

<https://doi.org/10.3176/biol.1965.1.05>

H. SIMM, H. STARAST

## VÖRTSJÄRVE ÜLDINE HÜDROKEEMILINE ISELOOMUSTUS

Võrtsjärv on Eesti NSV territooriumil paiknevaist looduslikest siseveekogudest suurim. Sellel ligikaudu 270 km<sup>2</sup> suuruse pindalaga, Kesk-Eesti madalikul asetseval järvel on tähtis koht meie sisevete kalamajanduses. Vaatamata järve senisele küllaltki tagasihoidlikule kalaprodukt-sioonile (umbes 8—12 kg/ha), moodustab väljapüük Võrtsjärvest umbes 6—10% kogu Eesti sisevete kalatoodangust.

Vabariigi siseveekogude uurijate üks vajalikumaid ülesandeid on välja selgitada Võrtsjärve senise madala produktiooni põhjused ja välja töötada ettepanekud tema bioloogilise produktiivsuse tõstmiseks. Nimetatud küsimuse ratsionaalne lahendamine eeldab kõigepealt Võrtsjärve bioloogilis-ökoloogiliste tingimuste põhjalikku tundmist.

Vanem Võrtsjärve geoloogiat, hüdroloogiat, bioloogiat ja kalandust käsitlev kirjandus on napp; sellest võiks mainida üksnes paari tööd (Mühlen, 1919; Mühlen, Schneider, 1920). Hüdrokeemilised uurimused puudusid täiesti.

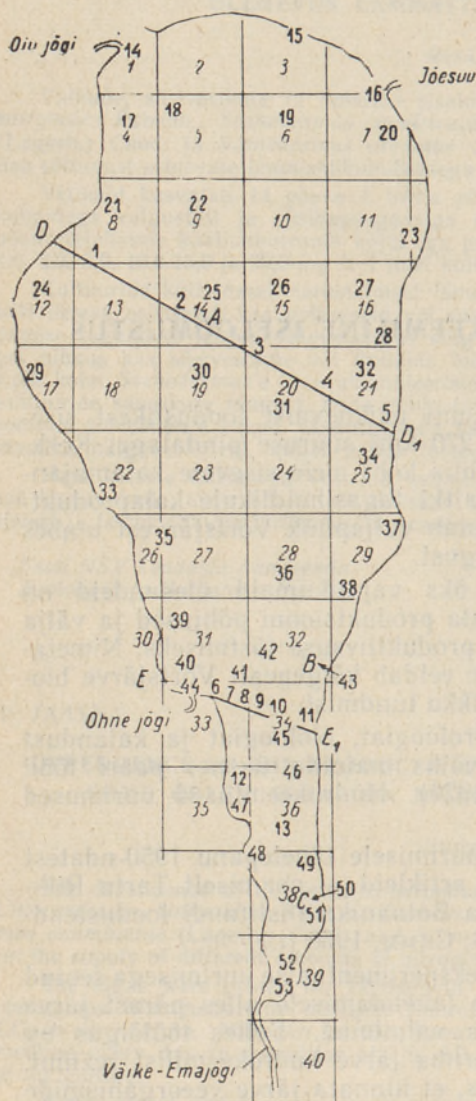
Seda enam pööratakse Võrtsjärve uurimisele tähelepanu 1950-ndatest aastatest alates. On ilmunud mitmeid artikleid — peamiselt Tartu Riikliku Ülikooli ja ENSV TA Zoologia ja Botaanika Instituudi loodusteadlaste sulest (Orviku, 1958; Vapen, 1958; Симм, 1958 jt.).

Osa Võrtsjärve puudutavaid, eriti eksperimentaalse uurimisega seotud produktioonbioloogilisi küsimusi tuleb lahendamisele alles pärast järve idakaldale ehitatava limnoloogiajaama valmimist. Selles tööloigis on ettevalmistava etapina asunud juba uurima järve hüdrokeemilist režiimi. Viimase tundmine on vajalik nii selleks, et hinnata järve veeorganismide elukeskkonnana, kui ka selleks, et prognoosida muutusi, mis toimuvad veekogus kalamajanduse intensiivistamise tagajärjel, eriti kui see on seotud järve hüdrooloogiliste tingimuste muutmisega.

Võrtsjärve hüdrokeemilise režiimi tundmaõppimiseks jälgiti vees lahustunud gaaside, biogeensete ja orgaaniliste ainete ning peamiste ionide sisalduse sesoonseid muutusi kahel teineteisele järgneval aastal (aastail 1953—1955) kolmes statsionaarses punktis (vt. joon. 1) — A (iseloomustab järve põhjaosa), B ja C (iseloomustavad järve lõunaosa ja kitsast lõunasoppi).

Veeproove keemiliseks analüüsiks võeti neli korda aastas: kevadel ning sügisel vee kõrgseisu perioodil ja suvel ning talvel vee madalseisu perioodil. Punktis A võeti proove pinnaveest ja põhjalähedastest veekihist (sügavus 3—4 m), samuti punktis B (sügavus 6—7 m); punktis C koguti ainult pinnaveeproove.

1953. a. suvel võeti veeproove hüdrokeemiliseks «täisanalüüsiks» ka 9 suurema Võrtsjärve suubuva jõe ning oja ja järvest väljavoolava Suur-Emajõe suudmest.



Joon. 1. Võrtsjärve uurimise skeem aastail 1953—1959. (Kalkkirjas nr-d tähistavad järve jaotusrüudustikku, püstkirjas nr-d — uuritud punkte.)

järve lõunasopis (punktis C) oli see suurem — üle 300 mg/l. Peamiste ionide sisaldus põhjalähedases veekihis ei erine oluliselt pinnaveest punktis A, punktis B on ta aga kõrgem (joon. 2, tab. 1).

Peamiste ionide sisalduse sesoonne kõikumine pinnavees ei ole punktides A ja B suure amplituudiga ja kulges uurimisperioodi vältel mõlemas analoogiliselt. Talvel esineb peamiste ionide maksimum, keva-

Juba 1953. ja 1954. aasta töötulemuste esialgne kokkuvõte (Симм, 1958) näitas, et nimetatud kolme statsionaarse punkti andmete põhjal on võimalik üldjoontes anda Võrtsjärve hüdrokeemilist iseloomustust. Järve hüdrokeemilise inertsuse ja pideva lainetuse tõttu (keskmiselt 3—4 kuud aastas on järv jääga kaetud) olid punktide A ja B hüdrokeemilised andmed väheerinevad. Erinevusi ilmnes järve lõunasopis (punkt C), peamiselt gaasirežiimis. Nende andmete põhjal võis oletada, et olulisemaid kõrvalekaldumisi hüdrokeemilisest üldrežiimist esineb peamiselt järve soppides ja sissevoolavate jõgede ümbruses, eriti talvel jääkatte all. Seda oletust kinnitas ka kalade suuremine 1939. ja 1957. a. talvel.

Järve üksikosade detailsemaks hüdrokeemiliseks iseloomustamiseks teostati aastail 1957—1959 täiendavaid uurimistöid järve sissevoolava 12 jõe ning oja suudmes ja 41 punktis üle kogu järve (joon. 1). Ühtlasi korraldi proovide võtmist statsionaarsetes punktides A, B, C. Pearõhk pandi järve talvise režiimi jälgimisele, kuid võrdluseks koguti proove samadest punktides ka 1958. a. suvel. Töömahu vähendamiseks määrati aastail 1957—1959 kogutud veeproovides ainult olulisemad hüdrokeemilised näitajad.

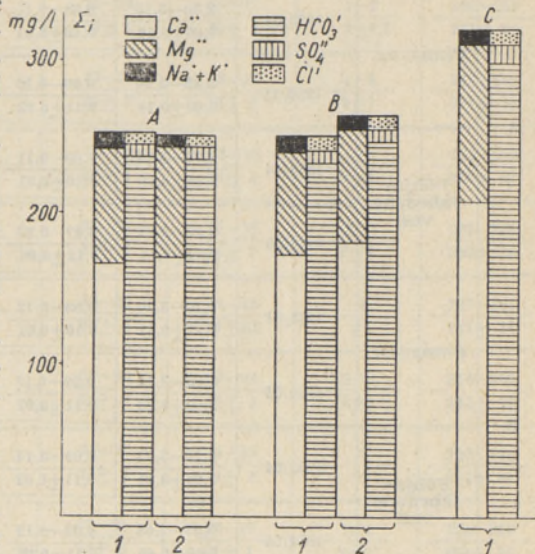
Käesolevas artiklis ei esitata Võrtsjärve füüsilis-geograafilisi ja geoloogilisi andmeid, sest neid on juba avaldatud (Орвику, 1958; Вапен, 1958).

### Sesoonsed hüdrokeemilised muutused Võrtsjärves

**Peamiste ionide sisalduse poolest** ületab Võrtsjärv Eesti järvede keskmise. Pinnavee ionide summa ( $\Sigma_i$ ) 1953.—1955. aasta keskmisena kõikus nii järve põhjaosas (punktis A) kui ka lõunaosas (punktis B) 250 mg/l ümber;

del kõrgveeperioodil — miinimum (joon. 3). Kevadise miinimumi põhjustab peamiselt järvevee tugev lahjendumine sulavetega, talvise maksimumi — sademete mõju puudumine ja jääteke, võib-olla ka sadestunud ühendite uuesti lahustumine. Punkti B põhjalähedases veekihi esineb talvel järsk peamiste ionide sisalduse tõus (joon. 4), mis võib iseloomulik olla ka kogu Väike-Emajõe voolusängi sügavamale osale Võrtsjärve idakalda läheduses.

Analoogiliselt enamikule Eesti järvedele kuulub ka Võrtsjärve vesi vesinikkarbonaatseesse klassi kaltsiumirühma II tüüpi. Pinnavee ja põhjalähedase veekihi ionikoostis punktides A ja B muutub sesoonselt vähe, kõikides tab. 1 esitatud piirides. Punktis C on peamiste ionide suhe ja nende sisalduse sesoonse muutumise üldsuund analoogilised eespool kirjeldatuga. Punkt C erineb aga punktides A ja B peamiste ionide kõrgema sisalduse ja selle järsemate sesoonsete muutuste poolest. Samuti on vee ionikoostise muutumise amplituud punktis C laiem kui punktides A ja B, eriti  $Ca^{2+}$  ja  $Mg^{2+}$  suhte osas. Need erinevused on tingitud eeskätt Väike-Emajõe mõjust, nagu selgus punktist C ja Väike-Emajõest peaaegu üheaegselt kogutud proovide hüdrokeemilisel võrdlemisel (andmed Väike-Emajõe kohta saadi kirjandusest



Joon. 2. Peamiste ionide sisaldus Võrtsjärve vees (1953.—1055. a. keskmisena mg-ekv. %-des): 1 — pinnavees, 2 — põhjalähedases veekihis.

— Гидрологический ежегодник, 1953, 1954, 1955).

**Orgaaniliste ainete** sisaldus Võrtsjärve vees vastab Eesti järvede keskmisele. Seega võib Võrtsjärve liigitada mesohumoossesse rühma (Simm, 1955).

Orgaaniliste ainete sisalduses ei ilmne kolmes statsionaarses vaatluspunktis märkimisväärseid erinevusi (joon. 5, tab. 2). Orgaaniliste ainete sisalduse sesoonseid kõikumisi näitavad pinnavee permanganaatse ja dikromaatse oksüdeeritavuse kõverad (joon. 6). Sesoonse dünaamika üldsuund on kõnealustes statsionaarsetes punktides sarnane: sügiseks kujuneb vee orgaaniliste ainete sisalduse maksimum, kevadel kõrgveeperioodiks — miinimum; vahepealsed suviste ja talviste seisude andmed erinevad üksteisest vähe.

Joon. 7 esitatakse võrdlevaid andmeid pinnavee ja põhjalähedase veekihi orgaaniliste ainete sisalduse kohta punktis B. Siit nähtub, et erinevused on üldjoontes väikesed ja seisnevad peamiselt põhjalähedase veekihi orgaaniliste ainete veidi kõrgemas sisalduses, võrreldes pinnaveega.

Võrtsjärve vees sisalduvate orgaaniliste ainete iseloomu kohta võib teha kaudseid järeldusi vee värvuse ja oksüdeeritavusprotsendi põhjal. Need andmed näitavad, et vee orgaanilised ained Võrtsjärves on peamiselt autohtoonse päritoluga. Oksüdeeritavusprotsent kõigis kolmes vaatluspunktis oli pidevalt < 40, kõikides 32—39 vahel (joon. 6 ja 7).

