

Tero Kilpeläinen

**POHJAVESIKASTELOJÄRJESTELMÄN AUTOMATISOINTI  
TYRNÄVÄN PERUNANTUOTANTOON**

Diplomityö, jonka aiheen Oulun yliopiston rakentamistekniikan osastonjohtaja on hyväksynyt 21.12.1999.

Työn valvoja ja tarkastaja :

Professori Jussi Hooli

Toiset tarkastajat :

Toimitusjohtaja Juha Arola  
Diplomi-insinööri Pertti Hyvönen

Osasto Rakentamistekniikka		Laboratorio Vesi- ja ympäristötekniikan laboratorio	
Tekijä Tero Tapio Kilpeläinen		Työn valvoja prof. Jussi Hooli	
Työn nimi <b>Pohjavesikastelujärjestelmän automatisointi Tyrnävän perunantuotantoon</b>			
Oppiaine Vesitekniikka	Työn laji Diplomityö	Aika Joulukuu 1999	Sivumäärä 104 + 14
Tiivistelmä			
<p>Säätösalaajitusta käytetään Tyrnävällä laajasti perunapeltöjen kastelu- ja kuivatusmenetelmänä. Säätösalaajituksessa maahan satanut vesi varastoidaan maaperään säätökaivojen padotuskorkeutta nostamalla. Pohjavesikastelussa säätösalaajitusjärjestelmään pumpataan lisävettä halutun pohjavesipinnantason saavuttamiseksi. Kastelumenetelmän tehokas käyttö vaatii perunan eri kasvuvaiheissa tarvitseman vedentarpeen ymmärtämistä.</p> <p>Tässä tutkimuksessa selvitetään pohjavesikastelun soveltuvuus Tyrnävän perunanviljelyyn, perunan vedentarve kasvukaudella ja pohjavesikastelun säätöön vaikuttavat raja-arvot perunanviljelyssä. Pohjavesikastelun perusteiden jälkeen keskitytään automatisoidun pohjavesikastelun laitteiden ja toteuttamistapojen esittämiseen. Tutkimuksen tarkoitus on antaa erilaisia vaihtoehtoja automatisoidun pohjavesikastelun sekä järjestelmää ohjaavan tietokoneohjelman toteuttamiselle.</p> <p>Pohjavesikastelun automatisointilaitteisto suunnitellaan tehdasvalmisteisiin kairoihin asennettavaksi ja toteutetaan kustannusten säästämiseksi olemassa olevia laitteita käyttäen. Automatisoidussa pohjavesikastelussa pohjavedenpinta nostetaan tietokoneelle syötetyn kasteluohjelman antamien ohjeiden mukaisesti automatisoitujen säätökaivojen padotuskorkeutta nostamalla. Säädetty pohjavedenpinnantaso pidetään yllä tietokoneohjatulla lisäveden pumppauksella. Automatisoitu pohjavesikastelu voidaan toteuttaa vähitellen automatisoinnin tasoa lisäämällä ja järjestelmän laajentaminen tulevaisuudessa on mahdollista. Järjestelmä on jälkiasennettavissa myös vanhoihin säätökaivoihin.</p> <p>Automatisoitu pohjavesikastelu voidaan toteuttaa myös sähköverkon ulottumattomissa oleville peltoalueille, joten laitteistot on suunniteltu myös akkukäyttöiseksi. Tiedonsiirto toteutetaan langattomana tai kaapeleiden avulla.</p> <p>Automatisoitu pohjavesikastelu suunnitellaan varmatoimiseksi ja helppokäyttöiseksi. Järjestelmän mukanaan tuoma säädön tarkkuus edesauttaa ympäristökuormituksen vähentämistä. Työmäärältään automatisoitu pohjavesikastelu on erittäin vähäinen. Oikein suoritettu pohjavesikastelu lisää merkittävästi sadon määrää ja laatua.</p>			
Säilytyspaikka			
Muita tietoja			

Faculty/Department Department of Civil Engineering		Author Tero Tapio Kilpeläinen	
Thesis title <b>The Automation of the Subirrigation System for Tyrnävä's Potato Production</b>			
Subject Water Resources and Environmental Engineering Laboratory	Thesis type Diploma thesis	Time December 1999	Number of pages 104 + 14
Abstract  <p>Controlled drainage is used broadly in Tyrnävä's potato field's as an irrigation and drying method. Water which is put into the ground through the controlled drainage pipes is stored in the ground by raising the water level of the control chambers. In subirrigation, supplementary water is pumped into the controlled drainage pipes in order to establish the desired groundwater level. For an efficient use of this irrigation system, an understanding of the water demands required by potatoes in their various growth stages is needed.</p> <p>In this study an attempt is made to define the applicability of subirrigation for Tyrnävä's potato farming, the water needs of potatoes during the growing season and the limitations which influence the regulation of groundwater in potato farming. After dealing with the fundamentals of groundwater irrigation, this paper will focus on presenting the automated equipment used in subirrigation and ways of implementing it. The purpose of this study is to give a variety of alternatives for automated subirrigation, as well as a system for implementing a computer program for directing the process.</p> <p>The automated equipment used in subirrigation are designed to be hooked up to the prefabricated control chambers and, in order to save money, are put into use using whatever already existing equipment is at hand. In Automated subirrigation, the surface of the groundwater is raised according to the directions provided for the irrigation system which are fed in to the computer, which in turn raises the water level of the automated control chambers. The regulated groundwater surface level is maintained with the aid of the computer controlled pumping of additional water. Automated subirrigation can be carried out by gradually increasing the level of automation, and a broadening of the system is possible in the future. The system can also be retrofitted to already existing control chambers.</p> <p>Automated subirrigation can also be carried out in potato fields which are outside the reach of the electrical grid if the equipment is designed for battery operation. Information transfer can be done either wirelessly or with the help of cables.</p> <p>Automated subirrigation is designed to function reliably and with ease of operation in mind. The regulatory precision which the system carries with it also helps to reduce the burden to the environment imposed by current irrigation systems. The amount of work demanded by subirrigation is quite little. Performed correctly, subirrigation significantly increases the size and quality of a harvest.</p>			
Further information			

## ALKUSANAT

Diplomityön aihe automatisoidun pohjavesikastelun kehittäminen kuuluu säättösalaojituksen kehittämismahdollisuudet Tyrnävän seudun perunanviljelyssä projektiin. Pohjavesikastelun automatisoinnista tehdään diplomityössä esitettyjen periaatteiden mukaan pilottihanke, joka toteutetaan keuhällä vuonna 2000. Hankkeesta vastaa Suomen Salaojakeskus Oy. Hanketta ovat rahoittaneet Euroopan maatalouden ohjaus- ja tukirahasto (EMOTR), Pohjois-Pohjanmaan TE-keskuksen maaseutuosasto, Tyrnävän kunta ja Lakeuden seutukunta.

Työn ohjaajana ja tarkastajana olivat professori Jussi Hooli Oulun Yliopistosta ja toimitusjohtaja Juha Arola Suomen Salaojakeskus Oy:stä. Työn teknisen osan tarkastajana toimi diplomi-insinööri Pertti Hyvönen Pythagoras Oy:stä.

Kirjallista aineistoa on kerätty Suomessa sekä ulkomaisista saatavilla olevista aihetta käsittelevistä julkaisuista. Ulkomaalaisten ja kotimaisten tutkimushankkeiden raporteja olen seurannut myös internetin välityksellä. Lisäksi olen saanut opastusta ja tietoja lukuisista Oulun seudun tietotekniikka- ja tekniikan alan yrityksistä. Tärkeää on ollut myös maanviljelijöiltä saatu palaute pohjavesikastelujärjestelmän käyttökokemuksista. Verrattomaksi tietolähteeksi osoittautuivat perunanviljelijöiden omat internetkotisivut sekä tekniikan alan internetsivut. Työni toteuttamiseen vaikuttaneille esitän suuret kiitokset.



Oulussa 10.12.1999

Tero Kilpeläinen

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
ALKUSANAT	
SISÄLLYSLUETTELO	
<b>1. JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. SÄÄTÖSALAOJITUS JA POHJAVESIKASTELUN PERIAATTEET .....</b>	<b>2</b>
2.1 SÄÄTÖSALAOJITUKSEN JA POHJAVESIKASTELUN HISTORIA.....	2
2.2 SÄÄTÖSALAOJITUS JA POHJAVESIKASTELU MENETELMÄNÄ .....	3
2.3 POHJAVESIKASTELUN VAATIMUKSET .....	11
<b>3. POHJAVESIKASTELUN SOVELTUMINEN TYRNÄVÄN SEUDULLE .....</b>	<b>13</b>
3.1 TYRNÄVÄN ERITYISPIIRTEET JA TUOTANTOTILANNE.....	13
3.2 MAAPERÄ .....	16
3.3 ILMASTO .....	23
3.4 VILJELYKIERTO JA KASTELUVEDEN HANKINTA.....	26
<b>4. POHJAVESIKASTELUN OHJAUSPARAMETRIT .....</b>	<b>28</b>
4.1 PERUNAN VEDENTARVE .....	28
4.2 POHJAVEDENPINNAN SÄÄTÖ .....	35
<b>5. SÄÄTÖSALAOJITUKSEN YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISYYS .....</b>	<b>42</b>
<b>6. POHJAVESIKASTELUN AUTOMATISOINTI.....</b>	<b>47</b>
6.1 AUTOMATISOINTIEHDOTUKSET ERI KAIVOTYYPEILLE .....	48
6.1.1 VETO-säätösalaajakaivo.....	48
6.1.2 Läppäventtiilisäätökaivo.....	50
6.1.3 Jussi-säätösalaajakaivo .....	51
6.1.4 TWISTER-säätösalaajakaivo .....	52

6.2	AUTOMATISOINNIN TOTEUTTAMINEN KARAMOOTTORIN AVULLA.....	53
<b>7.</b>	<b>JÄRJESTELMÄN OHJAUS JA TIEDONSIIRTO.....</b>	<b>56</b>
7.1	TIEDONKERUUYKSIKKÖ ELI DATALOGGERI.....	56
7.2	MIKROTIETOKONE.....	58
7.3	POHJAVEDENKORKEUDEN MITTAUS.....	60
7.4	TIETOKONEOHJELMA.....	66
7.5	TIEDONSIIRTOLAITTEISTO.....	71
7.6	PUMPPUJEN OHJAUS.....	75
7.7	SÄÄN HAVANNOINTI.....	77
<b>8.</b>	<b>MENETELMÄN KUVAUS JA KÄYTTÖ.....</b>	<b>81</b>
8.1	YKSINKERTAINEN AUTOMATISOITU POHJAVESIKASTELU.....	81
8.2	TIETOKONEOHJATTU AUTOMATISOITU POHJAVESIKASTELU.....	83
<b>9.</b>	<b>AUTOMATISOIDUN POHJAVESIKASTELUN KEHITTÄMINEN.....</b>	<b>86</b>
9.1	SÄÄTÖKAIVON ROUTASUOJAUS.....	86
9.2	KAKSIKERROSOJITUKSEN KÄYTTÖ POHJAVESIKASTELUSSA.....	87
9.3	PERUNANTUOTANNON AUTOMATISOINNIN YHDISTÄMINEN.....	88
9.4	PERUNAN LAADUNSEURANTAJÄRJESTELMÄ.....	89
<b>10.</b>	<b>YHTEENVETO.....</b>	<b>91</b>
	<b>LÄHDELUETTELO.....</b>	<b>93</b>
	<b>LIITTEET</b>	

## 1. JOHDANTO

Tyrnävä tunnetaan yleisesti perunantuotantopitäjänä ja maanviljelyä innokkaasti kehittävänä kuntana. Tyrnävä, Liminka ja Temmes muodostavat yhdessä High-Grade alueen, joka on tehnyt itsensä kansainvälisesti tunnetuksi korkealuokkaisen perunan, varsinkin siemenperunan tuottajana, vaikka kasvuolosuhteet Suomessa eivät ole eurooppalaisella tasolla.

Pohjavesikastelua on tutkittu Suomessa jo 1930-luvulta lähtien, jolloin avo-ojia patoamalla saatiin pohjavedenpinta nostettua kasvuston juuriston ulottuville. Säättösalaojitus kehitettiin Yhdysvalloissa 1970-luvun lopussa maissiviljelysten kastelujärjestelmäksi. Suomessa säättösalaojituksen käyttöä pohjavesikastelussa on tutkittu vasta 1990-luvun alusta.

Suomessa yleisin kastelumenetelmä on sadetus, mutta pohjavesikastelu on yleistynyt varsinkin perunanviljelyssä tehokkaan ja jatkuvan kastelun antaman huomattavan sadon määrän ja laadun lisäyksen vuoksi. Maaperän hyvän vedenjohtavuuden ja peltojen tasaisuuden vuoksi säättösalaojituksen käyttö pohjavesikastelussa soveltuu Tyrnävän alueella peltojen kuivatukseen ja kasteluun erinomaisesti. Tyrnävällä säättösalaojitettua peltoa on noin 1500 hehtaaria. Uuden viljelyteknologian ja -tekniikoiden käyttöönotto on High-Grade alueen imagon kannalta tärkeää ja siksi kiinnostus säättösalaojituksen automatisointiin on alueella korkea.

Tehostettu viljely lisää kasteluveden tarvetta, mikä aiheuttaa kasteluveden riittämättömyyttä perinteisillä kastelumenetelmillä. Lisääntyneen vedentarpeen seurauksena alueen joet ja purot ehtyvät, ja tästä koituu haittaa jokivarren virkistys- ja muulle hyötykäytölle. Säättösalaojituksessa kasteluveden varastoiminen ja kierrättäminen on mahdollista, mikäli alueelta löytyy sopiva varastotila veden keräämiselle. Pohjavesikastelun toteuttamiseksi alueella on oltava lisävesilähde. Viljelykierto vaatii kastelujärjestelmältä säädettävyyttä kasvilajien erilaisten vedentarpeiden mukaan.

Pohjavesikastelu on kastelumenetelmänä vettä säästävä ja ympäristöystävällinen. Menetelmän hyvän ja tasaisen kastelutehokkuuden vuoksi sadon määrä ja laatu paranevat sekä nykyisin viljelyyn huonosti sopivat alueet voidaan ottaa lisäalueeksi viljelyskäyttöön.

Automatisoinnin tavoitteena on helpottaa pohjavedenpinnan säätöön tarvittavaa jatkuvan vedenpinnan tarkkailun työmäärää sekä mahdollistaa mahdollisimman tarkka pohjavedenpinnan säätö koko kasvukauden ajan. Pohjavedenpinnan säätäminen vaatii kasvuston juuristovyöhykkeen kehityksen tuntemista sekä maalajille ominaisen kapillaarisuuden selvittämistä. Myös sade-ennusteiden seuranta on tärkeää riittävän kuivatustilan saamiseksi ennakkoon rankkojen sateiden sattuessa.

## **2. SÄÄTÖSALAOJITUS JA POHJAVESIKASTELUN PERIAATTEET**

### **2.1 SÄÄTÖSALAOJITUKSEN JA POHJAVESIKASTELUN HISTORIA**

Tutkimus säätösalaajituksen käytöstä pohjavesikastelussa aloitettiin USA:ssa Pohjois-Carolinan yliopistossa 1970-luvun lopussa, koska kasvukauden sadanta ei riittänyt maksimituotokseen. Tämän vuoksi etsittiin keinoja ojituksen käyttämiseksi myös kasteluun. Pellolta salaojien kautta poisvirtaavan veden määrää säädettiin patoamalla ja lisävettä johdettiin pellolle salaojien kautta (Skaggs 1990). Näissä tutkimuksissa havaittiin pellolta huuhtoutuvien ravinteiden pienenevän virtaaman säätelyn ansiosta. Tämän jälkeen tutkimuksien painopiste on muuttunut säätelyn järjestämisestä ympäristöhaittojen vähentämiseen.

Suomessa on pellon vesitalouden säätöä viljakasvien kasvun turvaamiseksi tutkittu jo 1930- ja 40-luvulla. Esimerkiksi Vihdin Maasojalle järjestettiin koe-kenttä, jossa tutkittiin avo-ojitetulla pellolla pohjavesikastelulla saatavaa sadonparannusta suhteessa pohjavedenpinnan korkeuteen (Wäre 1947). Limingassa 1980-luvun alussa maanviljelijä Markku Holma päätyi tilallaan avo-ojitettuun



pohjavesikasteluun ja vuonna 1991 Helsingin yliopisto teki kokeita Holman pelloilla säätösalaajituksen käytöstä pohjavesikastelussa (Ahonen 1991). Tyrnävällä kokeita on tehty myös vuosina 1995-1996 Helsingin yliopiston kasvintuotantotieteen laitoksen toimesta (Kleemola 1996).

Maataloustutkimuksen tavoiteohjelmassa vuoteen 2000 on esitetty maataloutta ja ympäristöä koskevia linjauksia. Sen mukaan järkevä luonnonvarojen käyttäminen edellyttää, että ihmisen talouden ja luonnon ekologisten järjestelmien välillä vallitsee tasapaino. Luonnonvarojen riittävyys ja käyttökelpoisuus on turvattava tuleville sukupolville. Tämä on kestävä kehityksen periaatteen mukaista toimintaa. Ympäristöpolitiikan keskeisenä tavoitteena on ympäristönsuojelunäkökohtien huomioonottaminen sekä ympäristön laadun säilyttäminen tai parantaminen (Maa- ja metsätalousministeriö 1987). Säätösalaajituksen hyväksikäyttö peltoalueiden kuivatukseen ja kasteluun on yksi mahdollisuus etenemisessä kohti ympäristöystävällisempää maanviljelyä.

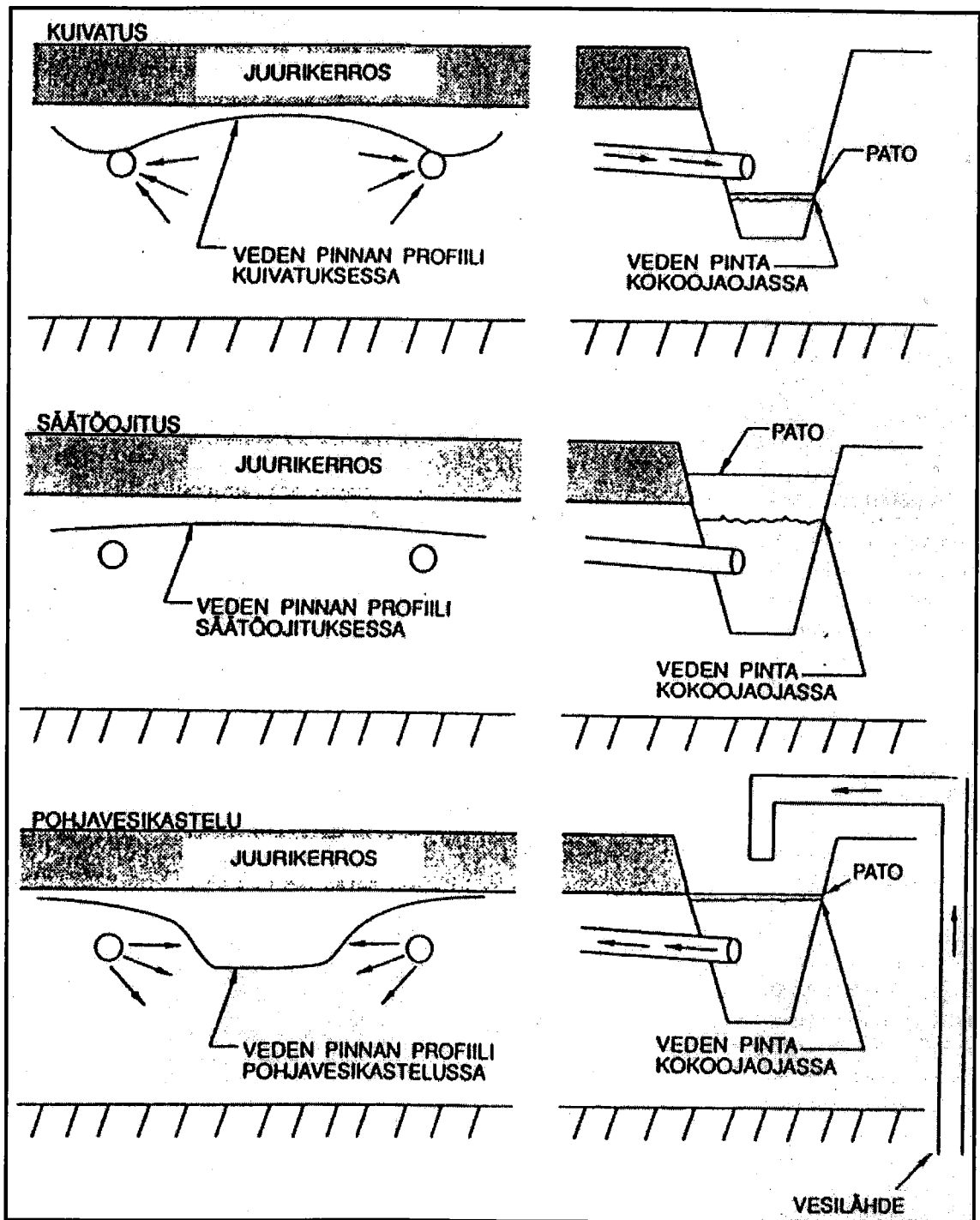
Säätösalaajitus on Suomessa ja ulkomailla tehtyjen tutkimusten mukaan osoittautunut ympäristöystävälliseksi sekä sadon laatua ja määrää parantavaksi. Maatalouden ympäristöpäästöjen vähentämiseksi valtio tukee peltoalueiden säätösalaajittamista erityistuella. Vaikka säätösalaajituksen yleistymisen Suomessa on suurelta osin ollut erityistukien varassa, sadon laadun ja määrän kasvu on innostanut viljelijöitä tekemään säätösalaajituksia myös omatoimisesti varsinkin erikoisviljelyyn tarkoitetuilla peltoalueilla.

## 2.2 SÄÄTÖSALAOJITUS JA POHJAVESIKASTELU MENETELMÄNÄ

Salaojitusta käytetään huonosti kuivuvilla pelloilla vähentämään liiallisen vesimäärän aiheuttamia haittavaikutuksia kasveille. Salaojitus ei aina yksin riitä ylläpitämään kasveille edullisia kosteusoloja peltomaassa, vaan se voi jopa aiheuttaa veden puutetta kuivina jaksoina. Luonnollisten sateiden lisäksi tarvitaan usein myös kastelua vähentämään kasveille aiheutuvaa kuivuusstressiä ja varmistamaan onnistunut sadon määrä ja laatu.

Pohjavesikastelujärjestelmään kuuluu tehokas salaojituskuivatus ja pohjavedenpinnan noston mahdollistama kasvuston altakastelu. Näiden avulla säädetään pellon vesitaloutta optimikosteuteen koko kasvukauden ajan ottaen huomioon haihdunnan ja viljeltävän kasvin aiheuttama vedenkulutus eri kasvuvaiheissa sekä rankkojen sateiden tuoman lisäveden vaatima kuivatustarve.

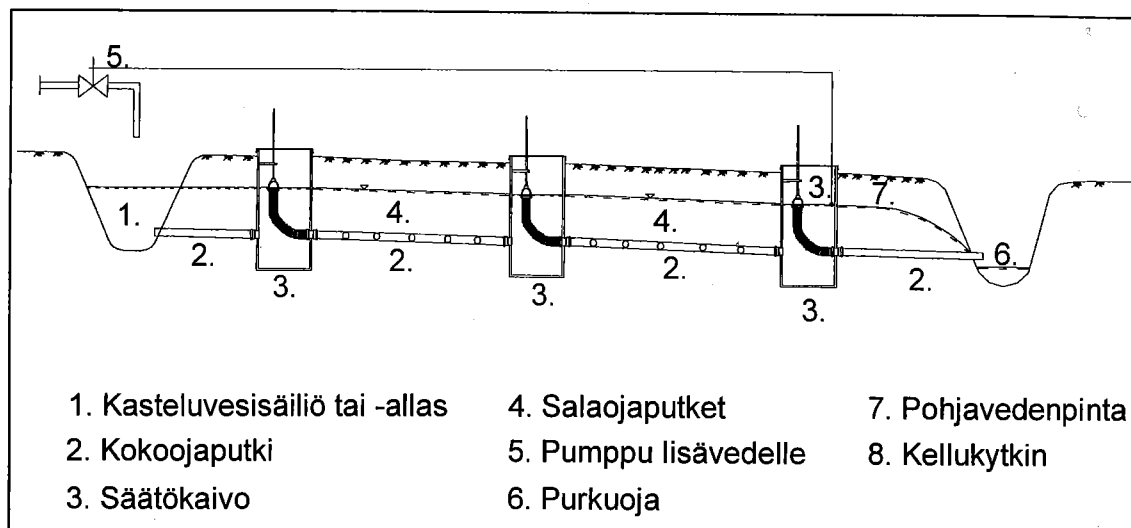
Säätösalojitus voidaan rakentaa perinteiseen salaojitusjärjestelmään, jolloin periaatteena on säädellä sadantana tulevan veden poistumista maaperästä. Säättöjärjestelmän vaatima säädettävä padotuslaite sijoitetaan joko varsinaisen salaojan laskuaukkorakenteeseen tai, mikäli olosuhteet sallivat, salaojavesiä poisjohtavaan avo-ojaan. Pohjavesikastelu puolestaan tarkoittaa salaojaverkon hyödyntämistä kasvuston altakasteluun, missä salaojiin pumpataan kuivana kautena vettä ulkopuolisesta vesilähteestä. Menetelmien periaatteellinen ero on esitetty kuvassa 1. Pohjavesikastelussa pohjavedenpinta pidetään säätökaivojen ja lisävedenpumppauksen avulla sellaisella korkeudella, että pohjavesi on kapillaarisessa yhteydessä kasvuston juuristokerroksen kanssa. Kosteina kautena salaojitus toimii maan kuivattajana perinteisellä tavalla. Säädettävyytensä ansiosta pohjavesikastelu soveltuu erilaisille viljelykasveille, mahdollistaen viljelykierron vaatiman kasvinvuorottelun. Viljakasveilla pohjavedenpinta pidetään alhaisemmalla tasolla kuin perunalla, koska viljakasvit vaativat suuremman kuivavaran ja pohjavesikastelusta saatava taloudellinen hyöty jää vähäisemmäksi.



Kuva 1. Säättösalaojituksen ja pohjavesikastelun periaatteet (Puustinen & Peltonmaa 1998).

Kuvassa 2 on esitetty eräs säättösalaojituksen toteuttamismalli, jossa lisäveden syöttömahdollisuus mahdollistaa pohjavesikastelun ja pohjavedenpinnan säätö toteutetaan kokoojaojassa olevilla säätökaivoilla. Lisävesi kasteluvesisäiliöön voidaan pumpata läheisestä joesta tai muusta vesilähteestä. Lisäveden pump-

paamisen säätelyyn on käytetty kellukytkeitä viimeisessä säätökaivossa. Kasteluveden syötön ohjaus voidaan toteuttaa myös kasteluvesisäiliöön sijoitetulla kellukytkimellä.

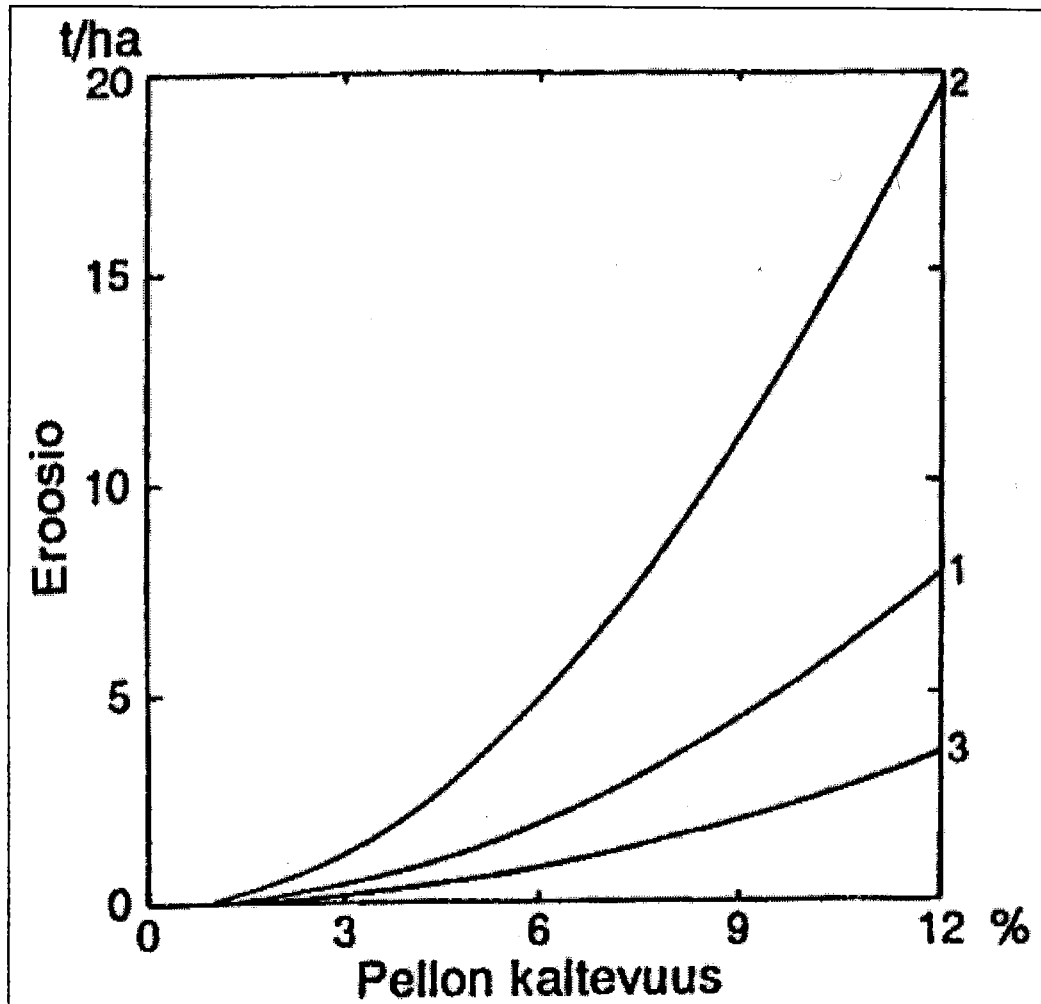


Kuva 2. Säättösalojitus pohjavesikastelussa.

Säättösalojituksessa vettä varastoidaan maaprofiiliin heti kasvukauden alusta lähtien. Pohjavesikastelussa kastelu on jatkuvaa, automaattista veden lisäämistä pellolle sen mukaan, kun kasvit ja haihdunta imevät vettä pois kasteltavalta alueelta. Kesän aikana kasteluvettä voidaan pumpata 0-500 mm, jos kasteluun on tarvetta (Holma 1991). Pohjavesikastelu soveltuu perunan kasteluun hyvin, sillä peruna sietää nurmien tapaan hyvin korkealla olevan pohjavedenpinnan. Pohjavesikastelulla saadaan kasvuston käyttöön 0-10 mm päivittäistä sadantaa vastaava vesimäärä (Perunantutkimuslaitos 1996).

Salaojitus vähentää pellon pintavaluntaa ja lisää sen pohjavesivaluntaa. Pintavalunnan vähenemisen seurauksena eroosioherkkyys ja sedimenttien kulkeutuminen vähenee. Samoin vähenevät fosforihuuhtoumat ympäröiviin vesiin, sillä fosfori kulkeutuu vesistöön enimmäkseen maahiukkasiin sitoutuneena. Kuva 3 esittää maanpinnan kaltevuuden vaikutusta eroosioon ja samalla myös fosforin huuhtoutumiseen. Typpihuuhtoumat kasvavat pohjavesivalunnan lisääntyessä, sillä typpi huuhtoutuu veteen liuenneena nitraattityyppinä (Skaggs 1981). Säättösalojituksessa typpihuuhtouman rajoittaminen perustuu virtaaman rajoittami-

seen maaprofiilin läpi, koska vähäsateisina kausina vettä ei päästetä pois, vaan se käytetään kasvuston kasteluun.



Kuva 3. Kaltevuuden vaikutus eroosioon savi-, hiesu- ja hietapelloilla (1=savi, 2=hiesu, 3=hietä) (Rekolainen 1992).

Ojaväli ja -syvyys määräytyvät paikallisten tekijöiden, kuten topografian, maala-  
jin sekä maan homogeenisuuden mukaan. Salaojitukset mitoitetaan siten, että  
ne johtavat riittävän nopeasti pelloilta pois lumen sulamisesta ja rankasta sa-  
teesta tulevat vedet. Mitoituksessa käytettävä tulvaveden määrä on laskettu  
keskimääräisistä vuosittain sattuvista suurimmista lumimääristä tai sateista.  
Keskimääräinen salaojituksessa käytetty mitoitusvaluma on yksi litra sekunnis-  
sa hehtaaria kohti, mikä vastaa 8,64 mm sadantaa vuorokaudessa. Kuivatuste-  
hokkuuden parantamiseksi mitoitusvaluman suurentaminen yhdestä kahteen

litraan sekunnissa merkitsisi ojaetäisyyden muuttamista 16 metristä 11 metriin, jos maan vedenläpäisykyky ja muut olosuhteet pysyvät samoina (Virtanen 1993).

Pohjavesikasteluun alunperin suunnitellun ojaston ojitusväli on yleensä 30-40 % tiheämpi kuin normaalissa salaojituksessa. Pohjavesikastelussa tiheä ojaväli tehostaa kasteluvaikutusta ja mahdollistaa pohjavedenpinnan tasaisuuden myös salaojaputkien välisellä alueella sekä rankkasateiden vaatiman nopean pohjavedenpinnan laskun. Pohjavesikastelussa suositeltava ojasyvyys on 1,0-1,5 m (Evans 1989).

Markku Holman pelloilla tehtyjen tutkimusten mukaan pohjavesikasteluun sopiva salaojaväli hietamailla olisi 8-14 m. Sato kasvaa ojaväliä tihennettäessä ja huippunsa se saavuttaa ojavälillä 10 m. Jos salaojituksen iäksi lasketaan 50 vuotta, niin suurin katetuoton lisäys saatiin ojavälillä 14 m (Ahonen 1991).

Tehokkaan kuivatusjärjestelmän osana ovat myös hyvin toimivat valtaojat. Valtaojien kuivatussyvyys 30 cm liettymisvara mukaan lukien on nykyisin noin 140 cm (Merilä 1995). Valtaojien kunnossapito on oltava säännöllistä, jotta valtaoijan padottuminen ei estä vedenpinnan laskemista salaojitussyvyyteen saakka.

Mikäli kasteluvettä on rajoitetusti tai pyrkimyksenä on mahdollisimman pienet ympäristökuormitukset, voidaan kasteluvetenä käyttää myös salaojista purkautuvaa vettä. Salaojastosta purkautuva vesi varastoidaan altaaseen, josta se voidaan tarvittaessa pumpata takaisin kasteluvodeksi. Tällöin järjestelmä toimii osittain suljettuna systeeminä ja palauttaa osan salaojavesissä poistuneista ravinteista takaisin kasvien käyttöön. Kalkkisuodinojitus puolestaan tehostaa tiiviillä mailla pintavesien poisjohtamista ja vähentää fosforihuuhtoutumaa (Puustinen & Peltomaa 1998). Kasteluvetenä voidaan käyttää myös muita kuivatusvesiä, kuten metsäojituksista saatavaa lisävettä. Paljon kiintoainetta ja humusta sisältävät vedet voidaan kerätä ennen käyttöä laskeutusaltaaseen, jotta salaojitusputkiston huuhtelutarve ei kasvaisi oleellisesti.

Yleisin Suomessa käytetty kastelujärjestelmä on sadetus. Perunan sadetukseen käytetään ensisijaisesti putki-, putki-letku- tai sadetuskoneratkaisuja. Sadetuksessa kastelu ei ole jatkuvaa, vaan kastelutehokkuutta säädellään sadetuskerrojen määrää ja kasteluajan pituutta muuttamalla. Sadetus kuluttaa pohjavesikasteluun verrattuna vähemmän vettä, jos pohjavesikastelussa kasteluvedenkierrätystä ei käytetä. Sadetus vaatii pohjavesikastelun tapaan ulkopuolisen vesilähteen.

Säätösalaajituksen etuna sadetukseen nähden on, että kasteluveden ei tarvitse kulkea perunakasvustossa. Kasteluvesi ei aiheuta pirskevaurioita, eroosiota perunapenkkeihin tai pellon pintaan eikä siitä johtuvia vihertymisongelmia tai maanpinnan liettymistä. Pohjavesikastelu pienentää myös kasvuston tautiriskiä. Automaattisella lisäveden syötöllä varustettuna pohjavesikastelu vähentää viljelijälle kastelusta aiheutuvaa työtä ja seurantaa. Pohjavesikastelu ei vaadi sadetukseen tarvitsemaa korkeaa painetta, jolloin laitteistojen hankinta on sadetuskalustoon verrattuna edullista.

Tasaisen vedensaannin ansiosta kasvusto on tasalaatuinen ja elinvoimainen myös ennen vedenpuutteesta kärsivillä peltolohkoilla. Säädettävyyden ansiosta monipuolinen viljely ja viljelykierto on mahdollista. Kasvit kestävät paremmin tauteja ja ovat vastustuskykyisempiä rikkakasveille sekä muille tuholaisille. Tehokas salaajitus mahdollistaa juuristovyöhykkeen hyvän happitalouden parantamalla näin kasvin ravinteiden ottokykyä ja kasvua. Juuristo kehittyy voimakkaammaksi ja hyödyntää ravinteet tehokkaammin. Kuiva maa lämpiää nopeammin, kasvu lähtee nopeammin käyntiin ja kasvukausi lyhenee sekä korjuuajankohta aikaistuu. Kulloinkin tarvittavat viljelytoimet voidaan aloittaa optimaalisesti.

Syyskesällä pohjavesikastelua voidaan käyttää hallan torjuntaan. Hallajakson edellä on usein kuuma ja kuivajakso. Luonnonvedet ovat lämpimiä ja ojastoon pumpattuna se saa salaajituksen toimimaan keskuslämmitysjärjestelmän tavoin vähentäen pakkasen voimaa jopa useita asteita. Maan kosteuden lisääntyminen nostaa lämmönjohtokykyä. Sen seurauksena lämpösäteily mikroilmastossa kasvaa ja lämpötila kasvien korkeudella nousee. Mittauksien mukaan nousu on

noin 2°C. Pellolle levitettävä hallaharso estää ilmavirtauksen maasta. Vesihöyry tiivistyy harson alapinnalle ja muodostaa kasveja suojaavan vaipan. Kastelun ja harson yhteisvaikutuksesta lämpötila kasvien kasvukorkeudella voi nousta jopa 6°C (Holma 1990).

Säätöojituksen rakentaminen lisää salaojituksen kustannuksia. Yhdysvalloissa keskimääräinen kustannuslisä on ollut 30 % salaojituksen kustannuksista. (Perunantutkimuslaitos 1996). Tyrnävällä salaojituksen kustannukset vuonna 1999 ovat 8000-9000 mk/ha. Säättösalaojitus lisää kustannuksia keskimäärin 25 %, jolloin kokonaiskustannukseksi saadaan 10000-11250 mk/ha (Suomen Salaojakeskus Oy 1999).



