117 - 120.
- Kaitera, P. 1954. Om uppskattning av markytans sättning vid torrlägningsarbeten. Ber. över Nord. Jordbruksforskarens fören. 9. kongress, s. 532 - 537. (Ref. Pessi 1966)
- Kakkuri, J. 1987. Character of the Fennoscandian land uplift in the 20th century. In : Perttunen, M. (ed.). Fennoscandian Land Uplift. Symposium proceedings. Espoo, Geological Survey of Finland, Special Paper 2, pp. 15 - 20.
- Keppeler, G. 1920. Bestimmung des Vertorfungsgrades von Moor- und Torfproben. J. Landwirtsch. 68, S. 43 - 70.
- Kivinen, E. 1968. On the spread and characteristics of bogs in Finland. Proc. 2nd. Int. Peat Congress, Leningrad 1968. Transl. Vol. 1, pp. 15 - 26.

Klute, A. 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of unsaturated soil. In: Black, C. A. & Evans, D.D. & White, J. L. & Ensminger, L. E. & Clark, F. E. Methods of Soil Analysis. 7th ed. Madison, American Society of Agronomy. Pp. 253 - 261.

Koutler-Andersson, E. 1953. The sulfosalicylic acid method for iron determination and its use in certain soil analysis. Ann. R. Agric. Coll. Swed. 20, s. 297 - 301.

Kox, E. 1954. Archiv. Microbiol. 20, 111. (Ref. Given & Dickinson 1975)

Kuntze, H. 1982. Iron Clogging in Soils and Pipes. Analysis and Treatment. Hamburg/Berlin/Boston/London/Melbourne, German Association for Water Resources and Land Improvement (DVWK), Bulletin. 123 p.

Latter, P. M. & Cragg, J. B. 1967. Journal of Ecology 55, 465. (Ref. Given & Dickinson 1975)

Latter, P. M. & Cragg, J. B. & Heal, O. W. 1967. Journal of Ecology 55, 445. (Ref. Given & Dickinson 1975)

McAfee, M. 1984. Drainage of peat soils. A literature review. Uppsala, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil Sciences, Division of Agricultural Hydrotechnics, Report 143. 41 p.

McLean, E. O. 1965. Aluminum. In: Black, C. A., Evans, D. D., White, J. L., Ensminger, L. E. & Clark, F. E. (ed.). Methods of Soil Analysis. Madison, American Society of Agronomy. Pp. 978 - 998.

Merva, G. E. 1979. Falling head permeameter for field investigation of hydraulic conductivity. ASAE Paper (79) No. 79-2515.

Pakarinen, P. & Tolonen, K. 1971. Rahkaturpeen maatumisasteen määrittäminen. Suo 22 (3 - 4), s. 48 - 50.

Peltomaa, R. 1983. Ruoste. Kuivatusseminaari Eerikkilän urheiluopistossa. Salaojakeskus ry. Moniste. 79 s.

Pessi, Y. 1966. Suon viljely. Porvoo, WSOY. 139 s.

Petersen, L. 1966. Ochreous deposits in drain pipes. Acta Agricult. Scand. 16, Pp. 120 - 128.

Pihlaja, K. 1986. Humuksen rakenne ja sen osatekijät. Luonnon tutkija 90, s. 158 - 168.

Poutanen, E.-L. 1986. Humuksen muodostuminen. Luonnon tutkija 90, s. 152 - 153.

Poutanen, E.-L. & Mäkinen I. 1986. Humuksen karakterisointiin ja määrittelykseen käytetyistä menetelmistä. Luonnon tutkija 90, s. 169 - 174.

Pringsheim, E. G. 1949. The filamentous bacteria Sphaerotilus, Leptothrix, Gladothrix and their relation to the iron and manganese. London, Phil. Trans. Roy. Soc., Ser. B 233. Pp. 453 - 462. (Ref. Seppänen 1974)

Puustinen, M. & Pehkonen, A. 1986. Salaojien toimintahäiriöt. Helsingin yliopisto, Maatalousteknologian laitos, Tutkimustiedote n:o 48. 71 s.

Puustjärvi, V. 1963. Turpeen vesitaloudesta. Suo 14, s. 56 - 62.

Puustjärvi, V. 1969. Ihanteellinen kasvualusta. Hankkijan saroilta 3/1969.

Puustjärvi, V. 1973. Kasvuturve ja sen käyttö. Turveteollisuusliitto r.y., Julkaisu n:o 1. 173 s.

