

# SILVOLAN TEKOJÄRVEN MAARAKENTEISTA

LAURI PITKÄKOSKI

## YLEISTÄ

Helsingin kaupungin Vesilaitos rakennuttaa noin 0,5 km<sup>2</sup>:n laajuisen tekojärven Silvolaan lähelle Pitkäkosken vedenpuhdistuslaitosta Vantaasta otettavan raakaveden laadun parantamiseksi ja vakioimiseksi. Järvi rakennetaan sijainniltaan edulliseen luonnontilaiseen laaksoon (kuva 1). Altasta ympäröivät osittain kalliorinteet. Suuri osa laakson reunoista on kuitenkin ollut suljettava maapadoilla. Järven suurin vedenkorkeus on + 42,00. Maanpinta järven keskustassa on noin tasolla + 26,00 joten veden syvyys siellä on 16 metriä. Veden johtaminen vedenottamolta järveen ja sieltä puhdistuslaitokselle tapahtuu kahdessa erillisessä kalliotunnelissa.

## MAAPERÄ

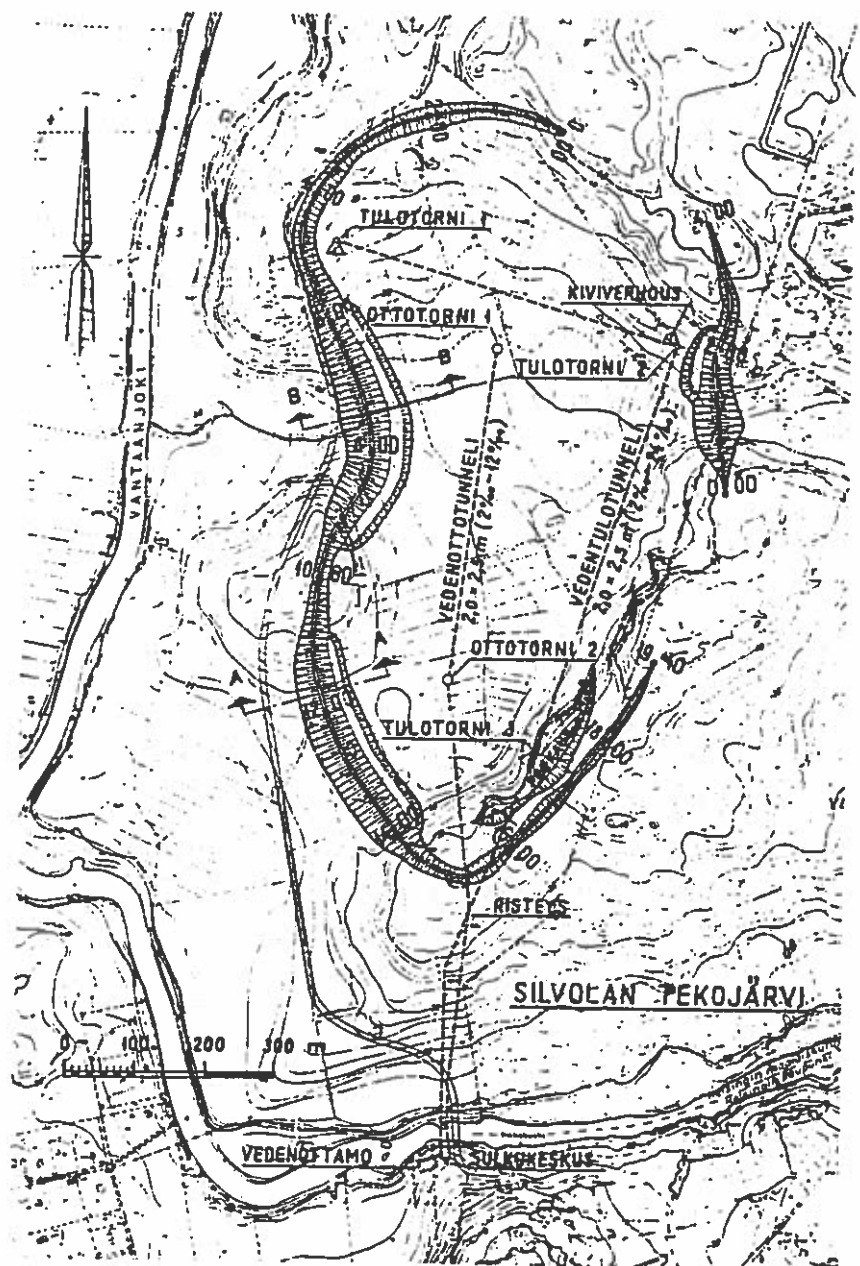
Koko järvioltaan alueella suoritettiin tutkimuksen alkuvaiheessa paino- ja lyöntikairauksia maaperän yleisen laadun selvittämiseksi. Tutkimuksessa todettiin altaan korkeilla reuna-alueilla kallion olevan maanpinnassa tai vain ohuen moreenikerroksen alla. Tasaista keskustaa peittää irtomaa, jossa syvimät tavatut kohdat ovat 10—12 metriä. Humuskerroksen alla on yleensä laihaa savea, jossa kuivakuorikerroksen vahvuus vaihtelee 0,7—1,5 metriin. Pehmeää savea on kuivakuoren alla paikoitellen useita metrejä. Syvemmällä maakerrokset muuttuvat karkeammiksi, ensin hiedaksi ja ennen kalliota moreeniksi, jossa on karkeaksi huuhtoutunut pintakerros. Moreenikerros on yleensä ohut,