## 2.3 POHJAVESIKASTELUN VAATIMUKSET

Tärkein sääätosalaoituksen soveltuvuuteen vaikuttava tekijä on maan hydraulinen johtavuus. Hydraulisen johtavuuden arvon, k-arvon, on oltava vähintään 0,5 m/d, jotta salaoituksella saataisiin riittävä kuivatus- ja kastelutehokkuus (Evans & Skaggs 1980). Taulukossa 1 on esitettyjen k-arvojen mukaan sääätosalaoitukseen soveltuisivat parhaiten hiyvät hiekka-, hieta- ja karkeimmat hiesumaat, joissa on hyvä kapillaarinen nousu. Ahosen (1991) tekemien mallilaskelmien mukaan ainakin hietamaalla arvo 0,2 m/d olisi riittävä.

Taulukko 1. Hydraulisen johtavuuden raja-arvot maalajeittain (Kauranne 1979, Päivänen 1973).

Maalaji	K-arvo m/s	K-arvo m/d
Sora	$0,04 - 10^{-3}$	3500 – 90
Hiekka	$4 * 10^{-3} - 1,5 * 10^{-5}$	350 – 1
Hieta	$5 * 10^{-5} - 2 * 10^{-7}$	5 – 0,02
Hiesu	$10^{-6} - 10^{-9}$	$1 - 7 * 10^{-4}$
Savi	$5 * 10^{-9} - 10 * 10^{-11}$	$5 * 10^{-4} - 9 * 10^{-6}$
Turve	$1,1 * 10^{-4} - 6 * 10^{-12}$	$10 - 5 * 10^{-7}$

Viljavuuspalvelun maalajianalyysien mukaan Suomen peltojen pohjamaat koostuvat eri maalajeista taulukon 2 mukaisesti. Esitettyjen k-arvojen perusteella Suomen peltomaista 41,6 % on sellaisia, joilla voitaisiin käyttää sääätosalaoitusta kuivatus- ja kastelutarkoituksiin (Ahonen 1991). Savi- ja moreenimaille pohjavesikastelumenetelmän kannattavuus ei ole niin selvä kuin hiekka-, hieta- ja hiesumaissa.

Sääätosalaoituksen toimivuuden kannalta muita tärkeitä pellon ominaisuuksia ovat pellon tasaisuus, maan homogeenisuus ja pohjavedenpinnan korkeus. Sääätosalaoitukseen käytettävien peltojen tulisi olla melko tasaisia, kaltevuudeltaan korkeintaan 1 % (Evans & Skaggs 1989). Teknisesti säätö on toteutet-

tavissa jyrkemmissäkin rinteissä, mutta kustannukset nousevat, kun pellon pohjavedenpinnan säätöön tarvitaan kaltevilla pellolla useimpia säätökaivoja kuin tasaisella. Ulkomaisten tulosten mukaan säätökaivo tulisi asettaa kokoojaan aina, kun pellon korkeusero muuttuu 0,5 m (Karvonen 1992). Suomessa säätösaloitusta on toteutettu menestyksekkäästi jopa 3 % kaltevuuksilla (Perunantutkimuslaitos 1996).

Taulukko 2. Eri maalajien osuus Suomen peltojen pohjamaista (Kähäri 1987).

Maalaji	% kok.peltoalasta
Hiekkamaat	1,3
Hietamaat	26,4
Hiesumaat	13,9
Savimaat kok.	39,2
Turvemaat	6,0
Moreenimaat	10,2
Multamaat	1,9
Liejumaat	1,1
Yhteensä	100,0

Ojitettavalla pellolla pohjavedenpinnan tulisi olla luonnostaan korkealla tai pellon pitäisi sijaita alueella, jossa vettä huonosti läpäisevä kerros (kallio, savipatja) ei ole liian syvällä. Kirjallisuuden mukaan tämä kerros saisi olla korkeintaan 3-8 m syvyydessä (Evans & Skaggs 1989).

Pohjavesikastelussa tärkeä edellytys on kasteluvien hankintamahdollisuus. Paras vaihtoehto on lähellä sijaitseva joki tai järvi. Pohjavesikastelu edellyttää kasvin vedentarpeen tuntemusta ja siihen reagoimista sekä pitkän aikavälin sääennusteiden tarkkaa seuranta ja niistä tehtäviä nopeita tulkintoja ja toimenpiteitä.

### 3. POHJAVESIKASTELUN SOVELTUMINEN TYRNÄVÄN SEUDULLE

Säätösaloitusta käytetään peltojen kuivatukseen ja pohjavesikasteluun varsinkin perunanviljelyssä, jossa optimaalisella kastelulla saadaan suhteellisen suuri tuotto. Säätösaloitusten määrän kasvun myötä viljelijöiden kiinnostus pohjavesikasteluun on herännyt ennen kaikkea helpon toteutuksen ja kasteluvaikutuksen varmistumisen myötä.

#### 3.1 TYRNÄVÄN ERITYISPIIRTEET JA TUOTANTOTILANNE

Maatalousmaan osuus on vähentynyt melko tasaisesti 1960-luvun alusta lähtien viljelyn keskittymisen ja tehokkuuden lisääntymisen vaikutuksesta. Taulukon 3 mukaan Pohjanmaan osuus Suomen peltoalueista on verrattain suuri, ottaen huomioon alueen pohjoisen sijainnin ja väestömäärän vähäisyyden.

Taulukko 3. Peltomaan määrä Suomessa alueittain maatalouslaskennan mukaan 1.6.1990 (Maatilahallitus 1992).

Alue	Peltoa 1000 hehtaaria	Pellon osuus koko maa-alasta [%]
Etelä-Suomi	1 185	19,4
Järvi-Suomi	531	8,0
Pohjanmaa	648	15,1
Pohjois-Suomi	80	1,3
Yhteensä	2 544	11,9

Salaojitettujen peltojen pinta-ala Suomessa on 1,357 milj. ha eli 53 % koko peltoalasta. Avo-ojissa on noin 29 % peltoalasta eli 755 000 ha. Ilman paikalliskuivatusta on 18 % peltoalasta eli 465 000 ha. Ilman kuivatusta voidaan viljellä 10- 15 % peltoalasta. Osa avo-ojissa ja ilman kuivatusta olevasta peltoalasta tulee vähitellen jäämään pois viljelykäytöstä (Puustinen & Peltomaa 1998).

Pohjanmaan maakunta tuottaa suomalaisesta ruokaperunasta 55 %, ruokateollisuusperunasta 70 %, tärkkelysperunasta 60 % ja myös siemenperunan tuotanto on keskittynyt tälle alueelle. Erityisesti Tyrnävän, Limingan ja Temmeksen muodostama High Grade -alue on tärkeä korkeimpien siemenluokkien tuotantoalue. Varhaisperunan tuotanto on keskittynyt eteläiselle ja lounaiselle rannikkoalueelle ja Lounais-Suomen saaristoon.

Tyrnävä sijaitsee Pohjois-Pohjanmaalla ja on pinta-alaltaan 399 km<sup>2</sup>. Tyrnävällä asuu 3956 henkeä ja heistä 54 % asuu taajamassa. Väestöstä 32 % elää alkutuotannosta. (Fennica 1999). Tyrnävällä on 216 aktiivitilaa, joilla on viljelyksessä yhteensä noin 10 000 ha peltoa, mikä tarkoittaa, että tilojen keskipinta-ala on noin 46 ha/tila (Kauppi 1999).

Tyrnävällä peruna on tärkeä tulonlähde sen tuotantoon keskittyneillä maataloilla. Ruokateollisuus-, tärkkelys- ja siemenperunan tuotannosta suurin osa on ammattimaista tuotantoa. Melko suuri osuus kokonaistuotannosta on silti pienimuotoista kotitarveviljelyä. Kolmasosa kaikesta ruokaperunasta tuotetaan alle puolen hehtaarin viljelyksillä (Maasyke 1999). Taulukossa 4 on esitetty vuonna 1998 sopimusviljelytilojen perunanviljelyjakauma.

Taulukko 4. Perunanviljely Tyrnävällä vuonna 1998 sopimusviljelytiloilla (Kauppi 1999).

	Tilat (kpl)	Viljelyala (ha)	Osuus kokonaisalasta (%)
Siemenperuna	46	666	62
Ruokaperuna	25	352	33
Ruokateollisuusperuna	2	50	5
Yhteensä	71	1068	100

Vuonna 1998 Suomessa tuotettiin 590,7 miljoonaa kiloa perunaa 32 800 hehtaarin alalla (Maa- ja metsätalousministeriö 1998). Tyrnävällä viljelyalan jakau-

tuminen on esitetty taulukossa 5. Perunasato Tyrnävällä on keskimäärin ollut 27-30 tonnia hehtaaria kohti (Mattila 1996).

Taulukko 5. Viljelymaan käyttö Tyrnävällä vuonna 1998 (Kauppi 1999).

	Viljelyala (ha)
Peruna	1073
Ohra	3990
Kaura	2105
Ruis	17
Rypsi	39
Karjatalouden nurmiviljely	1873
Mansikka	9
Mustaherukka	1
Kesantoala	788
Yhteensä	9895

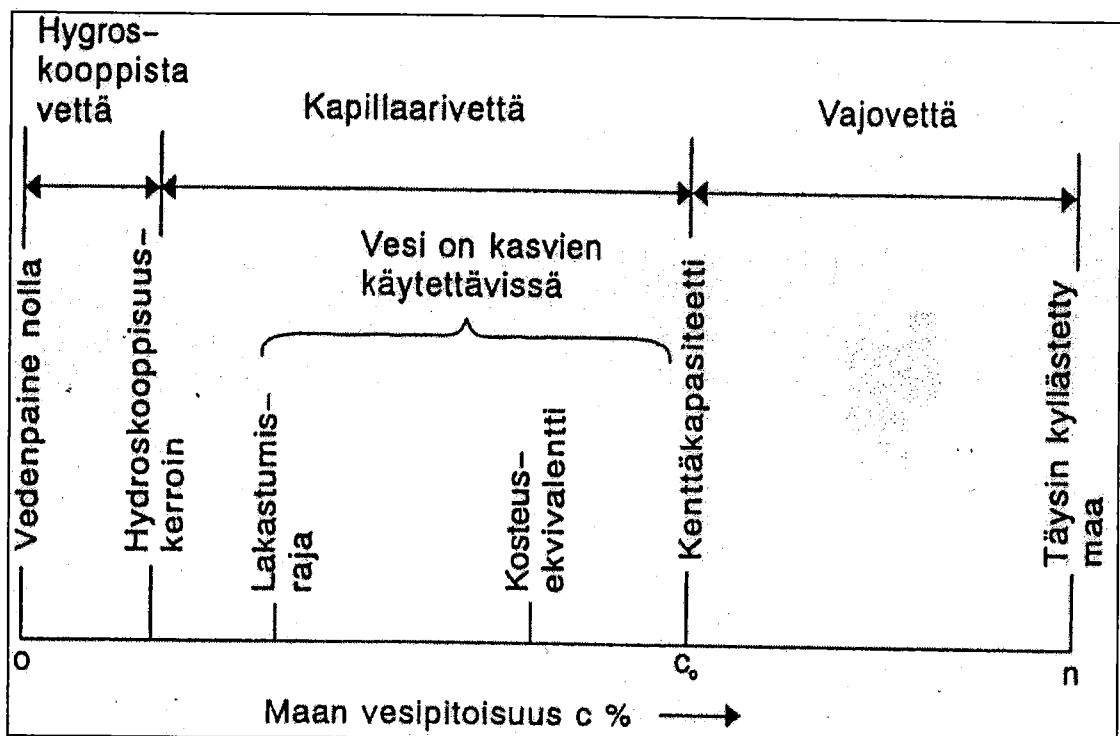
Tyrnävällä Siemenperunakeskuksen varastokapasiteetti on noin 8 milj. kiloa. Yksittäisiä perunavarastoja on 40 kappaletta, joissa kapasiteettia on yhteensä 25 miljoonan kilon verran. Yhteistyötä perunan markkinoinnissa edustavat markkinointiyhtiöt, joita on 6 kappaletta (Kauppi 1999).

Tyrnävällä lähes kaikki perunanviljelyssä käytettävistä pelloista on salaojitettu ja sääätosalaojitettua peltoa on noin 1500 hehtaaria. Tulevaisuudessa tarve lisäojituksiin on lähinnä uusintaojituksina, täydennysojituksina ja perinteisen salaojituksen muuttamisena sääätosalaojitukseksi tai pohjavesikastelujärjestelmäksi (Arola 1999).

### 3.2 MAAPERÄ

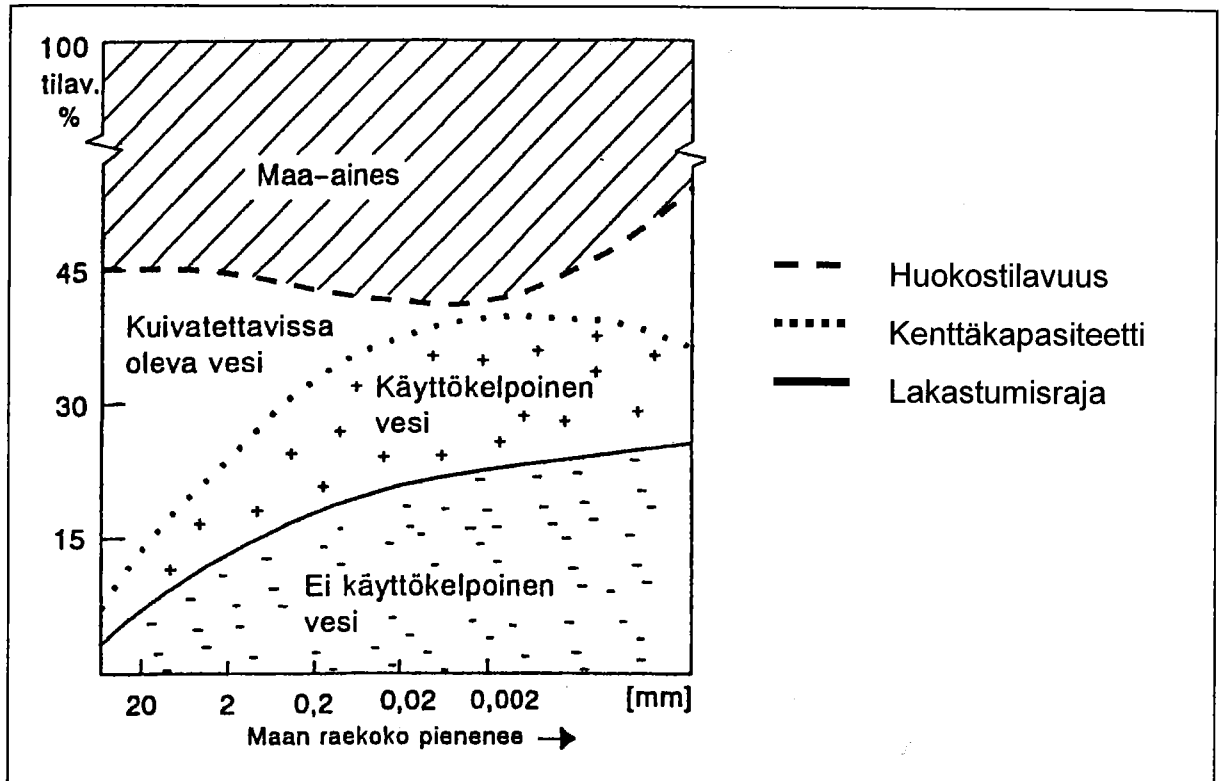
Perunan juuristo on moniin muihin viljelykasveihin verrattuna niukka ja heikosti kehittynyt. Jos kasvualusta on tiivis, juuret eivät tunkeudu syvälle. Juurten vedenotto-kyky on myös huono; peruna ei saa vettä ja ravinteita, jos maa on kuivaa ja tiivistynyttä. Perunan juuri hengittää voimakkaasti ja kärsii herkästi maaperän liiallisesta hiilidioksidipitoisuudesta. Jos kasvualustan väärään kaasutasapainoon liittyy vielä märkyys, juuret tukehtuvat ja menettävät toimintakykynsä (Kuisma 1994).

Kuvassa 4 on esitetty maan tunnusomaiset vesipitoisuudet ja tasapainotilat. Kasvien käytettävissä on vesimäärä, joka on kenttäkapasiteetin ja lakastumisrajan välillä. Kenttäkapasiteetti on vesipitoisuus, joka jää maakerrokseen sen jälkeen, kun kuivatus on aiheuttanut pohjavedenpinnan alenemisen. Kenttäkapasiteetti riippuu maan raakoostumuksesta ja rakenteesta. Sen pF-luku voi vaihdella 1,5 - 2,0 välillä. Lakastumisraja on vesipitoisuus, jossa kasvit pysyvästi lakastuvat veden puutteen johdosta. Silloin pF-luku on 4,0 - 4,5 riippuen kasvista ja maalajista. (Airaksinen 1978).



Kuva 4. Maan vesipitoisuuden asteet ja tasapainotilat (Airaksinen 1978).

Oleellista kasvien vedensaannin kannalta on maan vedenpidätyskyky. Kuivastustoimenpiteillä pohjavedenpinta pidetään yleensä tason 1,0 - 1,2 m alapuolella. Tällöin kokoluokkaa 30  $\mu$  suuremmat huokokset tyhjenevät maan pintakerroksissa ja ilma korvaa poistuneen veden. Maa on tällöin kenttäkapasiteettitilassa (Vakkilainen 1986).



Kuva 5. Maan rakeisuuden vaikutus kuivatettavissa olevaan, sekä kasville käyttökelpoiseen ja ei-käyttökelpoiseen veteen (Danfors 1963).

Kasvien käytettävissä oleva vesimäärä eli hyötykapasiteetti riippuu maan tilavuusyksikköä kohti pidättyneestä vesimäärästä. Karkeat maalajit pidättävät vähän vettä ja hyötykapasiteetti pienenee mentäessä hiesusta hienompaan tai karkeampaan materiaaliin. Danfors (1963) on esittänyt havainnollisen kuvan 5 maamateriaalin, ilmatilavuuden, kasville käyttökelpoisen veden ja ei-käyttökelpoisen veden välisestä riippuvuudesta eri maalajeissa. Taulukossa 6 on esitetty eräiden maalajien kenttäkapasiteetti, lakastumisraja ja hyötykapasiteetti vesipitoisuuden tilavuusprosentteina.

Taulukko 6. Eräiden maalajien kenttäkapasiteetti, lakastumisraja ja hyötykapasiteetti vesipitoisuuden tilavuusprosentteina (Heinonen 1954, Puustjärvi 1973).

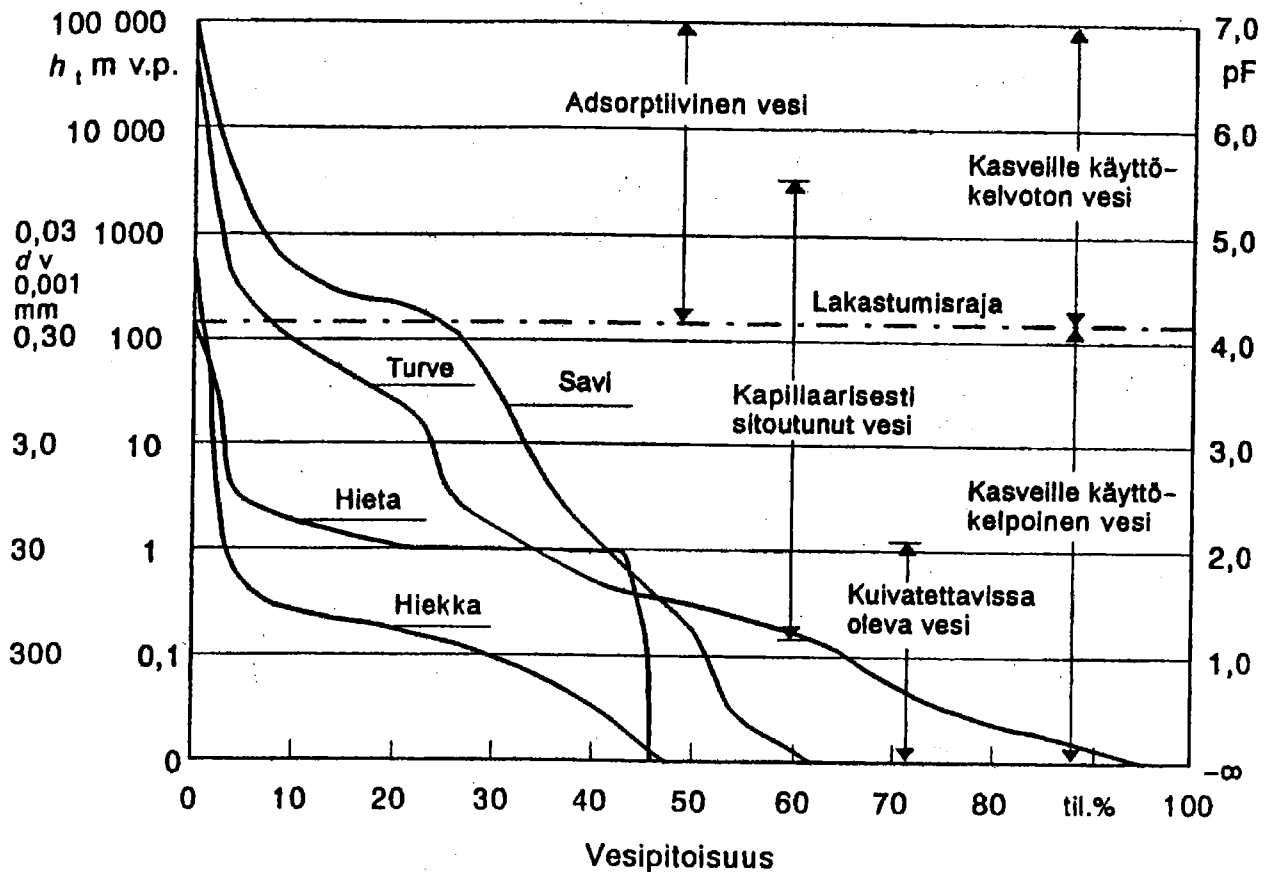
Maalaji	Kenttäkapasiteetti tilav. %	Lakastumisraja tilav. %	Hyötykapasiteetti tilav. %
Hieno hiekka, karkea hieta - $\varnothing = 0,06 - 0,6$ mm	26	11	15
Hieno hieta - $\varnothing = 0,02 - 0,06$ mm	35	15	20
Hiesu - $\varnothing = 0,002 - 0,02$ mm	40	18	22
Laiha-, hieta-, hiesusavi	38	20	18
Lihava savi, aito savi	41	25	16
Humusmaa	44	21	23
Musta turve	77	21	56
Vaalea rahkaturve	48	7	41

Juurten ohessa myös mukulasato tarvitsee hienojakoisen, kuohkean ja ilmavan kasvuympäristön. Tiiviissä pellossa perunat jäävät lähelle penkin pintaa ja ovat alttiina vihertymiselle ja rutolle. Tiivis ja kokkareinen maa lisää myös mukuloiden epämuotoisuutta. Lisäksi kokkareinen penkki sisältää runsaasti niin suuria ilmahuokosia, että penkin liika ilmavuus kasvattaa perunan rupisuutta. Peruna tarvitseekin kasvualuekseen syvään pehmeän, kokkarettoman maan, jossa on kestävä rakenne sekä hyvä ilman-, lämmön- ja vedenjohtokyky. Perunamaan on oltava niin läpäisevää, että liikavesi saadaan johdettua nopeasti pois. Toisaalta pellon on myös pystyttävä kuivina kausina tehokkaasti "pumppaamaan" vettä syvemmistä maakerroksista juurten ulottuville (Kuisma 1994).

Karkean hiedan rakeet (0,06 - 0,2 mm) ovat paljain silmin nähtäviä. Väri on yleensä kellanruskea. Karkea hieta on kuohkeaa ja helppoa muokata. Ojat pysyvät suhteellisen hyvin kunnossa. Karkea hieta on kohtalaisesti vettä läpäisevää (Kuva 6). Karkea hieta pidättää ravinteita heikonlaisesti, minkä vuoksi help-



poliukoiset ravinteet huuhtoutuvat siitä herkästi. Se onkin luonnostaan varsin vähäravinteista ja vaatii säännöllisen lannoituksen. Karkearakeisuutensa takia se on heikosti "puskuroivaa" ja sen vuoksi ei pitäisi kerralla antaa kovin suuria lannoitemääriä vaan pienempiä riittävän usein (Kurki 1982).



Kuva 6. Eräiden maalajien vedenpidätyskäyriä (Andersson 1971).

Taulukon 7 mukaan Tyrnävällä vallitseva maalaji on karkea hieta, joka on jonkin verran poutivaa ja heikosti ravinteita sekä vettä pidättävää (Kuisma 1994). Muokauskerros on yleensä noin 20 cm syvä, mutta samallakin tilalla tässä suhteessa on eroja (Kurki 1982). Hietamaissa hikevyys kuvaa maalajin vesitaloutta ja on sidoksissa hiedan hienouteen. Hieno hieta on hikevintä.

Taulukko 7. Maalajisuhteet Tyrnävällä vuosien 1981-1985 tehtyjen viljavuustutkimusten perusteella. Eri maalajien osuus prosentteina. (Kähäri 1987).

Maalaji	Lyhenne	Muokkauskerros	Pohjamaa
Hiekkamoreeni	HkMr	0,1	0,2
Hietamoreeni	HtMr	0,9	1,0
Hiesumoreeni	HsMr	---	---
Savimoreeni	Smr	---	---
Karkea hiekka	KHk	---	---
Hieno hiekka	HHk	0,4	0,3
Karkea hieta	KHt	74,0	83,7
Hieno hieta	HHt	4,7	9,8
Hiesu	Hs	---	1,9
Hietasavi	HtS	---	---
Hiesusavi	HtS	---	---
Aitosavi	AS	---	---
Liejusavi	LjS	0,1	1,9
Lieju	Lj	0,1	0,2
Järvimuta	Jm	---	---
Multamaa	Mm	13,9	---
Saraturve	Ct	3,1	---
Metsäsaraturve	LCt	2,5	1,0
Rahkasaraturve	SCt	0,2	---
Sararahkaturve	CSt	0,1	---
Metsärahkaturve	LSt	---	---
Rahkaturve	St	---	---

Muokkauskerroksen kyky varastoida vettä on enimmillään 30-50 mm. Ainoastaan multavuuden lisääminen voi tätä määrää parantaa. Viljelyssä karkean hiekan suurin ongelma on sen kuivuuden arkuus. Vettä huonosti pidättävillä, vähämultaisilla, karkeilla hietamailla runsaatkaan vesikuurot eivät turvaa perunan vedentarvetta, koska maan vedenpidätyskyky on vain 5-15 % tilavuudesta. Ve-

sivarat ovat enimmillään 40-70 mm, ja riittävät täydessä perunakasvustossa vajaaksi viikoksi. Vasta runsasmultaiset hietta- ja hienohietamaat pystyvät sitomaan vettä sellaisia määriä, että sillä on merkitystä perunan vedenkäyttöön pitempäänkin jatkuvana sateettomana kautena. Voimaperäisessä perunantuotannossa tarvitaan karkeilla hietamailla lähes poikkeuksetta kastelua turvaamaan sadon määrän ja laadun (Kuisma 1994).

Luontainen ravinnetila on hiedoissa yleensä melko huono. Hietaan ei muodostu juurikaan muruisuutta. Varsinkin huonosti vettä pidättävissä karkeissa hiedoissa herkästi huuhtoutuvien ravinteiden pitoisuudet jäävät pieniksi. Tällaisia ravinteita ovat mm. typpi, kalium, kalsium ja magnesium (Kuisma 1994). Taulukossa 8 on esitetty Tyrnävän maaperän keskimääräiset happamuudet ja ravinteisuudet.

Taulukko 8. Keskimääräinen happamuus ja ravinteisuus Tyrnävällä vuosina 1981-1985 (Kähäri 1987).

Ravinne ryhmä	Määrä	Yksikkö	Viljavuusluokka
pH muokkauskerroksessa	5,6		Välttävä
Kalsium Ca	1049	mg/l	Välttävä
Kalium K	89	mg/l	Huononlainen
Fosfori P	14,6	mg/l	Tyydyttävä
Magnesium Mg	172	mg/l	Tyydyttävä
Kupari Cu	4,3	mg/l	Huononlainen
Boori B	0,866	mg/l	Tyydyttävä
Mangaani Mn	9,4	mg/l	Korkea
pH pohjamaassa	5,6		Välttävä

Hietamaiden tärkein etu perunan kannalta on lämpötaloudessa ja aikaisuudessa. Varsinkin täällä pohjoisen lyhyessä kasvukaudessa aikaisuus ja lämpimyyden ovat asioita, joita ei saa jättää ottamatta huomioon. Jos haluaa varmistaa aikaisen ja onnistuneen sadon, pellolle on päästävä heti, kun se keväällä on mah-

dollista. Myös satoisuus on hietamaissa hyvä ja sadon onnistuminen laadultaan varmempaa kuin esimerkiksi savimailla (Taulukko 9). Näiden etujen vuoksi perunan viljelyn erityispiirteenä on keskittyminen sitä enemmän keveille, karkeille hietamaille, mitä ammattimaisemmasta ja voimaperäisemmästä tuotannosta on kyse.

Taulukko 9. Maalajien vaikutus perunan satoisuuteen (Jokioisilla 1922-26, Simola 1931), makuun ja c-vitamiinipitoisuuteen (Jokioisilla 1951, Paatela 1967) sekä tärkkelyspitoisuus (Hyrylässä Hankkijan koetilalla 1960-63, Varis 1970).

Ominaisuus	Hieta	Savi	Multamaa
Sadon suhdeluku	107	100	106
Maku (0-10)	8,5	7,3	6,0
C-vitamiini pitoisuus mg/100g	12,4	9,4	7,8
Tärkkelyspitoisuus (%)	13,7	13,6	13,3 (turve)

Maalaji vaikuttaa maankäyttömuotoon, kasvien sijoitukseen, kuivatus-, maanparannus- ja lannoitustarpeeseen, lannoitusaikaan, muokkaukseen, kylvöaikaan ja -tapaan sekä siemenmäärään (Kurki 1982). Korkeussuhteet Tyrnävällä muuttuvat vähän, eli topografialtaan seutu on erittäin tasaista. Peltojen tasaisuus vähentää eroosiota ja pienestä kaltevuudesta on myös hyötyä säätökaivojen vähäisen tarpeen suhteen. Pieni säätökaivojen määrä pienentää ratkaisevasti säätösaloituksen perustamiskustannuksia. Tyrnävällä on säätökaivojen korkeuserona käytetty 0,25 m, koska muuten salaoituksen vaatima viettokaltevuus jäisi liian pieneksi.

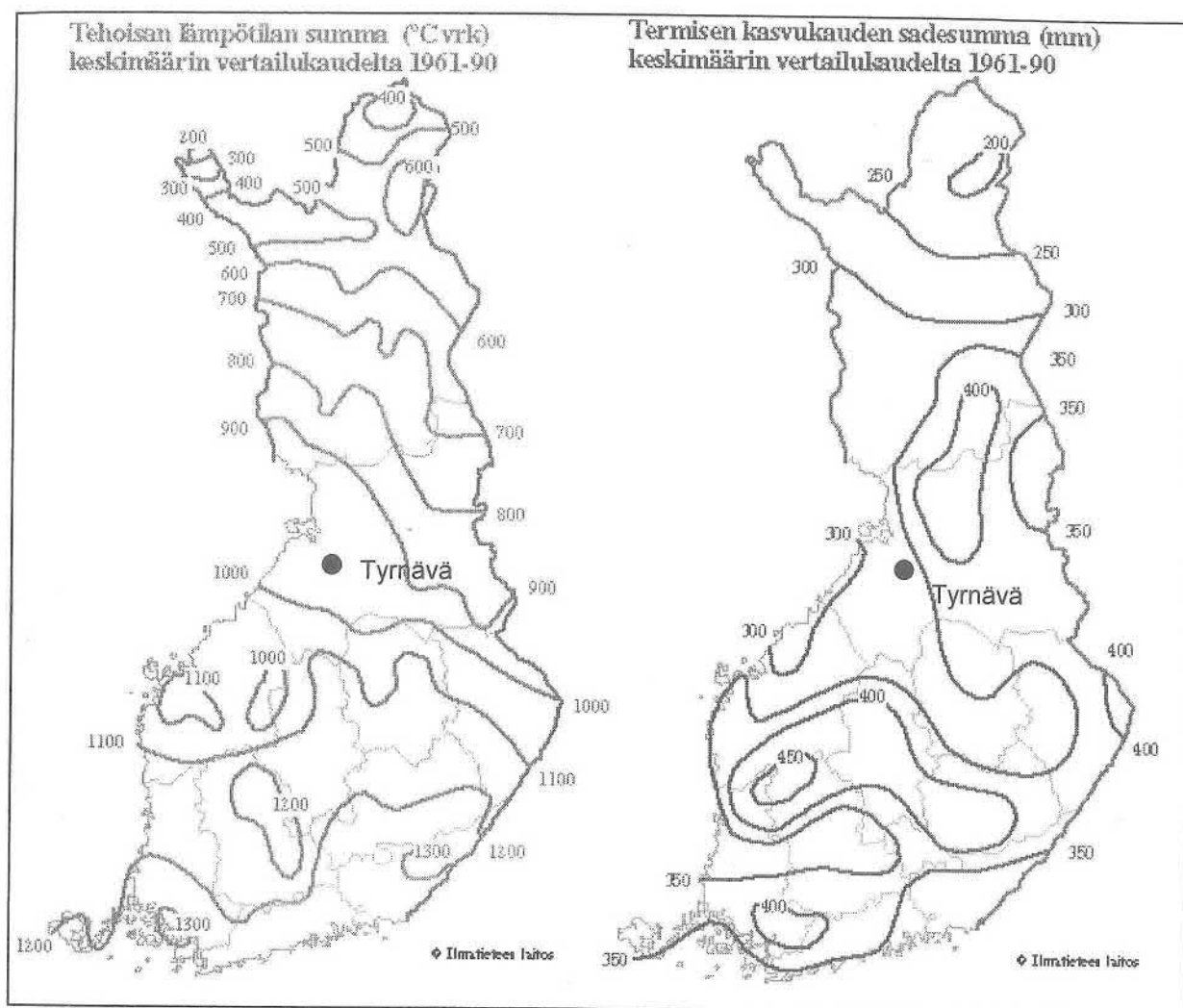
Hyvä muokattavuus on hietamaiden tunnusomaisin piirre. Hietaan saadaan helposti ja nopeasti perunan vaatima istutus- ja kasvualusta. Muokkaus on mahdollista myös kosteassa maassa. Voimaperäinen perunantuotanto on pitkälle koneellistettua. Viljelyn eri vaiheissa maata käsitellään runsaasti. Istutusmuokkauksessa, istutuksessa, multauksessa ja vielä nostossakin liikutellaan ja seulotaan suuria maamääriä. Runsaaseen maan pintaosien käsittelyyn liittyy samanaikaisesti raskaiden työkoneiden aiheuttama tiivistyminen. Eniten kuormit-

tavat työvaiheet keskittyvät kevääseen ja syksyyn, jolloin maa on yleensä kosteaa ja altista tiivistymiselle (Kuisma 1994).

### 3.3 ILMASTO

Tyrnävällä sekä muualla Pohjanlahden rannikkovyöhykkeellä tyypillistä on huhtikuusta aina heinäkuulle asti kestävä kuiva ja viileä kevätkausi, jolloin maa-alueet lämpenevät merta nopeammin ja mereltä puhaltavat viileät kevätuulet kohtaavat lämmenneen matalan rannikkoalueen (Holma 1990). Tyrnävän seudulla sataa kesä-, heinä- ja elokuussa yhteensä keskimäärin 185 mm ja koko kasvukautena 270-320 mm vettä. Koko vuoden sademäärä Tyrnävän seudulla on korjaamattomana keskimäärin 500 mm. Kuvan 7 mukaan Tyrnävän seudulla korjaamattomat termisen kasvukauden tehoisan lämpötilan summa on 950 °C ja sadesumma on keskimäärin 300 mm (Ilmatieteen laitos 1999).

Talven jäljeltä lumen sulamisvedet pitäytyvät pääosin maaperään ja ovat kasvuston käytössä kasvukauden aikana. Yli puolet kasvukauden kokonaissademäärästä saadaan heinäkuun puolenvälin jälkeen, jolloin mukulasato on voimakkaimmassa kasvuvaiheessa (Maasyke 1999). Kun säteily ja lämpö ovat luonnostaan suurimmillaan, sadanta on niukkaa. Sadannan vajoaus, sadannan ja haihdunnan erotus, on suurimmillaan kesäkuussa ( 50 – 70 mm ), jolloin säteily on suurimmillaan. Tyrnävällä koko kasvukaudella sadannan vajoaus on keskimäärin 200-250 mm ja todella kuivana kasvukautena jopa kaksinkertainen sadannan vajoaus edellisiin keskiarvoihin on mahdollista (Holma 1990). Tyrnävän seudulla sataakin kasvukauden aikana vain puolet siitä vesimäärästä, minkä rehevä perunakasvillisuus pystyisi käyttämään. Kevätkesän kuivuus on siis erittäin merkittävä satoa rajoittava tekijä.



Kuva 7. Tehoisan lämpötilan summa ja termisen kasvukauden sadesumma (mm) keskimäärin vertailukaudelta 1961-1990 (Ilmatieteen laitos 1999).

Jos kasvit eivät kasvuaikana saa tiettyä lämpömäärää, pitenee kasvuaika, kunnes kasvukauden lopulla hallat saattavat katkaista kehityksen ja sato voi jäädä tuleentumatta. Kasvukauden pituus on Golf-virran ja maamme pitkän pohjois-eteläkselin vuoksi sen eri osissa hyvin erilainen. Tärkeimmät mukulasatojen vuosivaihteluita selittäneet säätekijät ovat elo- ja syyskuun lämpötilat, kesä- ja heinäkuun sadannat, heinä- ja elokuun pilvisyydet sekä heinäkuun suhteellinen kosteus. (Hooli 1971). Kasvukausi on melko lyhyt - toukokuun puolivälistä syyskuun loppuun - mutta pohjoisen pitkä päivä nopeuttaa kasvua. Taimettumisesta mukulanmuodostusajankohtaan saakka aurinko on horisontin yläpuolella 18 - 22 tuntia päivässä. Pakkasista vapaa jakso kestää vain 10-12 viikkoa keskimää-

rin kesäkuun 10. ja elokuun 20. päivän välillä. Kylmät talvet ja syvä routa estävät taudinaiheuttajien lisääntymistä (Maasyke 1999).