Puustjärvi, V. 1976. Turpeen mikrorakenne. Puutarha-lehti 2/76.

Päivänen, J. 1973. Hydraulic conductivity and water retention in peat soils. Helsinki, Suomen metsätieteellinen seura, Acta Forestalia Fennica Vol. 129. 70 p.

Päivänen, J. 1982. Turvemaan fysikaaliset ominaisuudet. Helsinki, Helsingin yliopiston suometsätieteen laitos, julkaisu 2. 69 s.

Read, H. H. 1970. Rutley's Elements of Mineralogy. 26th ed. London, Thomas Murby & co. 560 p.

Rintanen, S. 1986. Hydraulisen johtavuuden mittaaminen, vaihtelu ja hyväksikäyttö salaojituksen mitoituksessa. Espoo, Teknillinen korkeakoulu, diplomityö. 94 s.

Sarasto, J. 1960. Turpeen maatumisasteen määrittämisestä. von Postin maatumisasteen ja Pjavitshenkon maatumisprosentin vertailu. Acta For. Fenn. 71.2. 16 s.

Sarles, W. B. & Frazier, W. C. & Wilson, J. B. & Knight, S. G. 1956. Microbiology. 2nd ed. New York, Harper & Brothers.

Segeberg, H. 1956. Über den Zusammenhang zwischen den "Humositätsgraden" nach von Post, den "Vertorfungsgraden" nach Keppeler und den spezifischen Gewichten von Hochmoortorfen. Z. Pfl. Ernährung., Bodenkunde 73 (118), S. 74 - 85.

Segeberg, H. 1960. Moorsackung durch Grundwasserabsenkung und deren Vorausberechnung mit Hilfe empirischer Formeln. Z. f. Kulturtechnik 1, S. 144 - 161.

Segeren, W. A. & Smits, H. 1974. Drainage principles and applications IV. Design and management of drainage systems. ILRI, Publ. No. 16. (Ref. McAfee 1984)

Sepponen, P. & Haapala, H. 1979. Ojituksen vaikutuksesta turpeen kemiallisiin ominaisuuksiin. Helsinki, Metsäntutkimuslaitos, Folia Forestalia 405. 16 s.

Seppänen, H. 1974. Käytännön vesimikrobiologiaa. Laborantti-lehti 1/1974.

Sihvonen, M.-L. & Heiniö, O. & Toivonen, J. & Yliruokanen, I. 1983. Ionien reaktioita. Otaniemi, Teknillinen korkeakoulu, peruskemian laboratorio. 143 s.

Solantie, R. & Ekholm, M. 1985. Water balance in Finland during the period 1961 - 1975 as compared to 1931 - 1960. Helsinki, Vesihallitus, Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 59. S. 29 - 53.

State Standard of the USSR. Peat. 1976. Method of the determination of the degree of decomposition. Trans. Working Group for Classification of Peat. Int. Peat. Soc. Pp. 59 - 67.

Stevenson, F.J. 1982. Humus Chemistry; Genesis, Composition, Reactions. New York.

Stevenson, F.J. 1985. Geochemistry of soil humic substances. In: Aiken, G.R., McKnight, D.M., Wershaw, R.L. and MacCarthy, P. (ed.). Humic Substances in Soil, Sediment and Water; Geochemistry, Isolation and Characterization. New York. Pp. 13 - 52. (Ref. Pihlaja 1986)

Stumm, W. & Lee, G.F. 1960. The chemistry of aqueous iron. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 22, Pp. 295 - 319. (Ref. Kuntze 1982)

Tamm, O. 1922. Eine Methode zur Bestimmung der anorganischen Komponente des Gelkomplexes im Boden. Stockholm, Statens Skogsförsöksanstalt. Medd. 19, s. 387 - 404.

Thorburn, A. A. & Trafford, B. D. 1976. Iron ochre in drains - a summary of present knowledge. Agricultural Development and Advisory Service, Technical Bulletin No 76/1. 16 p.

Tikkanen, T. 1986. Kasviplanktonopas. Helsinki, Suomen Luonnonsuojelun Tuki Oy. 278 s.

Urvas, L. 1985. Viljelyn vaikutus turpeen ravinnepitoisuuteen. Suo 36 (3), s. 61 - 64.

Urvas, L. & Sillanpää, M. & Erviö, R. 1979. The chemical properties of major peat types in Finland. International Symposium on Classification of Peat and Peatlands. Hyytiälä, Finland, Sept. 17-21, 1979. Helsinki, Int. Peat Society. Pp. 184 - 189.