## Mineraalainete sisaldus Võrtsjärve

Vaatlus-punkt	Veeproovi võtmise		HCO <sub>3</sub> '	SO <sub>4</sub> ''	Cl'	Ca''	Mg''	Na' + K'
	koht	aeg						
			mg-ekv/l					
A	Pinnavesi	1953/54	$\frac{2,80-3,13}{2,90 \pm 0,14}$	$\frac{0,09-0,11}{0,10 \pm 0,01}$	$\frac{0,08-0,11}{0,09 \pm 0,02}$	$\frac{2,04-2,07}{2,06 \pm 0,01}$	$\frac{0,82-1,14}{0,92 \pm 0,13}$	$\frac{0,09-0,14}{0,11 \pm 0,02}$
		1954/55	$\frac{2,85-3,20}{3,00 \pm 0,14}$	$\frac{0,09-0,15}{0,11 \pm 0,02}$	$\frac{0,11-0,13}{0,12 \pm 0,01}$	$\frac{2,00-2,34}{2,12 \pm 0,13}$	$\frac{0,78-1,15}{0,95 \pm 0,14}$	$\frac{0,09-0,30}{0,16 \pm 0,09}$
	Põhja-lähedane vesi	1953/54	$\frac{2,77-3,13}{2,88 \pm 0,15}$	$\frac{0,09-0,11}{0,10 \pm 0,01}$	$\frac{0,09-0,12}{0,10 \pm 0,01}$	$\frac{2,04-2,31}{2,11 \pm 0,12}$	$\frac{0,82-0,90}{0,86 \pm 0,04}$	$\frac{0,09-0,17}{0,11 \pm 0,04}$
		1954/55	$\frac{2,90-3,13}{2,99 \pm 0,11}$	$\frac{0,07-0,23}{0,12 \pm 0,06}$	$\frac{0,12-0,13}{0,12 \pm 0,01}$	$\frac{2,00-2,40}{2,15 \pm 0,15}$	$\frac{0,89-1,10}{0,95 \pm 0,09}$	$\frac{0,07-0,17}{0,12 \pm 0,03}$
B	Pinnavesi	1953/54	$\frac{2,79-3,20}{2,92 \pm 0,17}$	$\frac{0,09-0,12}{0,10 \pm 0,01}$	$\frac{0,10-0,12}{0,10 \pm 0,01}$	$\frac{2,04-2,27}{2,12 \pm 0,09}$	$\frac{0,83-1,04}{0,89 \pm 0,09}$	$\frac{0,10-0,13}{0,12 \pm 0,01}$
		1954/55	$\frac{2,53-3,10}{2,90 \pm 0,23}$	$\frac{0,09-0,15}{0,11 \pm 0,02}$	$\frac{0,10-0,13}{0,12 \pm 0,01}$	$\frac{1,97-2,31}{2,16 \pm 0,13}$	$\frac{0,68-0,94}{0,83 \pm 0,10}$	$\frac{0,10-0,25}{0,14 \pm 0,06}$
	Põhja-lähedane vesi	1953/54	$\frac{2,79-3,77}{3,04 \pm 0,41}$	$\frac{0,09-0,14}{0,11 \pm 0,02}$	$\frac{0,09-0,13}{0,10 \pm 0,01}$	$\frac{2,06-2,71}{2,21 \pm 0,28}$	$\frac{0,81-1,20}{0,92 \pm 0,16}$	$\frac{0,10-0,13}{0,12 \pm 0,01}$
		1954/55	$\frac{2,65-3,08}{3,09 \pm 0,46}$	$\frac{0,09-0,15}{0,11 \pm 0,02}$	$\frac{0,10-0,13}{0,12 \pm 0,02}$	$\frac{2,04-2,72}{2,25 \pm 0,27}$	$\frac{0,78-1,24}{0,93 \pm 0,18}$	$\frac{0,07-0,24}{0,14 \pm 0,06}$
C	Pinnavesi	1954/55	$\frac{3,10-4,30}{3,57 \pm 0,47}$	$\frac{0,10-0,24}{0,17 \pm 0,07}$	$\frac{0,11-0,75}{0,13 \pm 0,02}$	$\frac{2,13-2,75}{2,51 \pm 0,26}$	$\frac{0,89-1,84}{1,24 \pm 0,38}$	$\frac{0-0,19}{0,12 \pm 0,08}$
		1953-1955	$\frac{3,10-4,30}{3,72 \pm 0,43}$	$\frac{0,10-0,24}{0,15 \pm 0,06}$	$\frac{0,10-0,15}{0,13 \pm 0,02}$	$\frac{2,13-2,89}{2,60 \pm 0,25}$	$\frac{0,89-1,84}{1,28 \pm 0,34}$	$\frac{0-0,19}{0,12 \pm 0,06}$

Märkus: Joone peal on antud aastase kõikumise amplituud, joone all — aritmeetiline keskmine koos eksimusega.

Vee värvuse sesoonsete muutuste skaala esitab toone kollakasrohelist (suvel ja sügisel) kuni pruunikaskollaseni (talvel ja kevadel). 1953. ja 1954. aastal oli vee värvus Pt-Co-skaala järgi 30—65°.

Orgaaniliste ainete peamiselt autohtoonsele päritolule viitavad ka vee värvuskoeffitsiendid\*, mis uurimisperioodil olid kõigis kolmes punktis madalad (<2,0).

Üldiselt on vee värvus punktis C kollakam või pruunikam kui punktides A ja B. Seetõttu on punktile C iseloomulikud värvuskoeffitsiendid pisut kõrgemad (1,3—1,9) kui punktides A ja B (0,9—1,5). Punkti C puhul tuleb aga arvestada vee tunduvalt kõrgemat rauasisaldust, võrreldes punktidega A ja B, mis kahtlemata mõjustab vee värvuse kujunemist kollaste toonide suunas.

Vee reaktsioon Võrtsjärves on nõrgalt aluseline. pH sesoonne kõikumine punktides A ja B on 7,8—8,8. Punktis C, mõjustatud Väike-Emajõe veest, on pH aastaringiselt madalam: 7,4—8,1. Joon. 8 näitab pH ja

\* Vee värvuskoeffitsient =  $\frac{\text{vee värvus kraadides}}{\text{dikromaatne oksüdeeritavus, mg/l O}_2}$

Tabel 1

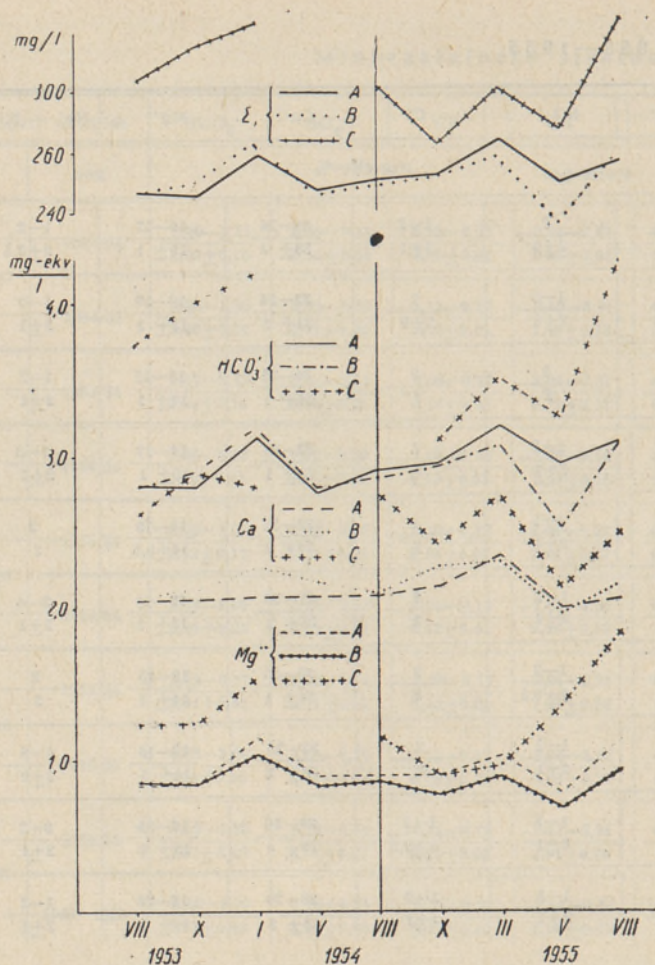
vees aastail 1953—1955

$\Sigma_i$	HCO <sub>3</sub> '	SO <sub>4</sub> ''	Cl'	Ca''	Mg''	Na' + K'	$\Sigma_i$
	mg-ekv-%						
$\frac{2,98-3,35}{3,09 \pm 0,15}$	$\frac{46-47}{46 \pm 1}$	$\frac{2}{2 \pm 0}$	$\frac{1-2}{2 \pm 1}$	$\frac{31-34}{33 \pm 2}$	$\frac{14-17}{15 \pm 1}$	$\frac{1-2}{2 \pm 0,5}$	$\frac{232-259}{241 \pm 11}$
$\frac{3,08-3,48}{3,23 \pm 0,18}$	$\frac{46-47}{46 \pm 0,5}$	$\frac{1-2}{2 \pm 0}$	$\frac{2}{2 \pm 0}$	$\frac{32-34}{33 \pm 2}$	$\frac{13-17}{15 \pm 2}$	$\frac{1-5}{2 \pm 1}$	$\frac{241-269}{251 \pm 12}$
$\frac{2,96-3,36}{3,08 \pm 0,17}$	$\frac{46}{46}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{34-35}{34 \pm 1}$	$\frac{13-15}{14 \pm 1}$	$\frac{1-2}{2 \pm 1}$	$\frac{230-262}{240 \pm 13}$
$\frac{3,02-3,48}{3,22 \pm 0,18}$	$\frac{45-47}{46 \pm 1}$	$\frac{1-3}{2 \pm 1}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{32-34}{33 \pm 1}$	$\frac{14-17}{15 \pm 1}$	$\frac{1-3}{2 \pm 1}$	$\frac{239-269}{250 \pm 12}$
$\frac{2,99-3,44}{3,12 \pm 0,19}$	$\frac{46-47}{46 \pm 1}$	$\frac{1-2}{2 \pm 1}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{33-35}{34 \pm 1}$	$\frac{14-15}{14 \pm 0,5}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{233-267}{242 \pm 14}$
$\frac{2,75-3,36}{3,13 \pm 0,24}$	$\frac{46-47}{46 \pm 1}$	$\frac{1-2}{2 \pm 1}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{32-36}{35 \pm 2}$	$\frac{12-14}{13 \pm 1}$	$\frac{2-4}{2 \pm 1}$	$\frac{214-262}{243 \pm 19}$
$\frac{2,99-4,04}{3,25 \pm 0,44}$	$\frac{46-47}{46 \pm 0,5}$	$\frac{1-2}{2 \pm 0,5}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{33-35}{34 \pm 1}$	$\frac{13-15}{14 \pm 1}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{233-314}{253 \pm 34}$
$\frac{2,89-4,10}{3,32 \pm 0,46}$	$\frac{46-47}{46 \pm 1}$	$\frac{1-2}{2 \pm 1}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{33-36}{34 \pm 1}$	$\frac{13-15}{14 \pm 1}$	$\frac{1-4}{2 \pm 0}$	$\frac{224-319}{258 \pm 36}$
$\frac{3,43-4,53}{3,87 \pm 0,42}$	$\frac{45-48}{46 \pm 2}$	$\frac{1-3}{2 \pm 1}$	$\frac{1-2}{2 \pm 0,5}$	$\frac{28-36}{33 \pm 4}$	$\frac{12-20}{15 \pm 4}$	$\frac{0-2}{2 \pm 1}$	$\frac{266-349}{299 \pm 32}$
$\frac{3,43-4,53}{4,00 \pm 0,39}$	$\frac{45-48}{47 \pm 2}$	$\frac{1-3}{2 \pm 1}$	$\frac{1-2}{2 \pm 1}$	$\frac{28-36}{33 \pm 3}$	$\frac{12-20}{15 \pm 3}$	$\frac{1-2}{2 \pm 1}$	$\frac{266-349}{310 \pm 30}$

CO<sub>2</sub>/CO<sub>3</sub>'' sesoonset režiimi Võrtsjärve pindmises veekihi. pH muutuste kõverad järgivad CO<sub>2</sub>/CO<sub>3</sub>'' muutusi. Erandi moodustavad 1954. a. sügisese andmed, kus tõenäoliselt on tegemist kas pH või CO<sub>2</sub>/CO<sub>3</sub>'' määramise veaga. Sellele viitavad ka vesinikkarbonaatsest tasakaalust arvutatud pH võrdlusandmed (joon. 9). Arvutatud pH väärtused on määramisel saadud pH väärtustest kas süstemaatiliselt suuremad või ühtivad nendega. Kõikuvusi esineb 0—0,5 pH-ühiku piires (keskmiselt 0,3), ainult 1954. a. sügiseste andmete puhul on vahe tunduvalt suurem.

Pindmise ja põhjalähedase veekihi pH, samuti CO<sub>2</sub>/CO<sub>3</sub>'' erinevused ühes ja samas punktis ei ole suured (vrd. joon. 9). Olulisemad erinevused nii punktis A kui ka B ilmnevad suvel — intensiivse fotosünteesi perioodil — ja punktis B ka talvel — põhjamuda orgaanilise aine lagunemisel eralduva CO<sub>2</sub> tõttu.

**Hapnikusisalduse** sesoonne muutumine kulgeb Võrtsjärve eri osades erinevalt. Punktis A on hapnikusisaldus kogu aasta vältel kõrge: pinna-vees 8,92—11,37 mg/l O<sub>2</sub>, põhjalähedases veekihi 9,06—14,05 mg/l O<sub>2</sub>. Selgub, et punktis A on hapnikusisaldus nii pindmises kui ka põhjalähe-

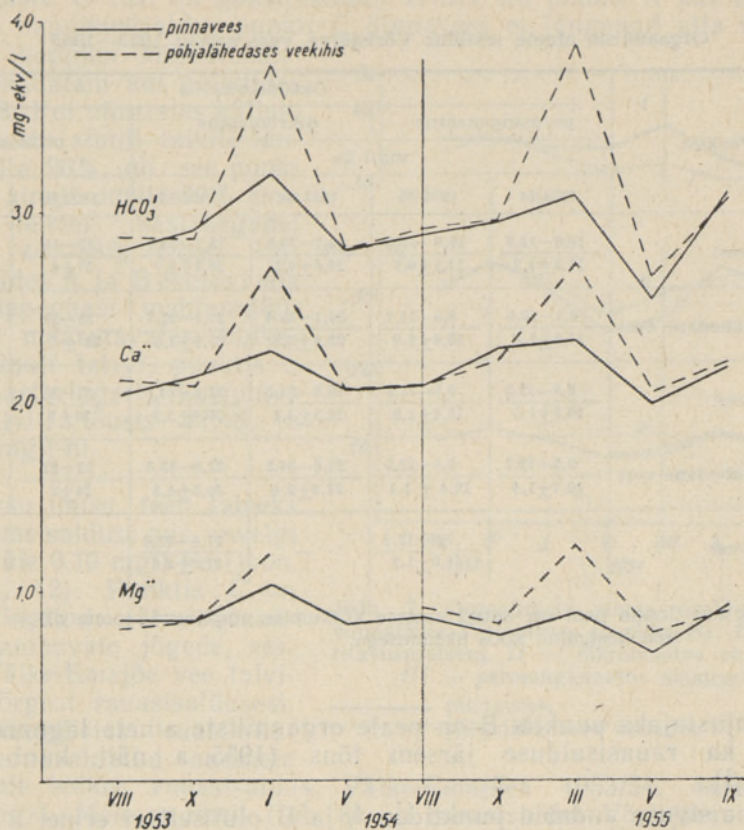


Joon. 3. Peamiste ionide sesoonne dünaamika Võrtsjärve vees (statsioonarsetes vaatluspunktid).

dases veekihi kõrgeim talvel ja madalaim suvel (joon. 10), mis on tingitud vee temperatuuri mõjust hapniku lahustumisele. Peale lahustumise toimuvad veekogus ka hapniku tarbimise protsessid. Mõlemate protsesside vahelise tasakaalu hindamiseks absoluutarvude võrdlemisest (s. o. arvutatuna mg/l) enamasti ei piisa. Nende protsesside suhetest veekogus saab ülevaate vees tegelikult sisalduva (s. o. analüütiliselt määratud) hapnikuhulga võrdlemisel teoreetilise hapnikuhulgaga. Viimane kujutab endast vastavalt vee temperatuurile teoreetiliselt lahustuvat hapnikuhulka. Joon. 10 näitab, et punktis A kulgevad vees tegelikult sisalduva hapnikuhulga ja teoreetilise hapnikuhulga sesoone muutumise kõverad üldjoontes samasuunaliselt.