Haihduksen osuus vuosisadannasta on Pohjois-Suomessa n. 50 % eli 200-300 mm jaksolla 1961-75 (Solantie ja Ekholm 1985). Vuosihaihdunnasta noin 60 % tapahtuu kolmen kesäkuukauden aikana. Keväällä maaliskuussa ja syksyllä loka-marraskuussa haihdunta on yhteensä noin 15 % vuosihaihdunnasta (Puustinen & Peltomaa 1998). Vesistöihin tulevan valunnan osuudeksi jää maan eri osissa 200 - 400 mm vuodessa ja Tyrnävällä valunnan osuus on 300 mm vuodessa (Merilä 1995).

Maavesivyöhykkeellä on oleellinen merkitys hydrologisessa vedenkierrossa varsinkin pohjavesikastelun kannalta. Pellon kuivatus- ja kastelujärjestelmän kannalta tulevaisuudessa tapahtuvat ilmaston muutokset vaikuttavat pellon vesitalouteen merkittävästi, joten muutoksiin on reagoitava mahdollisuuksien mukaan jo etukäteen.

Ilmastomuutoksia on tutkittu ilmastomalleilla, joiden avulla arvioidaan muutoksia lämpötilassa, sadannassa ja haihdunnassa. Näitä tietoja voidaan edelleen hyödyntää sadanta-valuntamalleissa ja edelleen vesistömallissa. Eri ilmastomalleilla on arvioitu maapallon lämpötilan nousuksi 1,5-5,5 °C. Vuosisadannan on arvioitu lisääntyvän 10-30 mm ja haihdunnan 5-30 mm kuukaudessa (Heino 1987). Lisääntynyt sadanta kasvattaa pohjavesi- ja maavesivarastoja, mutta kesäisin lämpötilan kohoaminen edistää haihduntaa siten, että maan vesivarasto ei kokonaisuudessaan muutu.

Ilmastomallien mukaan mahdollisuudet erittäin vetisiin kuten myös kuiviin jaksoihin kasvanevat. Toisin sanoen olosuhteet saattavat äärevöityä. Ilmaston vaikutus ojitustarpeeseen voi olla siten merkittävä riippuen siitä, miten virtaamien lisäys ajoittuu. Ilmastomuutosten vaikutuksesta lumipeitteen kesto-aika Suomessa lyhenee, jolloin paljas maanpinta on altis eroosiolle. Tällöin vesistöjen rehevöityminen sekä umpeenkasvu mahdollisesti lisääntyy. Jos ilmaston lämpenemisen ohella sademäärät kasvavat ja eroosio kiihtyy, entistä enemmän on kiinnitettävä huomiota maan rakenteen hoitoon ja ojituksen toimivuuteen. Kasvu-

kauden aikaiset erittäin kuivat ajanjaksot puolestaan vaativat pelloille tehokkaat kastelujärjestelmät. Sateiden ajoittuminen keväälle ja syksyille sekä niiden suuri rankkuus vaikeuttavat viljelyä sekä pienentävät pidentyneestä kasvukaudesta saatavaa hyötyä (Merilä 1995).

### 3.4 VILJELYKIERTO JA KASTELUVEDEN HANKINTA

Maan voimakkaan käsittelyn ja tiivistymisen haittoja tehostaa se, jos perunaan erikoistuneilla tiloilla perunaa viljellään pitkään yhtäjaksoisesti samoilla lohkoilla. Viljelykierrosta puuttuvat maaperään eloperäistä ainesta tuovat, kasvualustan rakennetta korjaavat ja palauttavat viljelykasvit: syväjuuriset nurmet, palkokasvit ja syysviljat. Yksipuolisen perunantuotannon seurauksena, maaperään kohdistuu pysyvästi voimakas rasitus, josta ei jää aikaa toipua. Maan humuspitoisuus alenee, mururakenne tuhoutuu, ja peltoon muodostuu tiivistyneitä kerrostumia. Muokkauksessa on vaikeuksia saada aikaan perunan vaatimaa kuohkeaa, hienojakoista ja ilmavaa istutus- ja kasvualustaa (Kuisma 1994).

Perunalle sopivilla hietamailla heikkeneminen on hidasta, mutta vähänkin heikommat lohkot menevät nopeasti käyttökelvottomiksi. Myöskin perunan taudit, varsinkin seitti ja perunarupi, lisääntyvät. Samoin lisääntyvät vaikeasti torjuttavat kestorikkakasvit, kuten pähkämö ja valvatti. Ulkomaisten tutkimusten mukaan myöskin maaperän mikrobistossa tapahtuu perunan monokulttuurissa haitallisia muutoksia. Kaiken kaikkiaan monokulttuurin arvioidaan heikentävän satotasoa parikymmentä prosenttia (Ahvenniemi 1993).

Viljelykierrossa perunan välikasveina viljellään yleisimmin kevätiljoja. Suositeltu perunanviljelyn tiheys on 1-2 perunavuotta 4-6 vuoden kierrossa. Tämän tyyppinen kierto on pakollinen siemenperunan tuotannossa ja se on siemenperunan ylemmillä luokilla tiukempi. Siementuotannossa tällainen kierto on myös helpommin järjestettävissä, koska siementuotantoalueilla tilakoko on keskimääräistä suurempi (Maasyke 1999). Tynäällä viljellään vuosi, korkeintaan kaksi vuotta siemenperunaa ja kolme vuotta muuta viljelyä, kuten viljaa tai nurmea



(Kauppi 1999). Monokulttuurin haitallinen vaikutus on jäänyt suurimmaksi osaksi huomiotta, koska viimeisen viidentoista vuoden aikana, jolloin viljelyn yksipuolistuminen on tapahtunut, muu viljelytekniikan kehittyminen on peittänyt tämän negatiivisen kehityssuunnan. (Ahvenniemi 1993).

Tasaisen pohjavedenpinnan takaamiseksi, pohjavesikastelu vaatii ehtymättömän vesilähteen kasteluvaikutuksen takaamiseksi. Tyrnävällä kasteluveden päälähteinä ovat Tyrnävänjoki ja Ängeslevänjoki. Viljelyn voimaperäistymisen myötä voivat pienimmät joet ja purot ehtyä, kuten esimerkiksi Tyrnävänjoen ja Ängeslevänjoen välissä virtaavalle Kiviojalle on useana vuonna käynyt (Kauppi 1999).

Maan vesitalouden säätö ja varsinkin veden hankinta pohjavesikasteluun ovat usein myös tilojen välisiä yhteistyökysymyksiä. Nykyinen tai varta vasten perustettava ojitusyhtiö voisi etsiä tarkoituksenmukaisia yhteistoimintaratkaisuja. Toisaalta tilakokojen ilmeinen suureneminen tulevaisuudessa luo paremmat edellytykset säätöjärjestelmien käytölle (Puustinen & Peltomaa 1998).

#### 4. POHJAVESIKASTELUN OHJAUSPARAMETRIT

Pohjavesipinnan säätäminen vaatii viljeltävän kasvin vedentarpeen ja juuriston syvyyden sekä maaperän ominaisuuksien tuntemista. Peruna vaatii kasvukaudellaan paljon vettä terveeseen ja ominaisuuksiltaan korkealuokkaisen mukulan muodostamiseen. Luonnollisesti vedentarve muuttuu kasvukauden aikana, mutta vesitaloutta säätämällä voidaan vaikuttaa myös perunan ominaisuuksiin ja määrään halutulla tavalla. Pohjavesikastelun säätäminen vaatii viljelijältä, varsinkin ensimmäisinä kesinä, pohjavedenpinnan tarkkaa seuranta tuotanto-kentällä ettei pohjavedenpinta pääse nousemaan liian korkealle aiheuttaen kasvuston liiallisen kostumisen.

##### 4.1 PERUNAN VEDENTARVE

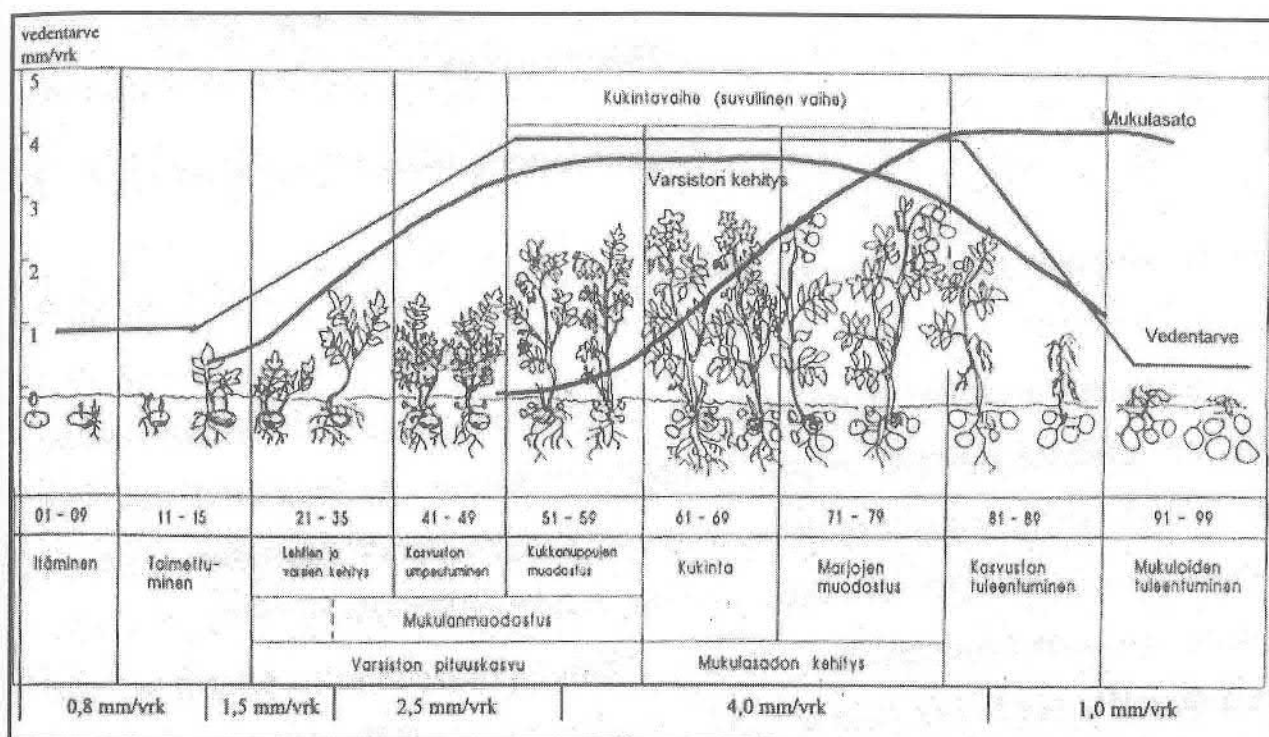
Perunaa kasvatetaan yleisesti karkeilla mailla ja sillä on matala sekä heikosti kehittynyt juuristo. Tämän vuoksi peruna on arka poudalle ja tarvitsee kastelua useammin kuin monet muut viljelykasvit. Juuret saavat heikosti vettä ja ravinteita erityisesti syvemmistä maakerroksista, koska pääosa juurista on 30-40 cm syvyydessä ja juuriston kokonaismäärä on vähäinen (Perunantutkimuslaitos 1996). Rakenteeltaan vaurioitumattomassa maassa pisimmät juuret voivat saavuttaa noin metrin syvyyden (Kuisma 1994).

Kun peruna ei saa vettä tarvettaan vastaavaa määrää, kasvu hidastuu ja pahassa vedenpuutteessa kasvu voi pysähtyä täysin. Vesi kulkee jatkuvana virtana maasta kasvin juurien ja varsien kautta lehtiin, pitää yllä solujen nestejännitystä ja poistuu lopulta vesihöyryinä lehtien alapinnalla olevien haihduntaa säätelevien ilmarakojen kautta. Kasvi tuottaa lehtien viherhiukkasissa auringon energiasta, vedestä ja hiilidioksidista sokeryhdisteitä ja niistä lopulta perunalla mukulaan varastotäkkelystä. Yhteyttämisessä tarvitsemansa hiilidioksidin kasvi ottaa ilmasta samojen ilmarakojen kautta, joista vesi haihtuu. Kun kasvi sulkee kuivissa oloissa ilmaraoit, hiilidioksidin saanti estyy ja sen myötä yhteyttäminen pysähtyy. Veden puutteesta aiheutuva yhteyttämisestä hidastuminen alkaa jo paljon ennen kuin varsistossa ilmenee ensimmäisiäkään lakastumisen merkkejä

(Ahvenniemi 1997). Vesitasapainon palautuessa mukulat eivät jatka normaalia kasvuaan, vaan alkavat muodostaa uusia soluja. Solukasvu keskittyy silmien ja kärkisilmujen ympärille. Mukulat ketjuuntuvat ja muuttuvat syväsilmäisiksi ja epämuotoisiksi. Kun uusia soluja muodostuu nopeasti, solukko myös halkeilee helposti. Seurauksena on onttoutta ja kasvuhalkeamia. Kuivuusoireet tulevat esiin, kun perunan kasvu on ollut pysähdyksissä pari päivää. Perunan toipuminen kuivuudesta kestää pidempään kuin monilla muilla viljelykasveilla (Perunantutkimuslaitos 1996).

Mukulasato on yleensä suorassa suhteessa perunan kasvukauden aikana haihduttamaan vesimäärään. Yksi haihdutettu vesimillilitra tuottaa mukuloita 160-200 kg/ha. Jos sato on esimerkiksi 40 000 kg/ha, perunapelto haihduttaa vettä istutuksen ja kylvön välisenä aikana vähintään 200 mm. Jos perunamaata kastellaan usein, lasketaan yhden millimetrin sadetusvettä antavan 100 kg/ha mukulasadon lisäyksen (Aura 1997).

Perunan kehitysrytmi jakautuu neljään jaksoon; vegatiivinen vaihe, mukulan muodostusvaihe, mukulan lisäkasvuvaihe sekä tuleentuminen. Näiden jaksojen aikana perunan vedentarve vaihtelee, ja veden puute vaikuttaa kehitykseen eri tavalla. Perunan vedentarpeen ajallinen jakauma on kuvattuna kuvassa 8, jossa on esitetty myös perunan fenologiset vaiheet.



Kuva 8. Perunan vedentarve kasvukauden aikana (Perunantutkimuslaitos 1996).

*Vegatiivinen eli kasvullinen vaihe* alkaa, kun idut alkavat tulla esiin mukulan silmistä. Juuret, versot ja rönsyt muodostuvat tämän vaiheen aikana. Perunan kuiva-ainemuodostus on täysin peräisin juurien ja versojen nopeasta kasvusta. Vaihe loppuu rönsykärkien turpoamiseen ja mukulanmuodostuksen alkamiseen. Itämisvaiheessa peruna on suhteellisen riippumaton vedestä, mutta vedentarve kasvaa nopeasti juurten, rönsyjen ja versojen muodostuessa. Tässä vaiheessa runsas vedensaanti vauhdittaa kasvuston kasvua, mikä on erityisen toivottua varhaisperunan viljelyssä. Ruoka-, ruokateollisuus- ja siemenperunan tuotannossa kohtuullinen, matalahkokin maan kosteus on suositeltavampaa tässä vaiheessa, sillä kasvuston hitaampi kehitys lisää sen tehokasta elinaikaa, ja mukuloiden lisäkasvu jatkuu pidempään. Vedenpuute vegatiivisessa vaiheessa vähentää lehtialaa, rönsyjen lukumäärää ja kasvikorkeutta. Myös juuriston laajeneminen estyy ja kasvuston kehitys viivästyy. Rönsyjen lukumäärän väheneminen vaikuttaa suoraan mukulalukumäärään, mutta ei perunasadon kokonaismäärään (Perunantutkimuslaitos 1996).

*Mukulamuodostus* alkaa, kun rönsykärki turpoo. Tasainen ja riittävä vedensaanti tässä vaiheessa on hyvin tärkeää. Vedenpuute mukulamuodostusvaiheessa aiheuttaa mukulamuodostuksen pysähtymisen, jolloin mukulaluku ja mukuloiden koko pienenevät. Mukulamuodostus alkaa uudelleen, kun maan kosteus palautuu. Mukulaluvun kehityksen kannalta ratkaisevin kehitysvaihe on istutuksesta noin 40 päivää eteenpäin, jolloin kuivuuden mukulalukuun aiheuttamat vahingot ovat suurimmat. Tavoiteltaessa sadossa suurta mukulakokoa, mukulalukua voidaan rajoittaa lievän kuivuuden avulla mukulamuodostuksen aikana. Koko kasvukauden ajan hyvin hoidettu vesitalous vähentää pienten mukuloiden osuutta ja lisää suuria mukuloita sadossa (Perunantutkimuslaitos 1996). Tasainen ja riittävä vedensaanti mukulamuodostusvaiheessa vähentävät perunoiden rupisuutta ja kasvuhalkeamia (Aura 1997).

*Mukulana lisäkasvuvaiheessa* mukulakoko ja -paino lisääntyvät koko ajan, jos kasvua rajoittavia tekijöitä ei ole. Myös varsien, lehtien ja juuriston kasvu jatkuu edelleen. Maan kosteudella on mukulana lisäkasvuvaiheessa ratkaiseva merkitys lopulliseen, kauppakelpoiseen mukulakokoon. Kukinnan aikainen kuivuus alentaa huomattavasti sadon määrää. Vedenpuute vähentää kasvuston lehtialaa, sillä vanhat lehdet lakastuvat ja kellastuvat, sekä uusien lehtien muodostuminen estyy. Kasvun pysähtymisen ja mukuloiden hätätuleentumisen seurauksena mukulakoko ja -paino pienenevät. Mukulana epämuotoisuudet lisääntyvät jos perunan kasvu on mukuloiden lisäkasvuvaiheessa epäsäännöllistä. Mukuloiden lisäkasvun aika on tärkein vaihe tärkkelys- ja kuiva-ainepitoisuuden kehitykselle. Jos vedensaanti on keskeytymätöntä, perunoiden kuiva- aine- ja tärkkelyspitoisuus kohoavat suhteellisen korkeiksi. Tasaisissa kosteusoloissa kasvanut peruna saavuttaa sadonkorjuuvaiheessa kuiva-aine- ja tärkkelyspitoisuuden, joka on lähellä lajikkeen perimän antamia mahdollisuuksia. Epätasainen vedensaanti sen sijaan tuottaa joko korkean tai matalan kuiva-aine- ja tärkkelyspitoisuuden riippuen siitä, koska kuivuusjaksot ovat. Kasvun lopussa kuivuus nostaa tärkkelyspitoisuutta. Kuivuusjakso kasvun keskivaiheessa ja sen jälkeiset suotuisat kosteusolot vuorostaan vauhdittavat kasvua uudestaan, ja mukuloiden tärkkelyspitoisuus jää matalaksi. Kuivuusjakso lisäkasvuvaiheessa lisää mukuloiden sokeripitoisuutta, aiheuttaen laatuvirheitä varsinkin ranskanpe-

runa- ja lastutuotannossa (Perunantutkimuslaitos 1996). Tasainen veden saanti lisäkasvun aikana vähentää perunoiden kasvuhalkeamia (Aura 1997).

*Perunan tuleentuessa* kasvusto lakastuu. Mukuloiden kasvu aluksi hidastuu ja vähitellen loppuu kokonaan. Kuiva-ainepitoisuuden lisäys on suurimmaksi osaksi yhteyttämistuotteiden siirtymistä kasvustosta mukulaan. Peruna on tuleentunut, kun mukuloiden kuiva-ainepitoisuus on maksimissaan, pelkistävien sokereiden määrä alhaisimmillaan ja kuori täysin kehittynyt. Perunan tarvitsee enää vähän lisävettä mukulan kasvuun tuleentumisvaiheessa, koska haihtuminen maasta on niukkaa ja kasvusto on lakastumassa. Tuleentuminen myös nopeutuu, jos maan kosteus on alhainen (Perunantutkimuslaitos 1996).

Maan vesivarojen ja niitä täydentävien sateiden lisäksi perunan kastelutarve kytkeytyy haihduntaan ja perunan omaan vedenkulutukseen. Ennen perunan taimettumista vettä poistuu maasta ensisijaisesti haihtumalla. Haihdunnassa poistuva vesimäärä on noin 0,8 mm/d eli 20-30 % siitä, mitä veden kulutus on täysin peittävässä kasvustossa. Istutuksen jälkeen nopeasti kuivunut penkin pinta myös tehokkaasti estää liikaa haihtumista vähentäen näin vedentarvetta. Taimettumista siihen asti kunnes kasvusto saavuttaa noin 10 cm korkeuden, haihdunta ja perunan vedenkulutus ovat suunnilleen 1,5 mm/d. Varsiston kasvun aikana kukkanuppujen ilmestymiseen saakka vettä tarvitaan 2,5 mm/d (Perunantutkimuslaitos 1996). Perunan vedentarve on suurimmillaan mukulanmuodostusvaiheessa, mikä alkaa hieman ennen kukintaa ja kestää 3-4 viikkoa (Hooli 1971). Mukulasadon lisäkasvun aikana kukinnan alusta tuleentumisen kynnykselle vedenkulutus on perunapellossa lähes 4 mm/d. Aurinkoisina ja tuulisilla päivinä vettä kuluu vielä 2-3 mm/d lisää. Toisaalta viileinä, pilvisinä ja tyyninä päivinä reheväkin kasvusto kuluttaa vettä vähimmillään vain 1-2 mm/d (Perunantutkimuslaitos 1996). Perunan tuleentumisvaiheessa varsiston vihreyden vähetessä haihdunta pienenee, ja vähän ennen sadonkorjuuta se on jopa alle 1 mm/d (Aura 1997).

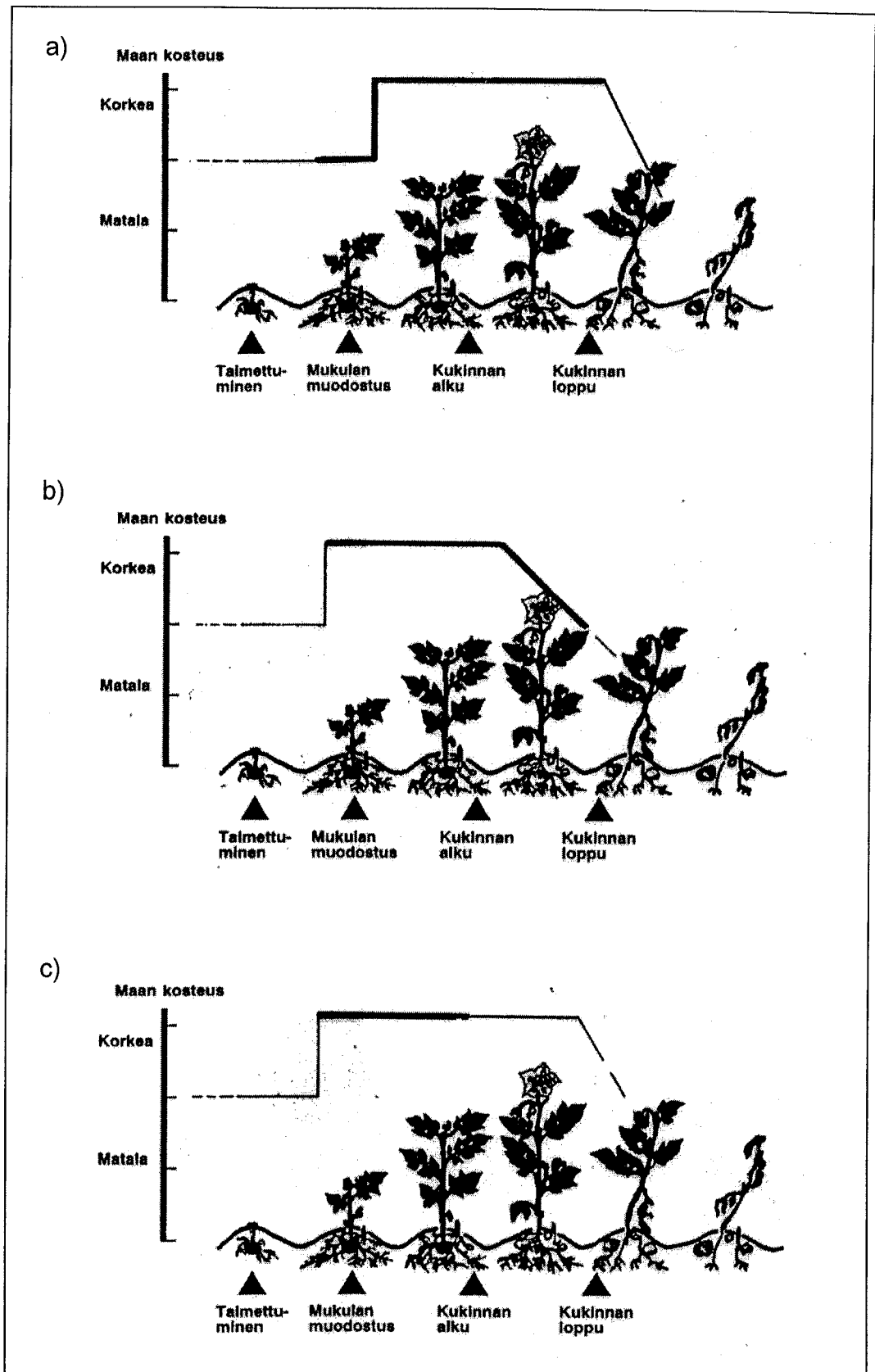
Perunan kastelun ajankohta riippuu myös sadon käyttömuodon mukaan. Ranskanperunan raaka-aineeksi kasvatettavan perunan tavoitteena on sadon suuri määrä ja tasainen, mielellään suurehko mukulakoko. Tällöin kasvustolle anne-

taan vettä kohtuullisesti mukulanmuodostuksen aikana ja kastelu on runsasta koko lisäkasvuvaiheen ajan (Kuva 9a).

Tärkkelysperunan ja lastuperunan tavoitteena on korkea tärkkelyspitoisuus ja kokoluokan 40–65 mm tasainen määrä koko sadossa. Vettä annetaan runsaasti ja tasaisesti mukulanmuodostuksen alusta mukuloiden lisäkasvun alkuun ja kastelua vähennetään kukinnan kynnyksellä ja lopetetaan kukinnan loputtua kuvan 9b hahmottamalla tavalla.

Siemenperunatuotannossa tavoitellaan suurta mukulalukua, mutta suhteellisen pientä mukulakokoa. Kastelu on silloin aloitettava jo rönsykärkien turpoamisvaiheessa. Mukulanmuodostukseen ajoitettu sadetus tuottaa huomattavan taloudellisen tuloksen erityisesti erityislajikkeilla, joilla mukulaluku tavallisesti jää pieneksi, ja mukulakoko kasvaa helposti liian suureksi (Kuva 9c) (Perunantutkimuslaitos 1996).

Vesi on halvin ja tehokkain ruventorjunta- aine. Tavallinen perunarupi ei pysty iskeytymään kehittyvän mukuloihin, kun perunapenkki on keskeytymättä kosteana jakson, joka aikaa taimettumisesta ja jatkuu mukulanmuodostusvaiheen puolelle noin kolme viikkoa. Pienikin lyhytaikainen kuivuus tuona ajankohtana riittää aiheuttamaan aroissa lajikkeissa pahan rupisaastunnan parhailtaan kehittyvän mukuloihin. Karkeimmilla ja keveimmillä maalajeilla voimakkaat vaihtelet maan kosteudessa lisäävät mallon sisäisiä ruskettumia, jos maan lämpötila on samalla korkea ja kasvualustan kalsiumvarat niukat (Perunantutkimuslaitos 1996). Tutkimuksissa saatujen tulosten mukaan kastelu on joko lievästi parantanut perunoiden säilyvyyttä varastossa tai vaikutus on jäänyt vähäiseksi (Aura 1997). Kuiva-aineen kokonaistyyppi vähenee poikkeuksetta, kun perunan vesitalous paranee. Sen sijaan huolimaton, myöhään aloitettu kastelu yhdessä runsaan typpilannoituksen kanssa lisää mukuloiden nitraattityppeä. Mukuloiden fosfori-, kalsium- ja magnesiumpitoisuudet nousevat kastelun vaikutuksesta. Kaliumpitoisuuteen vaikutus on vaihteleva (Perunantutkimuslaitos 1996).



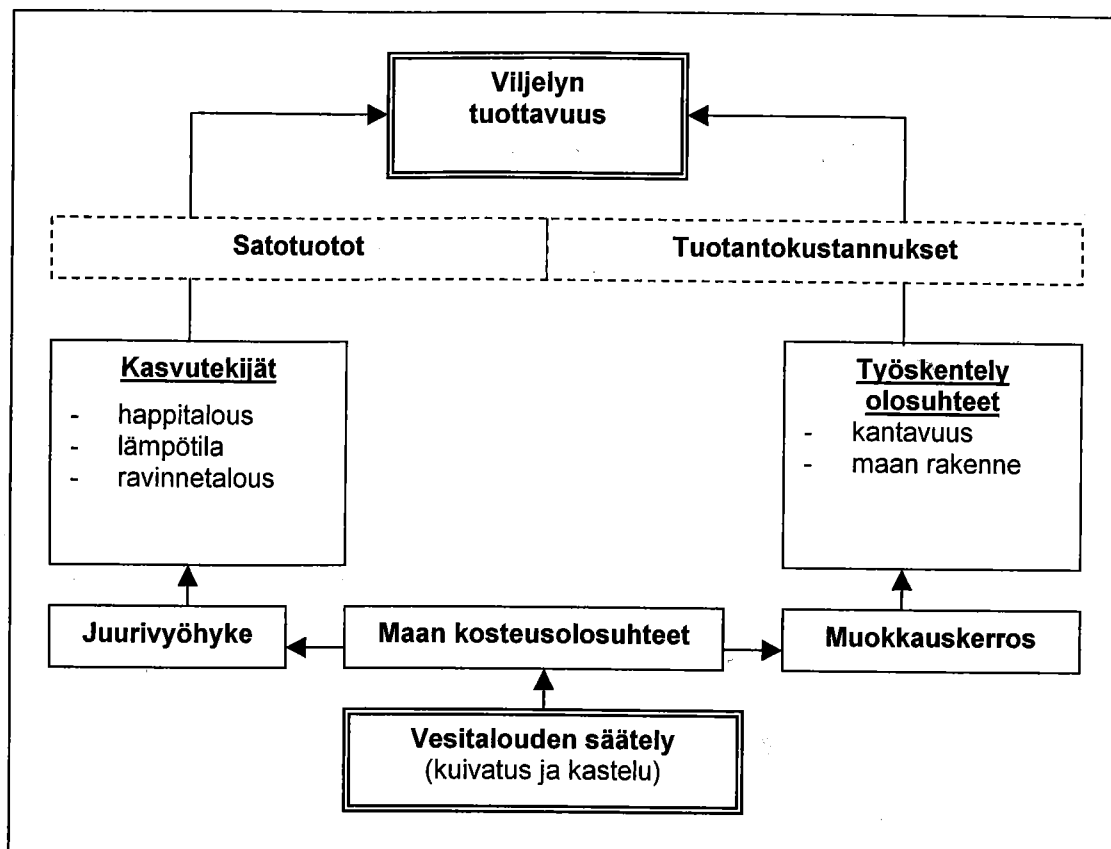
Kuva 9. a) Ranskanperuna-, b) tärkkelys- ja lastuperuna- sekä c) siemenperunatuotannon kastelutarve (Perunantutkimuslaitos 1996).



## 4.2 POHJAVEDENPINNAN SÄÄTÖ

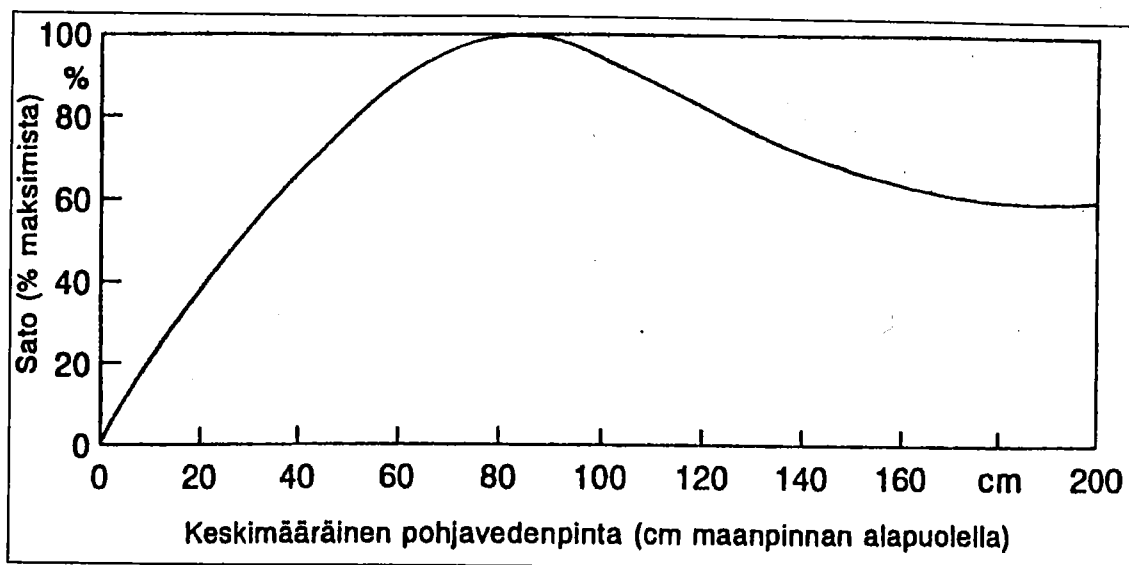
Perunan kastelun perustana on kasvuston vedenkulutus eri kehitysvaiheissa ja pellon kyky varastoida vettä sateen sattuessa. Pohjavesikastelussa myös veden liikkuminen ylöspäin on tärkeä kasteluvaikutusta säätelevä tekijä. Mitä suurempi maan vedenjohtavuus on, sitä helpommin ja nopeammin pohjavedenpinnan tasoa voidaan säädellä. Kuvassa 10 on esitetty vesitalouden säädön vaikutukset viljelyn tuottavuuteen maan kosteusolosuhteiden kautta. Pohjavesikastelu vaikuttaa pellon vesitalouteen pohjamaassa ja muokkauskerroksessa olevan pohjavedenpinnan tasoa säätämällä. Pohjavedenpintaa pidetään hiukan juuriston alapuolella, joten juuristovyöhykkeessä oleva kosteus on riippuvainen maan kapillaarisesta nousukorkeudesta ja säädetyn pohjavedenpinnan etäisyydestä juuristovyöhykkeestä. Tärkeintä pohjavedenpinnan säätämisessä on juuristokerroksen pitäminen optimikosteudessa nostamalla tai laskemalla pohjavedenpintaa kasvukauden ja sateiden mukaan. Pohjavedenpinnan säädöllä on ennen kaikkea varottava liiallisen kosteuden pitämistä juuristokerroksessa. Pohjavesikastelussa sateiden vähäisyys ei ole ongelma perunakasvuston kastelemiselle, vaan se vaikuttaa lähinnä pumppaustarpeeseen. Rankkasateiden aiheuttama äkillinen kuivatustarpeen lisäys aiheuttaa puolestaan tarpeen padotuskorkeuden laskemiselle, riittävän kuivatustilan turvaamiseksi.

Pohjavedenpinnan nousun nopeus riippuu pohjamaan maalajista. Karkeassa hiedassa pohjavedenpinta nousee halutulle korkeudelle verrattain nopeasti. Viljelijöiden mukaan haluttu pohjavedenpinnan korkeus saavutetaan jo yhden vuorokauden sisällä pumppauksen aloittamisesta (Saukkonen 1999). Vedenpinnan lasku ei tapahdu yhtä nopeasti kuin sen nostaminen, koska maalajit pidättävät vettä niille ominaisella tavalla. Karkea hieta sopiikin pohjavesikasteluun hyvin juuri huonon vedenpidätyskykynsä vuoksi, jolloin kuivatustilan muodostamiseen ei mene kohtuuttomasti aikaa ja sade-ennusteisiin voidaan reagoida hiukan hitaammin kuin hienommilla maalajeilla.



Kuva 10. Kasvuolosuhteiden vaikutus viljelyn tuottavuuteen (Smedema 1988).

Sulamisvesien ja runsaiden sateiden aiheuttamat vesimäärät kerätään maaprofiiliin padottamalla tai johdetaan pois kokoojaojaan. Pohjavedenpinnan laskemisella ja nostolla huolehditaan eri kasveille niille ominainen kuivavara. Kuivavara määritellään mittaamalla maanpinnan ja pohjaveden välinen korkeusero. Kuivatussyvyydellä tarkoitetaan salaojituksessa maanpinnan ja salaojan pohjan korkeuseroa, joka on samalla suurin kuivavara mikä menetelmällä voidaan saavuttaa. Kuivatussyvyys on normaalisti 100 - 120 cm. Optimaalisella kuivatuksella voidaan vaikuttaa merkittävästi satoon (Hooli 1971). Kuvassa 11 on esitetty pellon satotaso eri pohjavedenpinnan korkeuksilla. Käyrä vaihtelee eri viljelykasveilla ja maalajeilla, mutta yleinen muoto on sama. Optimipohjavesipinnan etäisyys maanpinnasta on maalajista riippuen 60 - 90 cm (Merilä 1995). Perunan viljelyssä käyrä siirtyy hiukan vasemmalle, koska perunan juuret ulottuvat matalalle ja niiden kyky ottaa vettä syvemmistä maakerroksista on heikko. Myös karkean hietamaan pieni kapillaarinen nousukorkeus mahdollistaa pienemmän pohjavedenpinnan etäisyyden maanpinnasta kuin kuvassa 11 on esitetty.



Kuva 11. Periaatekuva pohjaveden korkeuden vaikutuksesta satotasoon kasvu-kaudella (Visser 1958).

Liian pieni kuivavara vaikuttaa satotasoon oleellisesti enemmän kuin liian suuri. Tämä selittyy sillä, että liiallisen veden vaivaama maan juuristokerros kärsii hapen puutteesta ja mm. typen saanti vaikeutuu. Maan rakenne vaurioituu, maatiivistyy ja biologinen eliöstö tuhoutuu tai sen toimintakyky heikkenee. Myös maan lämpöolosuhteet huononevat (Merilä 1995).

Vähäsöyrinki (1979) on kenttäkokeissaan vuosina 1978-1979 todennut, että optimikuivavara satomäärien kannalta on ohralle 1,30 m ja kauralle 0,95 - 1,25 m. Minimikuivavara oli 0,20 m ja pellon alaraja käytännön viljelyksessä 0,50 m. Taulukossa 10 on esitetty arvioita eri viljelykasvien ja maankäyttömuotojen tarvitsemista kuivavaroista Englannissa (Wesseling 1987). Taulukon mukaan perunalle riittävä kuivavara olisi vain 0,30 m vedenläpäisevyyden ollessa 0,01 m/d. Konetyöskentelyn kannalta riittävänä kuivavarana voidaan pitää keskimäärin 0,70 m. Konetyöskentely estyy, kun kuivavara on 0,30 m maanpinnasta. Työmenekki on tällöin jo kasvanut 70 %. Työmenekki riippuu merkittävästi maalajista siten, että karkeat maalajit ovat kantavampia (Tuononen 1982).