Dipl.ins. Lauri Pitkäkoski,  
Insinööritoimisto Maa ja Vesil Oy,  
Helsinki

mutta siinä esiintyy myös useiden metrien vahvuisia linssejä. Samoin on altaan alueella rajoitettuja maanpintaan ulottuvia hieta- ja hiekkalinssejä. Järviolueen kallio-perä on pääasiassa graniittia, mutta länsireunassa pistää altaan sisälle kaksi amfiboliittikiilaa ja lisäksi on tavattu yksi noin 150 metrin levyinen ja joukko pienempiä katkkikiviesiintymiä.

## TUNNELIT

Tutkimuksen kuluessa osoittautui houkuttelevaksi järvelle rakennettavien vesijohtojen tekeminen kalliotunnelleina. Tunnelinjojen kulku (kuva 1) määräytyi kallio-



1. Silvolaan tekojärvi

perän laadun ja virtausmallikoikeista saadun vedenjohtotornien sijoituksen perusteella. Tunnelilinjat tutkittiin heijarikairauksilla. Muutamissa kriittisissä kohdissa, kuten järven sisällä syvimmissä paikoissa ja Vantaanjoen lähistöllä suoritettiin tarkistuksia timanttikairauksilla. Joen kohdalla tutkittiin kalliopinta lisäksi seismisellä luotauksella.

Vedentulo- ja vedentottotunneli lähtevät Pitkäkosken vedenottamon lähelle louhitusta sulkuksista samassa tasossa Vantaanjoen alitse. Järven eteläpään lähellä on tunnelien risteys, jossa tulotunneli menee ottotunneliin

ta ilman ylimääräisiä työkuiluja. Tunnelleita ei ole suunniteltu verhoitavaksi yhtenäisesti millään tavoin. Yhteensä noin 150 metrin matkalla betonoidaan tunnelin seinämät paikoissa, missä kallio on ollut erittäin ruhjoutunutta. Muutamia yksityisiä halkeamia, joissa on ilmennyt vesivuotoja, on suljettu injektoimalla (kuva 3).