Peaaegu kogu uurimisperioodil (välja arvatud 1953. ja 1955. a. suvises pinnaveeproovides) oli vees tegelikult sisalduv hapnikuhulk punktis A madalam teoreetilisest hapnikuhulgast (89–99% küllastumusest, vt. joon. 13). See viitab veekogus toimuvatele oksüdeerumisprotsessidele, mis peamiselt on orgaanilise aine lagunemisega seotud, sest raudioonide sisaldus Võrtsjärves on väike.

Fotosünteesist tingituna oli tegelik vees lahustunud hapniku sisaldus



Joon. 4. Peamiste ionide sesoonne dünaamika Võrtsjärves (punktis B).

1953. ja 1955. aastal suviste proovide võtmise ajal võrdne teoreetilise hapnikusisaldusega või sellest kõrgem. Sellele viitavad ka vee läbipaistvuse andmed: suviti on läbipaistvus minimaalne, talviti maksimaalne. 1954. aastal ei võetud suviseid veeproove fütoplanktoni intensiivse elutegevuse perioodil, mistõttu hapniku küllastumusprotsent vees oli madal. Pinnaveest ja põhjalähedastest veekihist võetud proovid erinevad punktis A nii hapniku- kui ka rauasisalduse poolest väga vähe. Punktis B on pindmiste ja põhjalähedaste veekihtide erinevused hapnikusisalduses, samuti ka teoreetilises ja tegelikus hapnikuhulgas suuremad kui punktis A (vrd. joon. 10 ja 11). Tunduvalt laiema amplituudiga on punktis B ka hapnikusisalduse sesoonne kõikumine. Välja arvatud talvine periood, on nii hapniku absoluutne hulk kui ka küllastumusaste punktis B suur: pinnavees 8,96–14,71 mg/l O<sub>2</sub> (87–100%), põhjalähedases veekihis 8,72–11,50 mg/l O<sub>2</sub> (88–99%). Talveks langes hapniku hulk (eriti põhjalähedases veekihis) järsult, moodustades pinnavees 72% (1955. a.) ja põhjalähedases veekihis ainult 62 ja 47% küllastumusastest (joon. 13). Erandlikult oli 1954. a. jaanuaris võetud pinnaveeproov kõrge hapnikusisaldusega, mis tõenäoliselt oli tingitud suhteliselt lühiaegselt jääkatte all viibimisest (1955. a. talvine proov võeti märtsis). Talvisele madalale hapnikusisaldusele ja madalale hapniku küllastumusastmele viitavad ka vee CO<sub>2</sub>-sisalduse erinevused 1954. ja 1955. a. talvistes pinnaveeproovides (1,58 ja 7,33 mg/l). Võib arvata, et talvise hapnikusisalduse lan-

Tabel 2

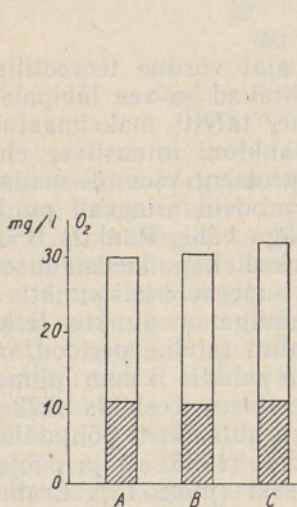
## Orgaaniliste ainete sisaldus Võrtsjärve vees aastail 1953—1955

Vaatluspunkt	Veekiht	Oksüdeeritavus					
		permanganaatne		dikromaatne		protsentides	
		mg/l O <sub>2</sub>					
		1953/54	1954/55	1953/54	1954/55	1953/54	1954/55
A	Pinnavesi	10,0—13,0 11,0±1,2	10,0—12,3 11,1±0,9	22,7—33,8 29,6±4,2	28,7—33,4 30,8±1,7	33—44 37±4	33—37 36±2
	Põhjalähedane vesi	9,1—12,6 11,2±1,3	9,5—11,7 10,8±0,9	24,1—33,4 29,9±3,5	27,2—31,3 29,9±1,6	35—39 38±2	32—38 36±2
B	Pinnavesi	8,8—12,5 10,5±1,5	9,3—11,8 10,4±1,0	25,5—34,5 29,9±3,4	27,6—34,5 30,4±3,2	35—38 36±1	31—38 35±3
	Põhjalähedane vesi	9,0—12,7 10,7±1,4	8,6—12,5 10,4±1,4	27,8—34,5 31,3±2,4	22,8—33,8 30,3±4,3	32—37 34±2	31—38 33±3
C	Pinnavesi	—	7,8—12,9 11,0±1,2	—	27,6—33,8 31,3±2,6	—	36—39 38±1

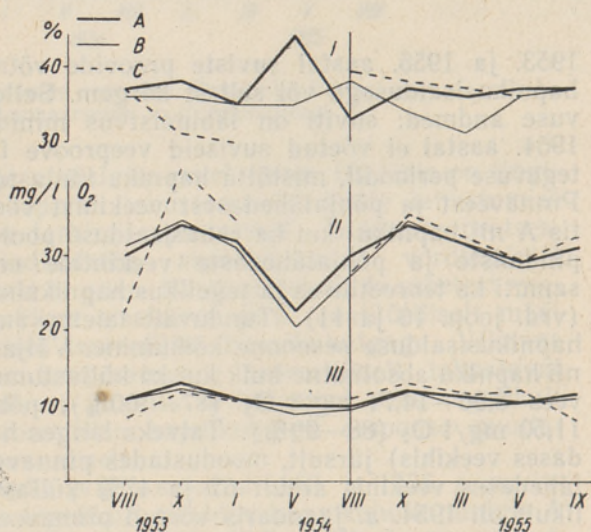
Märkus: Joone peal on antud aastase kõikumise amplituud, joone all — aritmeetiline keskmine koos eksimusega.

guse põhjustajaks punktis B on peale orgaaniliste ainete lagunemisprotsesside ka rauasisalduse järsem tõus (1955. a. näit. kuni 0,34 ja 0,46 mg/l).

Läbipaistvuse andmed punktides A ja B oluliselt ei erine.



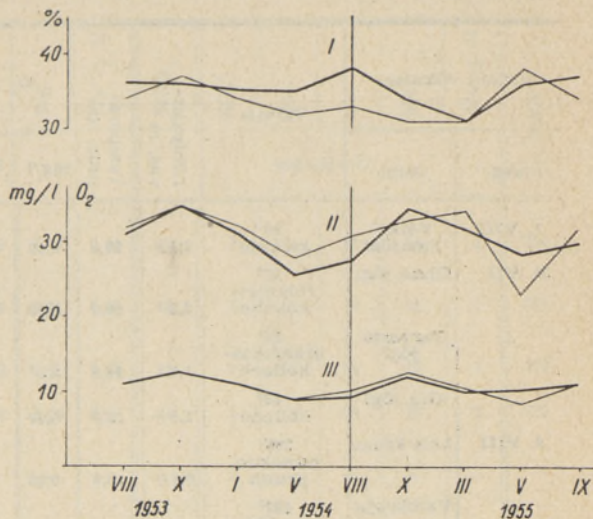
Joon. 5. Orgaaniliste ainete sisaldus Võrtsjärve vees. Tulba kõrgus näitab dikromaatset oksüdeeritavust, viirutatud osa kõrgus — permanganaatset oksüdeeritavust.



Joon. 6. Orgaaniliste ainete sisalduse sesoonne dünaamika Võrtsjärve vees (statsioonarsetes vaatluspunktides): I — oksüdeeritavusprotsent, II — dikromaatne oksüdeeritavus, III — permanganaatne oksüdeeritavus.



Punkti C vesi on gaasirežiimilt erinev nii punkti A kui ka B veest. Kuigi hapnikusisaldus punkti C pinnavees ei langenud alla 6 mg/l, on temas hapniku küllastumusaste madalam kui punktides A ja B. Kui viimastes küllastumusaste ainult talviti langes alla 90%, oli see punktis C ainult suviti 90% ümber, teistel aastaegadel ainult 44–88% (joon. 13). Punktides A ja B esines vaba süsihappegaasi mahtanalüütiliselt määratavates hulka-des ainult talvel, punktis C aga aastaringsest, kusjuures ta talviti tõusis 11,48 ja 17,40 mg/l-ni.



Joon. 7. Orgaaniliste ainete sisalduse sesoonne dünaamika Võrtsjärves (punktis B): I — oksüdeeritavusprotsent, II — dikromaatne oksüdeeritavus, III — permanganaatne oküdeeritavus.

— pinnavees,  
— põhjalähedases veekihis.

Järsu tõusu teeb talveks ka rauasisaldus, mis suvelgi püsib üle 0,10 mg/l Fe (joon. 10, 11, 12). Punktis C on see tingitud järve lõunaossa suubuvate jõgede, eeskätt Väike-Emajõe vee talvi-sest kõrgest rauasisaldusest. Hüdroloogilistes aastaraamatutes avaldatud andmete kohaselt kõikus rauasisaldus Väike-Emajões 1953/54. aastal 0,07—2,30 mg/l. Meie andmeil (tab. 8) oli rauasisaldus Võrtsjärve lõunaossa suubuvate jõgede vees 1959. a. talvel 0,51—0,69 mg/l Fe.

**Biogeensed ained.** Rauasisaldust käsitleti juba eespool, seoses järve gaasirežiimiga (vastavaid andmeid vt. joon. 10, 11 ja 12).

Fosfori- ja lämmastikusisaldus on Võrtsjärves üllatavalt madal, kuigi järv ei ole vaene autohtoonsest orgaanilisest ainest, mis lagunemisel peaks vett biogeensete ainetega rikastama. Reeglipäraselt leidub fosforit ja lämmastikku ainult punktis C sügisel ja talvel (P min./lah. oli 0,018—0,027 mg/l,  $\text{NO}_2' + \text{NO}_3'$  oli 0,2—1,0 mg/l).

Ränisisaldus kõigub Võrtsjärves 0,8—3,0 mg/l Si piires, kusjuures erinevatest punktidest ja nende erinevatest horisontidest samaaegselt võetud veeproovid peaaegu ei erinenud. Ränisisaldus oli maksimaalne talviti.

Võrtsjärve suubuvate jõgede ja ojade suudmeis 0—1 m sügavuses veekihis olid hüdrokeemilised andmed 1953. a. suvel mõnevõrra erinevad Võrtsjärve omadest (tab. 3).

Peamiste ionide sisaldus oli kõikide sissevoolavate jõgede vees (välja arvatud Leie kraavis ja Vaibla ojas) kõrgem kui Võrtsjärves. Rõngu ja Tarvastu jões, mis on peamiste ionide poolest rikkamad, ületas nende sisaldus vastavad väärtused punktide A ja B pinnavees 1,8- ja 1,6-kordselt.

Ioonkoostise poolest ei olnud lahkuminekuid sissevoolavate jõgede ja Võrtsjärve vete vahel. Mõnevõrra erinev on Vaibla oja madalama  $\text{HCO}_3'$  ja  $\text{Mg}''$  mg-ekv-% ja kõrgema  $\text{Cl}'$  ja  $\text{Ca}''$  mg-ekv-% poolest, mis on tingitud vee reostatusest. Teiste jõgedega võrreldes väiksem

## Vee keemiline koostis Võrtsjärve suubuvate jõgede ja ojade suudmes

Proovi võtmise		Värvus	Läbipaistvus, m	Temperatuur, °C	O <sub>2</sub>		CO <sub>2</sub> /CO <sub>3</sub> , mg/l	pH	Perman-	Dikro-	Fe	P			
aeg	koht				oksüdeeritavus				mg/l	%			mg/l O <sub>2</sub>	%	mg/l
					mg/l O <sub>2</sub>	%									
1. VIII	Väike-Emajõgi	30° kollane	2,4	20,3	8,19	88	—	7,9	7,4	20,0	37	0,08	0		
30. VII	Ohne jõgi	17° rohekas-kollane	3,2	20,0	9,03	96	—	8,0	7,7	14,5	53	0,34	0		
"	Tarvastu jõgi	46° oranžikas-kollane	1,1	16,9	8,07	81	10,03	7,7	9,6	18,9	51	1,40	0,010		
"	Oiu jõgi	46° kollane	1,6+	20,3	8,07	86	1,76	7,9	11,5	25,3	45	0,16	0		
4. VIII	Leie kraav	286° punakas-pruun	0,4+	16,8	7,05	71	3,34	7,4	40,4	72,2	56	0,46	—		
"	Vaibla oja	182° oranžikas-kollane	0,3+	19,1	11,20	117	8,40	8,5	35,6	71,1	50	0,42	0,029		
"	Sangla oja	56° oranžikas-kollane	0,5	20,2	8,47	90	7,50	8,2	12,8	29,4	44	0,30	0,001		
"	Nigula oja	47° oranžikas-kollane	1,3+	18,0	8,77	90	2,29	8,0	10,9	23,8	46	0,58	0		
1. VIII	Rõngu jõgi	21° oranžikas-kollane	3,2+	18,0	7,74	79	—	7,9	9,3	17,8	52	0,32	0		
31. VII	A statsio- naar	30° kollakas-roheline	0,6	19,4	9,74	103	12,60	8,7	11,1	30,0	37	0,12	0		
1. VIII	B "	30° rohekas-kollane	0,7	19,2	9,53	100	12,00	8,8	11,0	30,7	36	0,12	0,002		
"	C "	30° kollane	2,5+	20,3	9,82	94	—	8,0	8,5	22,7	37	0,10	0		

+ Vesi on põhjani läbipaistev.

Ca<sup>++</sup> ja Mg<sup>++</sup> suhe esineb Nigula ojas. Orgaaniliste ainete üldhulgalt on sissevoolavate jõgede vesi Võrtsjärve omast üldiselt vaesem (nähtub dikromaatse oksüdeeritavuse andmeist tab. 3). Vaibla oja ja Leie kraavi vett aga iseloomustab kõrge orgaaniliste ainete sisaldus: nende vee dikromaatne oksüdeeritavus on üle kahe korra kõrgem kui Võrtsjärves. Kõikides uuritud sissevoolavate jõgede ja ojade (välja arvatud Väike-Emajõgi) vetes näib huumusainetel orgaaniliste ainete koosseisus olevat suurem osatähtsus kui Võrtsjärve vees, nagu nähtub oksüdeeritavusprotsendist ja värvuskoeffitsiendist. Huumusainete sisaldust iseloomustavad teatavasti kõrge oksüdeeritavusprotsent (>40%) ja suur värvuskoeffitsient.