Taulukko 10. Eri viljelykasvien ja maankäyttömuotojen tarvitsemia kuivavaroja (Wesseling 1987).

Maankäyttö	Suunniteltu pv-pinnan min.syvyys [m maanpinnan alapuolella]	ja sitä vastaava ve- denjohtavuus [m/d]
Ruohikko	0,30	0,007
Viljelysmaa	0,50	0,007
Puutarha	0,60	0,010
Mukula- ja sipulikasvit hk.maa	0,30	0,010
Mukula- ja sipulikasvit savimaa	0,50	0,007
Metsä	0,30	0,005
Urheilu- ja virkistysalue	0,50	0,015

Perunan kastelussa on tärkeää saattaa perunan juuristokerros sen vaatimaan optimikosteuteen. Perunamaan optimikosteudessa juuristokerroksen perunalle käyttökelpoisesta vedestä eli hyötykapasiteetista on tallella 70-80 %. Toisin sanoen pohjavedenpintaa ei nosteta juuriston tasolle, vaan juuristo pidetään maan kapillaarivyöhykkeessä. Jotta peruna ei hetkellisestikään kärsisi vedenpuutteesta, kastelu on aloitettava selvästi ennen kuin maa on kuivunut lakastumis-  
pisteeseen eli tilaan, jossa peruna ei enää pysty irrottamaan maasta yhtään vettä käyttöönsä. Tällöin kasveille käyttökelpoisesta vedestä on maassa jäljellä vielä puolet. Jos maa pääsee kuivumaan varsinkin suurimman vedentarpeen aikana mukulasadon lisäkasvuvaiheessa tätä enemmän, vedenpuutteen aiheuttamat lyhyetkin katkot sadonmuodostuksessa voivat johtaa peruuttamattomiin sato- ja varsinkin laatumenetyksiin (Perunantutkimuslaitos 1996). Pohjavedenpinnan pitäminen lähellä juuristokerrosta lähes koko kasvukauden ajan varmistaa, etteivät kasvit kärsi vedenpuutteesta myöskään kuivina aikoina.

Pohjavesikastelussa tuodaan pohjavedenpintaa nostamalla peltoon se perunakasvuston tarvitsema vesimäärä, mikä jää vajaaksi puuttuvien sateiden tai pelton huonon vedensiirtokyvyn takia. Tavoitteena on täydentää ja pitää yllä pel-

lossa juuristokerroksen vesivaroja niin, että ne turvaavat keskeytymättömän ja häiriöttömän kasvun (Perunantutkimuslaitos 1996).

Kokonaisvirtaaman ja siten myös ravinnehuuhtoutumien pienentäminen miniiniin vaatii, että säätelyä ylläpidetään läpi vuoden (Skaggs 1990). Suomen oloissa tämä tarkoittaa sitä, että virtaamaa säädellään lumen sulamisen alusta seuraavan talven alkuun. Lämpiminä talvina padotustaso voidaan nostaa lähelle maan pintaa ja näin vähentää virtaamaa (Ahonen 1991). Keväällä valunta on suurimmillaan. Olosuhteissa, joissa maa ei ole talvisaikaan lumen peittämä, voidaan kevään tulvahuippuja pienentää pidättämällä vettä ojissa ja maaprofiilissa (Evans 1989). Tyrnävällä viljelijät pitävät padotuskorkeuden kuivatussyvyydessä läpi talven, estäen maan liiallisen jäätyminen sekä varmistuen sulamisvesien poistumisen ja maan kantavuuden kylvön aloittamisen aikaan. Veden poisjohtaminen pysäytetään keväällä vasta kylvöaikaan tai hieman ennen sitä (Tuovinen 1998).

Istutuksen jälkeen pohjavedenpinta nostetaan kevätsateiden varastoimiseksi alkukesän kuivakausia varten niin korkealle, että muokkauksessa ja mahdollisessa kevään sateettomassa jaksossa kuivunut juuristokerros saadaan kapillaariyhteyteen pohjamaan kanssa (Perunantutkimuslaitos 1996). Perunan taimettumisen jälkeen pohjavedenpintaa lasketaan (Holma 1991). Kasvuston kehittyessä pohjaveden pintaa edelleen lasketaan, mutta padotusta ei poisteta, ellei sää ole poikkeuksellisen sateinen riittävän ilmatilan takaamiseksi (Perunantutkimuslaitos 1996). Keväällä, jolloin kasvien juuret ovat vielä pieniä ja kasvit kärsivät helposti liiasta kosteudesta, on pohjaveden pinta pidettävä riittävän syvällä. Jos se on liian korkealla, märkyys estää juuriston kehittymisen täysimittaiseksi. Padotuskorkeutta vähitellen lisäämällä saadaan pohjavedenpinta nousemaan halutulle tasolle. Jottei juuristo vaurioituisi, on korkeutta lisättävä hitaasti, noin 15 cm viikossa (Evans 1989). Sateisena kesänä saatetaan padotuskorkeutta joutua laskemaan riittävän kuivavaran takaamiseksi. Jos kesä ei ole kovin sateinen, voidaan padotuskorkeutta pitää vakiona koko kesän ajan (Ahonen 1991).

Juuriston kehittyessä pohjaveden korkeutta voidaan säädellä siten, että se on aina sopivalla etäisyydellä juuristovyöhykkeestä. Vedenpinta asetetaan padotuskorkeutta muuttamalla tasolle, jolta vesi kapillaari-ilmion avulla nousee juuristovyöhykkeeseen. Syvyys vaihtelee kasvilajeittain ja maalajeittain. Juuristoltaan täysin kehittyneellä perunalla sopiva pohjavedenpinnan syvyys on noin 50-60 cm. Maalajeittain vaihtelu riippuu hiukkaskoosta: karkeammilla maalajeilla, kuten hiekalla, vedenpinnan on oltava korkeammalla kuin hienojakoisilla maalajeilla (Skaggs 1985). Veden pinta ei saa nousta 45 senttiä lähemmäs maanpintaa, jotta kasvit eivät ala kärsiä hapen puutteesta (Tuovinen 1998).

Kuivina kesinä sadevesi ei välttämättä riitä ylläpitämään pohjavedenpinnan tasoa halutulla korkeudella. Tällöin vettä joudutaan pumppaamaan järjestelmään ulkopuolisesta lähteestä, kuten esimerkiksi järvestä, joesta tai pohjavesikaivosta. Vesi johdetaan kokoojaojia pitkin salaojiin, joista se kapillaarisen nousun ansiosta pääsee juuriston käytettäväksi (Ahonen 1991). Kasteluvaiheessa on tärkeää, ettei maa ennen kastelun aloittamista ole päässyt liiaksi kuivumaan. Kyllästyneessä maassa vesi yleensä liikkuu ojista saran puoliväliin 2-3 päivässä. Sama matka voi viedä 2-3 viikkoa, jos maa pääsee liiaksi kuivumaan (Evans 1985). Sinä aikana kasvit saattavat jo saada pysyviä kuivuusvahinkoja (perunalla rupisuutta, tyvimätää tms.). Tämän ehkäisemiseksi pohjavedenpinnan korkeutta on kuivina kesinä seurattava jatkuvasti tarkkailukaivojen avulla (Ahonen 1991). Vedenpinnan mittausta varten on löydettävä se kohta, jossa pohjavesi on lähimpänä maanpintaa (Tuovinen 1998). Pohjavedenpinnan laskiessa alle halutun tason pumppu käynnistetään esimerkiksi automaattisen kelluntakytkimen avulla ja vedenpinta nostetaan takaisin halutulle tasolle (Ahonen 1991).

Pohjaveden ollessa korkealla on maassa vain vähän tyhjää varastotilaa sadevedelle. Sateisiin onkin varauduttava mahdollisuuksien mukaan etukäteen, jotteivät juuret joutuisi pitkäksi ajoiksi vedellä kyllästyneeseen tilaan. Jos sadeennuste saadaan jo useita päiviä etukäteen, voidaan maan kyllästyminen ehkäistä lopettamalla veden lisääminen järjestelmään. Se on tehtävä niin aikaisin, että kasvit ja haihdunta ehtivät kuluttaa tarvittavan vesimäärän varastotilan kas-

vattamiseksi. Jos sade alkaa yllättäen, on padot avattava, ettei vesi nouse maan pinnalle (Ahonen 1991).

Elokuun alkupuolella pohjavesilisäys lopetetaan, ellei tule tarvetta hallan torjuntaan (Holma 1991). Noin kuukausi ennen nostoa padot alennetaan salaojitusvyöhyteen ja veden annetaan vapaasti virrata. Kesän aikana kasvusto on käyttänyt valtaosan maassa olevasta liukoisesta tyvestä, eikä vesien vesistöön päästäminen ole ympäristön kannalta enää haitallista. Elokuussa myös luonnon sateet alkavat olla perunan kasvulle riittäviä. Lisäksi maa pitää saada kuivateksi siihen kuntoon, että se kestää raskaita korjuukoneita (Perunantutkimuslaitos 1996).

Heti perunannoston jälkeen settipadot tai kaivojen sulut jälleen korotetaan. Vasta talvella setit alennetaan tai sulut poistetaan, jotta saadaan varastotilaa lumen sulamisvesille (Perunantutkimuslaitos 1996).

## 5. SÄÄTÖSALAOJITUKSEN YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISYYS

Peltoviljelyn ravinnekuormitus on merkittävä vesistöjemme laatuun vaikuttava tekijä. Fosforia ja typpeä kulkeutuu pintavesiin pinta- ja salaojavalunnan mukana. Eri ojitusjärjestelyillä on mahdollista tehostaa pellon vesi- ja ravinnetaloutta ja saada näin satotasoja nousemaan ja ravinnehuuhtoumia pieneneään. Säättösalaojituksessa kuivatuksen tehokkuutta säädellään padotuksen avulla, minkä seurauksena salaojavalunta ja sen mukana huuhtoutuvat ravinnemäärät vähenevät. Säättösalaojitus liitettiin maatalouden ympäristöohjelmaan vuonna 1995. Säättösalaojitukselle myönnettävän erityistuen edellytyksenä on, että pellon pinnan kaltevuus on enintään 2 % ja sen maalaji on pääosin hietaa. Suomessa on arvioitu olevan noin 800 000 ha em. vaatimukset täyttävää pelto- maata. Tällä hetkellä säättöojitustukea on maksettu noin 13300 ha:n alueella, josta 92 % on Pohjanmaalla (Haataja & Paasonen-Kivekäs 1999).

Typpi on yksi tärkeimmistä sadonmuodostusta säätelevistä tekijöistä. Sen määrällä voidaan vaikuttaa sekä sadon laatuun että määrään. Typpi esiintyy maassa orgaanisina ja epäorgaanisina yhdisteinä. Epäorgaanisista muodoista vesiliukoisia ovat nitraattityppi ( $\text{NO}_3^-$ ) ja ammoniumtyppi ( $\text{NH}_4^+$ ). Maan kuivatuksella voidaan vaikuttaa kaikkiin tärkeimpiin typen kierron prosesseihin (Karvonen 1992). Maaperälle ja ympäristölle on edullisinta, jos tarvittava lannoitetyppi lisätään orgaanisessa eli niukkaliukoisessa muodossa. Se vapautuu hitaan prosessin tuloksena pitkin kasvukautta, jolloin kasvit voivat käyttää sen heti hyväkseen. Tällöin myös huuhtoutuvan typen määrä vähenee. Koska nykyisissä lannoitteissa typpi on kuitenkin lähes aina helppoliukoisessa muodossa, on typpi-huuhtoutumia säädeltävä muilla keinoin (Ahonen 1991).

Mineralisaatiossa maan orgaaninen typpi hajoaa mikrobitoiminnan vaikutuksesta ammoniumtypeksi, joka on edelleen kasvien käytettävissä. Typpilannoitusta voidaan pienentää, jos mineralisaatio on tehokasta. Säättösalaojituksessa on varottava pohjaveden pitämistä liian lähellä maanpintaa, koska mineralisaatio on voimakkainta kuivassa ja lämpimässä maassa. Ulkomailta tehtyjen tutki-



musten mukaan sopiva pohjavedenpinnan syvyys maanpinnasta on 40-70 cm (Karvonen 1992).

Nitrifikaatiolla tarkoitetaan ammoniumtyypen hapettumista nitraattitypeksi. Nitrifikaatio voi tapahtua vain, jos maassa on riittävä määrä happea, ja siksi sitä ei tapahdu, jos maa on täysin vedellä kyllästynyt. Nitrifikaatio ei ole pelkästään hyödyllinen prosessi, sillä nitraattityppi on vesiliukoinen ja alttiina huuhtoutumiseen. Ammoniumtyppi puolestaan pidättäytyy helposti maapartikkeleihin, eikä näin ollen huuhtoudu niin helposti (Karvonen 1992).

Denitrifikaatiossa nitraattityppi muuttuu välivaiheiden kautta kaasumaiseksi ja haihtuu ilmakehään. Denitrifikaatio vaatii vähähappiset tai hapettomat olosuhteet. Säätosalaojituksella ja padotuskastelulla voidaan denitrifikaatiota edistää kasvukauden jälkeen pitämällä pohjavedenpinta juuristokerroksessa ennen lumen tuloa (Karvonen 1992). Denitrifikaationopeuteen voidaan maanviljelyssä vaikuttaa lähinnä maan kosteutta säätelemällä. Periaatteessa myös happamuutta voidaan säädellä, mutta sen optimiarvo on lähes sama denitrifikaatiobakteereille ja useimmille kasveille. Koska denitrifikaatiotuotteet eivät kuorimita vesistöä, olisi olosuhteita muutettava denitrifikaatiota suosivaksi (Ahonen 1991).

Nitrifikaationopeutta voidaan pienentää maan kosteutta lisäämällä. Tällöin samanaikaisesti denitrifikaatiotasoa kasvaa. Säätoojituksen ja pohjavesikastelun avulla on mahdollista vaihdella maan kosteuspitoisuutta niin, että se suosii denitrifikaatioreaktiota. Korkea denitrifikaatiotasoa ei kuitenkaan ole viljelijälle edullista, sillä se vähentää kasveille käyttökelpoisen tyypin määrää. Suomen oloissa erittäin korkeisiin denitrifikaatioarvoihin ei käytännössäkään päästä. Kasvit tarvitsevat kasvukaudella ilmaa, jolloin maahan ei voida luoda hapettomia olosuhteita. Talvella meillä on lumipeite, jolloin denitrifikaatiotuotteet eivät pääse haihtumaan, eikä reaktiotakaan juuri tapahdu alhaisen lämpötilan vuoksi.

Tehokas maan kuivatus kasvattaa nitrifikaationopeutta ja lisää tyypin huuhtoutumista. Tämä on epäedullista sekä vesistölle että viljelijälle. Säätosalaojituksen avulla typpi voidaan pidättää pellolla. Kun pellolta lähtevää virtaamaa pien-

netään ja vesi pidätetään maaprofiilissa, pysyy myös liennut typpi maassa. Tällöin huuhtoutuminen vähenee ja ravinne pysyy kasvin saatavilla (Ahonen 1991).

Maaperän liukoinen fosfori pidättyy nopeasti maahiukkasten pinnoille, eikä helposti huuhtoudu vesiliukoisessa muodossa. Mikäli liukoista fosforia syötetään liikaa, maaperän adsorptiokyky pienenee ja poistuvan fosforin pitoisuus on sama kuin tulevan fosforin pitoisuus (Karvonen 1992).

Pääosa fosforin huuhtoutumasta tulee vielä nykyisin eroosion myötä, kun maahiukkasten pinnoille pidättäytynyt fosfori vapautuu liukoiseen muotoon itse purkuvesistöissä eroosioaineksen sekoituessa suureen määrään vettä. Maankuivatuksella voidaan vaikuttaa fosforihuuhtoutumiin pääasiallisesti pintavaluntaa pienentämällä, jolloin eroosion määrä ja fosforikuormitus alenevat (Karvonen 1992).

Ravinnepäästöihin pyritään vaikuttamaan lisäämällä haihduntaa, jolloin valunta pienenee. Tarkoituksena on, että kasvit käyttävät peltoon varastoituvaa vettä sekä siinä olevia ravinteita. Talvella, kun kasvusto on poissa, säädön tarkoitus on saada typpi haihtumaan ilmaan denitrifikaation avulla. Tavoitteena on myös siirtää virtaamia sellaisiin ajankohtiin, jolloin päästöjen ympäristövaikutukset ovat vähäisempiä (Virtanen 1993).

Yhdysvalloissa Pohjois-Carolinassa tehdyissä kokeissa säätösalaajitus pienensi kokonaisvalumia keskimäärin 40 %. Säätösalaajitus pienensi kokonaistypen huuhtoutumista arvosta 15 kg/ha/a arvoon 8 kg/ha/a, eli 46 %. Fosforipäästöt pienenevät lähes saman verran. Normaalisti salaajitetulla pellolla kokonaistypen huuhtouma oli 30 % suurempi kuin avo-ojitetulla pellolla ja kokonaisfosforin osalta 20 % pienempi. Drainmod-mallilla tehtyjen laskelmien mukaan säätö pienensi sekä valumia että huuhtoutumia kaikilla maalajeilla, eikä säädön todettu vaikuttaneen pohjaveden nitraattipitoisuuksiin (Evans 1989).

Limingassa Holman pelloilla tehtyjen kokeiden mukaan kokonaistypen huuhtoutumat pohjavesikastellulta pellolta vähenevät 15-35 %. Vähennys johtuu

kasvaneesta denitrifikaatiotasosta ja padotuksesta, jonka avulla virtaamaa pelolta pystytään vähentämään. Typpihuuhtoutumat kasvavat ojavälin tihentyessä, kun taas fosforihuuhtoumat pienenevät. Fosforihuuhtouma pieneni saman verran kuin virtaama pieneni, eli noin 40 %. Huuhtoutumien pieneneminen todettiin myös Karvosen (1988) kehittämällä tietokonemallilla (Ahonen 1991).

Helsingin yliopiston Kasvintuotantotieteen laitoksen Tyrnävällä tekemien kokeiden mukaan pohjavedenpinnan säätely paransi joko typen nettomineralisaatiota tai lannoitetypen käyttötehokkuutta, koska kasvien ottama typpimäärä kasvoisadon mukana (Kleemola 1996).

Pelloilta vesistöön huuhtoutui Suomessa vuonna 1984 noin 1400 tonnia eli 0,57 kg/ha fosforia. Typen vastaavat luvut olivat 31 000 tonnia eli 12 kg/ha (Kauppi 1984). Jos kaikilla Suomen pelloilla olisi käytössä pohjavesikastelu, vähenisivät fosforihuuhtoumat (amerikkalaisia tuloksia käyttäen) 610 tonnilla eli 0,25 kg/ha:lla vuodessa. Typpimallilla saatujen tulosten mukaan kokonaistyppihuuhtoumat vähenisivät keskimäärin 7 800 tonnilla eli 3,0 kg/ha:lla vuodessa. Jos kastelu ulotettaisiin vain siihen soveltuviin peltoihin, vähenisivät fosfori- ja typpihuuhtoumat vastaavasti 250 tonnilla ja 2 900 tonnilla vuodessa. Tälläkin olisi vesistön kuormittumista ratkaisevasti vähentävä vaikutus (Ahonen 1991).

Nykyisten peltomaiden ravinnehuuhtoumia voitaisiin vähentää myös pelkällä säätöojituksella. Edellisen luvun perusteella säätöojituksella saavutettava huuhtoumien väheneminen riippuu maan kosteusoloista. Jos pohjavedenpinnan alkukorkeuden ollessa 180 cm vähennys on 100 %, voidaan arvioida, että keskimääräinen huuhtoumien väheneminen olisi 40 % erilaisissa olosuhteissa. Tämän perusteella Suomen peltojen säätöojittaminen vähentäisi typpihuuhtoumia noin 13 000 tonnilla vuodessa (Ahonen 1991).

Pohjavedenpinnan tarkka ohjaus lisää pohjavesikastelujärjestelmän ympäristöystävällisyyttä. Tarkempi kasteluveden pumppauksen ohjaus estää säätökaivojen yli tapahtuvan virtaaman sekä pohjavedenpinnan nostamisen ansiosta maaperän ravinteet ovat helposti juuriston käytettävissä. Automatisoidussa pohjavesikastelussa myös lisävedenpumppaustarve minimoidaan. Kasteluve-

denkierrätyksellä järjestelmästä saadaan kasvukauden ajaksi lähes suljettu systeemi. Ympäristön kannalta on edullista, että perunan satotason noustessa viljeltävien peltojen kokonaispinta-ala vähenee. Toisin sanoen sama määrä perunaa voidaan tuottaa pienemmällä pinta-alalla, jolloin myös käytettävien lannoitteiden ja torjunta-aineiden kokonaismäärä vähenee.

## 6. POHJAVESIKASTELUN AUTOMATISOINTI

Laitteistokatsauksen tavoitteena on etsiä automatisoidun pohjavesikastelujärjestelmän automatiikkaan ja mekaniikkaan soveltuvat sekä myöhemmin toteuttavassa pilottihankkeessa käytettävät osakomponentit. Esitettävien laitteiden ja menetelmien tarkoitus on antaa vaihtoehtoja automatisoidun pohjavesikastelun suunnitteluun ja toteuttamiseen. Järjestelmään tarvittavia automatisoituja säätökaivoja ei tehdastekoisena löydy, siksi kaivon automatisointiin pyrittiin löytämään mahdollisimman paljon erilaisia vaihtoehtoja. Automatiikan ja tiedonsiirron järjestämiseen on markkinoilla monenlaisia vaihtoehtoja, joiden käyttökelpoisuus automatisoidun säätösaloituksen ohjaamiseen riippuu erityisesti hankinta- ja käyttökustannuksista.

Automatisoidun pohjakastelujärjestelmän ohjausta käskyttää kotitietokoneella suoritettava säätöohjelma. Säätöohjelman yksityiskohtaisemmat toiminnot ja vaatimukset tarkentuvat pilottihankkeen aikana saatujen käyttökokemusten mukaan. Kasteluohjeet säätöohjelmalle antaa kasteluohjelma, jonka laatiminen vaatii perunan eri kasvuvaiheiden vedentarpeen ymmärtämistä.

Kustannusten säästämiseksi automatisoidun pohjavesikastelun laitteisto toteutetaan jo olemassa olevista tehdasvalmisteisista komponenteista. Tehdasvalmisteiset laitteet ovat myös käytännössä testattuja ja niille myönnetään takuu-aika toiminnan varmistamiseksi. Takuu ei korvaa, jos laitetta käytetään väärin tai takuehtojen vastaisesti.

Ulkoilma-asennus vaatii laitteistolta säänkestävyyttä ja varmaa toimintaa. Laitteiston pieni virrankulutus on tärkeää, jos laitteisto sijoitetaan sähköverkon ulkopuolelle. Vaikka automatisoidun pohjavesikastelun ohjauslaitteisto sijoitetaan tiiviiseen laitekoteloon, laitteiston automatiikka ei saa olla erityisen herkkä kosteudelle sekä ukkosesta aiheutuville jännitevaihteluille. Kenttäolosuhteiden vaatimukset nostavat käytettävien laitteiden hintaa.

## 6.1 AUTOMATISOINTIEHDOTUKSET ERI KAIVOTYYPEILLE

Automatisoidun kaivon tavoitteena on säätää pohjavedenkorkeutta käyttäjän tai tietokoneohjelman antamien pohjavedenpinnan tavoitekorkeuksien mukaan. Pohjavedenpinnan korkeuteen voidaan vaikuttaa nostamalla tai laskemalla mekaanisesti säätökaivon padotuskorkeutta, jolla säädetään pohjavedenkorkeus halutulle maksimitasolle.

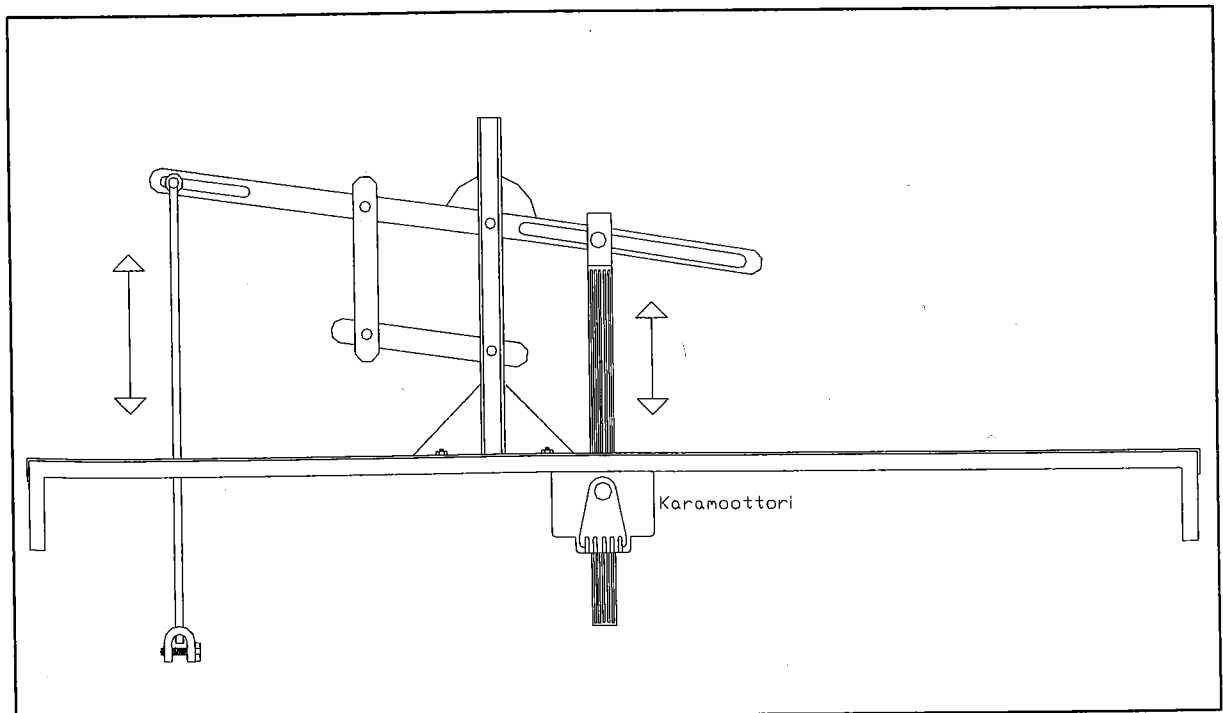
Automatisoitu kaivo voidaan rakentaa usealla eri tavalla. Kaivon valintaan vaikuttavat käytettävien laitteiden hinta sekä niiden kestävyys ja luotettavuus Suomen olosuhteissa. Olemassaolevien kaivojen hyväksikäyttö suunnittelun perustana alentaa automatisoidun kaivon toteuttamisen kustannuksia, jos sääntömekaniikan asentaminen niihin ei vaadi kohtuuttomia kustannuksia.

### 6.1.1 VETO-säätösalojakaivo

Tyrnävällä yleisin tehdasvalmisteinen säätösalojakaivo on Uponorin valmistama VETO-säätösalojakaivo. VETO-säätösalojakaivossa padotuskorkeuden säätöön käytetään kudsovahvistettua haitariputkea (Uponor 1999). VETO-säätökaivolle on suunniteltu kaksi automatisointivaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa haitariputken nostamisen ja laskemisen automatisointiin käytetään sähkökäyttöistä askelmoottoria, joka on kiinnitettynä säätökaivon kansirakenteeseen (liite 1). Haitariputken liikuttaminen tapahtuu ketjun ja hammasrat-taan välityksellä. Haitariputken yläpäähän lisätään massaa, jotta putki painuisi varmuudella veden alle omalla painollaan. Ennen käyttöönottoa askelmoottorin asema kuivatussyvyudessa talletetaan tiedonkeruuyksikön muistiin. Askelmoottorin liikettä säädetään tiedonkeruuyksikön lähettämällä pulsseilla. Yksi pulssi vastaa tiettyä askelmoottorin kiertoliikettä. Askelmoottoria on pystyttävä ohjaamaan molempiin suuntiin. Säätöputken korkeus maanpinnasta lasketaan tiedonkeruuyksikössä, kun hammasrattaan välitys tunnetaan. Askelmoottorin hallittu käyttö vaatii kallista ohjauskorttielektroniikkaa, jonka vuoksi askelmoottori soveltuu säätökaivon käyttömoottoriksi vain jos padotuskorkeuden ja kuivatussyvyysvälinen etäisyys on suuri.

Toinen vaihtoehto VETO-säätösalaojakaivon padotuskorkeuden säätämiseen on käyttää karamoottoria. Karamoottori kiinnitetään säätöputkeen kiinteällä tangolla. Karamoottori huolehtii säätöputken liikuttamisesta omalla voimallaan myös alaspäin putkea laskettaessa, joten massan lisäämistä säätöputken yläpäähen ei tarvita. Jos karamoottori liitetään säätöputkeen ketjulla tai vaijerilla, lisätään säätöputkeen lisämassaa.

Karamoottorin ongelmana on säädön rajallisuus. Edullisimpien karamoottorien maksimisäätöliikkeet rajoittuvat noin 750 mm asti. Kaivon tarvitsema säätövara on tiedettävä etukäteen karamoottoria tilatessa. Useimmissa tapauksissa, jossa salaojituksen kuivatussyvyys on noin metri, liikerata on riittävä padotuskorkeuden maksimin ylettyessä noin 300 mm korkeudelle maanpinnasta. Liikeradan pidentämiseksi voidaan kaivon rakentaa mekanismi, joka laajentaa karamoottorin liikeradan halutun suuruisiksi. Esimerkki liikerataa laajentavasta mekaniismista on luonnosteltu kuvassa 12.



Kuva 12. Kaivon liikeradan pidentävän mekanismin periaatekuva.

Ennen säädön aloitusta kaivot asennetaan kuivatussyvyyteen saakka, jolloin tiedonkeruuyksikkö kalibroidaan nollatasoon kaivokohtaisesti. Tämä varmistaa, että käyttäjä ja säätöohjelma saa oikeat padotuskorkeustiedot. Karamoottorin ohjaamiseen käytetään tiedonkeruuyksikön lähettämiä pulsseja, joiden avulla loggeri analysoi ja tallettaa kaivon padotuskorkeuden senttimetreinä. Karamoottorilla automatisoidun VETO-säätösalojakaivon rakennekuva on esitetty liitteellä 2.

### **6.1.2 Läppäventtiilisäätökaivo**

Säätöteknisesti helpoin vaihtoehto on asentaa säätökaivoon sähköisesti avautuva ja sulkeutuva läppäventtiili. Läppäventtiili soveltuu asennettavaksi lähes jokaiseen markkinoilla olevaan tehdastekoiseen tai itse tehtyyn säätökaivoon. Automatisoitu läppäventtiilikaivo voidaan toteuttaa säätökaivoon upotettavalla vesitiiviillä sähköventtiilillä tai läppäventtiiliä kääntävä mekanismi kiinnitetään säätökaivon kanteen tai kannen alle rakennettuun telineeseen. Läppäventtiilin liikuttamiseen käytetään askelmoottoria, karamoottoria tai sähkömagneettia. Periaatekuvat läppäventtiilin kaivoasennuksesta on esitetty liitteessä 3. Karamoottoria tai sähkömagneettia käytettäessä läpän akseli on vaakasuorassa ja sen käyttö tapahtuu vääntövartta tangolla nostamalla ja laskemalla. Askelmoottori kiertää pystysuoraa läpän akselia tangon välityksellä.

Tiiviin ja toimintavarman läppäventtiilin hinnat ovat käytettävillä putkivaihtoehdoilla erittäin korkeat. Metallista valettu läppäventtiili on lisäksi painava, joten kevytrakenteiseen kaivoon on tehtävä tukirakenteita venttiilin kannattamiseen. Jos läppää liikuttava moottori on integroitu läppäventtiilin runkoon, venttiilin käsikäyttö on mahdotonta ilman sähkövirtaa. Säätökaivon kannelta ohjattu läppäventtiili voidaan aukaista ja sulkea käsin, mutta koko pellon pohjavedenkorkeuden pitkäaikainen hallitseminen venttiilejä käyttäen on erittäin työlästä.



### 6.1.3 Jussi-säätösalojakaivo

Kolmas automatisointiehdotus on suunniteltu tehdastekoiseen Jussi-säätösalojakaivoon. Kaivon valmistaja on KWH Pipe. Jussi-säätösalojakaivo on rakenteeltaan monimutkaisempi muihin markkinoilla oleviin säätösalojakaivoihin verrattuna. Padotuskorkeus säädetään säätöputken yläosan pituutta muuttamalla ja putken alaosassa olevaa venttiiliä aukaisemalla voidaan pohjavesipinta laskea kuivatussyvyyteen saakka (KWH Pipe 1999). Jussi-säätösalojakaivon venttiilimekanismi soveltuu automatisoituun pohjavesikasteluun säätötekniikan kannalta erinomaisesti. Säätökaivon käsikäyttö toteutetaan joko venttiiliä ohjaamalla tai padotuskorkeutta määrittävää putkea säätämällä. Venttiilejä käsin käytettäessä vedenpinnan lasku voi muodostua liian suureksi, mikäli käytettävänä on useita säätökaivoja. Tämän vuoksi pohjavedenpinnan laskeminen käsisäätöisenä toteutetaan padotuskorkeuden määräävää putkea nostamalla tai laskemalla.

Automatisoidussa pohjavesikastelujärjestelmässä pohjavedenpinnan tavoitekorkeutta säädetään Jussi-säätösalojakaivossa yksinomaan pohjaventtiilin ohjauksen avulla. Säätöputken yläosa asetetaan 30 cm maanpinnasta, jolloin se toimii ylivuotoputkena ongelmatilanteissa. Jussi-säätösalojakaivon automatisoinnin rakennekuva on esitetty liitteessä 4.

Jussi-säätösalojakaivon pohjaventtiilin toimintaa ohjataan askelmoottorilla, magneettiventtiilillä tai karamoottorilla. Pohjaventtiilin ohjaustavan valintaan vaikuttaa käytettäväksi suunnitellun laitteen hinta, varmatoimisuus sekä käyttövirranhankintamahdollisuus. Automatisoinnin kannalta magneettiventtiili on helppo ja yksinkertainen tapa toteuttaa pohjaventtiilin ohjaus. Magneettiventtiilin ongelmana akkukäyttöisenä on sen suuri virrankulutus venttiilin ollessa auki, joten magneettiventtiiliä voi käyttää vain, jos lähistöllä on sähköverkko.

Askelmoottorin käyttö venttiilin liikuttamiseen vaatii tarkoitukseen rakennettua mekaniikkaa. Mekaniikan suunnittelu ja rakennuskustannukset nostavat askelmoottorin käyttöönoton hintaa varsinkin pilottihankkeessa. Askelmoottori kalib-

roidaan alimpaan ääriasentoon venttiin ollessa auki. Venttiin sulkeutuessa askelmoottori pyörähtää 180° myötä- tai vastapäivään. Venttiin pohjaan asennettu jousi mahdollistaa askelmoottorin liikkeen suorittamisen loppuun asti sekä painaa venttiin tiukasti säätöputkea vasten. Askelmoottori hankitaan valmiiksi 180° aukeavaksi, jolloin sen ohjaus on edullisempi toteuttaa pulssiohjattuna. Askelmoottorin akselin täytyy lukkiutua toiminnan loputtua. Askelmoottori asennetaan kaivon kannelle rakennettavaan suojaan.

Karamoottori ei tarvitse erityistä mekaniikkaa Jussi-säätösalojakaivon venttiin ohjaukseen. Karamoottorin liikeradaksi riittää 50 - 100 mm. Tehtävään käytetään pieniä, venttiin ohjaamiseen suunniteltuja karamoottoreita. Karamoottori ei tarvitse virtaa toimintansa ylläpitämiseksi. Venttiin ja ohjausvarren väliin lisätään jousi kuten askelmoottoria käyttäessä. Karamoottorin toimintaa ohjataan ääriasennosta toiseen. Karamoottorin asema kalibroidaan tiedonkeruuyksikölle venttiin ollessa auki. Karamoottori asennetaan kaivon kannelle tai kannen alle rakennettuun asennustelineeseen.

#### **6.1.4 TWISTER-säätösalojakaivo**

TWISTER-säätökaivo on kahdella aukollisella säätöputkella varustettu säätösalojakaivo. Säätöputket ovat toisiinsa nähden tiukkasovitteiset, ettei vesi pääse poistumaan kaivoista putkien välistä. Liitteessä 5 on esitetty kuva automatisoidun TWISTER-säätökaivon toimintaperiaatteesta. Putket ovat sovitettu toisiinsa siten, että sisäpuolen putkea kääntämällä saadaan laskuaukko halutulle padotuskorkeudelle. TWISTER-säätökaivoa ei ole teollisessa tuotannossa. Kaivomalli on syntynyt ideoinnin tuloksena, joten sen toimivuutta käytännössä ei ole kokeiltu edes prototyyppiasteella.

TWISTER-säätösalojakaivon säätämiseen käytetään askelmoottoria, joka kiertää putken haluttuun asentoon. Kaivon automatisointi on vaikea toteuttaa verrattuna muiden säätösalojakaivojen automatisointiin. Ongelmana on säätömoottorin kallis hankintahinta ohjauskortteineen sekä moottorin ankkuroinnin

toteutus tukevasti kaivon kanteen. Säätkäivön käytölle pilottihankkeessa on esteenä myös prototyypin valmistamisen kalliit kustannukset.

Automatisoidun TWISTER-säätkäsalaojakaivon käsin käyttö on hankalaa. Käyttäjän on vaikea havaita, mille korkeudelle säädetty padotuskorkeus asettuu, kaivon kannen ollessa tukevasti kiinnitettynä. Ilman automatisointia TWISTER-säätkäsalaojakaivon kansi on helposti irrotettavissa, jolloin säätkäivön käyttö käsivoimin on helppoa, putken kiertämistä halutun padotuskorkeuden saavuttamiseksi.

## 6.2 AUTOMATISOINNIN TOTEUTTAMINEN KARAMOOTTORIN AVULLA

Tyrnävällä toteutettavassa pilottihankkeessa säätkäivojen padotuskorkeudet säädetään karamoottoreita käyttäen. Karamoottori valittiin, koska se soveltuu parhaiten yleisimmän VETO-säätkäsalaojakaivon sekä muiden tehdasvalmistesten säätkäsalaojakaivojen automatisointiin. Karamoottorin avulla toteutettuja säätkäivoja voidaan helposti käyttää myös akkukäyttöisenä, koska karamoottorit eivät kuluta virtaa toimintansa ylläpitämisessä ja käytön aikana virran kulutus on vähäistä. Pilottihankkeen säätkäivoihin kokeillaan mahdollisesti useanlaisia karamoottoreita toimintavarmuuden testaamiseksi. Kaivovaihtoehtoiksi soveltuvat parhaiten VETO – ja Jussi-säätkäsalaojakaivo.

Matrix-karamoottorit ovat suunniteltu käytettäväksi erityisesti kalusteissa, kuten sairaalasängyissä, hierontatasoissa, tuolien selkä- ja jalkaosan säädöissä ja lukuisissa muissa kohteissa. Tiiveytensä ansiosta Matrix karamoottorit soveltuvat myös teollisuuteen ja ulkokäyttöön, kun käyttölämpötila on välillä 0...+40°C (Magnetic 1996).