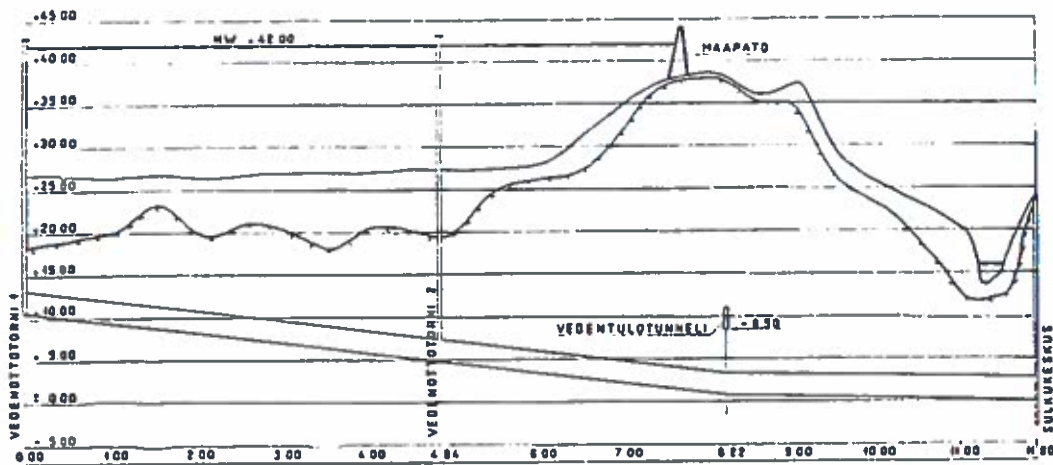
3. Halkeaman injektointia tunnelissa

### MAAPADOT

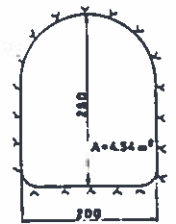
Altaan reunoilla rakennettujen maapatojen sijoitukseen vaikutti lähinnä kolme seikkaa:

- maanpinnan ja kallionpinnan muoto

### VEDENTOTTOTUNNELI



### TUNNELIN POIKKILEIKKAUS



2. Vedentottotunnelin pituus- ja poikkileikkaukset

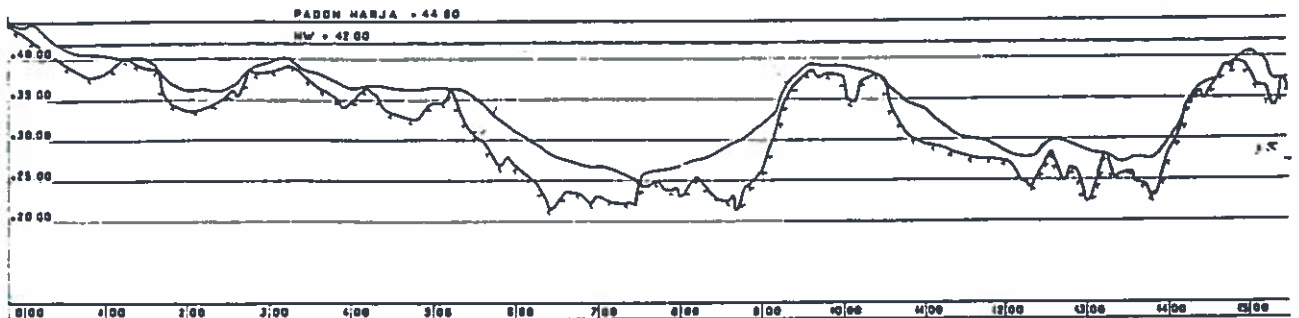
ylitse. Tulotunnelista johdetaan vesi järven kolmesta tornista järven reunoille. Ottotunneliin vesi pääsee kahdesta tornista järven keskustassa. Tunnelien yhteispituus on noin 3 km (kuva 2). Tunnelin poikkileikkaus on tehty niin pieneksi kuin työtekniilliset mahdollisuudet sallivat. Teoreettinen poikkileikkaus on 4,5 m<sup>2</sup>. Louhintatyö on suoritettu pelkästään vesijohtotornien varten louhituista kuilu-

- virtausmallikokeen tulokset
- maanomistussuhteet.

Yleensä maapato seuraa luonnollisesti korkeimpia maastokoh-  
tia. Altaan luoteiskulmassa on patoa vedetty järven sisälle päin virtausuhteitten parantamiseksi järven syntyvissä pyörteissä sekä samalla Sillbölen kartanon rakennusten säilyttämiseksi. Länsireunan maapatoon tehty kaari johtuu siitä, että kallion pinnassa on tä-

män muotoinen harjanne, joka laskee sekä altaan sisälle että Vantaaseen päin.

Kallion pinnan kulku patolinjalla on hyvin epätasainen (kuva 4). Irtomaa on kauttaaltaan poistettu kalliosta päältä padon tiivistävän osan kohdalla. Täten järveä rajoittavat kallio ja maapadon tiivistyssydän. Kallion pinnassa on esiintynyt varsin runsaasti rapautuneita kohtia sekä onkaloita ja