Värvuskoeffitsiendi puhul tuleb arvestada, et peale huumusainete mõjustavad teda oluliselt ka fütoplankton ja vee rauasisaldus. Viimane on paljude sissevoolavate jõgede vees kõrge.

Rikkalik huumusainete sisaldus iseloomustab Vaibla oja ja Leie kraavi vett, nagu näitavad kõrge oksüdeeritavusprotsent ja suur värvuskoeffitsient. Ohne ja Rõngu jõgi paistavad silma vee suure läbipaistvuse ja madala intensiivsusega värvuse poolest.

Üldiselt iseloomustab Võrtsjärve suubuvate jõgede vett (välja arvatud

Tabel 3

ning Võrtsjärve statsioonarsetes vaatluspunktides 1953. a. suvel

j.	NO <sub>2</sub> ' + NO <sub>3</sub> ' mg/l	Si	Värvus- koeffitsient		HCO <sub>3</sub> '	SO <sub>4</sub> '	Cl'	Ca''	Mg''	Na' + K'	HCO <sub>3</sub> '	SO <sub>4</sub> '	Cl'	Ca''	Mg''	Na' + K'	Σ, mg/l
			per- man- gan.	dikro- maat- ne													
j.	1,9	2,5	1,5		3,93	0,20	0,11	2,82	1,28	0,14	47	2	1	33	15	2	329
0	1,2	2,2	1,2		4,13	0,09	0,11	2,97	1,31	0,05	48	1	1	34	15	1	337
0,1	2,3	4,8	2,4		4,50	0,16	0,10	3,29	1,42	0,05	47	2	1	34	15	1	370
0,2	2,1	4,0	1,8		4,05	0,06	0,09	2,86	1,29	0,05	48	1	1	34	15	1	327
0,2	0,9	7,1	4,0		2,00	—	0,11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,2	0,8	5,1	2,6		3,10	0,09	0,24	2,59	0,69	0,15	45	1	4	38	10	2	266
0,1	1,6	4,4	1,7		3,93	0,15	0,14	2,76	1,38	0,08	46	2	2	33	16	1	326
j.	2,4	4,3	2,0		3,90	0,12	0,12	2,41	1,54	0,19	47	1,5	1,5	29	19	2	320
0,1	1,9	2,3	1,2		5,00	0,35	0,12	3,46	1,71	0,30	46	3	1	31	16	3	424
0,1	1,5	2,7	1,0		2,61	0,10	0,08	2,04	0,83	0,12	47	2	1	34	14	2	233
0,2	1,5	2,7	1,0		2,79	0,10	0,11	2,04	0,85	0,11	46	2	2	34	14	2	233
0	1,9	3,5	1,3		3,73	0,10	0,10	2,59	1,23	0,11	48	1	1	33	16	1	306

Väike-Emajõgi) tunduvalt kõrgem rauasisaldus (0,30—1,40 mg/l Fe), võrreldes järvega. Teistest biogeensetest ainetest leidis Võrtsjärve sissevoolu vees 1953. a. suvel 0—0,2 mg/l NO<sub>2</sub>' + NO<sub>3</sub>'. Fosforisisaldus (P min./lah.) oli enamasti võrdne analüütilise nulliga, olles kõrgem ainult Tarvatu jões ja Vaibla ojas. Ränisisalduselt ei erinenud sissevooluveed oluliselt järve veest.

Lahustunud hapniku sisaldus sissevoolavate jõgede vees ületab 9 mg/l (küllastumusaste 90%) ainult Ohne jõe ja Vaibla oja suudmes. Seega oli sissevoolavate jõgede hapnikusisaldus Võrtsjärve vee hapnikusisaldusest (arvutatuna nii absoluutsele kui ka suhtelistele väärtustele) 1953. a. suvel üldiselt madalam. Tõenäoliselt on see tingitud enamiku jõgede vee rauarikkusest, suuremast huumusainete sisaldusest orgaaniliste ainete koosseisus ja madalamast fotosünteesi produktiivsusest, võrreldes järvega. Viimast oletust kinnitavad ka andmed jõgede vee pH ja vaba süsihappegaasi sisalduse kohta. pH-väärtused jõgede vees on järvega võrreldes tunduvalt madalamad. pH ≥ 8,2 ja sellele vastavat vaba süsihappegaasi kahanemist analüütilise nullini esines ainult Sangla ja Vaibla ojas. Kõikide teiste jõgede vees leidis vaba süsihappegaasi määrataval hulgal.

## Vee keemiline koostis Suur-Emajõe suudmes

Proovi võtmise		Värvus	Läbipaistvus, m	Temperatuur, °C	O <sub>2</sub>		CO <sub>3</sub> <sup>''</sup> , mg/l	pH	Permanan-		Dikromaadne		Fe	P min./lah.		
aeg	koht				oksüdeeritavus				mg/l	%	mg/l O <sub>2</sub>	%			mg/l	%
					mg/l	%										
31. VII 1953	Suur-Emajõgi	17 <sup>o</sup> rohekas-kollane	0,5	19,2	9,29	97	12,90	8,8	11,5	27,5	42	0,10	0			
"	Võrtsjärv	30 <sup>o</sup> kollakas-roheline	0,6	19,4	9,74	103	12,60	8,7	11,1	30,0	37	0,12	0,002			
11. V 1954	Suur-Emajõgi	rohekas-kollane	2,0	14,1	10,27	98	6,90	8,3	8,5	22,1	38	0	—			
"	Võrtsjärv	rohekas-kollane	1,6	13,5	10,54	99	3,90	8,3	10,0	22,7	44	0,04	—			
18. III 1958	Suur-Emajõgi	rohekas-kollane	0,5	0,5	11,57	80	—	7,9	9,7	36,9	26	0	—			
19. III 1958	Võrtsjärv	kollane	1,9	0	14,09	96	—	8,0	10,5	45,6	23	j.	—			
25. VI 1958	Suur-Emajõgi	rohekas-kollane	1,1	16,8	8,98	90	—	8,6	7,4	27,3	27	0,06	—			
24. VI 1958	Võrtsjärv	kollane	1,5	16,6	9,14	91	—	8,7	8,3	35,9	23	0,10	—			
21. III 1959	Suur-Emajõgi	rohekas-kollane	2,3	1,4	13,81	98	—	8,1	—	—	—	0	—			
13. III 1959	Võrtsjärv	rohekas-kollane	2,6	1,2	13,30	93	—	8,0	—	—	—	0,02	—			

Võrtsjärvest väljavoolava Suur-Emajõe suudme vett iseloomustavad tab. 4 esitatud andmed. Siin tuuakse paralleelselt Suur-Emajõe suudme hüdrokeemiliste andmetega (kogutud pinnaveest) Võrtsjärves punktist A samaaegselt kogutud andmed, mis võimaldab võrrelda Võrtsjärvest väljavoolavat vett järve põhjaosa veega.

Tabelist 4 nähtub, et üldjoontes on Võrtsjärves punktist A ja Suur-Emajõe suudmest samaaegselt kogutud proovide hüdrokeemilised erinevused väikesed. Seega iseloomustab punktist A võetud veeproov üldjoontes ka Suur-Emajõe suudmeala vett. Olulisemaid erinevusi võib esineda talvises gaasirežiimis.

## Võrtsjärve talvine hüdrokeemiline režiim

Võrtsjärve talviste hüdrokeemiliste tingimuste, eriti hapnikurežiimi detailsemaks uurimiseks võeti 1957. a. talvel proove kahel horisontaalprofiilil — DD<sub>1</sub> ja EE<sub>1</sub> — ning paaris punktis järve lõunasopis, kokku 13 punktis kahest kuni neljast veehorisondist. Proovivõtmispunktid on märgitud joon. 1 numbritega 1—13 ja analüüsi tulemused esitatakse tab. 5.

1958. ja 1959. aastal jätkati Võrtsjärve talvise hüdrokeemilise režiimi uurimist. Veeproove võeti võimalikult laialdaselt üle kogu järve, eriti tihedalt järve ahnenud lõunaosast ja olulisematest sissevoolavatest jõgedest ning ojadest (joon. 1 punktid 14—53). Võrdluseks korrati proovide võtmist enamikust punktidest ka 1958. a. suvel. Määramiste tulemused esitatakse tabelis 6, 7 ja 8.

Hapnikurežiim. 1957. a. talvised andmed näitasid, et Võrtsjärve pinnavee hapnikupuudust ei esinenud, sest hapnikusisaldus moodustas profiilil DD<sub>1</sub> 66—97% küllastumusest, profiilil EE<sub>1</sub> ja lõunapoolseis punktides 72—92%. Tunduvalt madalam oli see aga mitme punkti põhjalähedastes veekihtides, langedes paiguti (punktides 12 ja 13)

Tabel 4

ja Võrtsjärve statsionaarses vaatluspunktis A

mg/l	Si	HCO <sub>3</sub> '	SO <sub>4</sub> ''	Cl'	Ca''	Mg''	Na' + K'	HCO <sub>3</sub> '	SO <sub>4</sub> ''	Cl'	Ca''	Mg''	Na' + K'	Σ t <sub>i</sub> mg/l
0	1,3	2,85	0,12	0,08	2,16	0,83	0,06	47	2	1	35	14	1	237
0,1	1,5	2,81	0,10	0,08	2,04	0,83	0,12	47	2	1	34	14	2	233
0	0,5	2,65	0,09	0,09	1,98	0,82	0,03	46	2	2	35	14	1	222
0	2,3	2,85	0,10	0,09	2,06	0,89	0,09	47	2	2	34	15	1	236
-	-	3,38	-	-	2,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	3,50	-	-	2,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	2,75	-	-	2,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	2,73	-	-	2,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

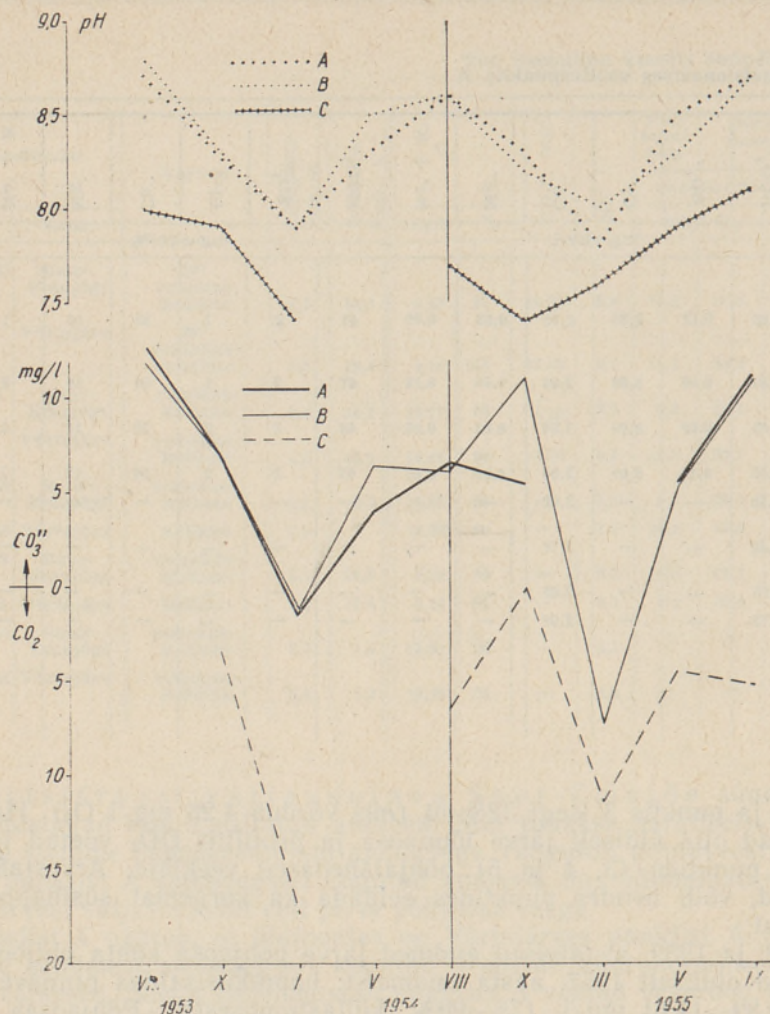
43%-ni ja punktis 3 isegi 32%-ni (mis võrdub 4,28 mg/l O<sub>2</sub>). Hapnikuvaesemad olid üldiselt järve lõunaosa ja profiililt DD<sub>1</sub> võetud idapoolsemate punktide (3, 4 ja 5) põhjalähedased veekihtid. Arvestades pH andmeid, võib nendes punktides eeldada ka kõrgemat süsihappegaasisaldust.

1958. ja 1959. a. talvised andmed järve põhjaosa kohta üldjoontes ei erinenud oluliselt 1957. aasta andmeist: hapnikusisaldus pinnavees kõikus 10,89—14,61 mg/l (75—99% küllastumusest). Põhjaosas erineb Tuisunurga—Sabanurga vaheline ala (punktid 17, 18 ja 21) madalama hapnikusisalduse poolest, mis punkti 18 põhjalähedases veekihis moodustab ainult 2,37 mg/l (17% küllastumusest). Madal hapnikusisaldus põhjalähedastes veekihtides esines ka Võrtsjärve idapoolses osas — 21., 25. ja 29. ruudus. Järve lõunapoolne osa, alates punktist 35, on põhjaosast tunduvalt hapnikuvaesem (pinnavees 52—74% küllastumusest). Põhjalähedastes veekihtides (eriti idapoolses osas) moodustab hapnikusisaldus üksnes 30—40%, järve sügavaimas kohas (5—6 m sügavuses) aga ainult 2% küllastumusest e. 0,26 mg/l O<sub>2</sub>.

Võrtsjärve suubuvate jõgede ja ojade hapnikusisaldus varieerub ja oli 1958. a. talvel üldiselt madalam kui 1959. aastal samades punktides. Hapnikuvaesemad on Oiu jõgi (8 ja 47%), Vaibla oja (20%) ja Sangla oja (35 ja 52%).

Esitast nähtub, et talvel on hapnikusisaldus suhteliselt madal kogu järve lõunaosa pinnavees (alates 29. ruudust lõuna poole) ja Tuisunurga—Sabanurga ümbruses järve põhjaosas. Neil aladel võib põhjalähedastes veekihtides kujuneda isegi hapniku defitsiit.