Karamoottoreita on saatavissa tasavirralla 12 VDC (24 VDC) tai vaihtovirralla 230 VAC toimivana. Liikepituus on valittavissa 10 mm välein 50..700 mm. Voi-

maa karamoottoreissa on aina 8000 N asti. Moottoreiden staattinen kuormituskyky on 4-kertainen nimellisvoimaan verrattuna (Magnetic 1996).

Verkkojännitteellä (230 V) toimiva karamoottori on edullisin, kun valmistetaan laitteita, joissa tarvitaan vain yksi moottori. Jos järjestelmässä on kaksi moottoria, tulevat 230 V verkkojännite ja 12 V tasajännite suunnilleen samanhintaiseksi. Jos järjestelmään tarvitaan enemmän kuin kolme moottoria, on edullisinta käyttää 12 V tasajännitteellä toimivia moottoreita. Karamoottorin 12 V malleja on saatavissa myös 24 V käyttöjännitteellä (Magnetic 1996). Automatisoidussa pohjavesikastelussa kaivoja on yleensä yli kolme kappaletta, joten kaivojen käyttömoottoriksi on järkevintä valita 12 V versio. 12 V malli voidaan toteuttaa myös akkukäyttöisenä. Magnetic Matrix MAX1-karamoottorin tekniset tiedot on esitetty taulukossa 11. Säätoikaivon ohjaamiseen käytetään 1500 N työntö- ja vetovoiman omaavaa MAX1.C-karamoottoria.

Taulukko 11. Matrix MAX1 karamoottorin tekniset tiedot (Magnetic 1996).

Tekniset tiedot		MAX6.-C	MAX3.-C	MAX1.-C
Nimellisvoima, työntö ja veto	N	4000	3000	1500
Staattinen kuormituskestävyys	N	16000	16000	16000
Liikepituus	Mm	50...700	50...700	50...700
Jännite	VDC	120 / 230	12 / 24	12 / 24
Nimellisteho 12 / 24 VDC	W	200	120	100
Nimellisvirta 12 / 24 VDC	A	1,8 / 0,9	11 / 5,0	7,5 / 4,0
Lyhytaikaiskäyttö S2	Min	10	10	10
Jaksottainen ajoittaiskäyttö S3 (10 min jakso)	%	10	10	10
Käyttölämpötila	°C	0...+40	0...+40	0...+40
Paino (200 mm liikkeellä)	Kg	5,0	4,0	3,0

Matrix karamoottoreissa ei ole mekaanisia rajakytkimiä, vaan liike pysähtyy sisäänrakennettuihin päätyvasteisiin. Jotta tasavirtamoottori ei palaisi, on niissä

käytettävä virranrajoittimia joko moottoriin sisäänrakennettuna tai ulkopuolisena. Mikäli moottori tai vaihde vaurioituu, jää karamoottori siihen asentoon, missä se on vaurion sattuessa (Magnetic 1996).

Karamoottori asennetaan säätökaivon kansirakenteeseen asennettuun metalliseen tai kovamuoviseen telineeseen. Telineen on oltava tukeva, jotta karamoottoriin ei koituisi kannen notkumisesta tai väärästä liikeradasta aiheutuvia rasituksia. Karamoottorin sallitaan kääntyä liikkeen aikana vain kohtisuoraan kiinnitysakseleihin nähden. Karamoottori voidaan asentaa myös säätökaivon kannen alle asennettuun telineeseen, jolloin kanteen on tehtävä läpivienti karamoottorin varrelle. Karamoottori on pystyttävä irrottaa talveksi, joten sen kiinnitys telineeseen ja johtojen liitokset on tehtävä helppokäyttöiseksi. Varsinaista huoltoa karamoottori ei tarvitse.

Karamoottori varustetaan pikavapautustoiminnolla veto- ja työntökuormalle. Pikavapautuksen avulla työntötanko voidaan asettaa, mihin asentoon tahansa ilman moottoria, esimerkiksi sähkökatkon aikana. Karamoottoriin asennetaan sisäänrakennettu pulssianturi, jolloin tiedonkeruuyksikön lähettämät kahdeksan pulssia vastaa yhtä karamoottorin kierrosta. Reed-releillä varustetusta karamoottorista saadaan tiedonkeruuyksikölle tarvittaessa tiedot päätyasentojen saavuttamisesta (Magnetic 1996).

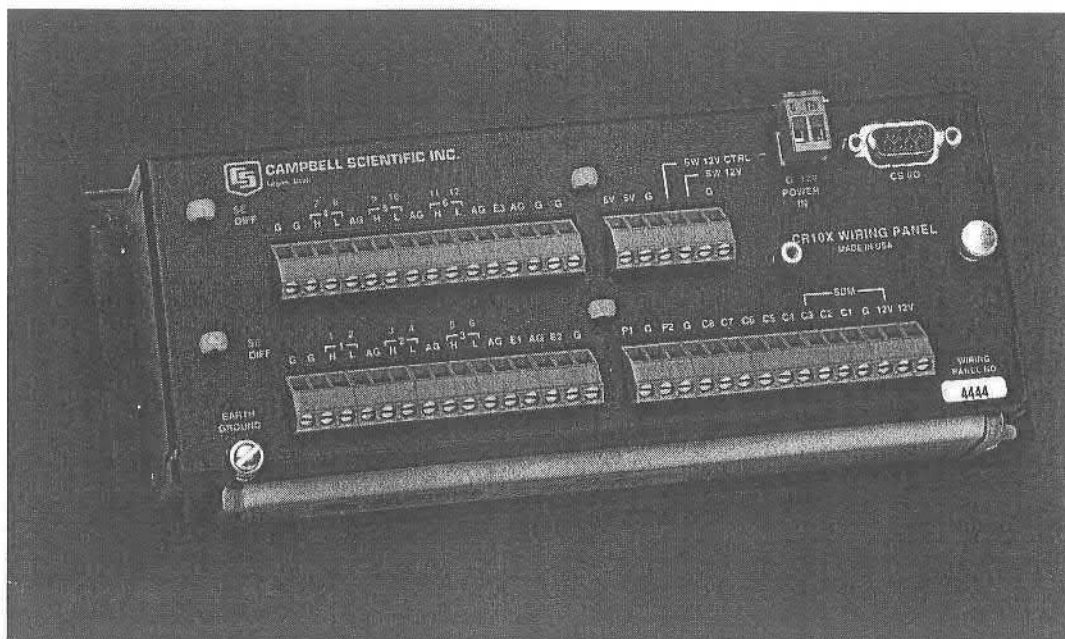
## 7. JÄRJESTELMÄN OHJAUS JA TIEDONSIIRTO

### 7.1 TIEDONKERUUYKSIKKÖ ELI DATALOGGERI

Tiedonkeruuyksikköä eli dataloggeria käytetään tiedon keräämiseen mittauspisteiltä sekä säätölaitteiden ohjaamiseen. Dataloggeri on prosessorin (esim. Hitachi 6303) ohjaama ohjelmoitava tiedonkeruuyksikkö, joka käskyttää mittauksia ja siihen kytkettyjen laitteiden toimintoja. Tiedonkeruuyksikköön kytketään erilaisia sähköisiä mittausantureita halutun informaation saamiseksi. Tiedonkeruuyksikköön liitetään automatisoidussa pohjavesikastelussa tarvittavan pohjavedenkorkeuden mittauksen lisäksi myös säähavannointiin liittyviä mittausantureita. Pohjavesikastelun säädön kannalta järjestelmään liitetään sademittari sekä hallan havaitsemiseen lämpömittari. Lämpötilan seuraaminen on tärkeää myös säätölaitteiden ja paineanturien jäätyksen estämiseksi.

Mikäli verkkosähköä ei pellolle saada helposti järjestettyä, tiedonkeruuyksikköön saa virtansa 12 V lyijyhyytelökäytöstä, jota ladataan pienen aurinkopaneelin avulla. Tiedonkeruuyksikkö käyttää virtaa lähinnä mittauksiin sekä toimintojen ohjaamiseen. Lepotilassa tiedonkeruuyksikön virran kulutus on erittäin vähäistä. Mittauksien ajoitus, modeemiyhteyden kesto sekä ajankohta määrätään tiedonkeruuyksikön ohjelmointiin käytettävän ohjelman sekä laitteen sisäisen reaaliaikakellon avulla. Tiedonkeruuyksikkö kerää mittaamansa tiedot muistiinsa sekä muuttaa ne ohjelmansa avulla haluttuun yksikköön ja lähettää keräämänsä informaation radiomodeemin tai kaapelin välityksellä tukiasemaan. Mikäli tiedonsiirto ei onnistu, tiedonkeruuyksikkö soittaa halutun pituisen tauon jälkeen tukiasemaan niin kauan, että sen lähettämä viesti menee perille.

Eräs tarkoitukseen sopiva tiedonkeruuyksikkö on Campbell Scientific Inc. valmistama CR10X (kuva 13). Tiedonkeruuyksikkö CR10X sisältää 12 kanavaa analogiselle jännitemittaukselle, jotka ohjelmallisesti valitaan viidestä eri jännitemittausalueesta ( $\pm 2,5 - \pm 2500$  mV), 2 kanavaa pulssimuotoiselle mittaukselle sekä 8 digitaalista I/O porttia. Campbell CR10X tiedonkeruuyksikössä on 128 Kb flash-muistia ja 128 Kb SRAM-muistia datatiedon keräämiseen. Flash-muistia voidaan tarvittaessa lisätä 1 tai 2 Mb verran. Käyttäjällä on käytössä 16 Kb laitteen toimintojen ohjelmoimiseen ja se on laajennettavissa 32 Kb asti (Campbell 1998). Tarkemmat tekniset tiedot ovat esitetty liitteessä 6.



Kuva 13. Datalogger Campbell CR10X (Campbell 1998).

## 7.2 MIKROTIETOKONE

Tietokoneeksi automatisoidun pohjavesikastelun ohjaamiseen tarvitaan IBM-yhteensopiva perus-PC, joka soveltuu Windows 95/98 käyttöjärjestelmän suorittamiseen. Mikäli Windows-käyttöjärjestelmää ei käytetä, ohjataan automatisoitua pohjavesikastelua tarvittaessa myös DOS-pohjaista ohjelmaa käyttämällä. Laitteiston prosessorivaatimus ei ole suuri, joten nykyiset edullisimmat tietokonepaketit soveltuvat tehtävään erinomaisesti. Radiomodeemin kytkemiseksi laitteistossa on oltava RS-232 sarjaportti. Sarjaportti kuuluu poikkeuksetta jokaisen nykyaikaisen kotitietokoneen vakiovarustukseen. Mikäli tietokone on erittäin vanha ja sarjaporttia ei koneessa ole, se voidaan asentaa jälkikäteen ISA-korttipaikkaan asennettavalla lisäkortilla. Nykyinen uusi perustason PC sisältää esimerkkinä seuraavat osat :

- Prosessori Intel Celeron 366 MHz A PPGA
- Emolevy, ATX
- Muisti SDRAM 32 Mb, PC-100
- Kovalevy 4,3 Gb, IDE UDMA 66
- Näytönohjain 8 Mb, AGP
- CD-asema 48x, IDE
- Faxmodeemi 56000 baud., PCI
- Korppuasema, hiiri ja näppäimistö
- Näyttö 15"
- Miditornikotelo, ATX

Laitteiston omistajan on huolehdittava, että koneessa oleva käyttöjärjestelmä on laillinen. Järjestelmän vaatimat laitteet voidaan asentaa viljelijällä jo olemassa olevaan pentium-tasoiseen kotitietokoneeseen, jolloin automatisoinnin kustannukset laskevat tietokoneen ja käyttöjärjestelmän hankintahinnan verran alaspäin.

Tietokone toimii automatisoidun pohjavesikastelun keskustietokoneena, joka on käynnissä koko ajan seuraten radiomodeemin tai kaapeleiden välityksellä ken-



tän tiedonkeruuyksiköitä, joilta välittyvät mittaukset tallennetaan tietokoneen kovalevylle. Näytön kulumisen estämiseksi käytetään näytönsäästäjää tai Energy Star yhteensopivan näytön virransäästöominaisuuksia. Tietokone toimii tiedonkeruuhjelmiston määräämällä tavalla, joten tiedonkeruu toimii koko ajan taustalla, vaikka tietokonetta käytetään jonkin muun ohjelman suorittamiseen. Tietokone voidaan liittää modeemin välityksellä puhelinverkkoon, jolloin saadaan tarvittaessa yhteys esimerkiksi internetin sääpalveluihin. Samalla voidaan lähettää myös omaa säämittausdataa verkkoon muille lähiseudun viljelijöille. Modeemi mahdollistaa myös tilojen välisen alueellisen yhteistyön useamman tilan välillä.

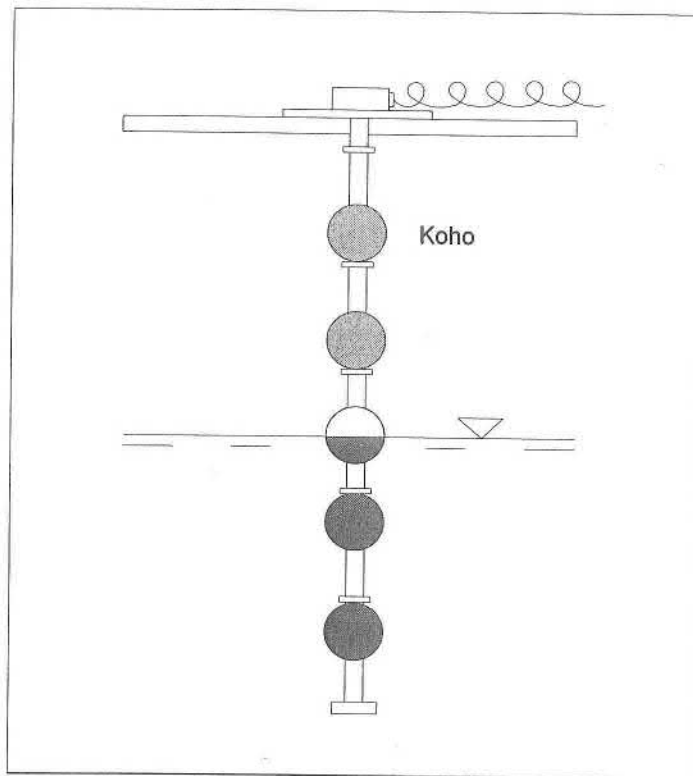
Mikäli pellolla olevat kaivot sijaitsevat lähellä keskustietokonetta, voidaan tiedonkeruuyksikkö korvata tietokoneen PCI- tai ISA-korttipaikkaan asennettavan tiedonkeruukortin avulla. Tiedonkeruukortin käyttö alentaa huomattavasti automatisoidun pohjavesikastelun perustamiskustannuksia. Kaivojen säädön ja vedenkorkeudenmittauksen vaatima tiedonsiirto keskustietokoneelle toteutetaan tiedonkeruukorttia käytettäessä kokonaan kaapeleiden avulla.

Tietokone on herkkä ukkosen aiheuttamille häiriöille. Tietokone voidaan varustaa laittein, joiden avulla ukkosen aiheuttamat häiriöt eivät vaurioita konetta ja sähkökatkoksen aikana tietokone ehditään sammuttamaan normaalisti kasteluohjelman tallennuksen jälkeen. Sähkökatkoksen jälkeen tietokone kytketään päälle ja kasteluohjelmaa jatketaan siitä, mihin se ennen sähkökatkosta oli tallennettu. Vaihtoehtoisesti ennen ukonilmaa tietokoneesta katkaistaan virta pois ja johdot irrotetaan pistorasioista ja modeemeista. Lisävesipumppaus lopetetaan ja padotuskorkeutta lasketaan etukäteen sataneen veden varastoinniseksi.

### 7.3 POHJAVEDENKORKEUDEN MITTAUS

Maaperässä tapahtuvan pohjavedenpinnan liikkeiden seurantaan ja hallittuun säätämiseen tarvitaan lähes jatkuvaa pohjavedenpinnan mittaamista. Mittauspisteet sijaitsevat pellolla salaojien välisellä alueella ja säätökaivossa. Jos mittauspiste asennetaan vain säätökaivoon, verrataan sen vedenkorkeustietoja pellolle sijoitettavan pohjavedenkorkeuden havaintoputken vedenpinnan liikkeisiin. Yhden kasvukauden pituisen seurannan avulla etsitään yhteneväisyyksiä kyseisten mittauspisteiden välillä, jotta kaivosta mitatut arvot vastaisivat mahdollisimman hyvin pellolla vallitsevaa pohjavesitulannetta. Mittauspisteen sijoittaminen ainoastaan säätökaivoon on perusteltua sijoituksen helpoudella, edullisuudella, vapaalla sijoituksella ja sijainnin suojaisuudella. Säätökaivoon ja pellolle sijoitetut vedenkorkeudenmittauslaitteet poistetaan talveksi kaivon muun säätölaitteiston ohella.

Mittauspiste sijoitetaan mielellään samaan säätökaivoon tiedonkeruuyksikön kanssa, jolloin johtojen veto tuotantokentälle on tarpeetonta. Mikäli pohjavedenkorkeustiedot mitataan keskeltä peltoa, siirretään mittausdata tiedonkeruuyksikölle langattomana tai kaapelein. Langaton tiedonsiirto on erittäin kallis vaihtoehto kaapeleihin verrattuna. Kaapelointi toteutetaan joko maahan kaivettuna tai maan pinnalle asennettuna. Maan pinnalla kulkeva johto kelataan talteen aina viljelytoimenpiteiden yhteydessä. Syväälle maahan kaivettuna kaapeli ei haittaa pellolla suoritettavia maanmuokkaus- ja viljelytoimenpiteitä.



Kuva 14. Kohotanko Thomas Product 4000 vedenkorkeuden mittaamiseen (Sintrol 1999).

Pohjavedenkorkeuden mittaaminen toteutetaan mekaanisesti tai sähköisesti. Mekaanisten mittaustankojen tarkkuus riippuu käytettävien kohojen määrästä. Mekaanisesti mittaaminen esimerkiksi erilaisia kohotankoja (kuva 14) käyttäen on osoittautunut käytännössä epävarmaksi ja kalliiksi (Hyvönen 1999).

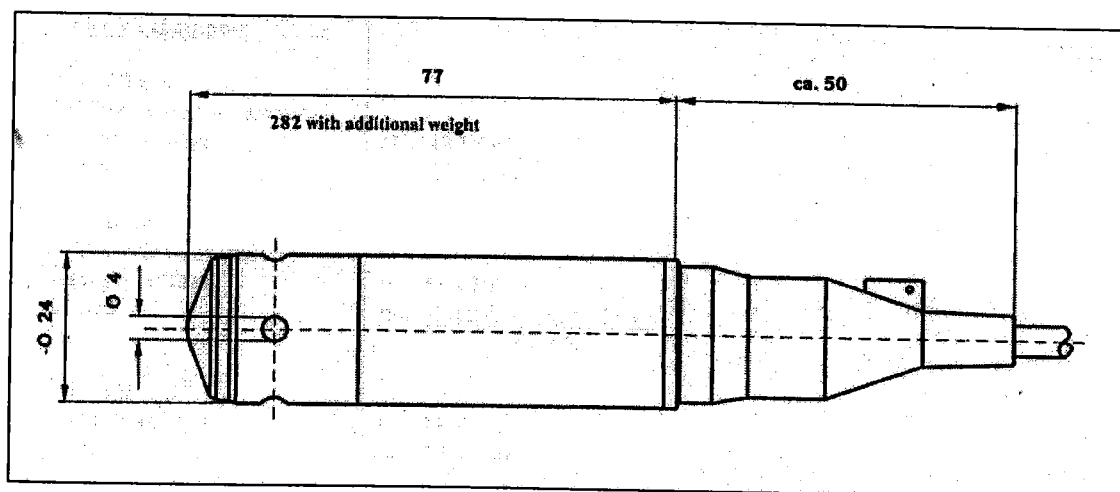
Ultraäänen kuluaikaan perustuva pohjavedenpinnan etäisyysmittaus on herkkä asennukselle, jolloin ne on asennettava täsmälleen kohtisuoraan veden pintaa vasten. Ultraäänimittausta häiritsevät myös veden aaltoilu ja vedenpinnalla kelpuvat roskat. Mittausanturit ovat erittäin herkkiä rikkoutumaan pakkasella.

Parhaat kokemukset pohjavedenpinnan mittaamisesta käytännössä on saatu paineantureiden käyttämisestä (Hyvönen 1999). Paineanturat soveltuvat sellaisenaan tiedonkeruuyksikköön kytkettäväksi, jolloin pohjaveden aikaansaama hydrostaattinen paine välittyy paineanturista tiedonkeruuyksikköön yleensä virtaviestinä. Paineanturit ovat myös verrattain edullisia. Sähköisen tai mekaanisen mittauksen lisäksi säätökaivoon on myös järjestettävä mahdollisuus käsi-

käyttöiseen pohjavedenpinnan tarkistamiseen esimerkiksi koholla varustetulla narulla tai mittatikulla.

Käytettäväksi suunniteltu paineanturi on suljettua mallia, jolloin se voidaan laskea kaivon pohjan läheisyyteen anturin oman sähköjohdon varassa. Pellolla paineanturi lasketaan johdon varassa pohjavedenpinnan havaintoputkeen. Paineanturi kalibroidaan siten, että tiedonkeruuyksikölle syötetty nollakohta sijaitsee kaivon kuivatussyvyudessa. Säättökaivoihin asennettavat paineanturit sijoittuvat painealueeltaan 0...0,2 bar alueelle, jolloin käytännössä antureiden käyttöalue soveltuu 0...2 m vedenpinnan korkeuden mittaamiseen.

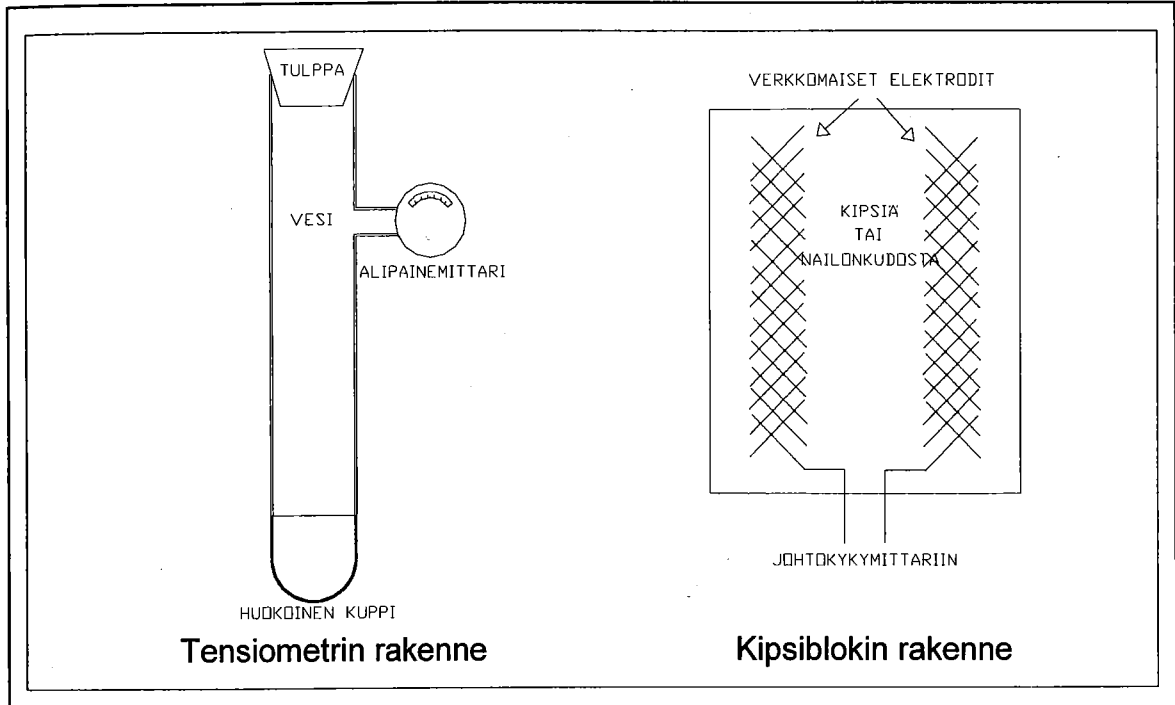
Suljettujen paineantureiden valmistajia on useita, joten halutunlaisen anturin löytäminen ei ole vaikeaa. Esimerkkinä Sensor Technik Sirmach AG valmistaa pohjavedenpinnan korkeuden mittaamiseen soveltuvaa ATM/N suljettua paineanturia. Kuvassa 15 esitettyä ATM/N paineantureita valmistetaan 0...100 mbar aina 0...25 bar saakka (STS 1999). Paineanturit eivät kestä jäätymistä, joten ne on poistettava kaivosta ennen talvea.



Kuva 15. ATM/N suljettu paineanturi (STS 1999).

Mikäli pellolta halutaan tarkempaa informaatiota juuristokerroksen kosteusolosuhteista, liitetään järjestelmään maankosteuden mittauspisteitä. Maankosteutta

mitataan yksinkertaisesti esimerkiksi tensiometriä tai kipsiblokkia käyttäen. Tensiometrin ja kipsiblokin periaatekuvat ovat esitetty kuvassa 16.



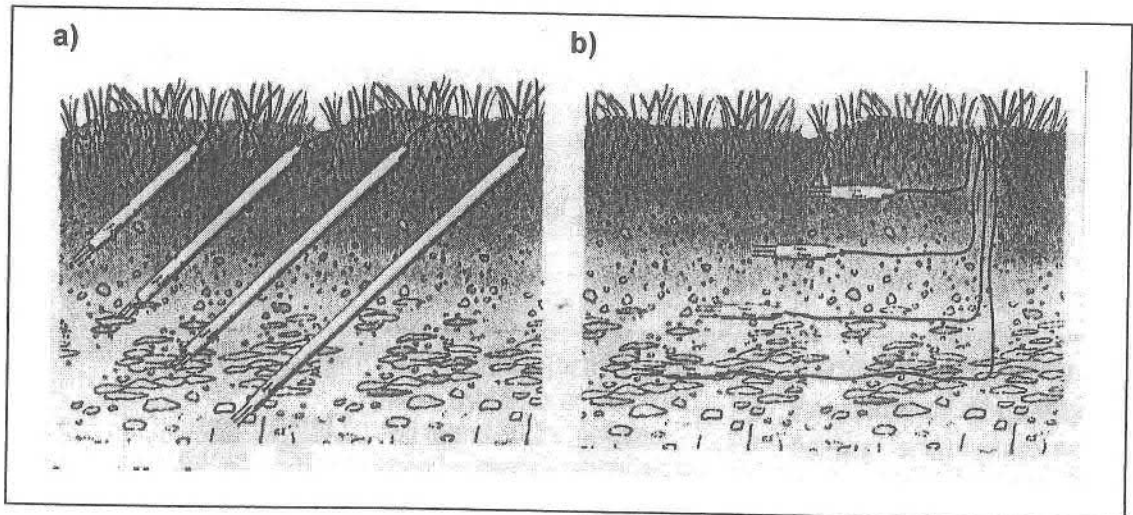
Kuva 16. Tensiometrin ja kipsiblokin rakennekuvat (Aura 1997).

Maan vedenpidätysvoimakkuus voidaan mitata suoraan tensiometrin avulla. Tensiometrissä maahan työnnettävä muoviputken alapäässä on huokoinen kuppi. Putken sisällä oleva paine mitataan alipainemittarilla. Alipaineenmittaus toteutetaan paineanturin avulla, jolloin tensiometri voidaan kytkeä suoraan tiedonkeruuyksikköön. Kun mittari otetaan käyttöön, täytetään tensiometri vedellä, suljetaan yläpäähän tulppa ja mittari upotetaan maahan. Mittari voidaan lukea tyy-pistä riippuen 0,1-2 tunnin kuluttua maahan upottamisesta. Tensiometri mittaa veden pidättymistä maahan, kun vesi on maassa kiinni 0,05-0,8 ilmakehän voimalla. Tensiometrit sopivat parhaiten kosteuden mittaamiseen hieta- ja hiekka- maista. Ulkomaisten tutkimusten mukaan perunan kastelu aloitetaan, kun tensiometrin lukema näyttää 0,5 ilmakehän (50 kPa) lukemaa (Aura 1997). Käytännössä tensiometrin käyttö on hankalaa (Hyvönen 1999).

Maan käyttökelpoinen vesi voidaan määrittellä epäsuorasti mittaamalla maahan upotettujen kipsiblokkien sähkönjohtokyky. Kipsiblokin sisällä on kaksi verkko-

maista metallielektrodia. Mitä kosteammaksi ympärillä oleva maa on tehnyt kipsin, sitä helpommin sähkö kulkee elektrodien välissä. Mittarin lukema osoittaa suoraan prosentteina käyttökelpoista vettä maassa. Hyvä kontakti blokin ja maan välillä on erityisen tärkeää laitteen moitteettoman toiminnan kannalta. Hyvänlaatuinen kipsiblokki näyttää maan kosteuden jo parin tunnin päästä maahan upottamisesta. Ulkomaisten tutkimusten mukaan perunan kastelu olisi aloitettava, kun maassa on enää jäljellä 50 % käyttökelpoista vettä (Aura 1997). Käytännössä myös kipsiblokkien käytöstä on saatu huonoja kokemuksia (Hyvönen 1999).

Yksinkertaisin tapa maankosteuden mittaamiseen tiedonkeruuyksiköllä on kytkeä siihen tehdasvalmisteisia maankosteuden mittaussensoreita. Tällaiset pienet maahan upotettavat mittaussensoreit voidaan kytkeä suoraan tiedonkeruuyksikön mittausportteihin. Koko juuristokerroksen kosteuden havaitsemiseksi anturit asennetaan eri syvyyksille kuvan 17 osoittamalla tavalla. Sensoreita peittäessä varotaan maan liiallista tiivistämistä.

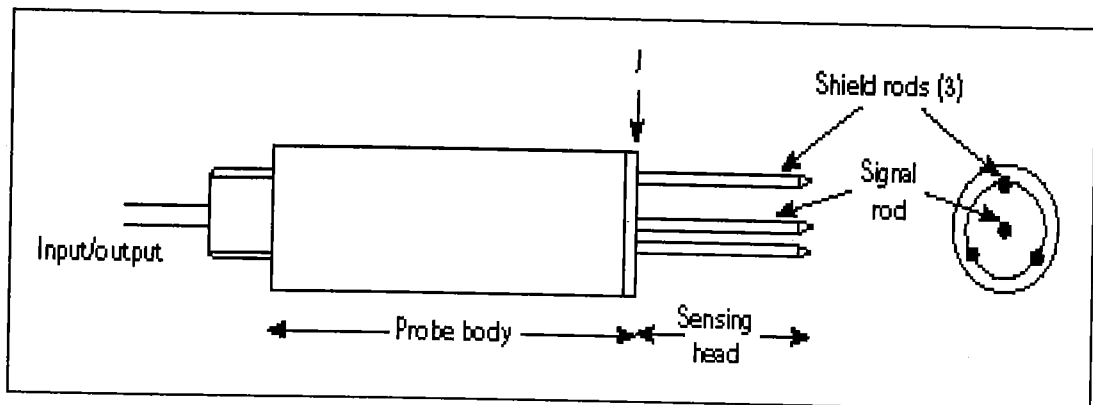


Kuva 17. Maankosteuden mittaaminen useasta tasosta a) asennusputkia käyttäen ja b) suoraan maahan asennettuna (ThetaProbe 1999).

ThetaProbe ML2x-maankosteussensoreita käytetään kannettavana tai maahan haudattavana maankosteusmittarina. Sensori kestää asennuksen 5 m syvyyteen saakka. ML2x-sensorin maankosteudenmittaus perustuu maan sähkö-

johtokyvyn mittaamiseen. Mittari vaatii toimiakseen tiedonkeruuyksiköltä 5 -15 V DC (20 mA) käyttöjännitteen. Mittaustuloksena tiedonkeruuyksikkö vastaanottaa mittarilta 0 – 1 V DC jännitevaihtelun (ThetaProbe 1999).

ThetaProbe maankosteusmittarissa on neljä 60 mm pitkä ruostumattomasta teräksestä valmistettua mittauspiikkiä. Mittauspiikit vaihdetaan tarvittaessa uusiin. ThetaProbe ML2x-maankosteusmittarin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 18 (ThetaProbe 1999).



Shield rods = suojasauvat

Signal rod = mittaussauva

Input/output = sisään- ja ulostulo

Probe body = anturin runko

Sensing head = mittauspää

Kuva 18. ThetaProbe ML2x- maankosteusmittari (ThetaProbe 1999).

## 7.4 TIETOKONEOHJELMA

Automatisoidun pohjavesikastelun ohjaamiseen voidaan käyttää Windows- tai dos-pohjaista tietokoneohjelmaa. Säättöohjelman tärkeimmät ominaisuudet ovat kertoa käyttäjälle pellolla vallitseva tilanne ja meneillään olevat säätötoimenpiteet sekä ohjata järjestelmää valmiiksi tehdyn kasteluohjelman tai käyttäjän määrittelemien parametrien tavalla.

Tietokoneohjelma käskyttää automatisoitua pohjavesikastelujärjestelmää koko kastelukauden ajaksi ennalta määritellyn kasteluohjelman antamien ohjeiden mukaan. Kasteluohjelman vaihto ja siihen tehtäviä muutoksia voidaan tehdä kesken kasvukauden. Valmiit esisuunnitellut kasteluohjelmat mahdollistavat erilaisten perunalajikkeiden lajiominaisuuksien huomioonottamisen kastelussa. Myös viljelykierrosta aiheutuvat kastelutarpeen muutokset voidaan yksinkertaisesti huomioida kasteluohjelmaa vaihtamalla.

Kasteluohjelman ohjelmansyöttösivun esimerkki on esitetty kuvassa 19. Kuvassa on esitetty pääpiirteittäin, mitä mahdollisia toimintoja ohjelmansyöttösivu tulisi sisältää. Kuva ei vastaa ulkoasultaan täysin windows- eikä dos-pohjaisen ohjelmansyöttösivun ulkoasua. Ohjelmansyöttösivun toiminnot voivat muuttua pilottihankkeessa esille tulleiden muutostarpeiden mukaan.

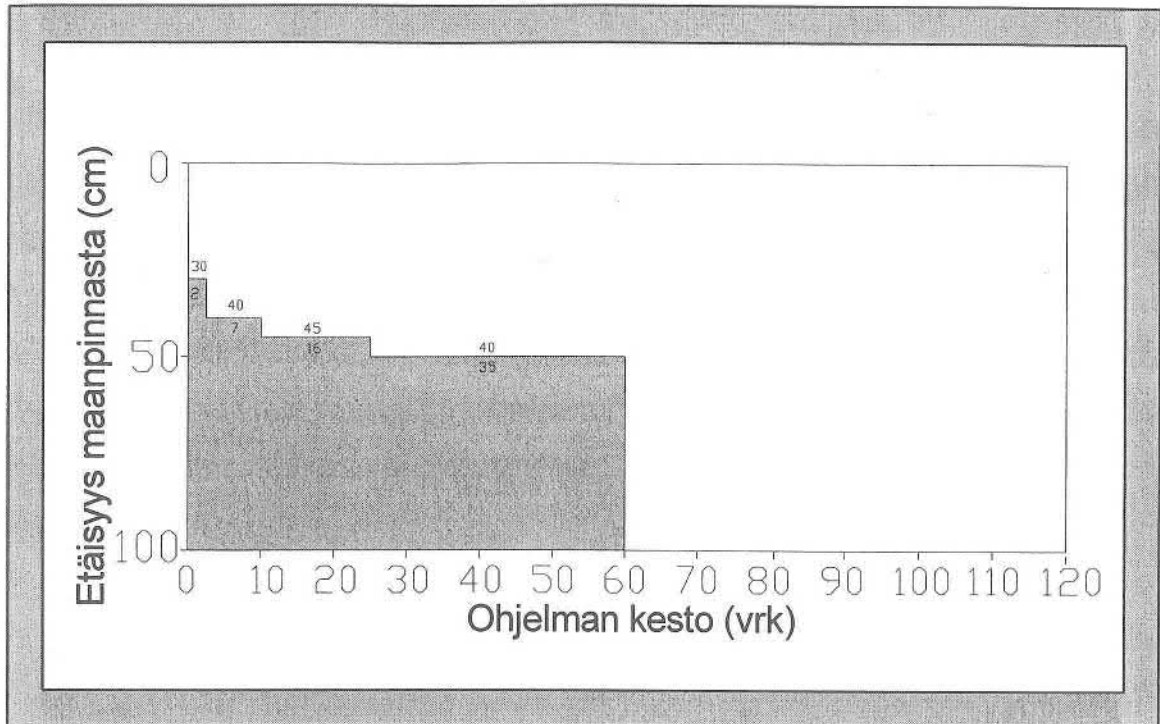


OHJAUS		OHJELMAT		VERKOSTO		OHJEET	
Ohjelman nimi	Peruna 1999						
Säädettävä kaivo	1,2,3,...						
Pumppu	0,1,2,...						
Kesto (vrk)	Padotuskorkeus (cm) mp						
2	30			Näytä			
7	40			Luo Uusi			
14	45			Muokkaa			
35	50			Tyhjennä			
				Tallenna			
				Käytä			
Kesto yhteensä		60 Päivää					

Kuva 19. Automatisoidun pohjavesikastelun ohjelmansyöttösivu.

Käytettävää kasteluohjelmaa voidaan tarkastella myös syötettyjen arvojen mukaan piirretystä kuvaajasta. Kuvan 20 kuvaaja esittää, miten kasteluohjelmaan määritellyt padotuskorkeudet ajoittuvat koko kastelukauden aikana. Visuaalinen tarkastelu helpottaa erilaisten kasteluohjelmien erottamista toisistaan. Kasteluohjelman kulkuun voidaan vaikuttaa kesken kasvukauden syöttämällä käsin uusia padotuskorkeusarvoja, muuttamalla padotuskorkeuksien kestoajoja tai vaihtamalla käytettävä kasteluohjelma toiseen.

Automatisoitua pohjavesikastelua käytetään ja seurataan kasteluohjelman ohjauspaneelin avulla. Ohjauspaneelin näkymä on esitettyä kuvassa 21. Ohjauspaneelistä nähdään, mitä kaivoja pumput täyttävät. Jokaista pumppua kohden käytetään vain yhtä kasteluohjelmaa, koska muuten pumpun käynnistäminen ja sulkeminen ei olisi hallittua. Kaivon ja pumpun yhteys määritetään ohjelmansyöttösivun avulla valittaessa kasteluohjelmaa. Pohjavedenkorkeuden mittauksella varustettu säätökaivo toimii tällöin määräävänä kaivona.



Kuva 20. Kasteluohjelman esitys graafisessa muodossa.