Valmari, A. 1985. Suomen ilmasto maatalouden kannalta. Teoksessa: Köppä, P. (toim.). Kasvinviljelyoppi 1. 3.-4. painos. Helsinki, Kirjayhtymä. S. 27 - 44.

Vakkilainen, P. 1980. Tutkimus pellon tiivistymisen vaikutuksesta salaojituksen toimintaan. Vesitalous 2/1980, s. 23 - 28.

Virtanen, S. 1987. Raportti Jalasjärvellä tehdyistä tutkimuksista ja koetoiminnasta. Salaojakeskus ry. Moniste. 15 s.

Wiklander, L. 1978. Marklära. Uppsala. 223 s.

MSU-laitteen rakenne ja käyttö

Vedenjohtavuuden mittaaminen MSU-laitteella perustuu Darcyn lakiin, jonka mukaan maanäytteen läpäisevän veden virtausnopeus on suoraan verrannollinen virtausta aiheuttavaan painekorkeuteen ja kääntäen verrannollinen maanäytteen paksuuteen eli

$$v = k * h/s,$$

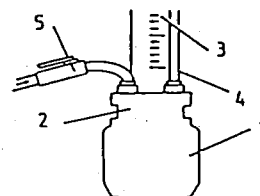
missä v on virtausnopeus, k on vedenjohtavuus, h on painekorkeus ja s on maanäytteen paksuus.

MSU-menetelmällä vedenjohtavuutta määritettäessä lasketaan virtausnopeus v veden pinnan alenemisesta painekorkeusputkessa. Veden pinnan alenemisnopeus saadaan mittaamalla aika t , jossa veden pinta laskee määrätyn matkan h . Virtausnopeus on tällöin h/t . Darcyn lain mukaan virtausnopeus kasvaa lineaarisesti painekorkeuden kasvaessa. Kun tiedetään virtausnopeus ja sitä vastaava painekorkeuden arvo, saadaan vedenjohtavuus lasketuksi kaavasta $k = v * s/h$.

Jotta vedenjohtavuus voidaan määrittää edellä kuvatulla tavalla, on veden pinnan alenemistä seurattaessa painekorkeuden muutos pidettävä vakiona koko mittauksen ajan. Koska vedenjohtavuus määritetään painekorkeuden muutokseen kuluneen ajan perusteella, voidaan lukemaväli ja aloituskorkeus valita vapaasti. Mittaus on nopea, koska pieninkin vesimäärän virtaaminen näytteen läpi havaitaan läpimitaltaan pienessä painekorkeusputkessa. Maanäytteen ja painekorkeusputken erilainen poikkileikkausala otetaan huomioon vedenjohtavuutta laskettaessa.

Vedenjohtavuus mitataan näytelieriön sisällä olevasta maanäytteestä. Tasoitettuun maahan juntatussa lieriössä olevan maanäytteen paksuus mitataan ja lieriöön kiinnitetään pikaliitin ja painekorkeusputki:

- 1 Maanäytelieriö
- 2 Pikaliitin
- 3 Mitta-asteikko
- 4 Painekorkeusputki
- 5 Veden syöttö



Laitteistoon kuuluu halkaisijaltaan erilaisia painekorkeusputkia. Mittaukseen käytettävä koko valitaan maan läpäisevyyden mukaan. Painekorkeusputken taakse asetetusta mitta-asteikosta seurataan vedenpinnan alenemistä. Laitteistoon kuuluvaan pientietokoneeseen syötetään lähtötiedoiksi maanäytteen paksuus, näytelieriön halkaisija ja painekorkeusputken halkaisija.

Mittaus aloitetaan syöttämällä maanäytelieriöön vettä. Kun veden pinta on noussut painekorkeusputkessa halutulle korkeudelle, lopetetaan veden syöttö, jolloin veden pinta alkaa laskea. Laskunopeus rekisteröidään pienoistietokoneeseen valitun matkan h välein. Tietokoneohjelma laskee aika-arvojen ja annettujen lähtötietojen perusteella maan vedenjohtavuuden pienimmän neliösumman menetelmällä. Tietokone laskee määritetyille arvoille myös selitysasteen R^2 , jonka perusteella voidaan arvioida mittauksen onnistuminen. Menetelmällä mitataan kyllästyneen maan vedenjohtavuutta. Koska maa ei välttämättä heti ole vedellä kyllästynyt, määrittäminen on uusittava, kunnes maa on kyllästynyt. Yhteen mittaukseen kuluu aikaa 10 - 15 minuuttia.