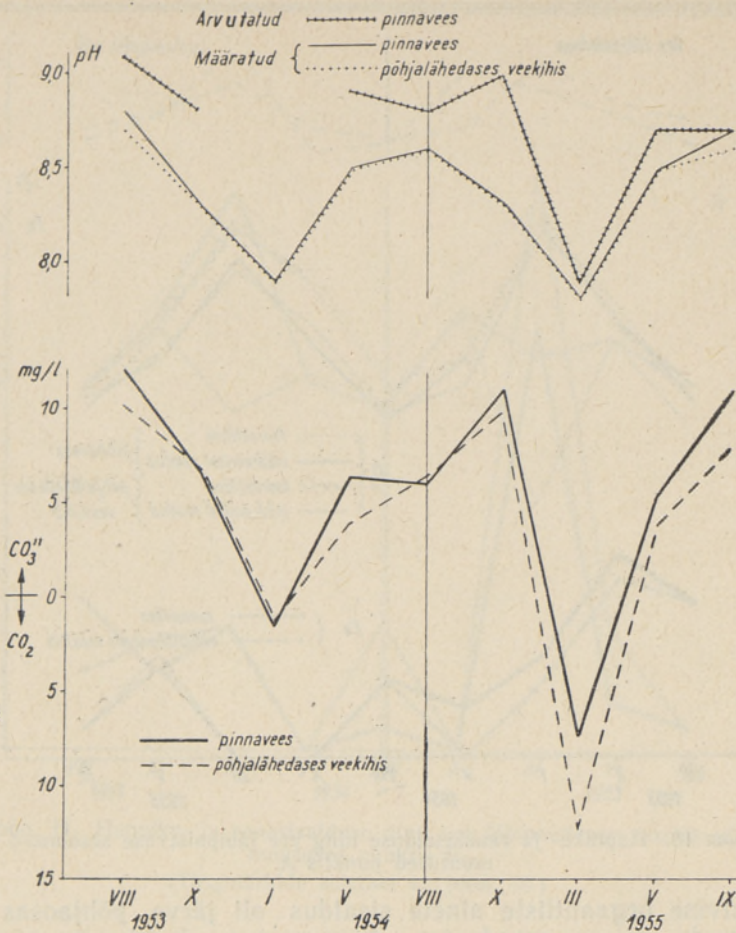
Suvel on vee hapnikusisaldus kogu järve ulatuses kõrge (tab. 7). Sissevooludest on ka suvel suhteliselt hapnikuvaesed Oiu jõgi (6,05 mg/l) ja Leie kraav (7,05 mg/l).



Joon. 8. pH ja CO<sub>2</sub>/CO<sub>3</sub>-sisalduse sesoonsed muutused Võrtsjärve pindmises veekihis.

Üheks olulisemaks protsessiks, mis võib põhjustada veekogus lahustunud hapniku vähenemist, on raudioonide oksüdeerumine. Juba 1953/54. aasta andmed näitasid, et vesi Võrtsjärve lõunaosas oli rauarikkam kui põhjaosas, mistõttu määrati rauasisaldust ka 1957.—1959. aastani kogutud proovides.

Rauasisaldus 1957. aasta proovides üldjoontes korreleerub hapnikusisaldusega: hapnikuvaesemas järve lõunaosas ja profiili DD<sub>1</sub> idapoolsetes punktides (4 ja 5) on rauasisaldus kõrgem, kusjuures ta ei ületanud pinnaveeproovides 0,40 mg/l ja põhjalähedaste veekihtide proovides 0,46 mg/l Fe. Sellele ligilähedasi andmeid saadi ka 1959. a. talvel: järve lõunaosa pinnaves 0,39—0,49 mg/l ja põhjapoolses osas Tammeküla all (21. ja 25. ruut) 0,12—0,68 mg/l Fe. Samade punktide põhjalähedased veekihtid olid enamasti rauarikkamad (kuni 0,87 mg/l Fe). 1958. a. talvised proovid näitasid esitatust kõrgemat rauasisaldust, eriti järve lõunaosas. Alates punktist 38 (31. ruut) oli rauasisaldus siin 1958. a. talvel 0,70—1,10 mg/l Fe.



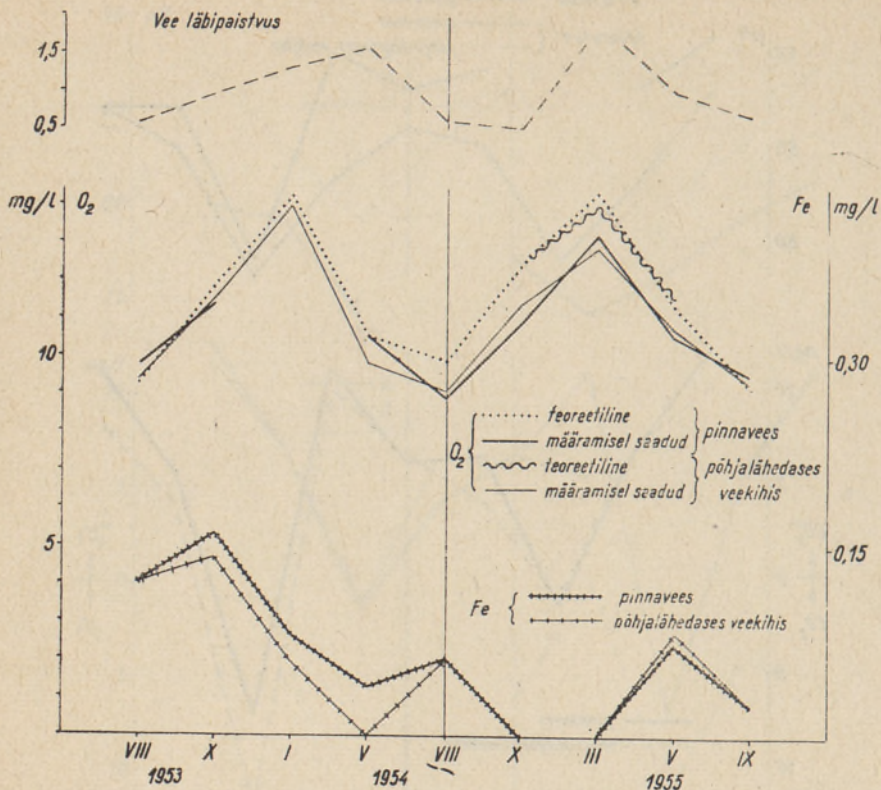
Joon. 9. pH ja CO<sub>2</sub>/CO<sub>3</sub>-sisalduse sesoonsed muutused Võrtsjärve pinnavees ja põhjalähedases veekihis (punktis B).

Järve põhjapoolses osas (1.—28. ruut) on rauasisaldus talvel madal, kõikides 0—0,20 mg/l Fe. Erandiks on aga Tammeküla lähedal olev järveosa (21. ja 25. ruut).

Kui järve lõunapoolsemasse ossa suubuvate jõgede ja ojade vee rauasisaldus enam-vähem vastab järve lõunaosa vee rauasisaldusele, siis põhjapoolsesse ossa suubuvad jõed ja ojad on järvega võrreldes tunduvalt kõrgema rauasisaldusega (eriti 1958. a. andmete järgi). Kokkupuutel hapnikurikka veega toimub tõenäoliselt kiire raua sadestumine. Arvestades suurt veemassi järve laias põhjaosas, võib rauarikka vee juurdevool põhjustada siin hapniku defitsiiti äärmisel juhul ainult kitsal alal, sissevoolu läheduses.

Suvel on Võrtsjärve vee rauasisaldus madal ja ainult lõunasopis (38. ja 39. ruut) tõuseb see Väike-Emajõe mõjul 0,30 mg/l-ni. Kõikide sissevoolavate jõgede ja ojade vesi oli, välja arvatud Väluste ojas, ka suvel kõrgema rauasisaldusega kui Võrtsjärves.

Et vees lahustunud orgaaniliste ainete intensiivne oksüdeerimine on üks veekogu hapnikuvaesuse põhjustajaid, määrati Võrtsjärvest 1958. aastal kogutud veeproovides ka permanganaatne ja dikromaatne oksüdeeritavus.



Joon. 10. Hapniku- ja rauasisalduse ning vee läbipaistvuse sesoonsed muutused punktis A.

Vee talvine orgaaniliste ainete sisaldus oli järve põhjaosas kõrge: 1.—15. ruudu piires moodustas dikromaatne oksüdeeritavus 38,6—46,0 mg/l  $O_2$ , Aruoja nurga juures (punkt 24) isegi 55,1 mg/l  $O_2$ . Siit lõunasuunas orgaaniliste ainete hulk pidevalt vähenes ja kõikus 16.—29. ruudu piires 30 mg/l  $O_2$  ümber. Järve lõunaosas (31.—39. ruut) oli orgaaniliste ainete sisaldus madal — dikromaatne oksüdeeritavus 18,5—22,1 mg/l  $O_2$ .

Vee orgaaniliste ainete iseloom talvel näib Võrtsjärve lõunaosas olevat erinev, võrreldes muude järve osadega. Oksüdeeritavusprotsent on siin  $\geq 40$ , mis viitab huumusainete osale orgaaniliste ainete koosseisus. Huumusainete sisaldus näib põhjasuunas langevat, mida näitab talvine oksüdeeritavusprotsendi vähenemine selles suunas kuni 21% -le.

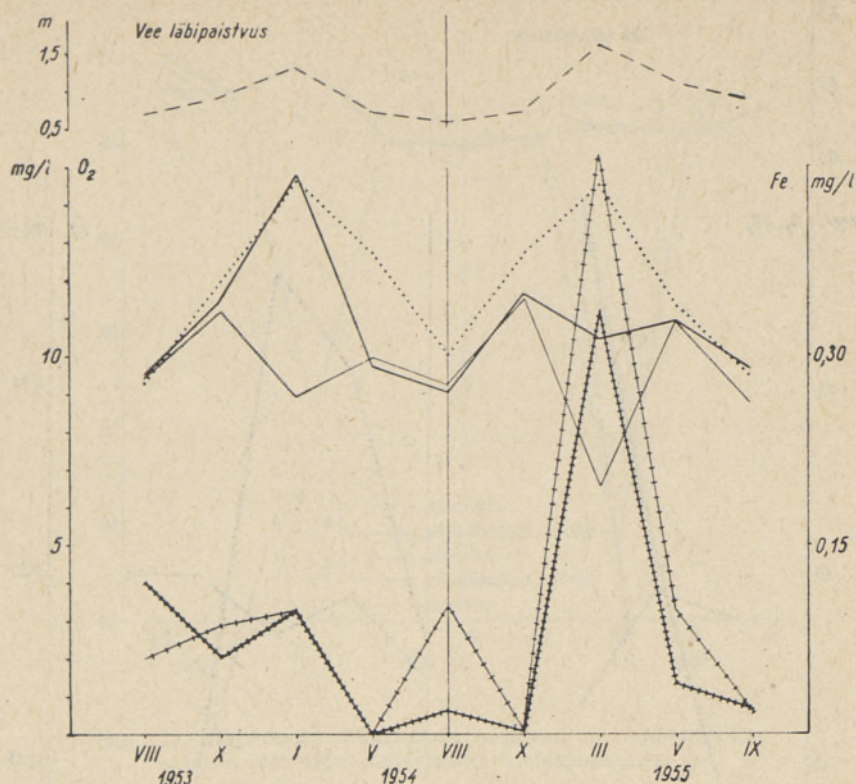
Järve vee orgaaniliste ainete sisaldus talvel üldjoontes korreleerub sissevoolavate jõgede ja ojade orgaaniliste ainete sisaldusega: järve lõunaossa suubuvais vetes on see madal, põhjaossa suubuvais kõrge. Erandiks on kõrge orgaaniliste ainete sisaldus Nigula ojas.

Suvel on orgaaniliste ainete sisaldus kogu Võrtsjärve ulatuses suhteliselt ühtlane: dikromaatne oksüdeeritavus kõigub 27—33 mg/l  $O_2$  (s. o. 25—30%). Sellest erineb suvel kõrgema oksüdeeritavusprotsendi poolest järve lõunasopi vesi (38. ja 39. ruut).

Vee värvus on talviti järve lõunaosas kollane kuni pruunikaskollane, põhjaosas enamasti rohekaskollane kuni helekollane. Värvuse erinevus lõunaosas võib olla tingitud nii suuremast huumusainete kui ka kõrgemast rauasisaldusest, võrreldes põhjaosa veega.

Vee värvusega langeb hästi kokku ka vee talvine läbipaistvus. Nii oli





Joon. 11. Hapniku- ja rauasisalduse ning vee läbipaistvuse sesoonsed muutused punktis B.

(Tingmärkide seletust vt. joon. 10.)

vee läbipaistvus 1957. a. talvel lõunaosas 0,5—0,9 m, põhjaosas 0,9—1,8 m, 1958. ja 1959. a. talvel aga lõunaosas 0,8—1,8 m, põhjaosas 1,8—2,6 m. Erandlikult on vesi vähese läbipaistvusega (talvel ainult 0,4 ja 0,6 m) Tuisunurga—Sabanurga alal (punktid 17 ja 21).

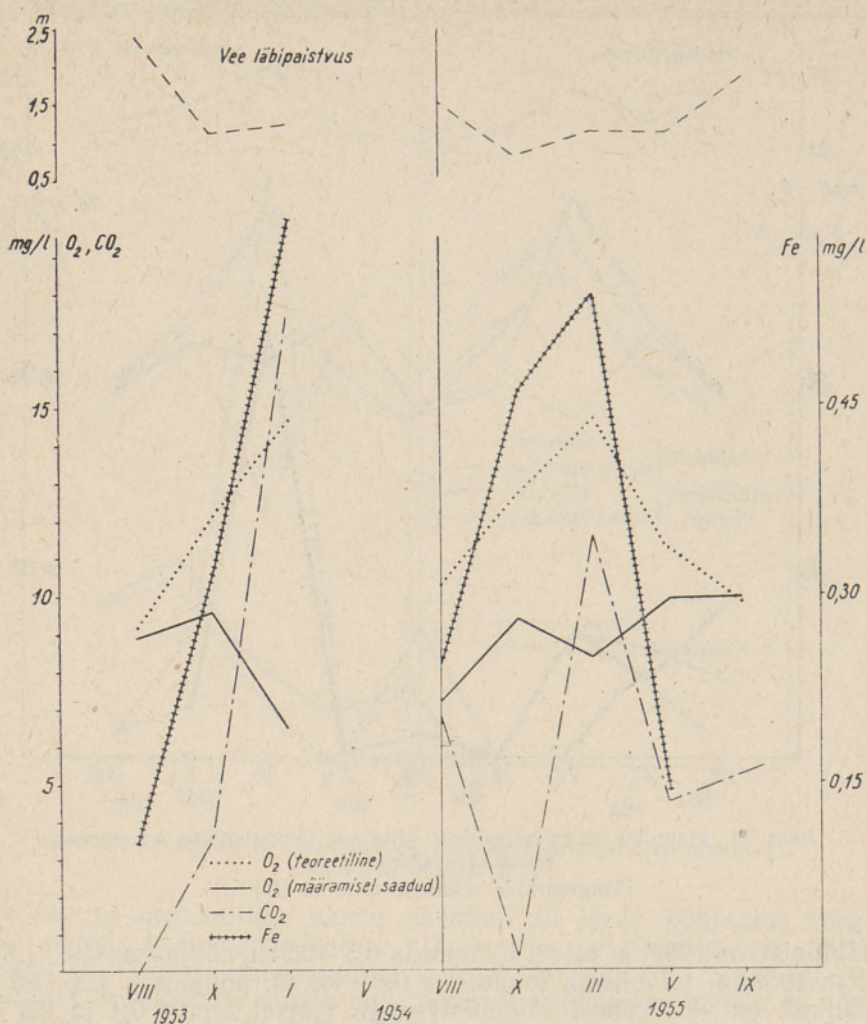
Suvine Võrtsjärv on ka vee läbipaistvusel ühtlasem talvisest: uuritud punktides oli see 1,0—1,5 m.