OHJAUS		OHJELMAT			VERKOSTO		OHJEET	
Päivämäärä :		12.6.1999						
Järjestelmän käyttöpäivät :		32						
KAIVO	PUMPPU	Padotus (cm)	Mitattu pv:n Korkeus (cm)	Toleranssi (cm)	Pumppu	Ohjelma	Hälytys	
Kaivo 1	Pumppu 1	40	42	5	AUTO	1 ON		
Kaivo 2	Pumppu 1	40	44	5				
Kaivo 3	Pumppu 1	45	47	5				
Kaivo 4	Pumppu 2	40	40	5	OFF	2 ON		
Kaivo 5	Pumppu 2	45	43	5	ON	OFF		
					AUTO	ALOITA		
						OHITA		
Kierrätyspumppu 1		AUTO						

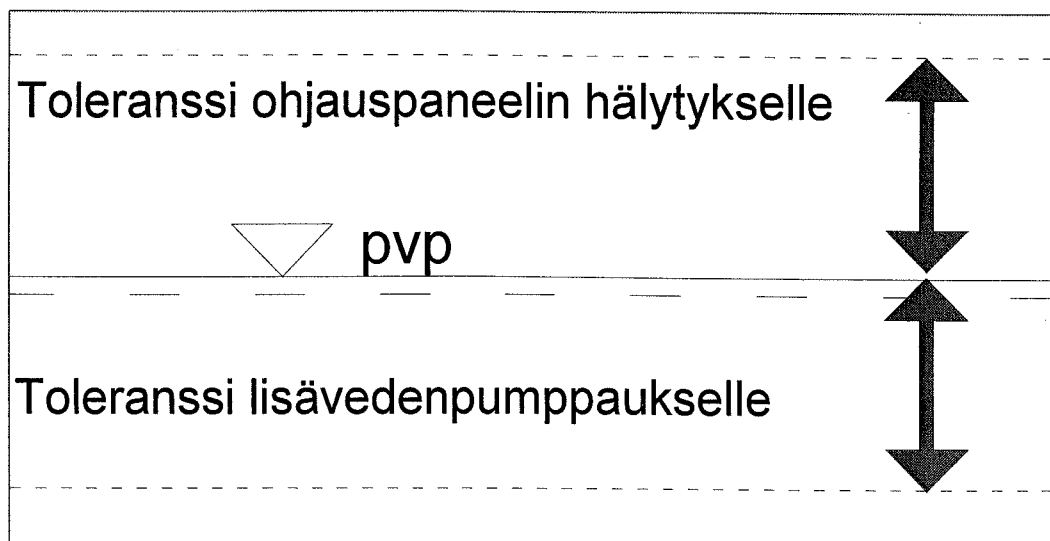
Kuva 21. Automatisoidun pohjavesikastelun ohjauspaneeli.

Ohjauspaneelissa säätökaivojen padotuskorkeuksia voidaan muuttaa halutulle korkeudelle kasteluohjelman antamista tavoitekorkeuksista huolimatta. Mitatut

pohjavedenkorkeustiedot kertovat käyttäjälle pellolla vallitsevasta todellisesta tilanteesta.

Venttiilillä ohjattavien kaivojen ongelmaksi voi muodostua liika säätäminen, jolloin venttiili aukeaa ja sulkeutuu tarpeettoman useasti sekä lisäveden pumppaus käynnistyy ja lakkaa halutun pohjavedenkorkeuden pitämiseksi vakiona. Toleranssin avulla säädetään pohjavedenpinnan liikeradan suuruutta padotuskorkeuden läheisyydessä. Pieni toleranssiväli parantaa säädön tarkkuutta lisäämällä samalla kuitenkin säätämistarvetta. Riittävä toleranssi olisi noin 5 cm, jolloin lisäveden pumppauskertojen ja padotuskorkeuden säätämistarve ovat vähäisempiä.

Lisäveden pumppaukselle toleranssi määritellään pohjavedenpinnan alapuolelle (kuva 22), jolloin kasteluveden liika pumppausta ei esiinny. Ohjauspaneelissa hälytysilmoitus puolestaan annetaan, jos pohjavedenpinta ylittyy toleranssin verran padotuskorkeudesta. Hälytyssarakkeeseen ilmestyy merkki myös, jos pumppu tai kaivo ei vastaa annettuihin käskyihin. Toleranssin käyttö on perusteltua myös säätöputken avulla toteutetuilla kaivoratkaisuilla. Säätöputken avulla säädettävän säätökaivon toleranssi voidaan tarvittaessa asettaa hyvinkin pieneksi.



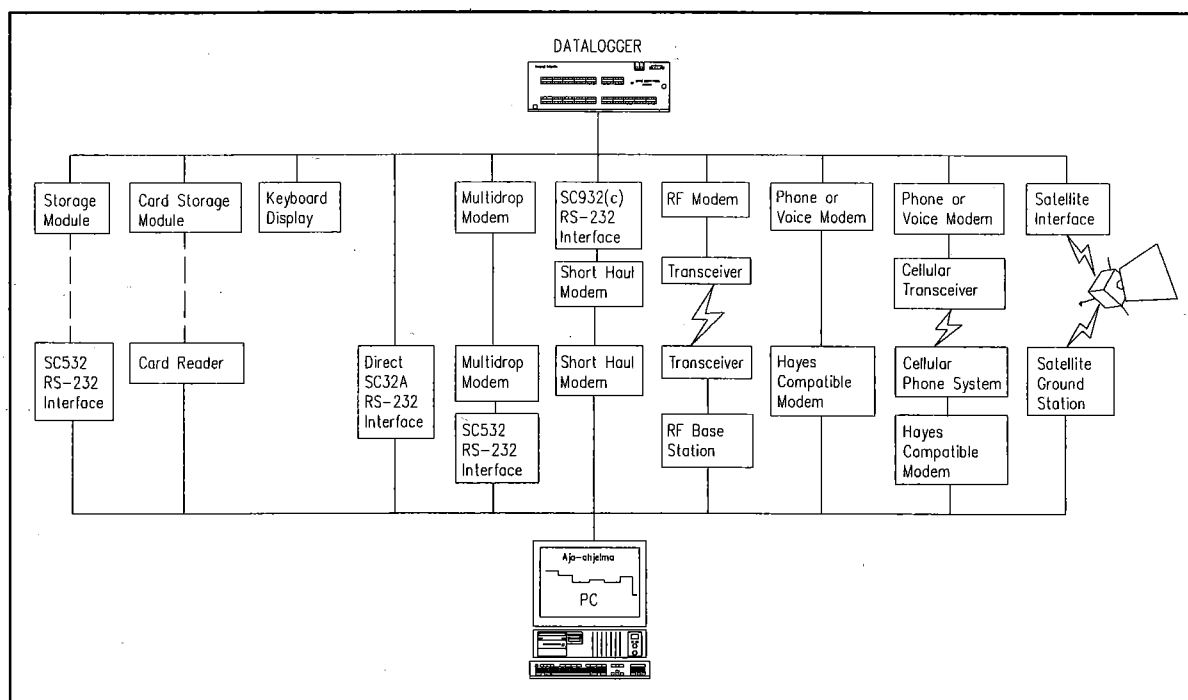
Kuva 22. Toleranssin sijoittuminen pohjavedenpinnan tasoon nähden.

Kasteluohjelma ohjaa lisävesipumpun säätämistä automaattisesti, mutta halutessa pumppu voidaan pysäyttää ja käynnistää pakkosyötöllä. Vedenkierrätyspumppun ohjaus toteutetaan varastoaltaaseen sijoitetun pintakytkimen avulla, mutta käyttäjä voi tarvittaessa käynnistää ja sammuttaa pumpun ohjelmasta käsin.

Kasteluohjelma on kytkettävissä pois päältä kesken kasvukauden, jolloin käyttäjä voi itse määritellä halutut padotuskorkeudet esimerkiksi pitkäaikaisten sääennusteiden huomioon ottamiseksi.. Kun kasteluohjelmaa halutaan jatkaa, ohjelma jatkuu reaaliajassa ottaen huomioon pysähdyksissä kuluneen ajan. Automaattisen pohjavesikastelun käyttöaika kasvukaudella seurataan päivän tarkkuudella.

## 7.5 TIEDONSIIRTOLAITTEISTO

Tietokoneen ja tiedonkeruuyksikön välille tarvitaan informaation siirtämiseksi tiedonsiirtoyhteys, joka toimii molempiin suuntiin. Tietokoneohjelmaan syötetyt säätötiedot lähetetään tiedonkeruuyksikölle, joka toteuttaa kaivojen säätämisen annettujen ohjeiden mukaisesti. Tiedonkeruuyksikkö lähettää mittauspisteiltä saamansa tiedot tietokoneelle, jonka ruudulta käyttäjä voi seurata säädön toteutumista ja tehdä tarvittaessa korjauksia padotuskorkeuksiin. Kuvassa 23 on esitetty Campbell CR10X tiedonkeruuyksikön ja tietokoneen välisen tiedonsiirron toteuttamisvaihtoehdot.



Kuva 23. Campbell CR10X dataloggerin liitännävaihtoehdot tietokoneeseen (Campbell 1998).

Edullisin tapa toteuttaa tiedonsiirto automatisoidussa pohjavesikastelussa on käyttää kaapeleita. Ongelmaksi muodostuu RS-232 sarjaportin tiedonsiirtoon liittyvät rajoitukset suurilla nopeuksilla, jolloin välimatka ei saa ylittää dataloggerin ja tietokoneen välillä 15 metriä. Pienellä 1200 b/s nopeudella ei ongelmia pitäisi esiintyä muutaman sadan metrin aikana (Hyvönen 1999). RS-232 kyt-

kenttä voidaan korvata muuntimia käyttäen RS-485 väyläksi, jolloin saadaan laitteiden välinen etäisyys saadaan pidennettyä suuremmilla nopeuksillakin yhteen kilometriin saakka (Karjalainen 1999).

Jos laitteiden etäisyys kasvaa useisiin satoihin metreihin, on järkevintä käyttää langatonta tiedonsiirtoa. Radiomodeemit eli RF-modeemit soveltuvat datasiirtoon noin 10 km etäisyyksille. Hyviä antennejä käyttäen kuuluvuusalue voidaan laajentaa jopa 20 km saakka. Radiomodeemit toimivat UHF- tai VHF-radiotaajuuksilla. Tyrnävällä maasto-olosuhteet ovat erittäin tasaisia koko kunnan alueella, joten kuuluvuutta heikentäviä maastoesteitä ei alueella sijaitse.

Automatisoidun pohjavesikastelun langattomaan tiedonsiirtoon soveltuu erinomaisesti UHF-modeeemit, joita valmistavat mm. kotimaiset Ultracom ja Satel Oy. Käytettävät UHF-modeemit toimivat 400...470 MHz taajuudella ja niiden tiedonsiirtonopeudeksi automatisoidussa pohjavesikastelussa riittää 1200 b/s. Pientä tiedonsiirtonopeutta käytetään, koska lähetettävän datan määrä on vähäinen ja tarkoitukseen soveltuvat laitteet ovat radiomodeemien halvimpia perusmalleja. Taulukossa 12 on esitelty tiedonkeruuyksikköön liitettävän Ultracom:n valmistaman DW4125 OEM UHF-radiomodeemin (kuva 24) tekniset tiedot.



Kuva 24. UHF-radiomodeemi Ultracom DW4125 OEM (Ultracom 1999).

Tukiasemana toimiva tietokone ei tarvitse kuin yhden radiomodeemin. Radiomodeemi kytketään ulkoisesti tietokoneen sarjaporttiin tai sisäisesti tietokoneen PCI- tai ISA-korttipaikkaan. Ulkoinen radiomodeemi on häiriötäisyydeltään sisäistä parempi. Mikäli järjestelmään liitetään lisää tiedonkeruuyksiköitä tai pumppujen ohjaus toteutetaan langattomana, radiomodeemi hankitaan vain asennettavaan tiedonkeruuyksikköön tai pumppuun.

Taulukko 12. Ultracomın OEM UHF-radiomodeemin tekniset tiedot (Ultracom 1999).

<b>Valmistaja :</b>	Ultracom Oy
<b>Model</b>	<b>DW 4125</b>
Data speed	0-1200 b/s
Frequency range	400...470 MHz, one or more preselected channels
Suggested protocols	ANSI X3.28, CCITT X.25
Modulation	AFSK FM CCITT V.23
Nominal deviation	±2,5 KHz
Temperature range	-25...+55 °C
Stability	±2,0 KHz -25...+55 °C
Antenna connector	50 ohm TNC female
Data interface	RS 232C, D9 female
Operating voltage	+11...+25 V at D-connector pin 9
Current Consumption	< 55 mA receiving, < 350 mA transmitting
RF output power	0,4 W
Squelch	Preadjusted, -115 dBm
Sensivity	BER typically 1E-6-110 dBm RF input level
Dimensions	65x140x30
Weight	0,23 kg

Radiomodeemyhteys voidaan korvata GSM-tekniikalla, jolloin viestit lähetetään GSM-verkon välityksellä teksti- tai ääniviestinä. GSM-verkkoa käytettäessä tiedonsiirtonopeus kasvaa UHF-radiomodeemeja nopeammaksi (9600 b/s). Osa

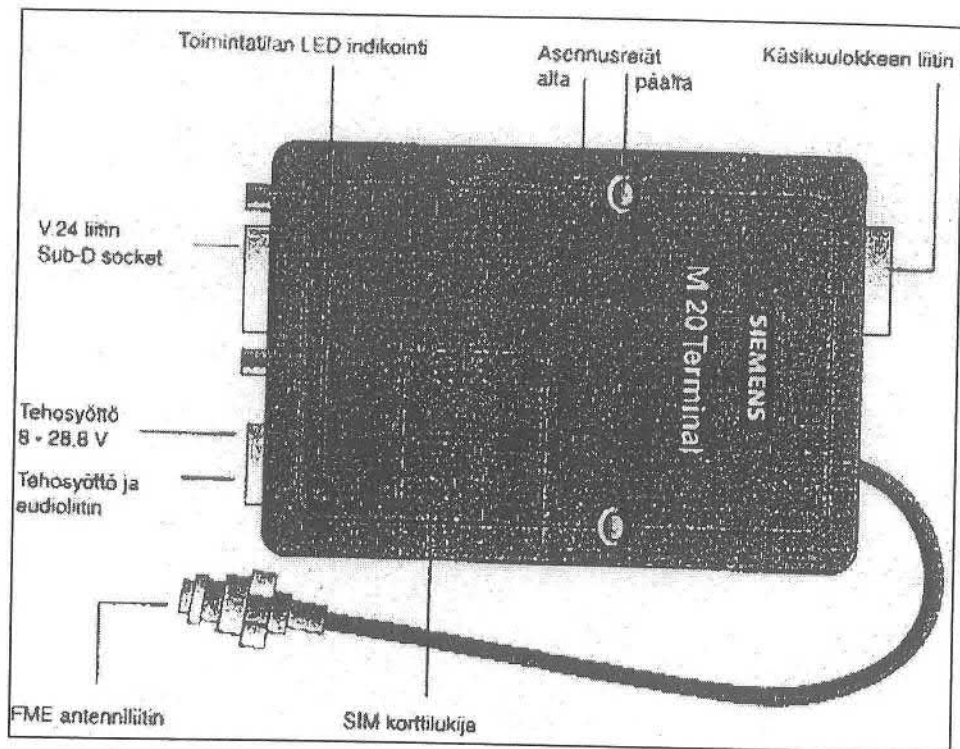
uusimmista GSM-matkapuhelimista soveltuu asennettavaksi puhelinkohtaisen datajohdon avulla suoraan tietokoneen sarjaportin RS-232 väylään. Tietokoneeseen kytketyn GSM-moduulin tai -matkapuhelimen virta on päällä koko ajan. Tiedonkeruuyksikköön asennetaan GSM-moduuli, jonka virta kytketään päälle säännöllisin väliajoin.

Tekstiviestejä lähetettäessä käytetään GSM-verkkoa välivarastona, josta viesti siirtyy GSM-moduulin virran kytkeytyessä tiedonkeruuyksikölle. Tekstiviestin 160 merkkiä riittää automatisoidun pohjavesikastelun ohjaamiseen. Ongelmana GSM-verkon käytössä on syrjäisemmillä peltoalueilla heikko kuuluvuusalue. GSM-verkkopalveluja tarjoavat yritykset pystyttävät mahdollisesti lisälinkkejä kuuluvuusongelmien poistamiseksi.

GSM-laitteiston hankintahinta on UHF-radiomodeemeja edullisempi, koska tukiasemaan kytkettävä GSM-puhelin on kohtalaisen halpa. UHF-taajuudella toimivien radiomodeemien käyttämiseksi vaaditaan vuosittainen 95 markan suuruinen radioliikennemaksu jokaista radiolaitetta kohden. Langattomasti toteutetussa automatisoidussa pohjavesikastelussa radioliikennelupa joudutaan maksamaan ainakin kahdelta laitteelta. Radiomodeemien käyttö on ilmaista. GSM-tekniikkaa käytettäessä maksetaan 20 markan kuukausikäyttömaksun lisäksi jokaista tekstiviestiä kohden noin yhden markan suuruinen maksu.

Tiedonkeruuyksikköön liitettäväksi sopiva GSM-moduuli Siemensin valmistama M20 Terminal on täysin yhteensopiva GSM-puhelinten tekniikan kanssa. M20 Terminal on valmiiksi koteloitu ja laitteen ohjelmistorajapintana toimivat GSM07.07 ja GSM07.05 mukaiset AT-Hays-käskyt. Laitetta voidaan käyttää myös äänitaajuus (DTFM) lähetykseen. Syöttöjännitteenä käytetään 8-28,8 VDC. RS-232 sarjaliikenneliitäntä toteutetaan 9-napaisen Sub-D liittimen avulla. Antenni kytketään Siemensin M20 Terminal GSM-moduuliin standardilla FME-liittimellä ja antenni asennetaan laitteistoa suojaavan rakenteen ulkopuolelle. GSM-modeemi käynnistyy herätevirran avulla, joten se soveltuu erinomaisesti tiedonkeruuyksikön ohjaamaksi. Siemens M20 Terminal (kuva 25) tekniset tiedot ovat liitteessä 7 (Siemens 1999).





Kuva 25. Siemens M20 Terminal GSM-moduuli (Siemens 1999).

## 7.6 PUMPPUJEN OHJAUS

Lisävesi- ja kierrätyspumpun liittäminen automatisoituun pohjavesikasteluun vaatii toimintavarman ohjauksen tietokoneelta tai tiedonkeruuyksiköltä pumpulle. Edullisin tapa pumppujen liittämiseen on kaapeli, joka vedetään pumpulta tiedonkeruuyksikölle. Jos pumpun ja tietokoneen välimatka on lyhyempi, kaapeli vedetään suoraan tietokoneen ohjaamaan releeseen.

Pellon ja pumppuaseman välimatka voi vähävesistöisillä alueilla kasvaa useisiin kilometreihin saakka. Tällöin ohjauksen voi toteuttaa langattomasti UHF-radiomodeemia tai GSM-verkkoa. Pumppujen ohjaus on mahdollista myös sähköverkkoa pitkin lähetettävien signaalien avulla. Sähköverkon käyttö signaalin lähettämiseen vaatii sähköverkon omistajan luvan, koska lähetetty viesti välittyy koko paikallisverkon vaikutusalueelle.

Lisävesipumppaus käynnistetään heti, kun pohjavedenpinta ei yllä halutulle padotuskorkeudelle. Pumppaus sammutetaan pohjavedenpinnan saavuttaessa järjestelmän alimman eli määräävän säätökaivon padotuskorkeuden. Liiallisella pumppauksella vesi ohjautuu säätöputkella varustettujen säätökaivojen padotuskorkeuden yli pois kastelujärjestelmästä, jolloin pellostä huuhtoutuvia ravinteita poistuu järjestelmästä ennen aikaisesti. Lisävesipumppaus aloitetaan pohjavedenpinnan laskettua toleranssin verran padotuskorkeudesta. Käyttöohjelmassa määritetty toleranssi säätää lisäveden pumppauksen käynnistymistiheyttä.

Jos järjestelmään on liitetty kuivatuksesta poistuvan veden varastoallas, pumpataan vesi takaisin yläpuoliseen kasteluvesialtaaseen. Vedenkierrätyspumppua ohjataan varastoaltaassa olevalla kellukytkimellä tai varastoaltaaseen asennetaan vedenkorkeutta mittaava paineanturi. Kierrätysvesipumppauksesta välittyvä informaatio tietokoneelle, jolloin lisävesi- ja vedenkierrätyspumppua ei säätöohjelmassa pidetä päällä samanaikaisesti. Järjestelmän tarvitsema lisävesi pumpataan aina ensimmäiseksi kierrätysvesialtaasta. Mikäli kierrätysvesialtaassa ei ole vettä, lisävettä pumpataan läheisestä järvestä tai joesta. Tarvittaessa käyttäjä voi kytkeä pumput toimimaan samanaikaisesti.

Pumppujen käyttö ilman verkkovirtaa on hankala toteuttaa, koska pumput vaativat muuhun laitteistoon verrattuna huomattavasti enemmän virtaa. Verkkovirran puuttuessa pumppujen tarvitsema virta hankitaan polttomoottoriaggregaatin avulla. Aggregaatti varustetaan akulla, jolla laite saadaan käyntiin käyttöohjelman antaman herätevirran avulla kytkeytyvällä starttimoottorilla. Samaan aikaan kytketään aggregaatin päävirtarele päälle. Starttimoottori on releohjattu. Käynnistysakkua ladataan aggregaattiin kiinnitetyn laturin avulla. Sammuttaminen tapahtuu kun päävirtareleen herätevirta katkaistaan. Käyttöohjelman on saatava varmistus aggregaatin käynnistämisestä ja sammumisesta. Varmistus toteutetaan esimerkiksi laturista saatavaa jännitettä seuraamalla. Polttoainesäiliöön voidaan asentaa anturi, jonka välityksellä käyttöohjelma saa tiedon polttoaineen vähäisyydestä. Viljelijä huolehtii itse aggregaatin polttoainehuollosta.

## 7.7 SÄÄN HAVANNOINTI

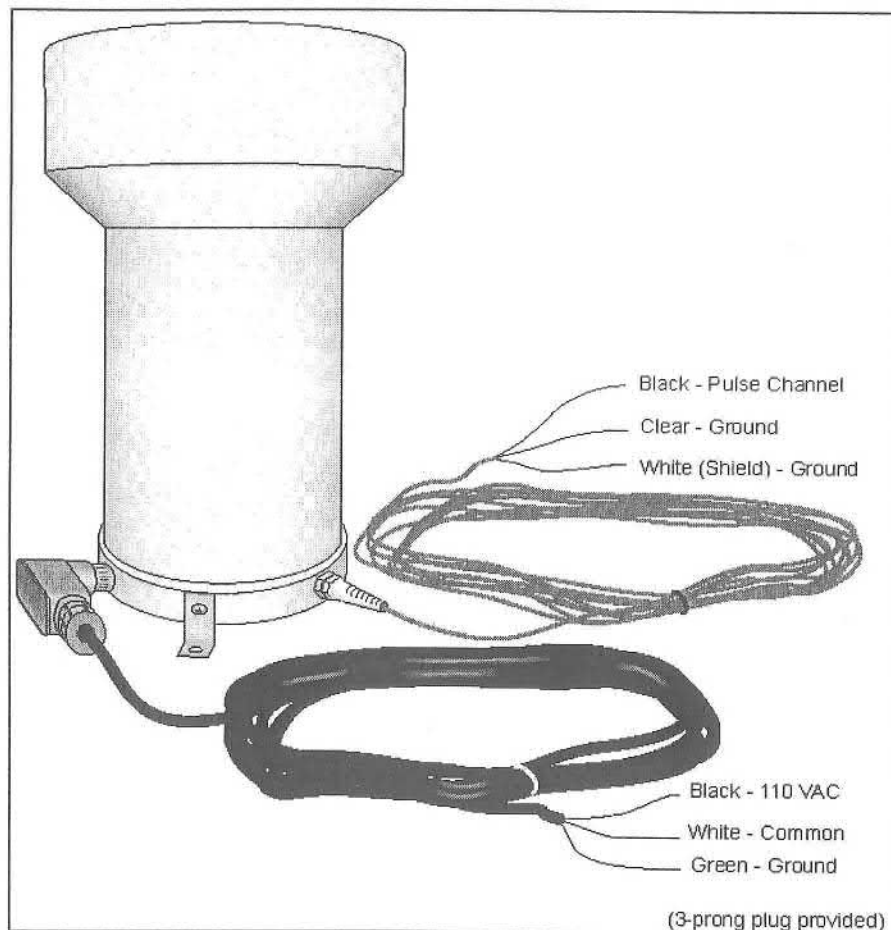
Maan vesitilanne olisi koko kasvukauden ajan pidettävä optimaalisena, eikä kyllästymistä juurikerroksessa saisi tapahtua. Koska maan varastotila pienenee pohjavesikastelun toimesta, on sitä suurennettava ennen sateita, jotta vesi pääsee imeytymään juurikerroksen alapuolelle. Peruna kuolee jo 2-3 vuorokauden kuluessa, jos sen juuristo joutuu vedellä kyllästyneeseen tilaan. Sen vuoksi on tulevia sateita pystyttävä ennustamaan (Ahonen 1991).

Ilmatieteen laitoksella on Tyrnävän seudulla maanviljelijöille tarkoitettuja sääpalveluja, joiden tiedot voidaan lukea GSM-puhelimesta tai internetsivuilta. Sää tiedot sisältävät vallitsevan sään, seuraavan päivän sään ja viiden vuorokauden sääennusteet lämpötilan ja sateisuuden osalta. Palvelu on maksullista ja ennusteiden paikkansa pitävyys omalla pellolla ei ole varmaa.

Sateiden seurannassa on mahdollisuus käyttää jo olemassa olevia sääpalveluja tai rakentaa sääasema mahdollisimman edustavaan paikkaan viljeltävän pellon läheisyyteen. Sadantaa ja lämpötiloja seuraamalla vaikutetaan myös viljelyn kannattavuuteen ja oikeaan ajoittamiseen. Esimerkiksi Kalajoella atk-laitteita käytetään kolmen sääaseman kanssa perunaruton riskiennustamiseen ja sen oikean torjuntatarpeen määrittämiseen (Niemi 1999).

Tiedonkeruuyksikön koko kapasiteetin hyödyntämiseksi olisi säämittaukset järkevintä keskittää pellolle tiedonkeruuyksikön läheisyyteen. Automatisoidun pohjavesikastelun käytön kannalta tärkein mitattava säähavaintosuure on sadanta. Sadannan seuraaminen auttaa viljelijää tekemään päätöksiä säätohjelman pohjavedenpinnan tavoitekorkeuksiin. Lämpötilan seurannalla ajoitetaan hallantorjunta oikeaan aikaan. Tuulen ja auringonsäteilyn seuraamisesta on hyötyä maanpinnalta ja kasvustosta tapahtuvan haihdunnan arvioimisessa, mutta tärkeintä on ehkäistä mahdollinen kasvien juurten kastuminen liian korkean pohjavedenpinnan vaikutuksesta.

Sademittalaitteita on saatavana usealta eri valmistajalta esimerkiksi paineanturin tai kippilaskurin toteutettuna. Kuvassa 26 esitetty tiedonkeruuyksikköön liitettävä Campbell ARG100 mittaa sadantaa kippilaskurin avulla. Tiedonkeruuyksikkö saa tiedon sadannasta pulssimuotoisena, josta tiedonkeruuyksikkö laskee mittaustuloksen millimetreinä. Käyttäjää saa sadantamittaustulokset näytölleen numeroina tai graafisesti esitettynä, joiden mukaan tehdään järjestelmän padotuskorkeuksiin tarvittaessa muutoksia juuriston riittävän kuivatustilan takaamiseksi. Vaihtoehtoisia tiedonkeruuyksikköön kytkettäviä sademittalaitteita on kerätty liitteelle 8 (Campbell 1999).

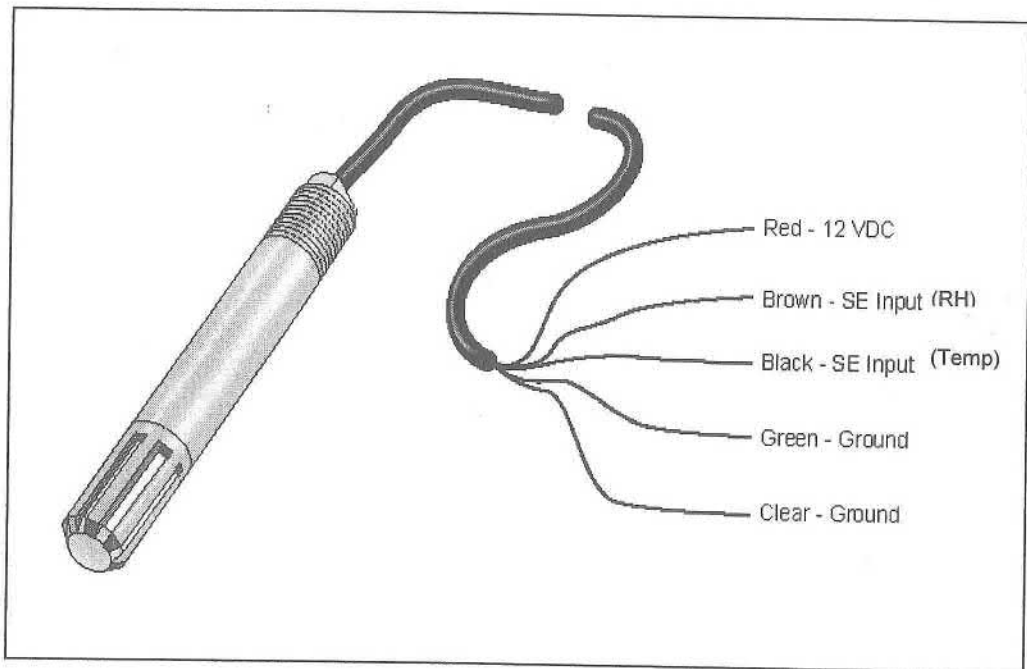


Kuva 26. Met One Model 385 sademittari soveltuu myös lumen vesi-arvon määrittämiseen (Campbell 1999).

Lämpötilan mittaus on toinen pilottihankkeeseen asennettava säämittari. Lämpötilan mittauksella ennakoidaan hallan mahdollinen alkamisajankohta sekä arvioidaan pellolta tapahtuvaa haihduntaa. Syksyn ensimmäisten hallaöiden

ajankohta eri peltoalueilla voi vaihdella suuresti. Hallan esiintymiseen ja voimakkuuteen vaikuttaa pohjavesikastelusta johtuva pellon pienilmaston lämpeneminen, pellon sijainti ja topografia. Lämpötilan mittaus myös varmistaa, että automatisointilaitteisto ehditään poistaa säätökaivoista hyvissä ajoin ennen kairojen jäätymistä.

Tiedonkeruuyksikölle kytkettävistä lämpötilan mittauslaitteista otetaan esimerkiksi kuvassa 27 esitetty Vaisalan valmistama CS500 lämpötilan mittaus sensori. CS500 soveltuu lämpötilan mittaukseen välille  $-40^{\circ}\text{C} \dots +60^{\circ}\text{C}$ . Lämpötilasensori liitetään suoraan tiedonkeruuyksikön 12 VDC lähtöön (Campbell 1999).



Kuva 27. Vaisalan valmistama lämpötila- ja ilmakeuussensori mallia Model CS500 (Campbell, 1999).

Vaihtoehtona tiedonkeruuyksikköön liitettäville mittausanturoille on perustaa pellon läheisyyteen oma sääasema. Sääasema asennetaan tilakohtaisesti tai useampien tilojen yhteiskäyttöön. Yksinkertaisimmat sääasemat ovat hinnaltaan erittäin kohtuullisia ja niiden antama informaatio voidaan lukea laitteiston mukana seuraavan tietokoneohjelman näyttöruudusta. Informaationa saadaan mm. päivittäiset sekä koko vuoden sademäärät, ilmakeuus sisällä ja ulkona, tuulen suunta ja nopeus, lämpötilat sekä tarvittaessa maankosteus. Tiedot voidaan lukea taulukkomuodossa, mittareista tai graafisista kuvaajista.

Säätilamittausten tiedoista voidaan luoda omalle peltoalueelle ominainen tietokanta, jossa kerätään halutut säähavainnot tilastoiksi tulevien vuosien sääennusteiden helpottamiseksi. Kasvukauden eri säävaihteluiden vaikutusta perunakasvustoon on viljelijän yksinkertaisinta arvioida kuvaajan perusteella. Säätilan vaikutuksien tarkempaan arviointiin tarvitaan säätilatiedot useammalta vuodelta.

## 8. MENETELMÄN KUVAUS JA KÄYTTÖ

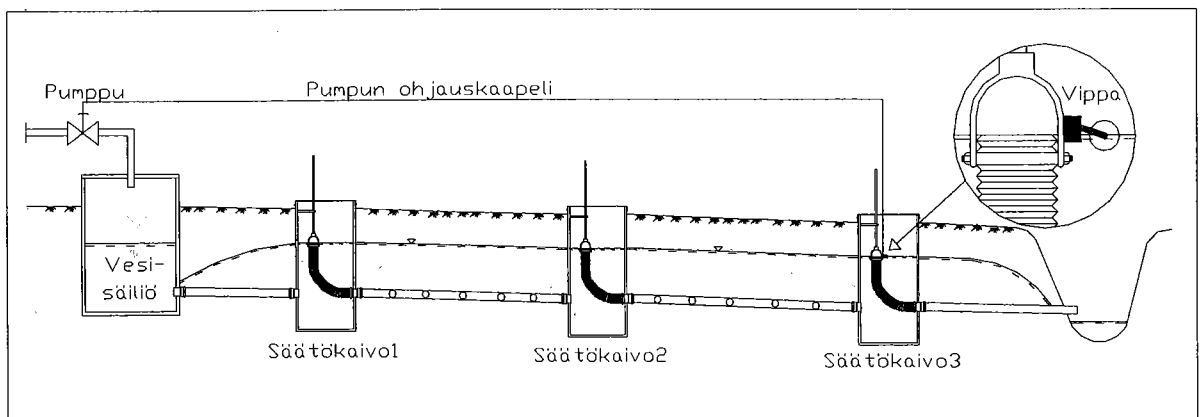
Automatisoidun pohjavesikastelun rakentaminen salaojittamattomaan peltoon aloitetaan huolellisella säätösalojitussuunnittelulla. Suunnittelussa määrätään käytettävät putkikoot salaoja- ja kokoojaputkille, säätökaivojen perustamistasot, salaojitusvyvyys ja -väli sekä routasuojauksen tarve ja laajuus. Säätösaloja-kaivoksi valitaan automatisointiin soveltuva kaivomalli. Suunnittelun yhteydessä tarkastetaan myös kokoojaojen sekä valtaojien kunto ja välityskyky.

Automatisoinnin suunnittelussa arvioidaan käytettävän automatisoinnin taso. Automatisoinnin toteutuksen määräävät tietokoneen ja tiedonkeruuyksikön välinen tiedonsiirtoetäisyys ja sähköverkon käyttömahdollisuus pellolla. Tiedonsiirtoon valitaan kaapelointi tai langaton tiedonsiirtomenetelmä. Salaojituskentälle asennettavat johdot kaivetaan peltoon salaojaputkien asentamisen ja muiden kaivutöiden yhteydessä. Jos automatisointi on tarkoitus toteuttaa myöhemmin, asennetaan peltoon valmiit johdotukset tai johtojen suojausputket. Suojausputkien sisään johdot vedetään helposti jälkikäteen. Pinnassa kulkevien johtojen käyttö on mahdollista, mutta ne joudutaan keräämään talteen aina pellolla suoritettavien viljelytoimenpiteiden yhteydessä.

### 8.1 YKSINKERTAINEN AUTOMATISOITU POHJAVESIKASTELU

Osa viljelijöistä ei tarvitse tai halua pitkälle vietyä automatisointia kastelujärjestelmään. Viljelijöiden mielenkiinnon herättämiseksi automatisoituun pohjavesikasteluun on täydellisen automatisoinnin rinnalla kehitetty myös asteittain edistyvä yksinkertaisempi järjestelmä, jonka perustamiskustannukset ovat täydellistä automatisointia edullisemmat. Yksinkertainen automatisoitu pohjavesikastelujärjestelmä voidaan laajentaa ajan saatossa vaihe vaiheelta täydellisesti automatisoiduksi, joten automatisoinnin kustannukset jakautuvat pitemmälle aikavälille.

Ensimmäisenä vaiheena on kuvan 14 esittämä lisäveden pumppauksen automatisointi, jolloin lisävedenpumppaus käynnistetään ja sammutetaan säätökaivon padotusrakenteeseen asennetun kytkimen ohjaamana. Kytkin asennetaan matalimmalla sijaitsevan säätökaivon yhteyteen. Järjestelmässä saadaan toteutettua kaapeliyhteys kaivolta pumpulle. Pintakytkin on kytketty kuvan 28 esimerkki tapauksessa Uponorin VETO-säätösalojakaivon haitariputken yläpäähän. Järjestelmä ei vaadi sähkövirtaa pumpun ohjaamiseen, vaan kytkinvippa ohjaa ainoastaan lisävesipumpun ohjausreleen herätevirran kytkemistä. Lisävesipumppu on kytketty sähköverkkoon. Pumppaus alkaa, kun vippa ei kosketa vedenpintaa ja loppuu pohjavedenpinnan nostaessa vippaa ylöspäin. Pumppauksen ohjauksella varustettu pohjavesikastelu on yleisin käytössä olevista automaatioista.



Kuva 28. Lisävesipumppauksen ohjaus pintakytkimellä eli vipalla.