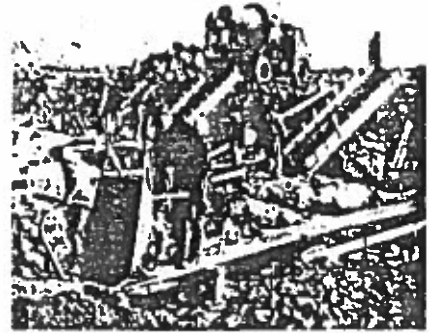
4. Osa maapatolinjan I pituusleikkausta

halkeamia, joissa on ollut maata. Kallion pinnan ja tiivistyssydämen liittymäkohdan tiivistämiseksi ja erosiovaaran välttämiseksi tässä pinnassa on epätasaisuuksia osittain louhittu, osittain tasoitettu paikallisilla betonoinneilla. Erityisesti ne alueet, missä kalkkikiveä on esiintynyt padon alla, on peitetty noin 50 sm:n vahvuisella betonilaatalla, joka on ankkuroitu kallioon (kuva 5). Kallion pinta on injektoitu 4—8 metrin syvyyteen yleensä yhdessä rivissä paitsi kalkkikivessä kolmessa rivissä.

Järven alueelta ja sen välittömästä läheisyydestä saatavien maapatomassojen laatu ja määrä oli osoittautunut kenttätutkimuksessa hyvin rajoitetuksi. Tämän vuoksi oli sopivia lisämassoja patorakennetta varten etsittävä jär-

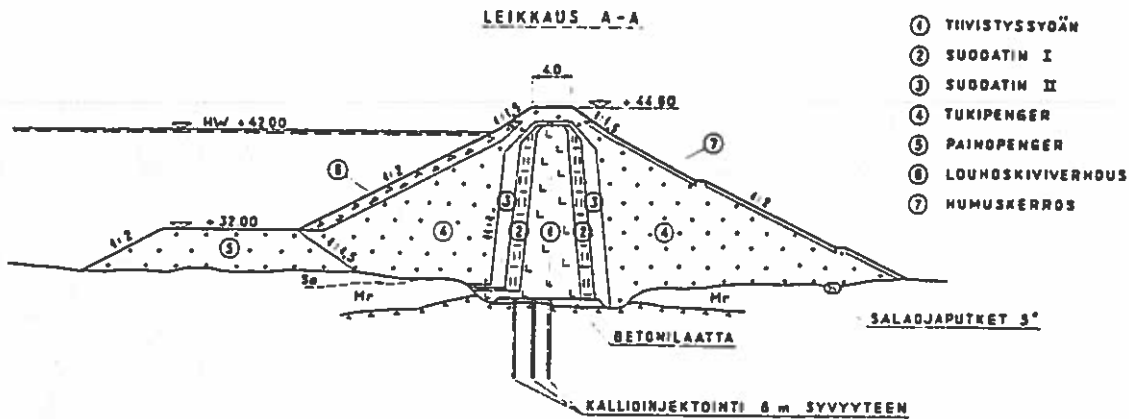
nen riittävän suurina esiintyminä osoittautui vaikeaksi. Tutkimuksia jatkettiin työn alettua urakoitsijan toimesta ja moreenia löydettiin niin paljon, että osa padosta tehtiin moreenitiivisteenä (paaluväli noin 600—900 kuvassa 4). Maapadon kokonaisuus ovat noin 750 000 m<sup>3</sup>, josta suurin osa on ajettu järviaueen ulkopuolisilta maanottopaikoilta. Itse altaasta on saatu vain savea tiivistyssydämeen, hietaa suodatinainekseksi sekä kalliolouhosta luiskaverhoukseksi kaakkoiskulmassa virtausuhteiden parantamiseksi suorite- tusta perkauksesta.

Suurimmalla osalla maapatoa on tiivistyssydän tehty laihasta savesta, joka on saatu järven sisäpuolelta kuivakuorikerroksesta. Padon yleinen rakenne ilmenee kuvasta 6.



5. Betonilaatan valu kalkkikiven päälle tiivistyssydämen kohdalla

ka korvattiin kuitenkin 60 cm:n korotuksella tavallisesta sorasta. Tiivistyssydämen leveys on al-