Sissevoolavate jõgede ja ojade vee läbipaistvus kõikus nii suvel kui ka talvel 0,7—2,0 m vahel.

Vee aktiivse reaktsiooni pooldest eraldub Võrtsjärv talvel piiriga Tarvastu jõgi—Nigula oja kahte ossa. Järve lõunapoolses osas, alates 26. ruudust, kus valdavaks põhjasetteks on muda, eraldub vette rohkesti süsihappegaasi, mistõttu pH püsib siin talvel 7,4—7,6. Põhjaosas on pH väärtused kõrgemad, nimelt 7,9—8,1. Sellest erinevad madalamate pH väärtustega ainult 1959. a. talvel Tammeküla ja Tuisunurga lähedalt võetud veeproovid.

Vee pH oli suviti kogu Võrtsjärve ulatuses ühtlane, kõikides 8,5—8,8 piires. Ainult järve lõunasopis (38. ja 39. ruut) oli pH Väike-Emajõe vee mõjul erinev (8,0—8,2).

Võrtsjärve vee peamiste ionide sisalduse kontrollimiseks määrati 1958. aastal nii talvel kui ka suvel kogutud proovides  $\text{HCO}_3^-$ - ja  $\text{Ca}^{++}$ -sisaldus. Ka selles osas ilmneb järve lõuna- ja põhjaosa vahel talvel erinevus. Lõunaosas (31.—39. ruut) on nii vee  $\text{HCO}_3^-$ - kui ka  $\text{Ca}^{++}$ -sisaldus kõrgemad ( $\text{HCO}_3^- \geq 4,0$ ,  $\text{Ca}^{++} \geq 3,0$  mg-ekv/l) kui põhjaosas ( $\text{HCO}_3^-$  oli 3,30—3,75,  $\text{Ca}^{++}$  oli 2,44—2,88 mg-ekv/l).



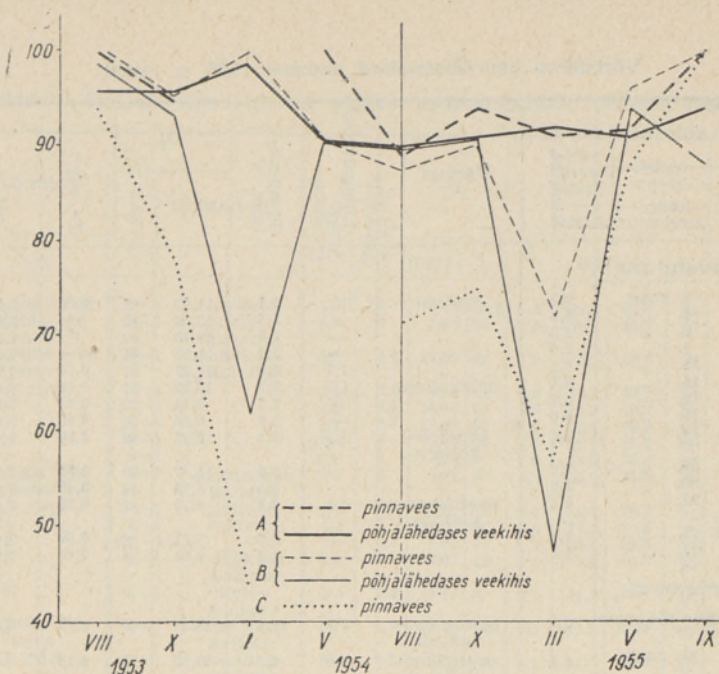
Joon. 12. Hapniku-, süsihappegaasi- ja rauasisalduse ning vee läbipaistvuse sempoonsed muutused punktis C.

Kõrgem peamiste ionide sisaldus talvel järve lõunaosa vees vastab Väike-Emajõe peamiste ionide sisaldusele samal perioodil (Гидрологический ежегодник, 1953, 1954, 1955, 1956, 1957, 1958, 1959). Järve põhjaosas on vee peamiste ionide sisaldus talvel idakalda pool asuvates punktides suhteliselt kõrgem, võrreldes läänepoolsetega.

Suvel on peamiste ionide sisaldus Võrtsjärve vees tunduvalt madalam kui talvel, kuid kogu järve ulatuses ühtlasem. Suvel oli  $\text{HCO}_3^-$ -sisaldus 2,60—2,73,  $\text{Ca}^{++}$ -sisaldus 1,98—2,08 mg-ekv/l; ainult järve lõunaosas olid vastavad väärtused kõrgemad.

### Kokkuvõte

Võrtsjärve hüdrokeemiline uurimine toimus aastail 1953—1955 sempoonselt kolmes statsionaarses vaatluspunktis (A, B, C), 1957—1959 talviti ja 1958. a. suvel — valitud kohtades kogu järve ulatuses.



Joon. 13. Hapnikuga küllastumuse sesoonne muutumine Võrtsjärve vees (statsioonarsetes vaatluspunktides).

Looduslike vete keemilise klassifikatsiooni järgi kuulub Võrtsjärv vesinikkarbonaatse klassi kaltsiumigrupi II tüüpi vete hulka — valem



Hüdrokeemiliste tingimuste poolest jaguneb Võrtsjärv kolme ossa. Põhjaosa, mis hõlmab valdava osa järvest (1.—28. ruut), on suhteliselt ühtlane, suure järve tüüpi hüdrokeemilise režiimiga. Madal, mudase põhjaga, taimi täis kasvanud järve lõunasopp (38.—40. ruut) on kõigil aastaaegadel tugevasti mõjustatud Väike-Emajõe hüdrokeemilistest omadustest. Hüdrokeemilised tingimused järve lõunaosas (29.—36. ruut) on põhjaosa ja lõunasopi vastavate tingimuste vahepealsed, sõltudes hüdro-meteoroloogilistest tingimustest Võrtsjärve basseinis.

Peamiste ionide kontsentratsioonilt ületab Võrtsjärve vesi Eesti järvede keskmise. Peamiste ionide keskmine summa on järve põhja- ja lõunaosas  $248 \pm 21$  mg/l, lõunasopis  $310 \pm 30$  mg/l. Võrtsjärve keemilise toitumise aastaringsele stabiilsusele viitab konstantne iooniline suhe (muutused 1 % piires). Sellest sõltuvalt on võimalik hinnata peamiste ionide kontsentratsiooni  $\text{HCO}_3^-$ -sisalduse järgi, rakendades valemit  $\Sigma_i = 1,33 \text{HCO}_3^- + 7$  mg/l.

Orgaaniliste ainete kontsentratsioon Võrtsjärves vastab Eesti järvede keskmisele. Võrtsjärv kuulub mesohumoossesse rühma. Nagu näitavad vee värvuse andmed ja oksüdeeritavusprotsent, on orgaanilised ained järves peamiselt autohtoonse päritoluga. Vastavalt sellele sisaldub vees orgaanilisi aineid maksimaalselt sügisel, minimaalselt kevadel. Talvel on järve põhjaosale, võrreldes teiste osadega, iseloomulik suhteliselt kõr-

Võrtsjärve hüdrokeemilised andmed 1957. a. talvel

Vaatlus-punkt, nr.	Proovi võtmise		Veekiht, m	Värvus	Läbipaistvus m	Tempera-tuur, °C	O <sub>2</sub>		Fe, mg/l	pH	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg/l
	aeg	koht					mg/l	%			
		<b>Profil DD<sub>1</sub></b>									
1	5. III	8. ruut	0,1	kollane	1,8	0,8	11,67	81	0,08	7,6	0,2
1	"	8. "	2,3	"	—	2,5	13,03	95	—	7,8	—
1	"	8. "	2,6	"	—	2,0	13,40	97	—	7,8	—
1	"	8. "	2,9	"	—	2,0	13,05	94	—	7,9	—
2	"	14. "	0,1	"	1,7	0,2	14,21	97	0,04	7,8	0,2
3	8. III	15. "	0,1	helekollane	1,5	0,3	13,22	91	0,10	7,4	0,2
3	"	15. "	3,7	"	—	2,5	5,39	29	0,28	7,4	0,2
3	"	15. "	4,0	"	—	3,0	4,28	32	0,40	7,6	0,3
4	"	20. "	0,1	rohukas-kollane	1,3	0,3	12,01	82	0,20	7,4	0,2
4	"	20. "	2,7	"	—	3,0	11,67	86	0,26	7,6	—
4	"	20. "	3,0	"	—	3,0	8,74	64	0,42	7,6	0,4
5	"	21. "	0,1	oranžikas-kollane	0,9	0,3	9,69	66	0,32	7,4	0,3
5	"	21. "	1,7	"	—	2,0	9,71	70	0,30	7,4	0,3
5	"	21. "	2,0	"	—	2,0	9,61	69	0,46	7,6	0,2
		<b>Profil EE<sub>1</sub></b>									
6	6. III	Ohne jõe suue	0,1	pruunikas-oranž	0,6	0,1	11,37	78	0,90	7,4	0,6
7	"	33. ruut	0,1	oranžikas-kollane	0,9	0,1	10,55	72	0,16	7,3	0,1
7	"	33. "	1,5	"	—	2,0	13,25	95	—	7,2	—
8	"	33. "	0,1	"	0,9	0,1	13,45	92	0,34	7,4	<0,2
8	"	33. "	2,2	"	—	2,0	12,15	87	—	7,4	—
9	"	34. "	0,1	"	0,8	0,1	12,46	85	0,30	7,4	0,2
9	"	34. "	2,4	"	—	4,0	8,59	65	—	—	—
9	"	34. "	2,7	"	—	4,0	6,75	51	—	7,3	—
10	"	34. "	0,1	"	0,8	0,2	11,51	79	0,26	7,4	0
10	"	34. "	2,7	"	—	3,0	6,07	45	—	—	—
10	"	34. "	3,0	"	—	4,0	6,06	46	—	7,3	—
11	"	34. "	0,1	"	0,8	0,2	11,12	76	0,30	7,4	<0,2
11	"	34. "	1,0	"	—	2,0	8,96	64	—	7,3	—
		<b>Lõunasopp</b>									
12	7. III	35. ruut	0,1	oranž	0,6	0,1	12,01	82	0,32	7,5	<0,2
12	"	35. "	1,7	"	—	1,0	8,04	56	—	—	—
13	"	36. "	0,1	"	0,5	0,2	12,94	89	0,40	7,4	0,2
13	"	36. "	1,6	"	—	1,0	6,10	43	—	—	—

gem orgaanilise aine kontsentratsioon ja väiksem huumusainete sisaldus orgaanilises aines. Teistel aastaegadel olulisi erinevusi ei esinenud.

Lahustunud hapniku küllastumusaste on järve põhjaosas aastaringsest kõrge (O<sub>2</sub>>60%), maksimum on talvel. Kogu järve lõunaosas on põhjalähedaste veekihtide hapnikusisaldus jääkateperioodil madal (O<sub>2</sub><6 mg/l).

Lahustunud süsihappegaasi režiimi poolest erinevad järve üksikud osad teravalt. Kevadest sügiseni leidub lahustunud süsihappegaasi mahtanalüütiliselt määratavates hulkades ainult järve lõunasopis (kuni 7 mg/l CO<sub>2</sub>). Järve lõuna- ja põhjaosas on vaba süsihappegaas fotosünteesiprotsessis ära tarvitatud, osaliselt on lagunenenud ka vesinikkarboonaat ning vesi sisaldab karbonaatioone (kuni 14 mg/l CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). Jääkate all on süsihappegaasi kontsentratsioon järve lõunasopis maksimaalne; see ei ületa 20 mg/l CO<sub>2</sub>, tähistades seega keskpärast sisaldust.

Vee reaktsioon on Võrtsjärves aastaringsest nõrgalt aluseline: pH 7,2—8,8.

Ioonse ja kolloidse raua sisaldus on madal kuni kõrge: põhja- ja lõunaosas kuni 0,2 mg/l Fe, lõunasopis kuni 1,1 mg/l Fe.