Pumppauksen automatisoinnin jälkeen on vuorossa kaivojen automatisointi. Kaivojen automatisoinnin toteuttaminen ei vaadi suuria muutoksia itse kaivon rakenteisiin, vaan säätökoneisto asennetaan kaivon kannelle. Säätökoneistot voidaan asentaa myös vanhoihin kaivoihin. Kaivojen säätölaitteet liitetään sähköverkkoon. Säätökaivojen ohjaus toteutetaan esiohjelmoidun tiedonkeruuyksikön avulla, joka ohjaa kaivojen padotuskorkeuksia tiedonkeruuyksikköön syötettyjen ohjeiden mukaan. Tiedonkeruuyksikkö kytketään sähköverkkoon. Pohjavedenpinnan korkeus tarkastetaan käsin, jotta varmistutaan padotuskorkeuksien oikeellisuudesta. Sähköverkkoon liitetyn lisävesipumpun ohjaus toteute-



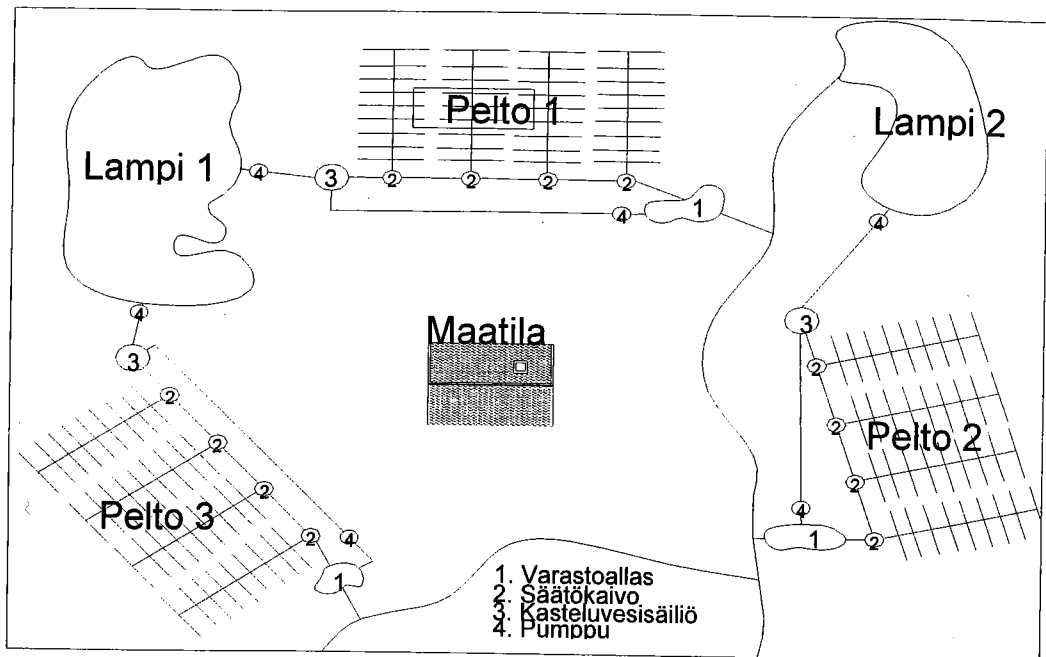
taan matalimmalla olevan kaivoon sijoitetulla vippakytkimellä. Yksinkertaisen automatisoidun pohjavesikastelun periaatekuva on esitetty liitteessä 9.

Järjestelmä laajennetaan asentamalla matalimmalla olevaan säätökaivoon painanturi pohjavedenpinnan korkeuden havaitsemiseksi. Pohjavedenkorkeuden mittausta voidaan suorittaa myös pellolle sijoitetuista havaintoputkista. Lisäveden pumppaus liitetään tiedonkeruuyksikön ohjaamaksi. Paineanturi lähettää pohjavedenkorkeushavainnot tiedonkeruuyksikölle, joka määrittelee lisäveden pumppaustarpeen asetettuihin padotuskorkeuksiin verrattuna.

## 8.2 TIETOKONEOHJATTU AUTOMATISOITU POHJAVESIKASTELU

Tietokoneohjatun automatisoidun pohjavesikastelun toteuttamismahdollisuuksia on kaksi. Järjestelmän automatisointilaitteet kytketään sähköjakokeskukseen, mikäli pelto sijaitsee lähellä sähköverkkoa tai laitteet varustetaan aurinkokennon avulla latautuvalla akulla. Jos järjestelmässä on vain muutama säätökaivo, voidaan laitteistoa käyttää yhden akun avulla.

Tiedonsiirto tiedonkeruuyksikön ja tietokoneen välillä voidaan toteuttaa langallisena tai langattomana pellon ja tietokoneen välisestä etäisyydestä riippuen. Tietokoneen langatonta tiedonsiirtolaitteistoa voidaan käyttää myös myöhemmin käyttöön otettavien peltoalueiden ohjaamiseen (kuva 29). Pumppujen ohjaus toteutetaan vastaavasti langallisena tai langattomana riippuen pumpun ja dataloggerin välisestä etäisyydestä. Pumppujen ohjaus voidaan toteuttaa myös tietokoneen välityksellä.



Kuva 29. Useamman peltolohkon ohjaus langattomana.

Edullisin tapa täydellisesti automatisoidun järjestelmän toteuttamiseksi on sen yhdistäminen verkkovirtaan ja tiedonsiirto toteutetaan johdollisena (liite 10). Systeemin tiedonkeruuyksikkönä toimii tietokoneeseen liitetty tiedonkeruukortti, joka ohjaa kaivoja sekä pumppuja ja kerää mittauspisteiltä niiden lähettämän datan tietokoneen kovalevylle. Kaapelointityöt voivat olla mittavia, koska jokainen automatisoitu yksikkö sekä mittauspisteet vaatii oman ohjauskaapelin. Käyttövirta laitteille voidaan syöttää pellolle keskitettynä. Tietokoneen virta ja ohjelmistot ovat päällä koko ajan, jolloin säätö ja mittaukset päivittyvät säätöohjelmalle reaaliaikaisesti. Verkkovirtakäyttöisenä järjestelmän valvonta ja huolto ovat vähäisiä.

Langattomasti toteutetun automatisoidun pohjavesikastelun tiedonsiirron toteuttaminen (liite 11) vaatii ainakin yhteen säätökaivoon dataloggerin, joka ajoittaa datasiirron tiheyden akun virran säästämiseksi. Täydellisesti automatisoidun säätökaivon periaatekuva on esitetty liitteessä 12. Jos laitteisto on kytkettynä verkkovirtaan, voidaan radiomodeemia pitää päällä koko ajan. Kaivojen säätölaitteiston vaatima ohjaus olisi järkevää toteuttaa langallisena, koska langattoman ohjauksen toteuttaminen vaatii jokaiseen säätökaivoon oman radio-

modeemin ja moottorin ohjainyksikön. Pumppujen ohjaus toteutetaan langattomana, mikäli pumppaamo ei sijaitse dataloggerin läheisyydessä. Täydellisesti automatisoitu pohjavesikastelu on esitetty kaaviona liitteessä 13.

## 9. AUTOMATISOIDUN POHJAVESIKASTELUN KEHITTÄMINEN

### 9.1 SÄÄTÖKAIVON ROUTASUOJAUS

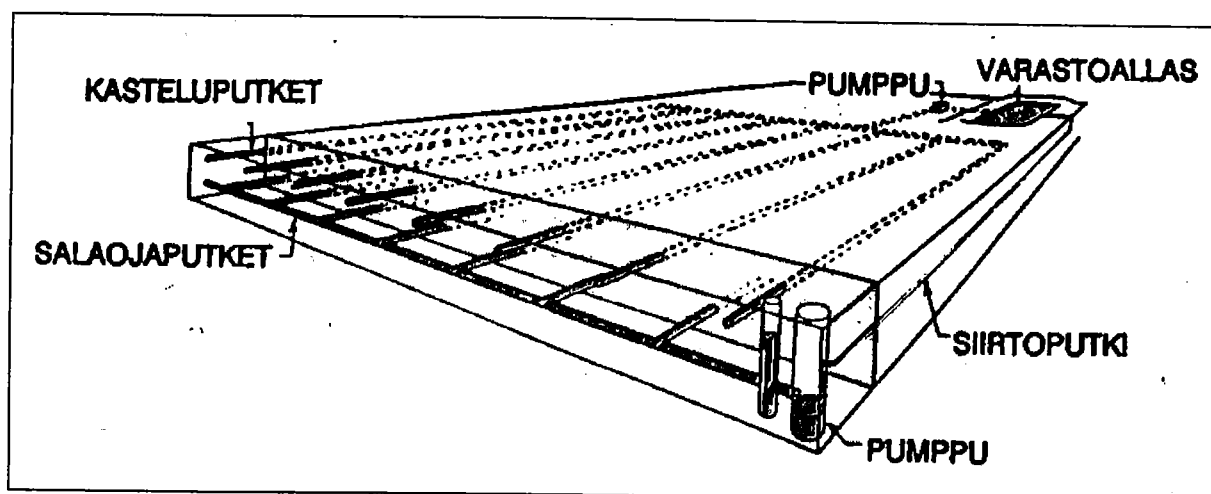
Viljelijöiltä saadun palautteen mukaan säätökaivojen ongelmana on niiden jäätyminen ja säätölaitteiston rikkoutuminen (Karioja 1999). Jäätyneen kaivon sulaminen tapahtuu keväällä hitaasti. Kaivon jäätyminen vähentämiseksi tehdään kaivon ympärille routasuojaus liitteen 14 esittämällä periaatteella. Kaivon ympärille asennetaan kaivon paikalleen asentamisen yhteydessä 50 mm paksuiset routasuojaukseen tarkoitetut solumuovieristeet noin metrin etäisyydelle kaivon ulkoreunasta. Routasuojaus voidaan toteuttaa valmiiksi asennettuihin kaivoihin samoilla periaatteilla. Eristeen paksuutta voidaan tarvittaessa lisätä, esimerkiksi kaksinkertaistaa, routasuojauksen tehostamiseksi. Eristeet asennetaan korkeintaan 500 mm syvyydelle maanpinnasta, koska pohjavedenpinnan nosto aiheuttaa eristeiden nousemista ylöspäin. Eristeet asennetaan reilusti kaivosta ulospäin viettäväksi. Liitteessä 9 esitetty routasuojaus on toteutettu kaksinkertaista eristepaksuutta käyttäen.

Syksyllä säätölaitteiston irrottamisen jälkeen kaivon kannen alapuolelle asennetaan solumuovieristettä esimerkiksi 100 – 200 mm paksuudelta. Eristeet asennetaan kaivonrenkaan sisäpuolelle kiinnitettyjen ulokkeiden varaan. Ulokkeet kiinnitetään 500 – 600 mm maanpinnan alapuolelle. Eristeet kasataan yhteen pultilla tai narulla asentamisen ja poistamisen helpottamiseksi. Eristeen ylä- ja alapuolelle asennetaan eristeiden rikkoutumista ehkäisevät vanerilevyt. Keväällä kaivon sisäänasennetut eristeet poistetaan sulamisen nopeuttamiseksi ja säätölaitteet kiinnitetään takaisin kaivoon.

Kaivon automatisointiin tarvittavat laitteistot on voitava irrottaa talveksi jääty-mishaittojen ehkäisemiseksi. Varsinkin Uponor-kaivon haitariputki on syytä irrottaa talveksi, koska putken rikkoutuminen sen jäätyessä on osoittautunut ongelmaksi. Säätöputken irrottaminen ja kiinnittäminen on oltava yksinkertaista ja helppoa.

## 9.2 KAKSIKERROSOJITUKSEN KÄYTTÖ POHJAVESIKASTELUSSA

Kaksikerrosojitetussa pohjavesikastelussa kasteluvesi syötetään korkeammalle sijoitettuihin (0,5-0,6 m) kasteluputkiin ja syvemmällä (1,0-1,3 m) sijaitsevat kiu-  
vatusputket toimivat normaalin säätösalojitusputkiston tavoin. Menetelmällä saadaan nopeampi ja tehokkaampi kasteluvaikutus kuin perinteistä säätösala-  
ojitusputkistoa käyttäen. Kustannuksiltaan menetelmä on kalliimpi, koska se  
vaatii kaksinkertaisen salaojituksen. Kuvassa 30 on periaatekuva suljetulla kier-  
rolla varustetusta kaksikerrossalaojitus-kastelujärjestelmästä Yhdysvalloissa  
toteutetusta tutkimusprojektista (Karvonen 1992).



Kuva 30. Kaksikerrossalaojitus-kastelujärjestelmä (Perunantutkimuslaitos 1996).

Kaksikerrosojituksen liittäminen automatisoituun pohjavesikasteluun ei vaadi järjestelmän automatisoinnin ja laitteiston muuttamista. Pohjavedenkorkeuden mittaustekniikka ei vaadi muutoksia nopeutuneesta vedenpinnan noususta, varsinkin jos mittausanturi on sijoitettu säätökaivoon. Pellolle sijoitettu pohjavedenpinnan havaintoputki voi väärin sijoitettuna saada virheellistä informaatiota pohjavedenpinnan korkeudesta, mikäli havaintoputki on sijoitettu kasteluputkiston läheisyyteen. Pellolla pohjavedenkorkeus tulisi havainnoida kastelu- ja kiu-  
vatusputkien väliseltä alueelta tai säätökaivosta.

Helsingin yliopiston kasvintuotantotieteen laitoksen Tyrnävällä vuonna 1995 tekemien tutkimusten mukaan, saatiin kaksoisputkitetun alueen sato vain 4 % suuremmaksi kuin normaalisti säätösalaojitetun kastelualueen sato (Kleemola 1996). Satotason nousu ei yksistään ole riittävä perusta kaksikerrosjituksen käyttöön automatisoidussa pohjavesikastelussa, koska perinteisen salaojaputkiston avulla voidaan pohjavedenpinta säätää riittävän tasaiseksi kun kasteluveden pumppaus ja padotuskorkeuden säätö toteutetaan oikein.

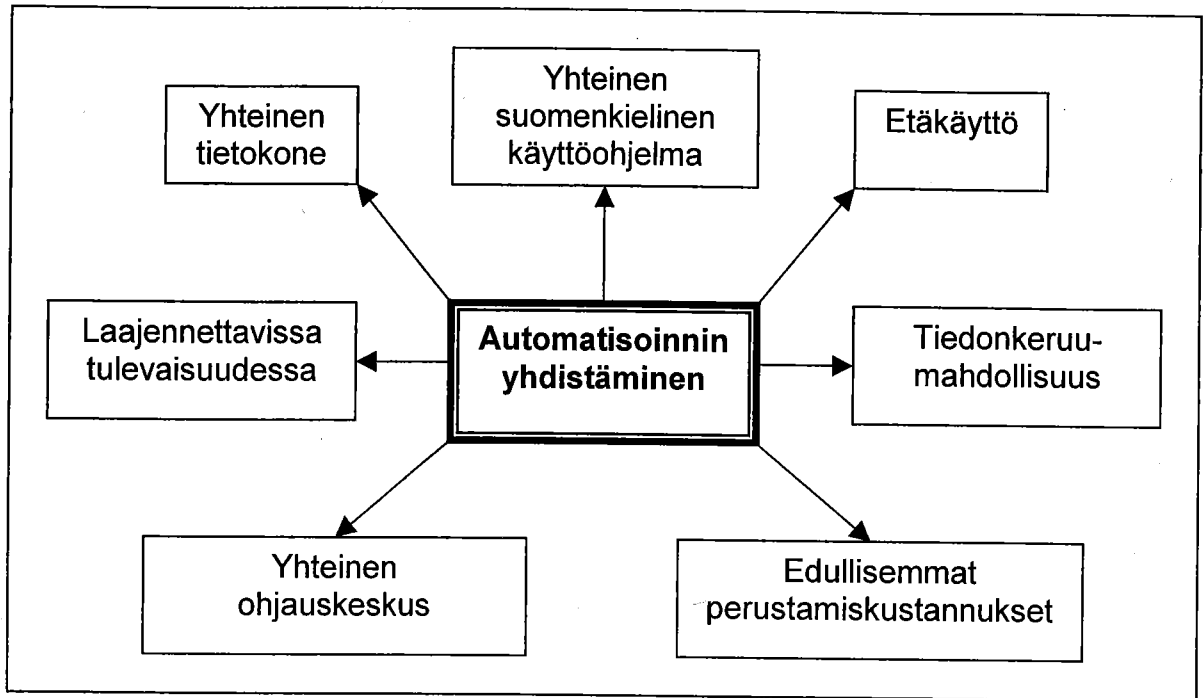
### 9.3 PERUNANTUOTANNON AUTOMATISOINNIN YHDISTÄMINEN

Automatisoidun pohjavesikastelun uskotaan yleistyvän asteittain eritoten erikoisviljelyssä, kuten perunan- ja porkkanantuotannossa, joissa sadon määrän ja laadun lisäyksen mukana saatava taloudellinen hyöty on suurin. Perunanviljelyssä käytetään nykyisin useita tietokoneohjelmia perunan määrän ja laadun seurantaan sekä varastoinnin sekä kastelun ohjaamiseen.

Automatisoinnin yhdistämisen perusidea on automatisoitujen järjestelmien perustamiskustannusten alentaminen ja käytön järjeistämisen. Tuotannon automatiikkaa säätelevien, varsinkin automatisoidun pohjavesikastelun ja varastoinnin ilmastointitekniikan käyttöohjelmien sekä järjestelmiä ohjaavien laitteiden yhdistäminen olisi järkevää, koska näin jo olemassa olevien laitteistojen käyttö voitaisiin parhaiten hyödyntää.

Esimerkkinä automatisoinnin yhdistämisestä toimii automatisoidun pohjavesikastelun ja Satotek-tuoretuotevaraston ilmastointitekniikan yhdistäminen (Satotek 1999). Kuvassa 31 automatisoinnin yhdistäminen esitetään periaatteellisena. Tuoretuotevaraston ilmastointia ja automatisoitua pohjavesikastelua ohjataan samalla tietokoneella ja yhteisellä käyttöohjelmalla. Molempien järjestelmien vaatimat tiedonkeruuyksiköt yhdistetään samaan ohjauskeskukseen. Laitteistojen etäkäyttö on mahdollista modeemin tai GSM-puhelimen välityksellä. Yhteinen käyttöohjelma helpottaa tiedonkeruuta kasvukauden ja varastoinnin aikana. Järjestelmää on mahdollisuus laajentaa tulevien automatisoitujen jär-

jestelmien ohjaamiseksi. Käyttöohjelmien yhdistäminen pienentää kynnystä molempien järjestelmien käyttöönottoon.

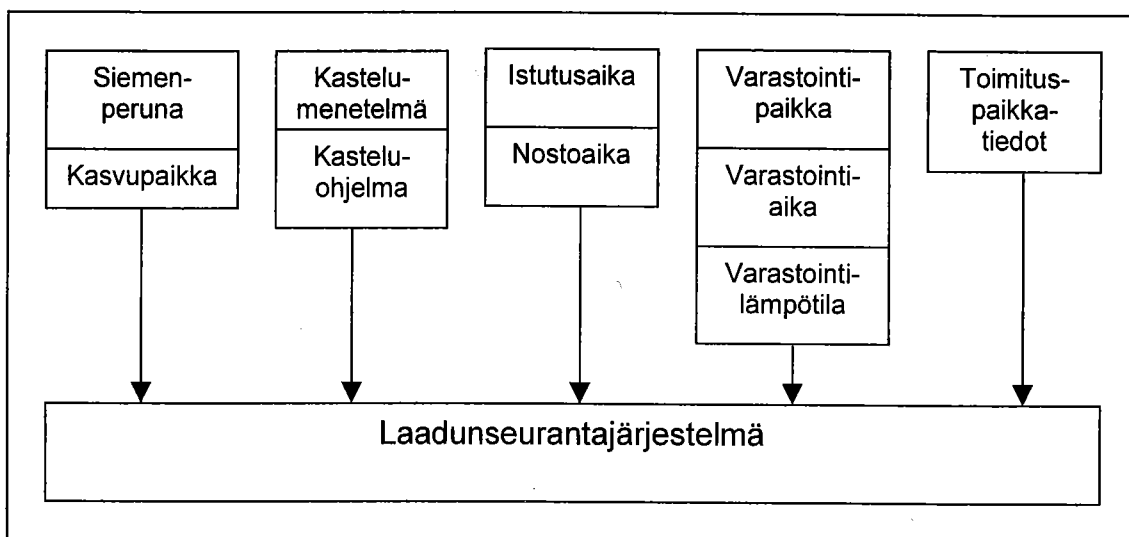


Kuva 31. Automatisoinnin yhdistämisen kaaviokuva.

#### 9.4 PERUNAN LAADUNSEURANTAJÄRJESTELMÄ

Kuluttajat ovat nykyisin entistä enemmän kiinnostuneita ostamiensa tuotteiden alkuperästä ja laadusta. Myös perunantuottaja tarvitsee sisäisen laadun seuraamiseen tietoa kasvatetun perunan tuotantopaikasta ja määristä. Perunan historia istutuksesta kaupan tiskille tai varastoon voidaan selvittää laadunseurantajärjestelmän avulla. Laadunseurantajärjestelmän aloittamiseksi tuotantoalueet jaetaan numeroituihin lohkoihin. Numerointi voidaan suorittaa automatisoidun pohjavesikastelun säätökaivojen mukaan. Istutuksen yhteydessä merkitään muistiin mitä ja missä tuotettua siemenperunaa käytetään. Kasvukauden aikana kastelua säädetään perunan haluttujen ominaisuuksien ja eri lajikkeiden vaatimien kastelutarpeiden mukaan. Perunan noston jälkeen perunat varastoidaan tai säkitetään numeroidusti.

Nyt tuottajalla on numerotieto varastoidun ja kauppoihin toimitettujen perunoiden historiasta. Kuluttajilta saadun palautteen perusteella voidaan perunan kasvupaikka määrittellä tuotantokentältä. Laadun poikkeaminen on voinut johtua esimerkiksi kastelussa aiheutuneista virheistä, heikkolaatuisesta siemenperunasta tai peltolohkon maaperän ominaisuuksista. Perunan historian tunteminen auttaa näiden ongelmien määrittämistä ja ehkäisee edellisellä kasvukaudella tehtyjen virheiden uusiutumista seuraavana vuonna. Viljelijä voi omatoimisesti vertailla eri perunalajikkeiden ja kastelumenetelmien soveltuvuutta toisiinsa.



Kuva 32. Esimerkki perunan laadunseurantajärjestelmän osa-alueista.

Laadunseurantajärjestelmä tarvitsee toimiakseen helpokäyttöisen laadunseurantarekisterin (kuva 32), mistä voidaan tarvittaessa tarkastaa perunalajike, siemenperunan alkuperä, kasvatuslohko, lohkon ala, istutus- ja nostoajankohdat, kastelumenetelmä, kasteluohjelma, varastointipaikka, varastointilämpötila, jne. Rekisteriin merkitään myös määrät ja havaitut laadun poikkeamat. Tuotannon automatisoinnin yhdistäminen helpottaa laadunseurantajärjestelmän vaatimien tietojen keräämistä. Laadunseurantarekisteri voidaan perustaa esimerkiksi yhden vuoden periodein ja se soveltuu myös tuotantomäärien laskemiseen.



## 10. YHTEENVETO

Säätösaloitus vaatii toimiakseen tehokkaasti, että pellon pinnankaltevuus olisi korkeintaan 1 %, maan vedenläpäisevyys tulisi olla yli 0,5 m/d sekä vettä huonosti läpäisevä kerros ei saisi olla syvemmillä kuin 3-8 m. Säätösaloituksen käyttäminen pohjavesikastelussa vaatii lisäksi pellon läheisyydessä olevan vesilähteen. Tyrnävällä pellot ovat tasaisia ja vallitsevana maalajina on karkea hietä, joka soveltuu säätösaloituksen käyttämiseen alueella erinomaisesti.

Suomessa tehtyjen tutkimusten mukaan kokonaistyyppi huuhtoutumat pohjavesikastelussa vähenivät 15-35 %, jonka on arvioitu johtuvan virtaaman vähenemisestä, kasvavasta denitrifikaatiosta ja mineralisaatiosta sekä kasvuston paremmasta typen sitoutumisesta. Fosforikuormitus pienentyi tehostetun kuivatuksen ja pienemmän pintavalunnan ansiosta. Ympäristökuormitusta voidaan pienentää entisestään lisäämällä pohjavesikastelujärjestelmään kasteluveden kierrätys.

Tyrnävällä tehtyjen tutkimusten mukaan säätösaloituksen käyttö pohjavesikastelussa on taloudellisesti hyvin kannattavaa ja sadon laatua parantavaa. Tehokkaan pohjavesikastelun on todettu lisäävän satoa 10-30 % ja esimerkiksi rupisuuden on havaittu pienenevän jopa 50 %. Pohjavesikastelun on havaittu myös vähentävän hallan vaikutuksia perunakasvustolle.

Nykyisin pohjavesikastelun säätäminen on monelta viljelijältä jäänyt vain pakollisiin perussäätöjen tekemiseen. Tietokoneohjattu automatisoitu pohjavesikastelu mahdollistaa helpon ja yksinkertaisen menetelmän ohjata pellon kuivatus- ja kastelujärjestelmää ympäristöystävällisesti.

Automatisoidun pohjavesikastelun muodostavat automatisoidut säätökaivot, pohjavedenkorkeuden mittaus, lisävesipumppu, tiedonkeruuyksikkö sekä järjestelmää ohjaava tietokoneen säätöohjelma. Tiedonsiirtolaitteistojen välillä on mahdollista toteuttaa langattoman tai kaapelein.

Säätöohjelma ohjaa pellolla tapahtuvaa pohjavedenpinnan nostamisen ja laskeamisen suuruutta sekä ajankohtaa käyttäjän tai etukäteen laaditun kasteluohjelman mukaisesti. Säätöohjelmasta voidaan seurata pellolta mitattuja pohjavedenpinnankorkeuksia ja säädön toteutumista. Kasteluohjelmaa on joustava käyttää myös viljelykierrossa, jolloin jokaiselle kasvatettavalle tuotantokasville voidaan suorittaa yksilöllinen kasteluohjelma koko kasvukauden ajaksi. Kasteluohjelma mahdollistaa kastelun muokkaamisen myös sadon käyttömuodon mukaan.

Tiedonkeruuyksikkö kerää tiedot pohjavedenpinnan korkeuksista, säätökaivojen asemasta sekä pumppujen toiminnasta. Tiedonkeruuyksikön ja säätöohjelman tiedot vaihdetaan esimerkiksi 15 minuutin väliajoin. Tällöin säätöohjelman näyttö päivitetään ja tiedonkeruuyksikkö muuttaa tarvittaessa säätökaivojen padotuskorkeuksia tai käynnistää lisävesipumppauksen pohjavesikastelujärjestelmään. Lisävesipumppu sijoitetaan vedenkierrätysaltaaseen, jos sellaisen rakentaminen alueelle on mahdollista. Automatisoinnin tasoa on mahdollista nostaa vähitellen ja automatisointilaitteiston asentaminen onnistuu myös vanhaan pohjavesikastelujärjestelmään.

Automatisoitu pohjavesikastelujärjestelmä toteutetaan pilottihankkeena Tyrnävällä vuonna 2000. Pilottihanke mahdollistaa automatisoidun pohjavesikastelujärjestelmän testauksen käytännössä, jolloin tutkitaan tarkemmin automatiikan ohjaaman pohjavesipinnan käyttäytymistä sekä erilaisten kasteluohjelmien vaikutusta satotasoihin eri perunalajikkeilla sekä viljelykasveilla.

## LÄHDELUETTELO

- Aarrevaara, H. 1993. Suomen salaojituksen historia. Jyväskylä. Salaojituksen tukisäätiö. 276 s.
- Ahonen, J. 1991. Pohjavesikastelun ja säätösalaajituksen käyttö ja soveltuvuus Suomessa. Helsinki. Helsingin tekninen korkeakoulu, maanmittaus- ja rakennustekniikan osasto, vesitalous, Diplomityö. 54 s.
- Ahvenniemi, P. 1993. Ey-haaste perunanviljelijöille - Satotaso kolminkertaiseksi. Maatilan Pirkka 3/1993. S. 4-6.
- Ahvenniemi, P. 1999a. Istutus. [www.sci.fi/~ahven/peruna/istutus.htm](http://www.sci.fi/~ahven/peruna/istutus.htm).
- Ahvenniemi, P. 1999b. Perunan kannattavimmat sadot ovat veden varassa. Maatilan Pirkka 2/1997. s. 50-52.
- Ahvenniemi, P. 1999c. Perunan sadetus. [www.sci.fi/~ahven/peruna/sadetus.htm](http://www.sci.fi/~ahven/peruna/sadetus.htm).
- Ahvenniemi, P. 1999d. Perunan sisäinen laatu ja keittolaatu. [www.sci.fi/~ahven/peruna/sisla.htm](http://www.sci.fi/~ahven/peruna/sisla.htm).
- Airaksinen, J. 1978. Maa- ja pohjavesihydrologia. Oulu. Pohjoinen. 248 s.
- Andersson, S. 1971. Kommentar till ett diagram. Uppsala. (Viit. Mustonen, S. 1986)
- Arola, Juha. 1999. Suullinen tiedonanto. Oulu. 1.6.1999.
- Aura, E. 1994. Maan veden pääsy salaojiin. MTT:n web sivujen tutkimusrekisteri - TUIKE.

Aura, E. 1997a. Pellon vesitalouden parantaminen ja eroosioherkkyyden vähentäminen muuttamalla maan hydrologisia ominaisuuksia. MTT:n www-sivujen tutkimusrekisteri - TUIKE.

Aura, E. 1997b. Perunan vesitalous. Tuottava peruna 2/1997. S. 15-16.

Bergström, S. 1976. Developmant and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. Norrköping, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. 134 s.

Campbell, 1998. Campbell Scientific, Inc. CR10X Measurement and Control System. Utah. 12 s.

Campbell, 1999. Campbell Scientific, Inc. [www.campbellsci.com](http://www.campbellsci.com).

Danfors, E. 1963. Marken ur fysikaliska synvinkel. Särtryck ur Jord-Gröda-Djur 1963. S. 98-120.

Evans, R., Skaggs, W. 1985a. Operating Controlled Drainage and Subirrigation Systems. Raleigh, The North Carolina Agricultural Extension Service, Publication AO-356. 10 s.

Evans, R., Skaggs, W. 1985b. Agricultural Water Management for Coastal Plain Soils. Raleigh, The North Carolina Agricultural Extension Service, Publication AG- 355. 11 s.

Evans, R.O., Gilliam, J.W., Skaggs, R.W. 1989. Effects of Agricultural Water Table Management on Drainage Water Quality. Raleigh, Water Resources Research Institute of the University of North Carolina, Report N:o 237. 87 s.

Evans, R.O., Skaggs, R.W. 1989. Design Guidelines for Water Table Management Systems on Coastal Plain Soils. St. Joseph, Michigan, American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASEA, Vol. 5, N:o 4. S. 539-548.

Evans, R.O., Sneed, R.E., Skaggs, R.W. 1987. Water Supplies for Subirrigation. Raleigh, The North Carolina Agricultural Extension Service, Publicatio AG-389.13 s.

Evans, R.O., Sneed, R.E., Skaggs, R.W. 1988. Economics of Controlled Drainage and Subirrigation Systems. Raleigh, The North Carolina Agricultural Extension Service, Publication AG-357. 17 s.

Fennica. 1999. Tilastotietoja. <http://fennica.net>.

Fouss, J.L., Carter, C.E., Rogers, J.S. 1986. Simulated Water table Management by Controlled-Drainage Based on Rainfall Forecasts. St. Joseph, Michigan, American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASEA, Vol. 29, N:o 4. S. 988-994.

Fouss, J.L., Cooper, J.R. 1988. Weather Forecasts as a Control Input for Water Table Management in Coastal Areas. St. Joseph, Michigan, American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASEA, Vol. 31, N:o 1. S. 161-167.

Hakkola, H. 1989. Kuivatustyön periaatteiden tarkistaminen happamalla sulfaatimaillla. MTT:n www-sivujen tutkimusrekisteri - TUIKE.

Heino, R. 1987. Climate scenario. Impact analysis of climate change in the Fennoscandia part of the boreal and subarctic zone. Koster & Lundberg (eds.). Report prepared for the European Workshop on International Bioclimatic and Land Use Changes. Volume D.

Heinonen, R. Hartikainen, H. Aura, E. Jaakkola, A. Kemppainen, E. Maa, viljely ja ympäristö. 1996. Porvoo. 334 s.

Holma, M. 1987. Yksinkertaisin välinein kaksinkertainen perunasato. Käytännön maamies 1/87. S. 20-22.

Holma, M. 1990a. Perunan kastelu. Pohjois-Pohjanmaan perunakerhon talvi-seminaari Oulussa 23.-24.1990. 5 s.

Holma, M. 1990b. Pohjavesikastelumenetelmän soveltaminen salaojapellolle. Tiedoksi Jussi Hoolille 16.4.1990. 13 s.

Holma, M. 1991. Säätokastelulla hyviä tuloksia perunanviljelyssä. Tuottava peruna 1/1991. s. 14-16.

Holma, M. 1995. Kastelujärjestelmä. Patentti- ja rekisterihallitus 30.5.1997. 28 s.

Hooli, J. 1971. Säätekijöiden vaikutuksesta viljelykasvien satoihin ja vesitalouteen. Otaniemi. Helsingin teknillinen korkeakoulu, tieteellisiä julkaisuja 35. 244 s.

Hyvärinen, V. 1999. Hydrologinen yleiskatsaus 1998. [www.vhy.fi](http://www.vhy.fi)

Hyvönen, P. 1992. Säättösalaojitustutkimuksen mittaus- ja tiedonkeruujärjestelmä. In: Laikari, E. Säättösalaojitus – Koekenttien perustaminen. Helsinki. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry, julkaisu 16. S. 18-21.

Hyvönen, P. 1999. Suullinen tiedonanto. Helsinki. 7.10.1999

Juusela, T. 1967. Maan vesitalous ja sen järjestely. Maanviljelijän tietokirja 1. (toim. I. Majaniemi). S. 71-142.

Kankaanranta, J. 1996. Valunta ja ravinnehuuhtoutumat savimaassa. In: Peltomaa, R. Säättösalaojituksen, uusintaajituksen ja padotuskastelun tutkimustuloksia. Helsinki. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry, julkaisu 21. S. 38-52.

Karioja, V. 1999. Tyrnävä. Suullinen tiedonanto. 15.7.1999.

Karjalainen, A. 1999. Neles Automation, Kajaani. Puhelinkeskustelu. 10.11.1999.

Karvonen, T. 1992a. Salaojitus, säätösalojitus ja ravinteiden huuhtoutuminen. In: Laikari, E. Säätösalojitus – Koekenttien perustaminen. Helsinki. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry, julkaisu 16 S. 22-40.

Karvonen, T. 1992b. Ravinteiden kierrätys kahteen kerrokseen sijoitettuja salaojitusputkistoja käyttäen. In: Laikari, E. Säätösalojitus – Koekenttien perustaminen. Helsinki. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry, julkaisu 16. S. 48-58.

Karvonen, T. 1992c. Salaojitus ja tietokonemallit. In: Laikari, E. Säätösalojitus – Koekenttien perustaminen. Helsinki. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry, julkaisu 16. S. 41-47.

Karvonen, T. 1992d. Säätösalojitus- ja padotuskastelu : tutkimuksen tausta. In: Laikari, E. Säätösalojitus – Koekenttien perustaminen. Helsinki. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry, julkaisu 16. S. 5-8.

Karvonen, T. 1992e. Säätösalojitus- ja padotuskastelututkimus : Koekentät, mittaukset ja tutkimustavoitteet. In: Laikari, E. Säätösalojitus – Koekenttien perustaminen. Helsinki. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry, julkaisu 16. S. 9-17.

Kasurinen, O. 1988. Perunan satokomponentit ja kehitysvaiheet sadonmuodotuksen perustana. Teoksessa: Varis, E. (toim.) Peltokasvien satofysiologia. Helsinki, Yliopistopaino, Helsingin Yliopiston Kasvinviljelytieteen laitoksen julkaisu N:o 17. S. 151-161.

Kauppi, A. 1999. Tyrnävän kunnan maaseutuasiamiehen Ari Kaupin tekemä yhteenveto kunnan tuotantotilanteesta. Tyrnävän kunnantalo, 4.6.1999. 1 s.

Kleemola, J. 1992. Salaoitusmenetelmän vaikutus pohjaveden korkeuksiin Zaitsevon koalueella 1989-1990. In: Ojituksen toimivuuden määrittäminen FINNMOD-mallia käyttäen. Salaoituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote N:o 15. S. 16-23.

Kleemola, J. 1996. Satotuloksia säätösalaajituksen ja padotuskastelun koekentiltä 1994-95. In: Peltomaa, R. Säätösalaajituksen, uusintaajituksen ja padotuskastelun tutkimustuloksia. Helsinki. Salaoituksen tutkimusyhdistys ry, julkaisu 21. S. 12-19.

Koivusalo, H. 1993. Peltoalueen pintavalunta ja eroosio. Diplomityö, Teknillinen Korkeakoulu, Rakennus- ja Maanmittaustekniikan osasto. 84 s.

Koivusalo, H. 1994. Pintavalunnan mittaustuloksia Sjökillan koekentältä. In: Laikari, E. Säätösalaajitus, tutkimustuloksia vuosilta 1992-1993. Helsinki. Salaoituksen tutkimusyhdistys ry, julkaisu 18. S. 32-51.

Koivusalo, H., Hyvönen, P. 1994. Säätösalaajituspadotuskastelututkimusten koekenttien tiedonsiirtojärjestelmä ja -ohjelma. Teknillisen korkeakoulun monistesarja 1994:6, vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio, Espoo. 40 s.

Kuisma, P. 1994. Peruna tarvitsee vettä jo ennen keittokattilaa. Tuottava peruna 1/1994. S. 17-19.

Kuisma, P. 1994a. Perunamaan sadetuksessa tarkkuus tuottaa tulosta. Tuottava Peruna 22. 2: S.14-17.

Kuisma, P. 1994b. Voiko savimaa olla hiedan vaihtoehto perunanviljelyssä? Tuottava peruna 1/1994. S. 12-15.

Kurki, M. 1982. Suomen peltojen viljavuudesta 3. Viljavuuspalvelu Oy:ssä vuosina 1955- 1980 tehtyjen viljavuustutkimusten tuloksia. Helsinki, Pariset Oy. 181 s.



Kähäri, J. Mäntylahti, V. Rannikko, M. 1987. Suomen peltojen viljavuus 1981-1985. Helsinki. Viljavuuspalvelu Oy. 106 s.

Känkänen, H. 1999. Viljelyjärjestelmät. Maatalouden tutkimuskeskus. [www.mmt.fi](http://www.mmt.fi)

KWH pipe. 1999. [www.kwhpipe.com](http://www.kwhpipe.com).

Laikari, E. Säätosalaojitus, tutkimustuloksia vuosilta 1992-1993. Helsinki. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry, julkaisu 18. S. 83-84.

Leppälä, H. 1991. Maatalouden ATK-sovellukset. Ylivieska. YTOL, maatalousautomaatio. 123 s.

Maa- ja metsätalousministeriö. 1998. Tilastot. [www.mmm.fi](http://www.mmm.fi).

Maasyke. 1999. Maasykkeen Web-sivut.

<http://maaseutu.tyrnava.fi/maaseutu/peruna/tiedosto/high.htm>

Maatilahallitus. 1992. Maatalouslaskenta 1990: Osa 2. Kunnittaiset tulokset. Helsinki. Maa- ja metsätalous 1992:6. 222 s.

Magnetic. 1996. Matrix karamoottorit. Esite. 9 s.

Mattila, T. 1996. Säätosalaojituksen ja padotuskastelun taloudellinen kannattavuus. Erikoistyö. Teknillinen korkeakoulu, vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio. 30 s.

Merilä, E. 1995. Suomen peltojen peruskuivatuksen tila ja tarve. Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallitus, Oulun vesi- ja ympäristöpiiri, vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja 199. 199 s.

Mustonen, S. 1986. Sovellettu hydrologia. Helsinki. Vesiyhdistys r.y. 503 s.

Niemi, J. 1999. ATK avuksi perunaruton torjuntaan. Kaleva 17.6.1999.

Nykänen, A. 1997. Huuhtoutumiskentän kalibrointi. MTT:n www-sivujen tutkimusrekisteri - TUIKE.