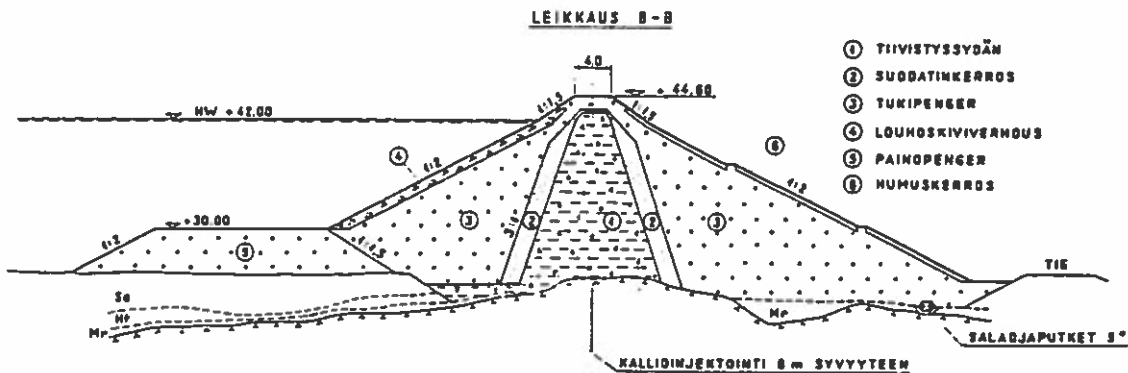
6. Savisydänpadon poikkileikkaus kalkkikivialueen kohdalta

vialueen ulkopuolelta. Padon tukiosaan käytettäviä karkeita sora- ja hiekkamaita todettiin olevan riittävästi saatavissa noin 10—15 km:n etäisyydellä. Lopulliset maanottopaikat jätettiin urakointikilpailun varaan. Myös tiivistysaineksi sopivaa moreenia etsittiin jo tutkimuksen alkuvaiheessa. Käyttökelpoisen moreenin löytämi-

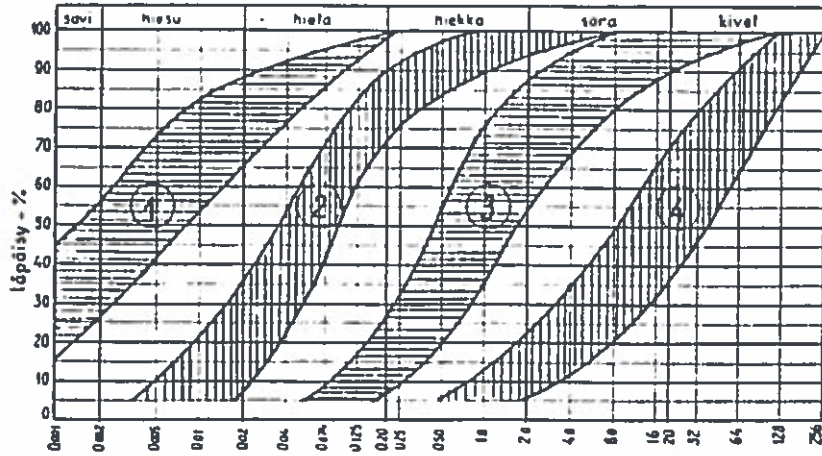
Tiivistyssydämen lisäksi sisältyy padon rakenteeseen kaksi suodatinkerrosta ja tukipenger sekä korkeimmilla kohdilla järven puolella painopenger. Veden puoleisessa luiskassa on louhoskiviverhous ja ulkoluiskassa humusverhous, johon kylvetään ruoho. Padon harjalle oli alunperin suunniteltu roustasuojaus kevytsorakerroksena, jo-

haalla noin 6 metriä ja sen seinämät lähellä pystysuoraa. Sydän liittyy välittömästi kallioon tai betonitasoitukseen. Siellä, missä järven puolella esiintyy tiivistä moreenia tai savea, on sydän lisäksi liitetty alhaalla välittömästi näihin, jolloin järven puolelle on saatu tiivistävä patja.