Tabel 6

## Võrtsjärve ja temasse sissevoolavate jõgede hüdrokeemilised andmed 1958. a. talvel

Vaatlus-punkt, nr.	Proovi võtmise		Veekiht, m	Värvus	Läbipaistvus, m	Temperaatuur, °C	O <sub>2</sub>		pH	Perman-gan.		Dikro-maatne		Fe	HCO <sub>3</sub> '	Ca		
	aeg	koht					oksideeritavus			mg/l O <sub>2</sub>	%	mg/l	%				mg/l	mg-ekv/l
							mg/l	%										
14	20. III	Oiu jõe suue	0-1	kollane	1,5	0	1,10	7,5	7,2	14,2	46,0	31	1,80	4,88	3,68			
15	18. III	Vaibla oja suue	0-1	tume-pruun	0,8	0	2,96	20	7,0	28,1	80,4	35	0,65	4,35	4,25			
16	"	Suur-Emajõe suue	0-1	rohekas-kollane	0,5	0,5	11,57	80	7,9	9,7	36,9	26	0	3,38	2,62			
17	20. III	4. ruut	0-1	"	0,4	2,0	7,11	49	7,9	11,8	43,5	27	jäljed	3,53	2,71			
19	18. III	6. "	0-1	"	2,3	0,2	14,10	96	7,9	10,5	40,6	26	jäljed	3,35	2,65			
20	"	7. "	0-1	"	2,2	0,3	12,91	89	7,9	10,1	43,1	23	jäljed	3,30	2,58			
21	20. III	8. "	0-1	"	0,6+	0	8,11	55	7,5	11,8	46,0	26	0,10	3,70	2,88			
22	19. III	9. "	0-1	"	2,0	0	14,61	99	7,9	10,5	38,6	27	jäljed	3,50	2,76			
23	13. III	Sangla oja suue	0-1	pruunikas-kollane	—	0	5,18	35	7,4	11,4	31,2	37	0,35	4,95	3,65			
24	19. III	12. ruut	0-1	kollane	1,8	0,3	13,5	93	7,7	11,5	55,1	21	jäljed	3,70	2,91			
25	"	14. "	0-1	kollane	1,9	0	14,09	96	8,0	10,5	45,6	23	jäljed	3,53	2,74			
25	"	14. "	2,5-3,5	"	—	3,3	7,12	53	7,7	10,2	44,8	23	0,06	3,42	2,67			
26	"	15. "	0-1	rohekas-kollane	2,4	0	13,71	93	8,0	9,6	40,6	24	0	3,33	2,56			
28	13. III	16. "	0-1	hele-kollane	1,4+	0,2	14,14	97	8,1	11,2	26,7	42	0,04	3,50	2,67			
29	14. III	Väluste oja suue	0-1	oranžikas-kollane	1,5	0,6	10,70	74	7,6	12,2	31,2	39	0,10	3,55	2,71			
30	"	19. ruut	0-1	rohekas-kollane	2,0	0,2	13,52	92	7,9	11,6	30,5	38	0,05	3,88	2,95			
31	"	20. "	0-1	"	1,8	0,2	12,98	89	8,0	10,9	30,5	36	jäljed	3,40	2,68			
32	13. III	21. "	0-1	"	2,2	0,6	12,66	88	8,0	10,7	29,0	37	0,02	3,43	2,44			
33	15. III	Tarvastu jõe suue	0-1	kollakas-roheline	1,8	0	7,25	49	7,6	5,0	13,0	38	jäljed	4,80	1,98			
34	14. III	25. ruut	0-1	rohekas-kollane	2,2	0,7	11,21	78	8,0	10,1	25,9	39	jäljed	3,50	2,48			
35	15. III	26/27. ruudu piir	0-1	oranžikas-pruun	1,4	0,2	9,16	63	7,5	10,9	32,8	33	0,20	3,75	2,76			
36	"	28. ruut	0-1	oranžikas-kollane	1,8	0,3	10,86	74	7,6	11,0	32,0	34	0,10	3,65	2,70			
36	"	28. "	2,5-3,5	"	—	—	—	—	7,5	12,1	42,3	29	0,10	3,60	—			
37	13. III	Nigula oja suue	0-1	"	0,8	0,2	8,46	58	7,6	11,8	40,4	29	0,30	4,53	2,75			
39	11. III	31. ruut	0-1	pruunikas-kollane	1,6	0,2	9,78	67	7,5	9,4	21,0	45	0,85	3,98	3,11			
40	"	31. "	0-1	kollane	1,4	0	9,04	61	7,5	7,6	22,1	34	1,10	4,08	3,03			
42	"	32. "	0-1	oranžikas-kollane	0,8	0,8	9,95	69	7,4	11,5	29,7	39	0,30	4,05	2,78			
43	15. III	Sügavaim koht	0-1	rohekas-kollane	2,0	0	8,67	59	7,4	9,0	47,8	19	0,20	4,38	3,20			
43	"	"	5-6,9	"	—	3,2	3,00	22	7,4	6,4	32,3	20	jäljed	4,85	2,27			
44	11. III	Ohne jõe suue	0-1	rohekas-kollane	1,5	0	9,51	65	—	—	—	—	—	—	—			
44	"	"	3,5-4,5	"	—	—	9,80	67	7,5	5,3	23,6	22	0,90	3,98	2,98			
46	12. III	36. ruut	0-1	"	1,0+	—	6,30	—	7,4	9,0	19,8	45	0,70	4,34	3,13			
49	"	Rõngu jõe suue	0-1	"	1,4	0	6,29	43	7,5	7,8	17,5	45	0,40	4,18	2,73			
50	"	38. ruut	0-1	kollane	1,4	0	7,81	53	7,5	7,0	17,5	40	0,80	4,20	2,91			
52	"	39. "	0-1	"	1,2	0,2	7,59	52	7,5	7,8	18,3	43	0,90	4,28	3,15			

+ Vesi on põhjani läbipaistev.

Lämmastikku esineb sügisel ja talvel järve lõunasopis kuni 1 mg/l NO<sub>2</sub>' + NO<sub>3</sub>' ning talvel kogu järve ulatuses kuni 0,3 mg/l NO<sub>2</sub>' + NO<sub>3</sub>'.

Fosfori anorgaanilisi lahustunud ühendeid esineb väikestes hulkades sügisel ja talvel (kuni 0,03 mg/l P min./lah.).

Räniühendite jaotus on Võrtsjärves ühtlane, sisaldus keskmine (0,8—3,0 mg/l Si).

Järve rajoneerimisel esitatud hüdrokeemilistest tingimustest erinevad kaks kitsast ala järve põhjaosas: Tammeküla-lähedane osa (21. ja 25. ruut) ja Tuisunurga—Sabanurga vaheline ala (4. ja 8. ruut). Erinevused ilmnevad vee madalamas hapnikusisalduses, madalamates pH väärtustes

Võrtsjärve ja temasse sissevoolavate jõgede hüdrokeemilised andmed 1958. a. suvel

Vaatlus-punkt, nr.	Proovi võtmise		Veekiht, m	Värvus	Läbipaistvus, m	Tempera-tuur, °C	O <sub>2</sub>		pH	Per-man-gan.	Dikro-maatne	Fe <sup>++</sup> +Fe <sup>+++</sup>	HCO <sub>3</sub> '	Ca <sup>+</sup>	
	aeg	koht					mg/l	%		mg/l	O <sub>2</sub>				%
14	24. VI	Oiu jõe suue	0-1	kollakas-oranž	1,0	17,4	6,05	61	7,6	12,1	29,9	40	0,40 + 0,10	3,45	2,65
15	25. VI	Vaibla oja suue	0-1	kollane	1,0	16,5	9,13	91	8,6	7,4	27,3	27	0 + 0,10	2,65	2,08
16	"	Suur-Emajõe suue	0-1	rohekas-kollane	1,1	16,8	8,98	90	8,6	7,4	27,3	27	0 + 0,06	2,75	2,03
17	24. VI	4. ruut	0-1	rohekas-kollane	1,0	16,8	9,25	93	8,6	8,7	31,4	28	0,05 + 0,15	2,68	1,98
20	25. VI	7. "	0-1	kollane	1,0	16,5	9,29	93	8,6	8,3	32,9	25	0,08 + 0	2,68	2,04
21	24. VI	8. "	0-1	rohekas-kollane	1,0	16,7	8,93	89	8,6	9,0	29,9	30	0,05 + 0,15	2,68	2,07
23	25. VI	Sangla oja suue	0-1	oranžikas-pruun	0,7	16,2	9,58	95	8,1	12,4	44,9	28	0 + 0,85	3,39	2,55
25	24. VI	14. ruut	0-1	kollane	1,5	16,6	9,14	91	8,7	8,3	35,9	23	0,04 + 0,06	2,73	2,06
26	"	15. "	0-1	kollane	1,5	16,7	9,14	90	8,6	8,5	29,9	28	0,01 + 0,04	2,60	2,07
29	"	Väluste oja suue	0-1	kollane	1,0	16,8	9,40	94	8,6	9,0	28,4	32	0,05 + 0,05	2,65	2,10
30	"	19. ruut	0-1	kollane	1,5	16,6	9,56	96	8,6	9,0	—	—	0,04 + 0,06	2,80	2,06
31	"	20. "	0-1	kollane	1,5	16,5	9,15	91	8,6	8,3	—	—	0 + 0,10	2,65	2,10
32	25. VI	21. "	0-1	rohekas-kollane	1,1	16,7	9,39	94	8,6	7,1	32,2	22	0,06 + 0,08	2,64	1,99
33	24. VI	Tarvastu jõe suue	0-1	kollane	1,0	16,8	8,50	85	8,1	8,5	29,9	28	0,02 + 0,24	3,38	2,45
34	25. VI	25. ruut	0-1	kollane	1,0	16,9	9,19	92	8,6	7,5	32,0	24	0 + 0,10	2,60	1,98
37	"	Nigula oja suue	0-1	oranž	0,8	15,2	7,04	68	7,6	16,4	52,3	31	0,20 + 1,00	2,83	2,24
39	23. VI	31. ruut	0-1	kollakas-roheline	1,1	18,0	9,40	97	8,6	8,7	31,1	28	0,06 + 0	2,65	2,05
42	"	32. "	0-1	kollakas-roheline	1,4	17,7	9,29	95	—	8,7	29,9	29	0 + 0,05	2,68	2,05
43	25. VI	Sügavaim koht	0-1	rohekas-kollane	0,8	17,0	9,12	92	8,6	7,7	31,4	25	0,04 + 0,10	2,75	2,10
43	"	Sügavaim koht	5-6	—	—	—	8,96	—	8,6	7,5	28,4	26	0,04 + 0,10	2,68	2,07
44	23. VI	Ohne jõe suue	0-1	kollane	1,9	18,6	—	—	8,1	8,2	37,4	22	0,05 + 0,20	3,73	2,81
46	"	36. ruut	0-1	kollakas-roheline	1,1	18,5	9,20	95	8,5	8,8	32,9	27	0,04 + 0,10	2,65	2,08
49	"	Rõngu jõe suue	0-1	rohekas-kollane	1,1	17,8	9,37	96	8,6	9,5	38,1	25	0,04 + 0,10	2,78	2,17
50	"	38. ruut	0-1	rohekas-kollane	1,5	17,8	8,71	89	8,2	9,1	27,7	33	0,02 + 0,10	3,08	2,39
52	"	39. "	0-1	rohekas-oranž	1,5	17,9	9,33	96	8,1	10,8	31,4	34	0,06 + 0,24	3,58	2,71

ja väiksemas läbipaistvuses talvel. Tammeküla-alusel alal lisandub neile veel kõrgem rauasisaldus vees.

Sissevoolavate jõgede ja ojade mõju järve hüdrokeemilisele iseloomule on üldiselt lokaalne ja sõltub aastaajast. Kevadel lumesulamis-perioodil langeb kõikide ainete kontsentratsioon kogu järve ulatuses sissevoolavate lahjendatud vete arvel. Suvel ja talvel sisaldavad jõed ja ojad, võrreldes järvega, suuremal hulgal peamisi ioone, rauda ja osaliselt ka orgaanilisi aineid ning süsihappegaasi. Suvine lokaalne toime avaldub ulatuslikult Väike-Emajõe suudmes — järve lõunasopis, kus peamiste ionide, raua ja orgaaniliste ainete sisaldus on kõrgem kui teistes järve osades. Jääkatteperioodil ulatub Väike-Emajõe ja Ohne jõe koondmõju tunduvalt kaugemale, haarates kogu järve lõunaosa ning ulatudes järve sügavaveelise idakalda läheduses tõenäoliselt kuni Tammekülani. Väike-Emajõe mõju on peamine faktor, mis vastavalt hüdrokeemilistele tingimustele jaotab järve kolme ossa.

Valitud kolme statsionaarse vaatluspunkti (A, B, C) andmed annavad küllalt hea ülevaate Võrtsjärve üldisest hüdrokeemilisest režiimist.

Tabel 8

## Võrtsjärve ja temasse suubuvate jõgede hüdrokeemilised andmed 1959. a. talvel

Vaatus- punkt, nr.	Proovi võtmise		Veekiht, m	Värvus	Läbipaistvus, m	Tempera- tuur, °C	O <sub>2</sub>		pH	Fe <sup>++</sup> + Fe <sup>+++</sup> , mg/l
	aeg	koht					mg/l	%		
14	21. III	Oiu jõe suue	0-1	pruunikas- kollane	2,0	0,2	6,88	47	7,2	0,03 + 0,14
16	"	Suur-Emajõe suue	0-1	rohekas- kollane	2,3	1,4	13,81	98	8,1	0
18	"	5. ruut	0-1	—	2,5	1,1	5,86	41	7,2	0,02 + 0,16
18	"	5. "	2-3	—	—	3,0	2,37	17	7,2	0,07 + 0,47
23	13. III	Sangla oja suue	0-1	pruunikas- kollane	0,9	0	7,62	52	7,2	0 + 0,28
25	"	14. ruut	0-1	rohekas- kollane	2,6	1,2	13,30	93	8,0	0,02 + 0
25	"	14. "	2,5-3,5	—	—	3,5	5,67	42	7,6	0 + 0,14
27	"	16. "	0-1	helekollane	2,4	0,8	—	—	7,6	0,05 + 0,15
32	"	21. "	0-1	"	2,1	0,4	10,89	75	7,5	0 + 0,07
33	14. III	Tarvastu jõe suue	0-1	"	1,2	0	11,25	77	7,5	0,07 + 0,59
34	"	25. ruut	0-1	"	1,3	0,8	14,70	102	7,4	0 + 0,23
34	"	25. "	3-3,8	"	—	2,5	4,53	33	7,4	0,02 + 0,33
37	"	Nigula oja suue	0-1	"	0,4	0,3	11,08	76	7,6	0 + 1,02
38	16. III	29. ruut	0-1	"	0,9	0,6	9,96	69	7,4	0,11 + 0,35
38	"	29. "	3,6-4,6	—	—	2,5	4,02	29	7,4	0,41 + 0,38
39	"	31. "	0-1	kollane	2,1+	1,5	11,74	83	7,6	0,01 + 0,16
39	"	31. "	1-2	—	—	3,5	12,12	90	7,6	0,03 + 0,11
40	"	31. "	0-1	pruunikas- kollane	0,9	0,2	11,03	75	7,4	0,15 + 0,34
40	"	31. "	1,0-1,8	—	—	0,2	10,78	74	7,6	0,11 + 0,29
41	"	31/33. ruudu piir	0-1	helekollane	0,9	—	—	—	—	0,14 + 0,31
41	"	31/33. ruudu piir	1-2	—	—	3,0	5,57	41	7,4	0,06 + 0,47
42	"	32. ruut	0-1	erekollane	1,7	1,4	10,48	74	7,4	0,04 + 0,36
42	"	32. "	1,4-2,4	—	—	3,0	4,65	34	7,5	0 + 0,38
43	"	sügavaim koht	0-1	helekollane	1,0	0,4	10,30	71	7,5	0,06 + 0,41
43	"	sügavaim koht	5-5,8	"	—	4,0	0,26	2	7,4	0,04 + 0,83
44	"	Ohne jõe suue	0-1	kollane	1,0	0,2	11,00	75	7,4	0,10 + 0,46
44	"	" " "	4-4,8	—	—	3,0	—	—	7,4	0,19 + 0,38
45	19. III	34. ruut	0-1	erekollane	1,1	0,8	10,56	73	7,5	0 + 0,41
45	"	34. "	1,0-1,8	—	—	1,9	9,91	71	7,4	0,11 + 0,44
46	"	36. "	0-1	pruunikas- kollane	1,1	0,3	10,91	75	7,5	0 + 0,39
46	"	36. "	2-3	—	—	1,7	5,80	41	7,5	0,05 + 0,27
47	"	35. "	0-1	rohekas- kollane	1,7+	1,0	10,29	72	7,4	0,01 + 0,20
48	18. III	Oja vastu Rõngu jõge	0-1	oranž	0,9+	0,8	9,00	63	7,4	0 + 0,54
49	"	Rõngu jõe suue	0-1	kollane	0,8	0,2	11,73	80	7,9	0,17 + 0,52
50	"	38. ruut	0-1	oranžikas- kollane	0,9	0,3	10,62	73	7,6	0 + 0,45
51	"	Pühaste oja suue	0-1	erekollane	1,7+	0,3	8,40	75	7,5	0,11 + 0,54
52	"	39. ruut	0-1	oranžikas- kollane	0,9	0,2	10,71	73	7,6	0 + 0,51
53	"	Väike-Emajõe suue	0-1	oranžikas- kollane	0,9	0,2	10,94	58	7,6	0,04 + 0,47

+ Vesi on põhjani läbipaistev.

## KIRJANDUS

- Mühlen L., 1919. Zur Geologie und Hydrologie des Wirtzjerwsees. Abhandlungen der Königlichen Preussischen geologischen Landesanstalt, N. F., H. 13. Berlin.
- Mühlen M., Schneider G., 1920. Der See Wirtzjerw in Livland. Biologie und Fischerei. Archiv für die Naturkunde des Ostbaltikums, Bd. 14, Lief. 1. Tartu.
- Simm H., 1955. Eesti NSV järvede vee humusainete iseloomust. Loodusuurijate Seltsi aastaraamat, 47. Tallinn.
- Алекси О. А., 1953. Основы гидрохимии. Л.
- Вареп Э., 1958. Озеро Виртсъярв. Физико-географический очерк и история исследования. Гидробиологические исследования 1. Tartu.

Гидрологические ежегодники 1953—1959. Л., 1957—1961.

Орвику Л. Ф., 1958. Новые данные о геологии озера Вуртсъярв. Тр. Ин-та геол. АН ЭССР, 3. Таллин.

Симм Х., 1958. Данные о гидрохимии озера Вуртсъярв. Гидробиологические исследования, 1. Тарту.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Zooloogia ja Botaanika Instituut

Saabus toimetusse  
22. VI 1964

Х. СИММ, Х. СТАРАСТ

## ОБЩАЯ ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОЗЕРА ВУРТСЪЯРВ

### Резюме

Гидрохимическое исследование озера Вуртсъярв проводилось в 1953—1955 гг. сезонно в трех стационарах (А, В, С), зимой 1957—1959 гг. и летом 1958 г. — в избранных местах по всему озеру (рис. 1).

По химической классификации природных вод озеро Вуртсъярв относится к водам гидрокарбонатного класса II типа группы кальция и характеризуется общей формулой  $C_{110,25}^{Ca3}$ .

С точки зрения гидрохимических условий озеро Вуртсъярв делится на три части. Его северная часть, охватывающая преобладающую площадь озера (квадраты 1—28), отличается относительно единым гидрохимическим режимом, напоминающим режим озер большого типа. Мелкая, с илистым дном, заросшая растениями южная оконечность (квадраты 38—40) в течение всего года находится под сильным воздействием сложившихся гидрохимических условий реки Вяйке-Эмайыги. Гидрохимические условия южной части озера (квадраты 29—36) слагаются из промежуточных гидрохимических условий его северной и южной оконечностей в зависимости от гидрометеорологических условий бассейна озера.

По концентрации главнейших ионов оз. Вуртсъярв превышает соответствующие средние показатели озер Эстонии. Средняя сумма этих ионов в северной и южной частях озера равна  $248 \pm 21$  мг/л, в южной оконечности —  $310 \pm 30$  мг/л.

На внутригодовое постоянство химического питания озера указывает постоянство ионного состава (изменения в пределах 1%; табл. 1, рис. 2),  $\Sigma_{II} = 1,33 \text{ HCO}_3 + 7$  мг/л.

Концентрация органических веществ соответствует средним показателям озер Эстонии. Озеро относится к мезогумусовой группе (табл. 2, рис. 5). Судя по коэффициентам цветности воды и процентам окисляемости, органические вещества озера преимущественно автохтонного происхождения. Соответственно этому максимум содержания органических веществ в воде озера падает на осень, минимум — на весну. Для северной части озера по сравнению с остальными его частями зимой характерна высокая концентрация органических веществ и низшее содержание гумусовых веществ в органическом веществе (табл. 5, 6, 8).

Концентрация растворенного кислорода в северной части озера высока в течение всего года ( $O_2\% > 60$ ), однако наибольших показателей она достигает зимой. В южной части и южной оконечности озера под ледяным покровом встречаются нижние слои воды с низким содержанием кислорода ( $O_2 < 6$  мг/л, табл. 5—8, рис. 10—13).

По режиму растворенной двуокиси углерода отдельные части озера сильно различаются. С весны до осени растворенная двуокись углерода встречается в объемно-аналитически определяемом количестве только в южной оконечности озера (до 7 мг/л  $CO_2$ ). В южной и северной частях озера свободная двуокись углерода израсходована в процессе фотосинтеза, частично разложен гидрокарбонат и вода содержит карбонатные ионы (до 14 мг/л  $CO_3^{2-}$ ). Подо льдом южной оконечности озера встречается максимальная, не превышающая 20 мг/л  $CO_2$ , концентрация растворенной двуокиси углерода (рис. 8, 9, 12).

Активная реакция воды в озере Вуртсъярв в течение всего года слабощелочная, pH 7,2—8,8 (табл. 5—8, рис. 8, 9).

Содержание ионного и коллоидного железа в оз. Вуртсъярв меняется от низкого до высокого: в северной части оно не превышает 0,2 мг/л Fe, а в южной оконечности доходит до 1,1 мг/л Fe (табл. 5—8, рис. 10—12).



Нитратные и нитритные ионы встречаются осенью и зимой в южной оконечности (до 1 мг/л  $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ ), а зимой — по всему озеру (до 0,3 мг  $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ ). Растворенные неорганические соединения фосфора наблюдаются в небольших количествах (до 0,03 мг/л Р) осенью и зимой.

Соединения кремния распределены в озере равномерно. Содержание их среднее и колеблется в пределах 0,8—3,0 мг/л Si.

Вытекающие реки и ручьи оказывают на гидрохимический характер озера в общем локальное влияние, зависящее от времен года. В период весеннего половодья концентрация всех веществ по всему озеру падает за счет втекающих разбавленных вод. Зимой и летом реки и ручьи содержат больше главных ионов, железа, а частично и органических веществ и двуокиси углерода, чем само озеро. Летнее локальное воздействие реки Вяйке-Эмайыги на всю южную оконечность озера проявляется в повышенных концентрациях главных ионов, железа и органических веществ. В зимний период, когда озеро покрыто льдом, воздействию реки Вяйке-Эмайыги и в меньшей мере реки Ёхне подвергаются южная оконечность и южная часть озера. Иногда это воздействие достигает в какой-то мере и глубокой восточной прибрежной части озера у села Таммекула (табл. 5 и 6).

Институт зоологии и ботаники  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
22/VI 1964

H. SIMM, H. STARAST

## ALLGEMEINE HYDROCHEMISCHE CHARAKTERISTIK DES SEES VÖRTSJÄRV

### Zusammenfassung

Zwecks Feststellung des hydrochemischen Regimes des Sees Võrtsjärv wurden in den Jahren 1953—1955 in drei stationären Punkten und im Winter der Jahre 1957—1959 sowie im Sommer des Jahres 1958 in gewählten Punkten im ganzen Umfange des Sees jahreszeitliche Untersuchungen durchgeführt (Abb. 1).

Der Klassifikation der natürlichen Gewässer entsprechend gehört der See Võrtsjärv der Calcium-Gruppe der Hydrogencarbonat-Klasse des II Typus an und wird durch die Formel  $\text{C}_{110,25}^{\text{Ca}3}$  charakterisiert.

Der See Võrtsjärv teilt sich nach hydrochemischen Bedingungen in drei Teile. Der nördliche und umfangreichste Teil (Quadrate 1—28) wird durch ein verhältnismässig gleichartiges hydrochemisches Regime gekennzeichnet und ähnelt sich dadurch dem Typ der «grossen Seen». Die an Wasserpflanzen reiche südliche Bucht (Quadrate 38—40), deren Grund schlammig ist, wird zu allen Jahreszeiten von den hydrochemischen Eigenschaften des in den See mündenden Flusses Väike-Emajõgi stark beeinflusst. Im südlichen Teile des Sees (Quadrate 29—36) entwickeln sich die hydrochemischen Bedingungen je nach den im Bassin des Sees Võrtsjärv herrschenden hydrometeorologischen Bedingungen. Den allgemeinen hydrochemischen Bedingungen entsprechend bildet der südliche Seeteil ein Übergangsgebiet vom nördlichen Teile zur südlichen Bucht.

Die Konzentration der Mineralstoffe ist im nördlichen und südlichen Teile des Sees  $248 \pm 21$  mg/l, in der südlichen Bucht  $310 \pm 30$  mg/l, ist somit höher als der entsprechende mittlere Wert estnischer Seen.

Die konstanten Verhältnisse der Ionenzusammensetzung der Mineralstoffe werden durch die jahreszeitliche Stetigkeit der chemischen Nahrung des Sees gekennzeichnet (Tab. 1, Abb. 2).  $\Sigma_i = 1,33 \text{HCO}_3^- + 7$  mg/l.

Der Gehalt an organischen Stoffen des Wassers des Sees Võrtsjärv entspricht dem mittleren Wert desselben in den estnischen Seen. Dementsprechend gehört der See Võrtsjärv der mesohumosen Gruppe an (Tab. 2, Abb. 5). Wie es die Angaben über die Wasserfarbe und den Prozentsatz der Oxydierbarkeit zeigen, sind die organischen Stoffe des Wassers hauptsächlich autochthoner Herkunft. Dem Letzterwähnten entsprechend tritt das Maximum an organischen Stoffen im Herbst und das Minimum im Frühling ein.

Der nördliche Teil wird im Vergleich zu den anderen Teilen des Sees im Winter durch eine höhere Konzentration an organischen Stoffen und einen minderen Huminstoffgehalt in der Zusammensetzung derselben charakterisiert (Tabellen 5, 6, 8).

Die Konzentration des im Wasser gelösten Sauerstoffes ist im nördlichen Teile des Sees das ganze Jahr hindurch hoch ( $O_2 > 60\%$ ), das Maximum ist im Winter zu beobachten. Im südlichen Teile und in der südlichen Bucht dagegen tritt im Winter, besonders in den tieferen Wasserschichten, Sauerstoffmangel ein ( $< 6$  mg/l) (Tabellen 5—8, Abb. 10—13).

Die genannten Teile des Sees Võrtsjärv unterscheiden sich voneinander durch den Gehalt an Kohlendioxid im Wasser. Vom Frühling bis zum Herbst findet sich der massanalytisch messbare Kohlendioxidgehalt nur im Wasser der südlichen Bucht des Sees, während in den nördlichen und südlichen Teilen das Kohlendioxid durch assimilierende Pflanzen verbraucht und sogar ein Teil der Hydrogencarbonationen in Carbonationen übergeführt wird. Die maximale Konzentration des Kohlendioxids (bis 20 mg/l  $CO_2$ ) tritt im Wasser der südlichen Bucht auf (Abb. 8, 9, 12).

Die Reaktion des Wassers ist das ganze Jahr hindurch schwach alkalisch: die pH-Werte schwanken von 7,2 bis 8,8 (Tabellen 5—8, Abb. 8, 9).

Der Eisengehalt des Seewassers schwankt im nördlichen Teile von 0 bis 0,2 mg/l Fe, in der südlichen Bucht steigt er bis 1,1 mg/l Fe (Tabellen 5—8, Abb. 10—12).

Stickstoffverbindungen bilden nur im Wasser der südlichen Bucht im Herbst und im Winter eine Konzentration bis 1 mg/l  $NO_2' + NO_3'$ , im ganzen Umfange des Sees sind dieselben nur im Winter nachweisbar (die höchste Konzentration 0,3 mg/l  $NO_2' + NO_3' - s.$  Tab. 5).

Das Seewasser weist einen geringen Gehalt an Phosphaten auf; deren Konzentration steigt im Herbst und im Winter bloss auf 0,03 mg/l P.

Die Silikate sind im Seewasser gleichmässig verteilt; Gehalt von 0,8 bis 3,0 mg/l Si.

Die in den See mündenden Flüsse und Bäche beeinflussen den hydrochemischen Charakter des Sees im allgemeinen nur lokal, dabei hängt dieses von den jahreszeitlichen Bedingungen ab. Im Frühling, unter dem Einfluss der Schmelzwässer, sinkt die Konzentration der im Wasser gelösten Stoffe im ganzen Umfange des Sees. Im Sommer und im Winter unterscheidet sich das Wasser der mündenden Flüsse und Bäche vom Seewasser durch eine höhere Konzentration an Mineralstoffen und Eisenverbindungen, zum Teil auch durch einen höheren Gehalt an organischen Stoffen und an Kohlendioxyd.

Der lokale Einfluss des mündenden Flusses Väike-Emajõgi wird im Sommer durch eine höhere Konzentration an Mineralstoffen, an organischen Stoffen und an Eisenverbindungen im Wasser der südlichen Bucht im Vergleich zu den übrigen Seeteilen gekennzeichnet. Unter der Eisdecke übt der Fluss Väike-Emajõgi (in geringerem Masse auch der Fluss Ohne) einen umfangreicheren Einfluss auf das Seewasser aus, der den ganzen südlichen Teil und die südliche Bucht umfasst und sogar in der tieferen Seeteil am Ostufer des Sees bis zur Gegend Tammeküla langt (Tab. 5 und 6).

*Institut für Zoologie und Botanik  
der Akademie der Wissenschaften der Estnischen SSR*

Eingegangen  
am 22. Juni 1964