Savisydänpadon vyöhykkeiden

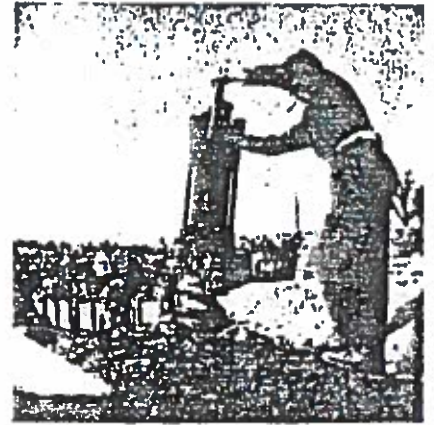


7. Moreensydänpadon poikkileikkaus



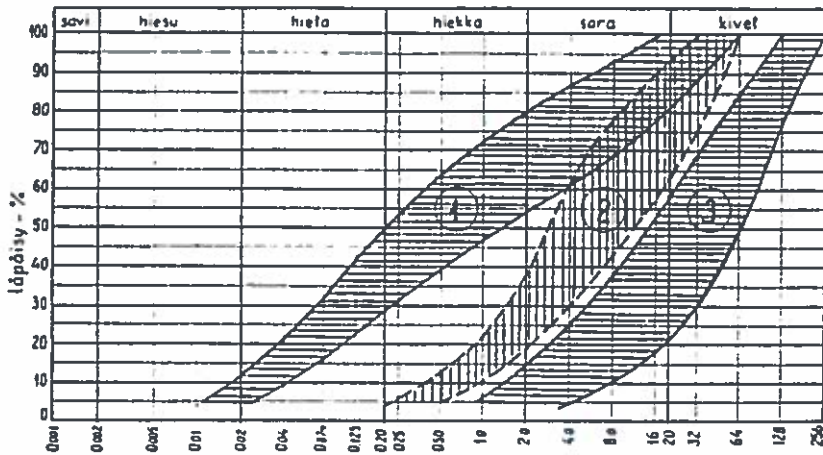
8. Savisydänpadon rakennevyöhykkeiden rakeisuusalueet 100:n koesarjan raja-arvokäyrät

rakeisuusalueet ilmenevät kuvasta — tilavuuspaino luonnontilassa noin  $1,8 \text{ t/m}^3$   
 8. Tiivistysmateriaalin muista ominaisuuksista mainittakoon: — vedenläpäisevyys noin  $10^{-7}$ — $10^{-8} \text{ cm/s}$   
 — vesipitoisuus noin 25—45 %

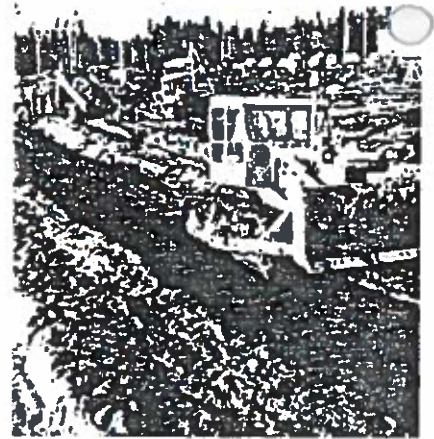


10. Saven tiivistäminen kallon pintaan

— juoksuraja noin 55—60 %  
 — kieritysraja noin 25 %  
 Saviaineksen tiivistämisessä osoittautuivat telaketju-tractorit

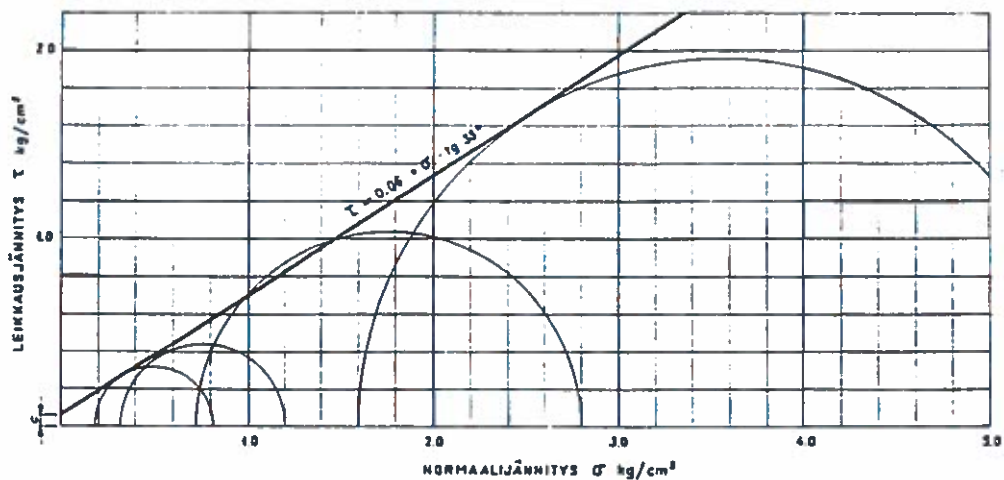


9. Moreemisydänpadon rakennevyöhykkeiden rakeisuusalueet. 100 koesarjan raja-arvokäyrät



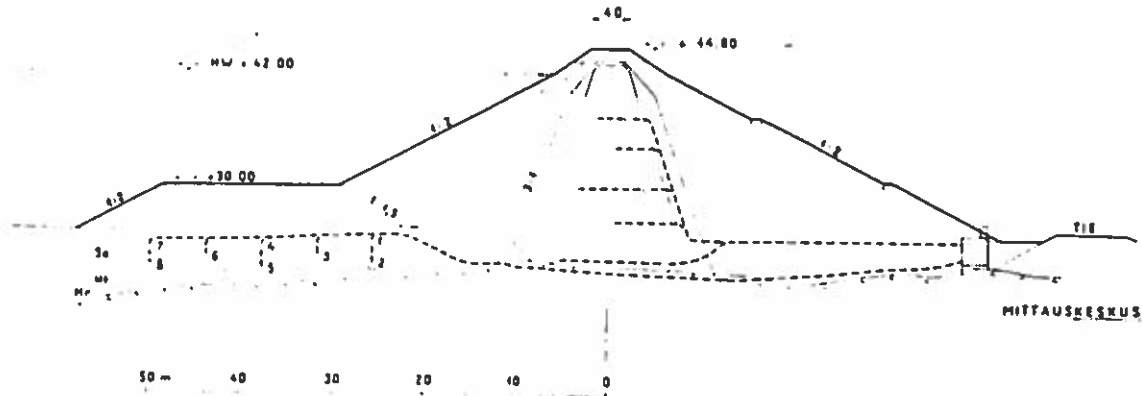
11. Padon tiivistäminen telaketju-tractorilla

Lab. n:o	Ottopiste	Syvyys m	$\sigma_c$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_m$ kg/cm <sup>2</sup>	$(\sigma_1 - \sigma_m) \cdot \rho$ kg/cm <sup>2</sup>	$u \cdot \rho$ kg/cm <sup>2</sup>
1	150/24	1,70 ± 0,00	0,3	0,3	0,63	0,34
2	—	—	1,0	1,0	0,90	0,69
3	—	—	2,0	2,0	2,10	1,28
4	—	—	4,0	4,0	3,93	2,42



12. Kolmiakselikokeen tuloksia painopenkereen alle jätetystä laihasta savesta





13. Huokosvedenpaineen mittausjärjestelmä

erittäin sopiviksi. Sen sijaan esim. sorkkajyrällä ei tiivistäminen onnistunut. Savessa saavutettiin varsin helposti likimain luonnontilainen tilavuuspaino, joka pysyi muuttumattomana ajokertoja lisätessä. Ensimmäinen kerros kalliota vasten tiivistettiin Delmag-juntalla (kuva 10). Savisydänpadon kaikki vyöhykkeet tiivistettiin telaketjutraktoreilla (kuva 11). Tukirakenteilta vaadittu sullontaste asetettiin verraten pieneksi (>85 %), jotta patorakenne olisi kimmoisilta ominaisuuksiltaan mahdollisimman homogeeninen.

Poikkileikkaus padosta, jossa tiivistyssydän on moreenia, on esitetty kuvassa 7. Rakenne on muuten samanlainen kuin savisydänpadossa, mutta sydänvyöhyke on leveämpi ja suodatinkerroksia on vain yksi. Vyöhykkeiden rakeisuusalueet ilmenevät kuvasta 9. Moreenille asetetut laatu- ja työvaatimukset olivat seuraavat:

- vedenläpäisevyys <math> < 10^{-4.5}</math> cm/s
- hienoainespitoisuus >15 %
- työvesipitoisuus: optimi  $\pm 2$  %
- sullonta-aste >90 %.

Moreenisydänpadon tiivistys suoritettiin täryjyrällä. Kerrospaksuus kaikissa padoissa oli sydän- ja suodatinvyöhykkeissä 20 cm ja tukipenkereissä 40 cm. Savisydän osoittautui erityisesti sadekausina edullisemmaksi tiivistää kuin moreenisydän, koska edellisen tiivistystä voitiin jatkaa melkein välittömästi sateen lakattua, kun taas moreenin vesipitoisuus lisääntyi sateen aikana niin, että kuivumista oli odotettava 2—3 päivää tai pintakerros oli poistettava.

Maapatojen vakavuuslaskenta suoritettiin Bishopin tunnetun menetelmän mukaan. Tätä varten suoritettiin kolmiakselikokeita painopenkereen alle jääneestä laihasta savesta. Erään näytteen tutki-

mustuloksia esittää kuva 12. Padon vakavuus korkeimmilla kohdilla on ratkaisevasti riippuvainen huokosvedenpaineesta pohjamaassa rakennustyön aikana. Varmuuskerroimen todettiin olevan esim.  $F = 1,5$ , jos huokosvedenpaine on noin 70 % päällä olevasta kuormasta.

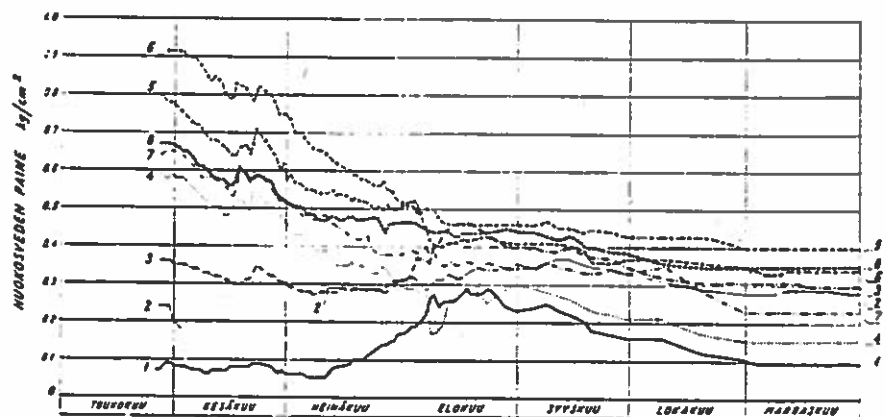
#### VALVONTAMENETELMÄT

Patorakenteeseen on sijoitettu huokosvedenpaineen mittauselimä 16 kpl (kuva 13), joista 8 kpl pohjamaahan ja 8 kpl moreenisydämeen; viimeksimainitut pääasiassa vedennoston jälkeisten vedenpainoiden seuraamiseksi. Huokosvedenpaineen mittausjärjestelmä perustuu vedenpaineen johtamiseen muoviletkujen välityksellä mittauskeskukseen, jossa paine voidaan lukea manometreistä. Tarvittavat laitteet on hankittu norjalaiselta Geonor A/S:lta. Kuva 14 esittää huokosvedenpaineen mittaustuloksia pohjamaasta. Ensimmäiset havainnot ovat likimain siitä ajankohdasta, kun painopenger on saavuttanut täyden korkeuden. Tiivistyssydän ja tukipenkereen ajo on päässyt käyntiin suunnilleen heinäkuun puolivälissä. Tällöin on lähimpien mittauselinten kohdalla paine selvästi noussut.

Patorakenteen painumia on mitattu painopenkereen kohdalla ja tiivistyssydän korkeimmilla osilla. Suurimmat painumat savisydämessä, siihen mennessä kun harjakorkeus on saavutettu, ovat olleet noin 25 cm ja moreenisydämessä noin 6 cm.

Patomassojen ja valmiin patorakenteen laadun valvontaa varten on koko rakennustyön ajan ollut toiminnassa kenttälaboratorio, jossa on suoritettu jatkuvat säännölliset tutkimukset sekä maanotto- paikoilta että padosta. Patorakenteen vyöhykkeiden suuresta lukumäärästä johtuen on näytteitä tutkittu varsin runsaasti. Rakeisuusmäärittämiä on tehty noin 4 200 kpl, vedenläpäisevyyskokeita noin 500 kpl, sullontakokeita noin 300 kpl ja tilavuuspainokokeita noin 1 900 kpl.

Vedennoston aiheuttamien pohjavedenkorkeuden muutosten toteuttamiseksi järven ulkopuolella, on asennettu ympäristöön useita pohjavesiputkia. Lisäksi on suoritettu jatkuvia havaintoja vedenkorkeuksista lähiympäristön kaivoissa. Kallioon on järven reuna-alueille kairattu muutamia havaintoreikiä vedenkulun seuraamiseksi kallio-perässä, kun järven vedenpintaa nostetaan.



14. Huokosvedenpaineen mittaustuloksia pohjamaasta