Oy Uponor Ab. 1997. VETO-säätösalaajakaivo. Oy Uponor Ab esite. 1 s.

Paasonen, M. Haataja, K. 1999. Säätösalaajituksen kustannukset ja hyödyt. Agro-food '99 posterinäyttelyn esite 2.-4.2.1999. 1 s.

Paasonen, M., Karvonen, T., Sepahi, N. 1996. Valumavesien kierrätys ja padotuskastelu tyrnävän koalueella. In: Peltomaa, R. Säätösalaajituksen, uusintaajituksen ja padotuskastelun tutkimustuloksia. Helsinki. Salaajituksen tutkimusyhdistys ry, julkaisu 21. S. 20-28.

Paasonen-Kivekäs, M., Kylmälä, P., Sepahi, N., Taskinen, A. 1994. Pohjaveden laadun ja syvyyden vaihtelu peltoalueilla. In: Laikari, E. Säätösalaajitus, tutkimustuloksia vuosilta 1992-1993. Helsinki. Salaajituksen tutkimusyhdistys ry, julkaisu 18. S. 52-82.

Paatela. J. 1980. Salaajittajan opas. Helsinki. Maatalouden tutkimuskeskus. 104 s.

Pajula. H. & Pasonen. A. 1990. Ojituslaitos. Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallitus. 44 s.

Peltomaa. R. 1996. Kalkkisuodinojat ja säätösalaajitus. SPOY. Maa- ja metsätalousministeriö. 8 s.

Peltonen-Sainio, P. 1990. Viljojen kehitysvaiheet ja niiden seuranta. Helsingin Yliopiston Kasvinviljelytieteen laitos. Julkaisuja N:o 23, 58 s.

Perunantutkimuslaitos. 1996. Perunan vesitalous ja sadetus. Perunantutkimuslaitoksen julkaisu 3/1996. 63 s.

Pietilä, L. 1991. Perunan sadetus ja kasvitaudit. Tuottava peruna 1/1991. s. 17.  
Puustinen, M. Merilä, E. Palko, J. Seuna, P. 1994. Kuivatustila, viljelykäytäntö ja vesistökuormitukseen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla. Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja n.o 198. 323 s.

Puustinen, M. Peltomaa, R. 1998. Pellon vesitalouden järjestely. In: Maatalousteknologian julkaisuja 24. Helsinki. Helsingin yliopisto, maa- ja kotitalousteknologian laitos. s. 116-119.

Puustjärvi, V. 1973. Kasvuturve ja sen käyttö. Helsinki. 172 s.

Rekolainen, S., Kauppi, L., Turtola, E. 1992. Maatalous ja vesien tila. MAVERO:n loppuraportti. Luonnonvarajulkaisuja 15. Luonnonvaraneuvosto, Maa- ja metsätalousministeriö.

Saavalainen, J. 1981. Salaojittajan käsikirja : Salaojitustöiden toteuttaminen osa 2 b. Helsinki. Salaojakoulutuksen kannatusyhdistys. 61 s.

Sandvik, V. Siitonen, M. 1990. Viljelijän ATK-opas. Helsinki. Maatalouskeskusten liiton julkaisuja n.o 799. 113 s.

Satotek. 1999. Satotek-uutta tuorevaraston ilmastointitekniikkaa. Esite. 2 s.

Siemens. 1999. [www.siemens.com](http://www.siemens.com).

Sintrol. 1999. [www.sintrol.com/pinnank.htm](http://www.sintrol.com/pinnank.htm).

Sirviö. H. 1998. Hydrologiset havaintopaikat Pohjois-Pohjanmaalla. [www.vhy.fi](http://www.vhy.fi).

Skaggs, R.W. 1980. Drainmod. Reference Report. Methods for design and Evaluation of Drainage-Water Management Systems for Soils with High Water Tables. Fort Worth, United States Department of Agriculture. 265 s.

- Skaggs, R.W. Gilliam, J.W. 1981. Effect of Drainage System Design and Operation on Nitrate Transport. St. Joseph, Michigan, American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASEA, Vol. 24, N:o 4. S. 929-934, 940.
- Skaggs, W. 1990. Drainage and Environment. Ontario, Agri-Book Magazine 1 Drainage Contractor. S 19- 25.
- Soveri, J. 1986. Maavedet. In: Mustonen, S. Sovellettu hydrologia. Helsinki. Vesi-yhdistys r.y. S. 82-94.
- STS. 1999. Sensor Technik Sirmach AG, Pressure transmitter for level measurement ATM/N. Esite. 4 s.
- Tanner, R. 1991. Sadetussuunnitelman teko perunalle. Tuottava Peruna 18, 1: 19-21.
- Taskinen, A., Paasonen-Kivekäs, M. 1996. Säättösalaojitus Lapuan koealueilla. In: Peltomaa, R. Säättösalaojituksen, uusinta- ja padotuskastelun tutkimustuloksia. Helsinki. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry, julkaisu 21. S. 6-11.
- Teittinen, M., Kleemola, J., Hellman, T. 1994. Säättösalaojituksen vaikutus vehnän ja kauran kasvuun. In: Laikari, E. Säättösalaojitus, tutkimustuloksia vuosilta 1992-1993. Helsinki. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry, julkaisu 18. S. 5-14.
- ThetaProbe. 1999. ThetaProbe type ML2x. Esite. S. 4-5.
- Tiilikainen, K. 1995. Perunan vientivalmiusedellytys. MTT:n www-sivujen tutkimusrekisteri - TUIKE.
- Torvela, M. 1996. Esipuhe. In: Peltomaa, R. Säättösalaojituksen, uusinta- ja padotuskastelun tutkimustuloksia. Helsinki. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry, julkaisu 21. S. 5.

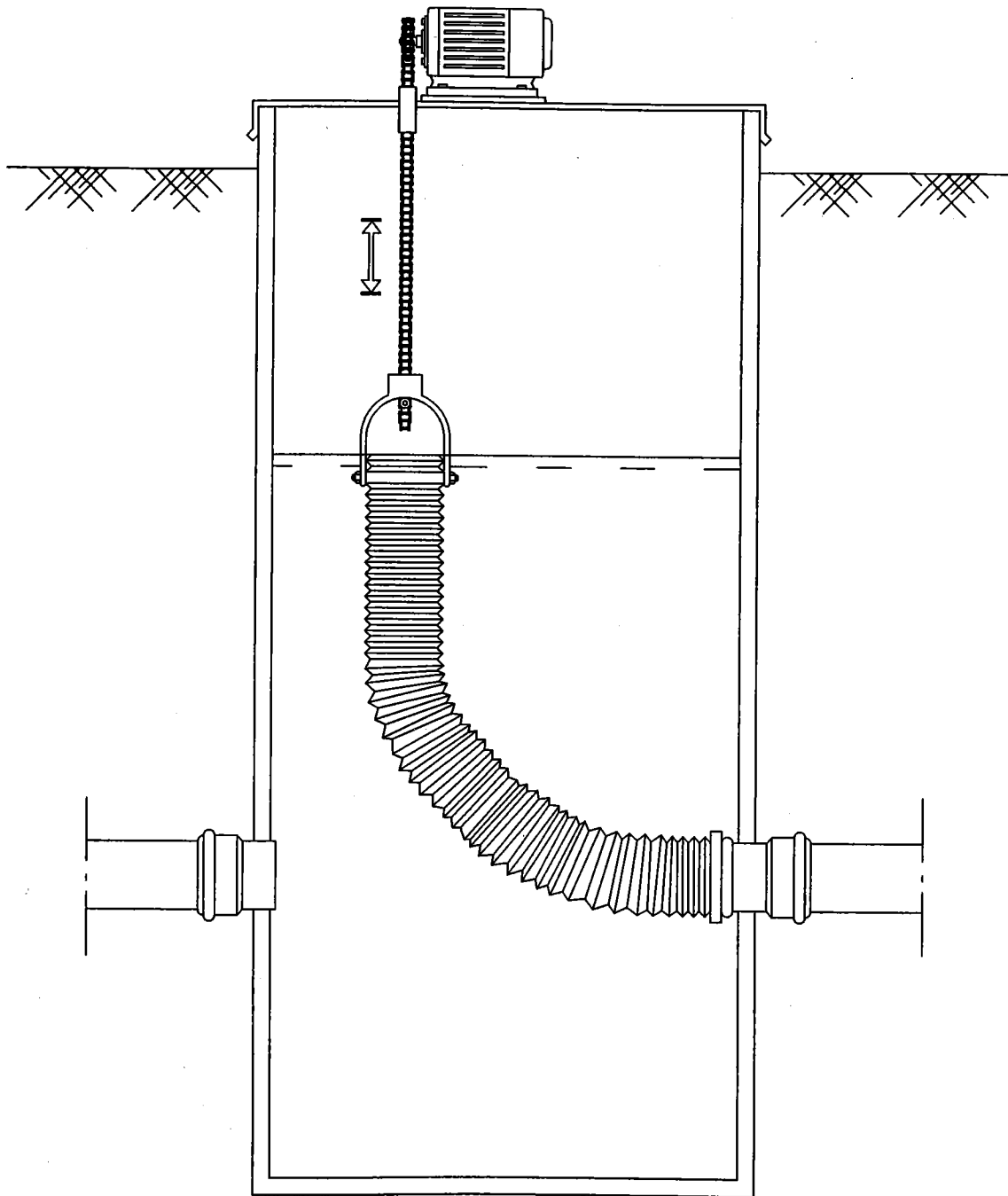
- Tuononen, E. 1982. Peruskuivatuksen hyödynarviointi ja kustannusten osittelu. Helsinki. Vesihallitus. Vesihallituksen tiedotuksia 217. 147 s.
- Tuovinen, P. 1998. Säättösalaojitus on helppo toteuttaa. Maatila Pellervo 1/1998.
- Turtola, E. 1987. Viljelytekniikan vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen. MTT:n www-sivujen tutkimusrekisteri - TUIKE.
- Turtola, E. 1996. Savimaan uusintaajituksen vaikutus fosforin ja typen huuhtoutumiseen. In: Peltomaa, R. Säättösalaojituksen, uusintaajituksen ja padotuskastelun tutkimustuloksia. Helsinki. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry, julkaisu 21. S. 53-59.
- Ultracom. 1999. [www.ultracom.fi](http://www.ultracom.fi).
- Uponor. 1999. [www.uponor.com](http://www.uponor.com).
- Vakkilainen, P. 1982. Maa-alueelta tapahtuvan haihdunnan arvioinnista. Acta Universitatis Ouluensis, Series C, No. 20, Oulu.
- Vakkilainen, P. 1986. Maavedet. In: Mustonen, S. Sovellettu hydrologia. Helsinki. Vesiyhdistys r.y. S. 82-94.
- Varis, E. 1970. Variation in the quality of table potato and the factors influencing it in Finland. Hämeenlinna. Suomen maataloustieteellisen seuran julkaisuja. 99 s.
- Vehviläinen, B. Lohvansuu, J. 1991. Ilmastonmuutoksen vaikutus virtaamiin ja lumioloihin Suomessa - vesistöille tehty arvio. Vesitalous 1/1991. S. 17-23.
- Virtanen, S. 1993a. Miten sadesyksynäkin saadaan perunat nostettua. Tuottava peruna 1/1993. s. 6-7.

Virtanen, S. 1993b. Säättösalaojituksella vesistökuormitus pienemmäksi - ravinteet talteen ja sadon laatu paremmaksi. Tuottava peruna 1/1993. s. 4-5.

Visser, W.C. 1958. De landbouwwaterhuishouding van Nederland. Nederland TNO. Rapport 1. Comm. Onderz. Landbouwwaterh. 159 s.

Wesseling, J. 1997. Water in de landbouw: altijd te veel of te weinig. Cultuurt. Tijdschr. 26(5). S. 353-361.

Wäre. M. 1947. Maan vesisuhteista ja viljelykasvien sadoista Maasojan vesitaloudellisella koekentällä vuosina 1939-44. Helsinki. Maa- ja vesitekniikan tutk. 240 s.

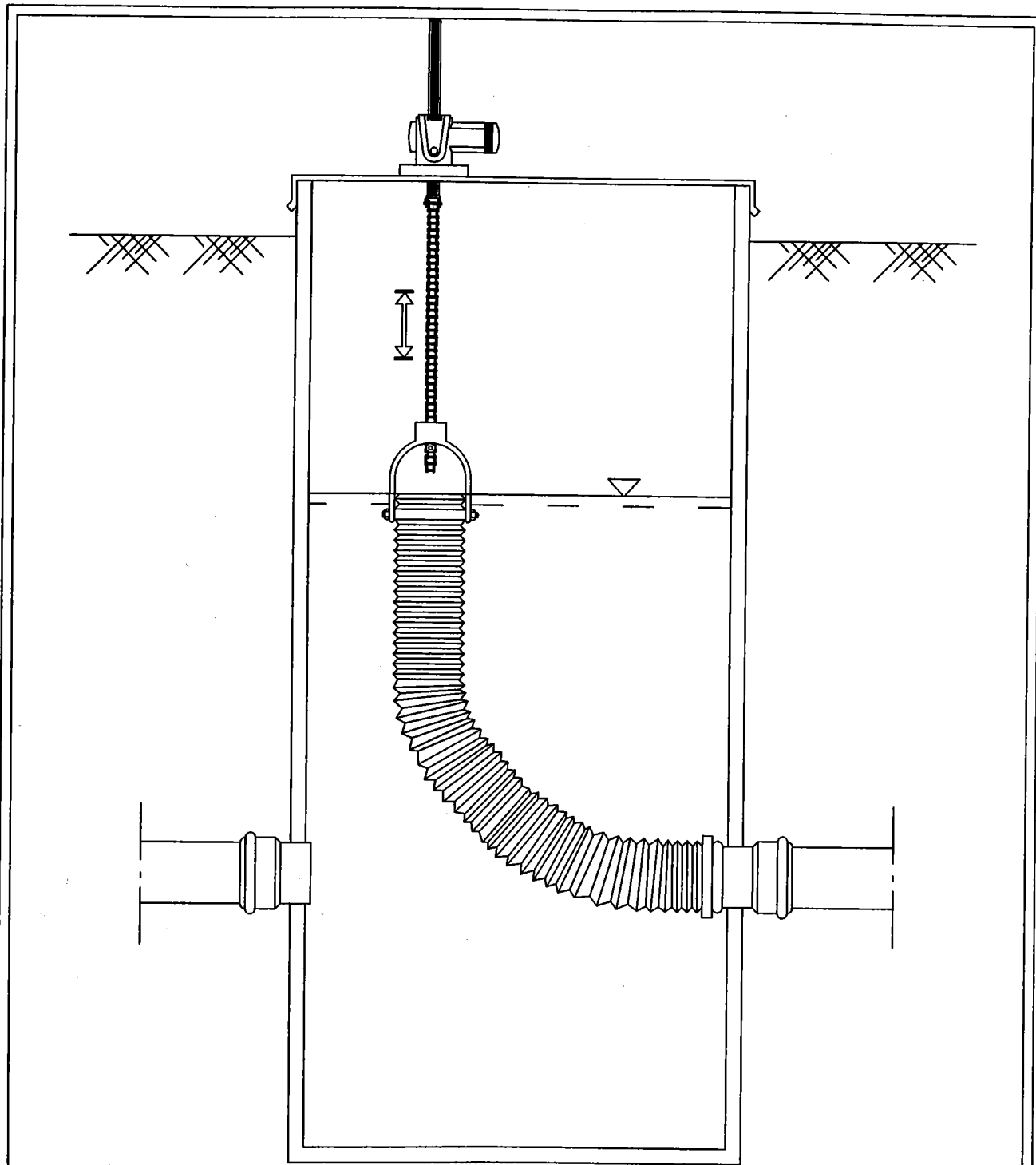


### VETO-säätösalaajakaivo

Automatisointi ehdotus askelmoottorille  
 Kuva ei ole mittakaavassa

Tero Kilpeläinen  
 OULU 21.9.1999

Kaivon valmistaja  
 UPONOR



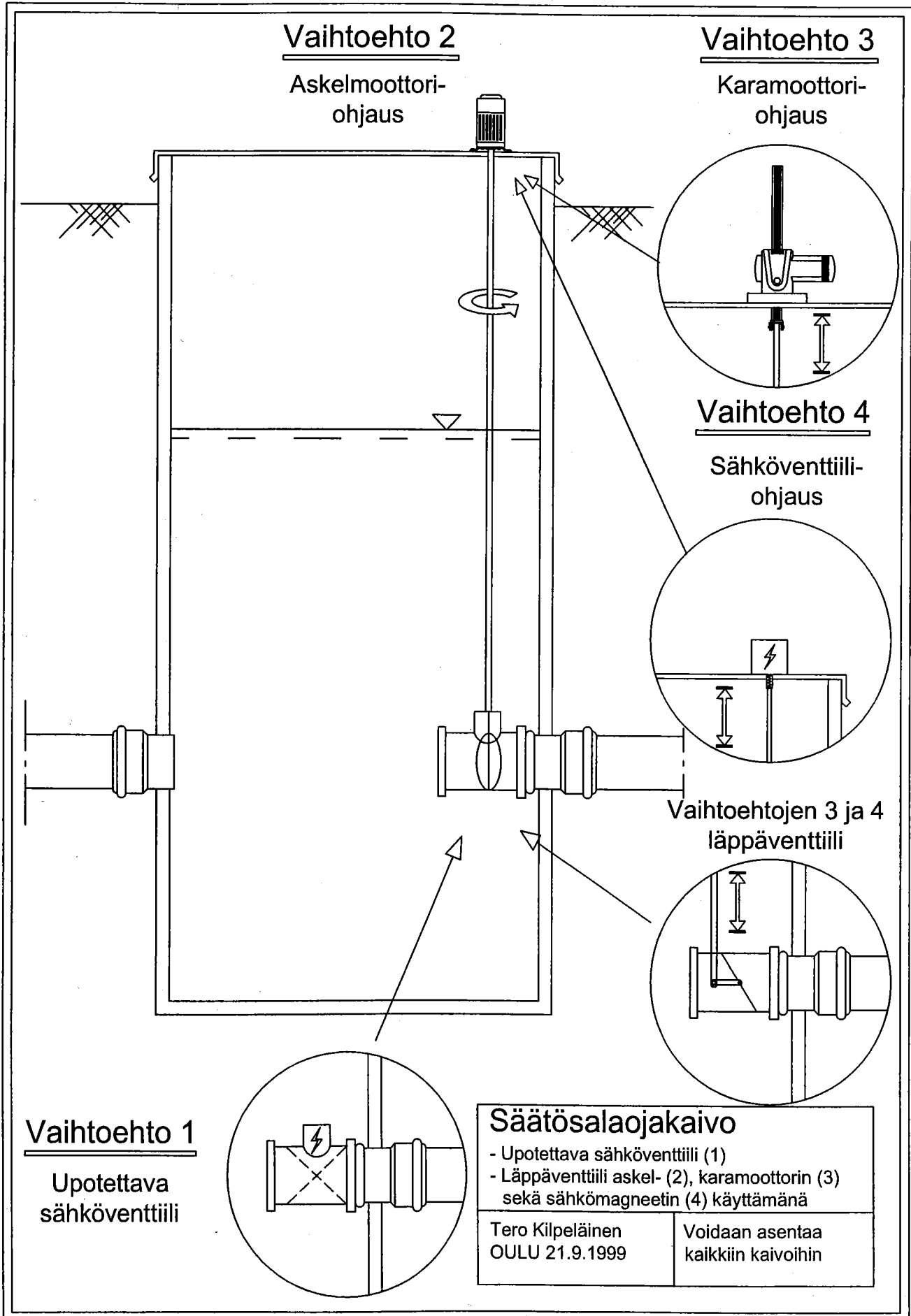
### VETO-säätösalaajakaivo

Automatisointi ehdotus karamoottorille  
 Kuva ei ole mittakaavassa

Tero Kilpeläinen  
 OULU 21.9.1999

Kaivon valmistaja  
 UPONOR





Vaihtoehto 2

Askelmoottori-ohjaus

Vaihtoehto 3

Karamoottori-ohjaus

Vaihtoehto 4

Sähköventtiili-ohjaus

Vaihtoehtojen 3 ja 4 läppäventtiili

Vaihtoehto 1

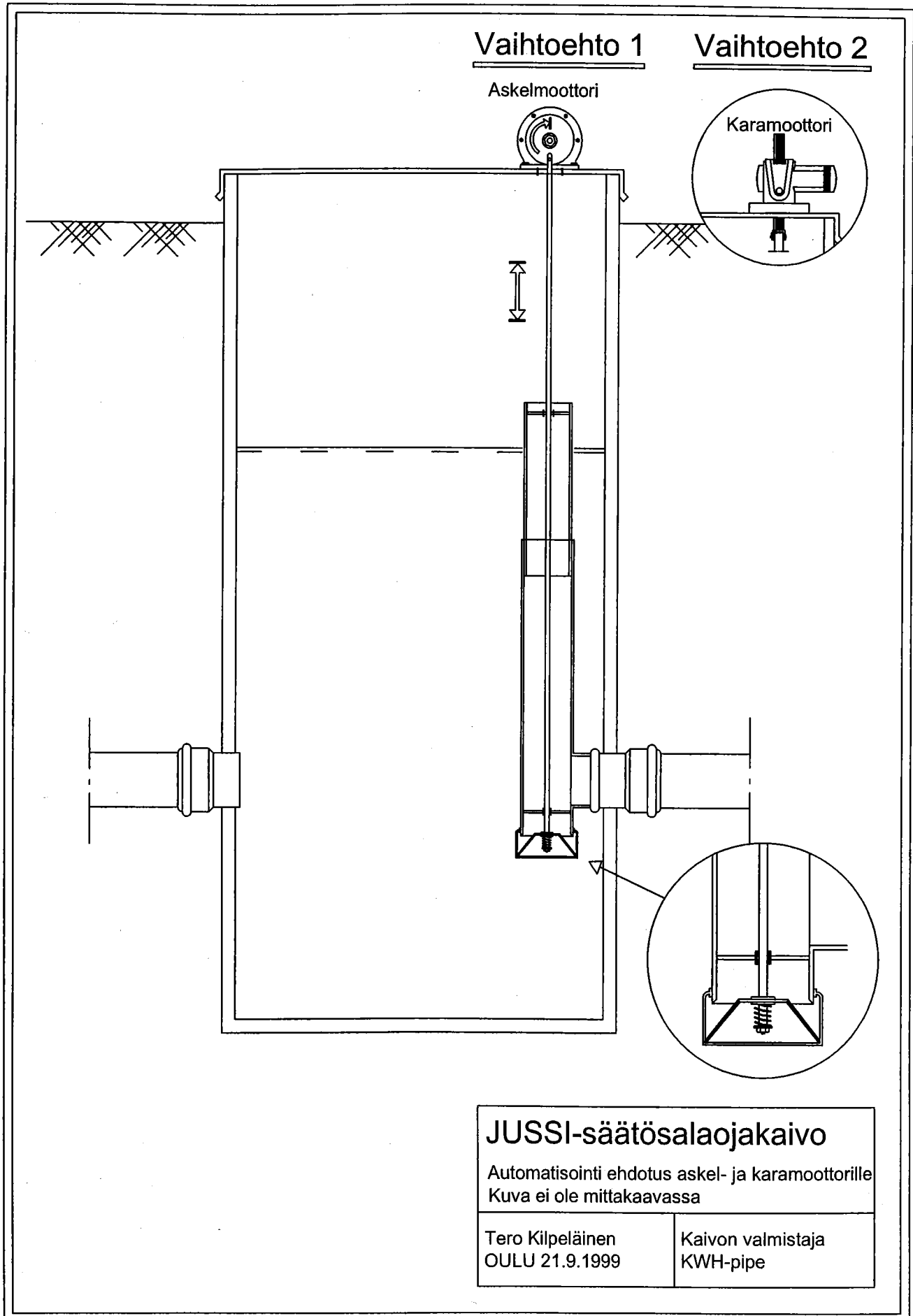
Upotettava sähköventtiili

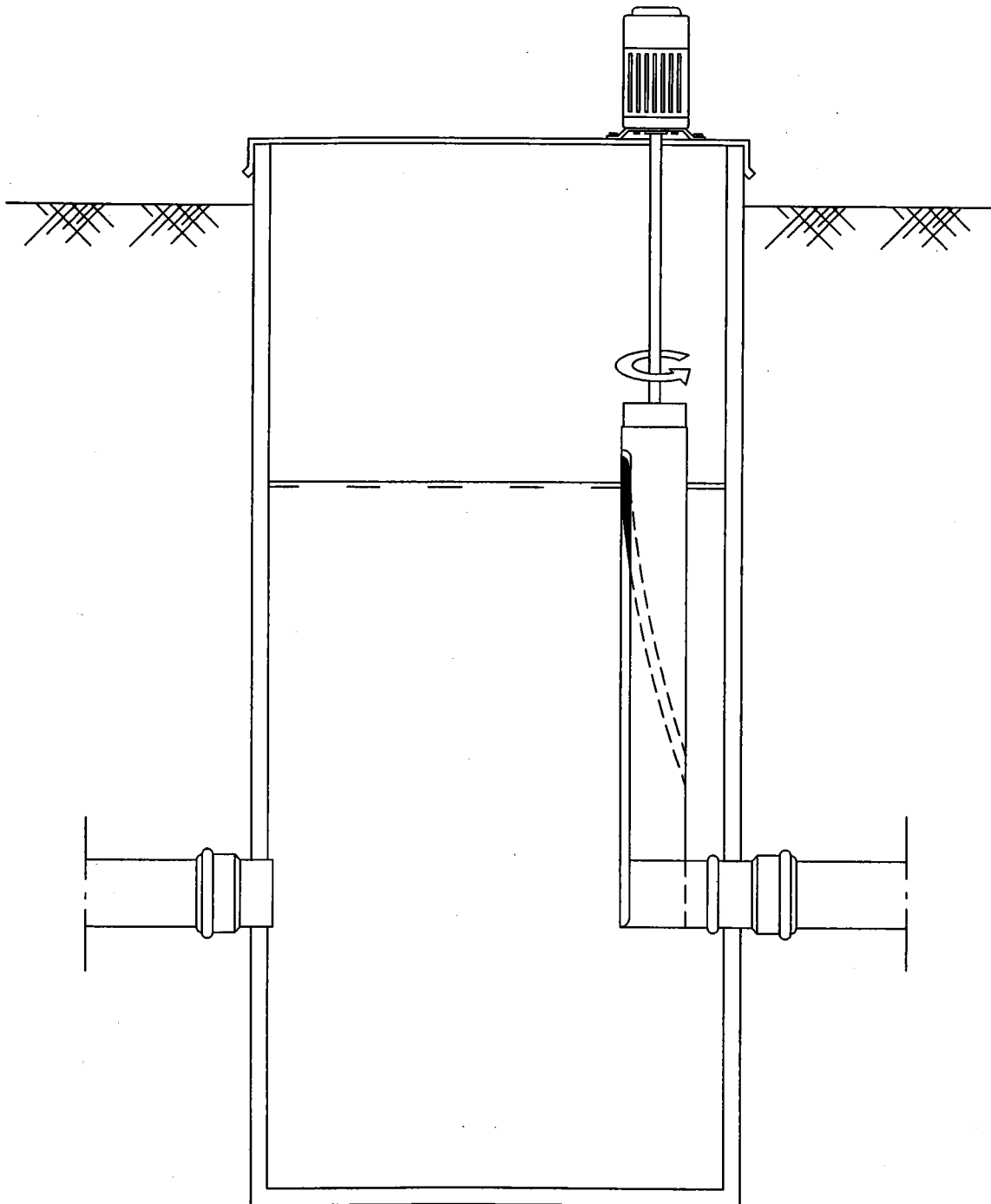
**Säätösala-ojakaivo**

- Upotettava sähköventtiili (1)
- Lämpäventtiili askel- (2), karamoottorin (3) sekä sähkömagneetin (4) käyttämänä

Tero Kilpeläinen  
OULU 21.9.1999

Voidaan asentaa  
kaikkiin kaivoihin





## TWISTER-säätösalaajakaivo

Toimintaperiaatekuva  
Kuva ei ole mittakaavassa

Tero Kilpeläinen  
OULU 21.9.1999

## CR10X Specifications

Electrical specifications are valid over a -25° to +50°C range unless otherwise specified; non-condensing environment required. To maintain electrical specifications, yearly calibrations are recommended.

### PROGRAM EXECUTION RATE

Program is synchronized with real-time up to 64 Hz. One measurement with data transfer is possible at this rate without interruption. Burst measurements are possible at rates up to 750 Hz over short intervals.

### ANALOG INPUTS

**NUMBER OF CHANNELS:** 6 differential or 12 single-ended, individually configured. Channel expansion provided by the AM416 Relay Multiplexer and AM25T Multiplexers.

**ACCURACY:** ±0.1% of FSR; ±0.05% of FSR, (0° to 40°C) (e.g., ±0.1% FSR = ±5.0 mV for ±2500 mV range)

### RANGE AND RESOLUTION:

Full Scale Input Range (mV)	Resolution (µV)	
	Differential	Single-Ended
±2500	333	666
±250	33.3	66.6
±25	3.33	6.66
±7.5	1.00	2.00
±2.5	0.33	0.66

**INPUT SAMPLE RATES:** Includes the measurement time and conversion to engineering units. The fast and slow measurements integrate the signal for 0.25 and 2.72 ms, respectively. Differential measurements incorporate two integrations with reversed input polarities to reduce thermal offset and common mode errors.

Fast single-ended voltage:	2.6 ms
Fast differential voltage:	4.2 ms
Slow single-ended voltage:	5.1 ms
Slow differential voltage:	9.2 ms
Differential with 60 Hz rejection:	25.9 ms
Fast differential thermocouple:	8.6 ms

**INPUT NOISE VOLTAGE (for ±2.5 mV range):**

Fast differential:	0.82 µV RMS
Slow differential:	0.25 µV RMS
Differential with 60 Hz rejection:	0.18 µV RMS

**COMMON MODE RANGE:** ±2.5 V

**DC COMMON MODE REJECTION:** >140 dB

**NORMAL MODE REJECTION:** 70 dB (60 Hz with slow differential measurement)

**INPUT CURRENT:** ±9 nA maximum

**INPUT RESISTANCE:** 20 Gohms typical

### ANALOG OUTPUTS

**DESCRIPTION:** 3 switched, active only during measurement, one at a time.

**RANGE:** ±2.5 V

**RESOLUTION:** 0.67 mV

**ACCURACY:** ±2.5 mV (0° to +40°C);  
±5 mV (-25° to +50°C)

**CURRENT SOURCING:** 25 mA

**CURRENT SINKING:** 25 mA

**FREQUENCY SWEEP FUNCTION:** The switched outputs provide a programmable swept frequency, 0 to 2.5 V square wave for exciting vibrating wire transducers.

### RESISTANCE MEASUREMENTS

**MEASUREMENT TYPES:** The CR10X provides ratiometric bridge measurements of 4- and 6-wire full bridge, and 2-, 3-, and 4-wire half bridges. Precise dual polarity excitation using any of the switched outputs eliminates DC errors. Conductivity measurements use a dual polarity 0.75 ms excitation to minimize ionic depolarization errors.

**ACCURACY:** ±0.02% of FSR plus bridge resistive errors.

### PERIOD AVERAGING MEASUREMENTS

**DEFINITION:** The average period for a single cycle is determined by measuring the duration of a specified number of cycles. Any of the 12 single-ended analog input channels can be used. Signal attenuation and AC coupling is typically required.

**INPUT FREQUENCY RANGE:** Signal centered around ground.

Min volts (peak-peak)	Max. Input Frequency
2 mV	8 kHz
5 mV	20 kHz
12 mV	40 kHz
2000 mV	200 kHz

**RESOLUTION:** 35 ns divided by the number of cycles measured.

**ACCURACY:** ±0.03% of reading.

**TIME REQUIRED FOR MEASUREMENT:** Signal period times the number of cycles measured plus 1.5 cycles + 2 ms.

### PULSE COUNTERS

**NUMBER OF PULSE COUNTER CHANNELS:** 2 eight-bit or 1 sixteen-bit; software selectable.

**MAXIMUM COUNT RATE:** 16 kHz, eight-bit counter; 500 kHz, sixteen-bit counter. Channels are scanned at 8 or 64 Hz (software selectable).

**MODES:** Switch closure, high frequency pulse, and low level AC.

### SWITCH CLOSURE MODE

Minimum Switch Closed Time: 5 ms  
Minimum Switch Open Time: 6 ms  
Maximum Bounce Time: 1 ms open without being counted

### HIGH FREQUENCY PULSE MODE

Minimum Pulse Width: 1 µs  
Maximum Input Frequency: 500 kHz  
Voltage Thresholds: Count upon transition from below 1.5 V to above 3.5 V  
Maximum Input Voltage: ±20 V

### LOW LEVEL AC MODE

(Typical of magnetic pulse flow transducers or other low voltage, sine wave outputs).

Input Hysteresis: 14 mV.

Maximum AC Input Voltage: 20 V.

Min. sine wave rms	Range (Hz)
20 mV	1.0 to 1000
200 mV	0.5 to 10,000
1000 mV	0.3 to 16,000

### DIGITAL I/O PORTS

8 ports, software selectable as binary inputs or control outputs. 3 ports can be configured to count switch closures up to 40 Hz.

**OUTPUT VOLTAGES (no load):** high 5.0 V ±0.1 V; low < 0.1 V

**OUTPUT RESISTANCE:** 500 ohms

**INPUT STATE:** High 3.0 to 5.5 V; low -0.5 to 0.8 V

**INPUT RESISTANCE:** 100 kohms

### SDI-12 INTERFACE STANDARD

**DESCRIPTION:** Digital I/O Ports C1-C3 support SDI-12 asynchronous communication; up to ten SDI-12 sensors can be connected to each port.

### CR10XTCR THERMOCOUPLE REFERENCE

**POLYNOMIAL LINEARIZATION ERROR:** Typically <±0.5°C over -35° to +50°C range and <±0.1°C over -24° to +45°C range.

**INTERCHANGEABILITY ERROR:** Typically <±0.2°C over 0° to +60°C range increasing to ±0.4°C at -35°C.

### EMI and ESD PROTECTION

**EMISSIONS:** Meets or exceeds the following standards:

Radiated: per EN 55022:1987 Class B  
Conducted: per EN 55022:1987 Class B

**IMMUNITY:** Meets or exceeds the following standards:

ESD: per IEC 801-2;1984 8 kV air discharge  
RF: per IEC 801-3;1984 3 V/m, 27-500 MHz  
EFT: per IEC 801-4;1988 1 kV mains, 500 V other

### CE COMPLIANCE (as of 01/98)

**APPLICATION OF COUNCIL DIRECTIVE(S):** 89/336/EEC as amended by 89/336/EEC and 93/68/EEC

**STANDARD(S) TO WHICH CONFORMITY IS DECLARED:**

ENC5022-1: 1995 and ENC50082-1: 1992

### CPU AND INTERFACE

**PROCESSOR:** Hitachi 6303

**PROGRAM STORAGE:** Up to 16K bytes for active program; additional 16K bytes for alternate programs.

**DATA STORAGE:** 128K Flash and 128K SRAM standard. Additional 1 or 2M Flash available as options.

**DISPLAY:** 8-digit LCD (0.5" digits)

**PERIPHERAL INTERFACE:** 9 pin D-type connector for keyboard display, storage module, modem, printer, card storage module, and RS-232 adapter.

**BAUD RATES:** Selectable at 300, 1200, 9600 and 76,800. ASCII communication protocol is one start bit, one stop bit, eight data bits (no parity).

**CLOCK ACCURACY:** ±1 minute per month

### SYSTEM POWER REQUIREMENTS

**VOLTAGE:** 9.6 to 16 V

**TYPICAL CURRENT DRAIN:** 1 mA quiescent, 13 mA during processing, and 46 mA during analog measurement.

**BATTERIES:** Any 12 V battery can be connected as a primary power source. Several power supply options are available from Campbell Scientific. The Model CR2430 lithium battery for clock and SRAM backup has a capacity of 270 mAh.

### PHYSICAL SPECIFICATIONS

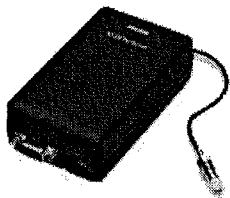
**SIZE:** 7.8" x 3.5" x 1.5" - Measurement & Control Module; 9" x 3.5" x 2.9" - with CR10WP Wiring Panel. Additional room required for connectors.

**WEIGHT:** 2 lbs

### WARRANTY

Three years against defects in materials and workmanship.

## Features of the Cellular Engine Siemens M20 Terminal



cellular  
engine  
M20  
terminal



### GSM Services

- Voice (Full Rate & Enhanced Full Rate)
- SMS
  - MO (TS 22) (Text Mode and PDU Mode)
  - MT (TS 21) (Text Mode and PDU Mode)
  - Cell Broadcast (TS 23)
- Fax Group 3
- Data: 2400/4800/9600 bit/sec (transparent/non-transparent (RLP))
- V.110 ISDN support
- Data compression V.42bis

### Support services

- Calling Line Identification Presentation
- Calling Line Identification Restriction
- Call Forwarding Unconditional
- Call Forwarding on Mobile Subscriber Busy
- Call Forwarding on No Reply
- Call Forwarding on Mobile Subscriber Not Reachable
- Advice of Charge
- Barring of All Outgoing Calls
- Barring of All Outgoing International Calls
- As above, except those directed to the Home PLMN Country
- Barring of all Incoming Calls
- As above, when Roaming outside the Home PLMN Country
- Connected Line Identification Presentation
- Call Waiting
- Call Hold
- Multi Party Service
- Unstructured SS data

### Technical Data

- Dimensions (l x w x h): 107 x 63.5 x 31.3 mm
- Weight: 145g
- Power consumption:
  - Speech Mode
    - < 200mA at 12V
    - < 100mA at 24V
  - Idle Mode
    - < 60mA at 12V
    - < 30mA at 24V
- Temperature range: -20°C to +55°C
- GSM 900 Phase II
- Output power: 2W / Class 4
- Input sensitivity: -108 dBm (typical)
- Full type approval according 'Normal Mobile Station'
- Mounting from top/bottom

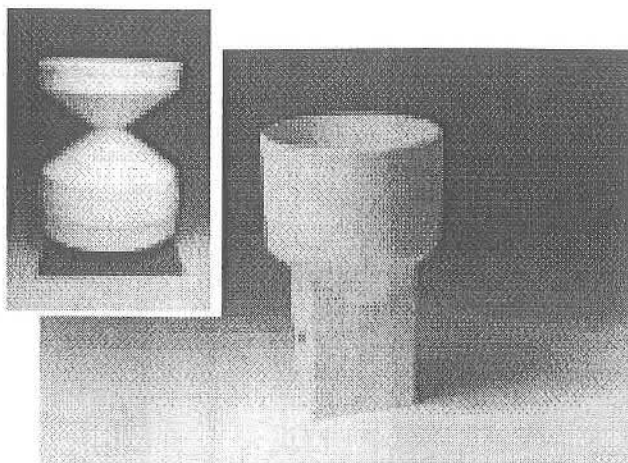
### Interfaces

#### Hardware

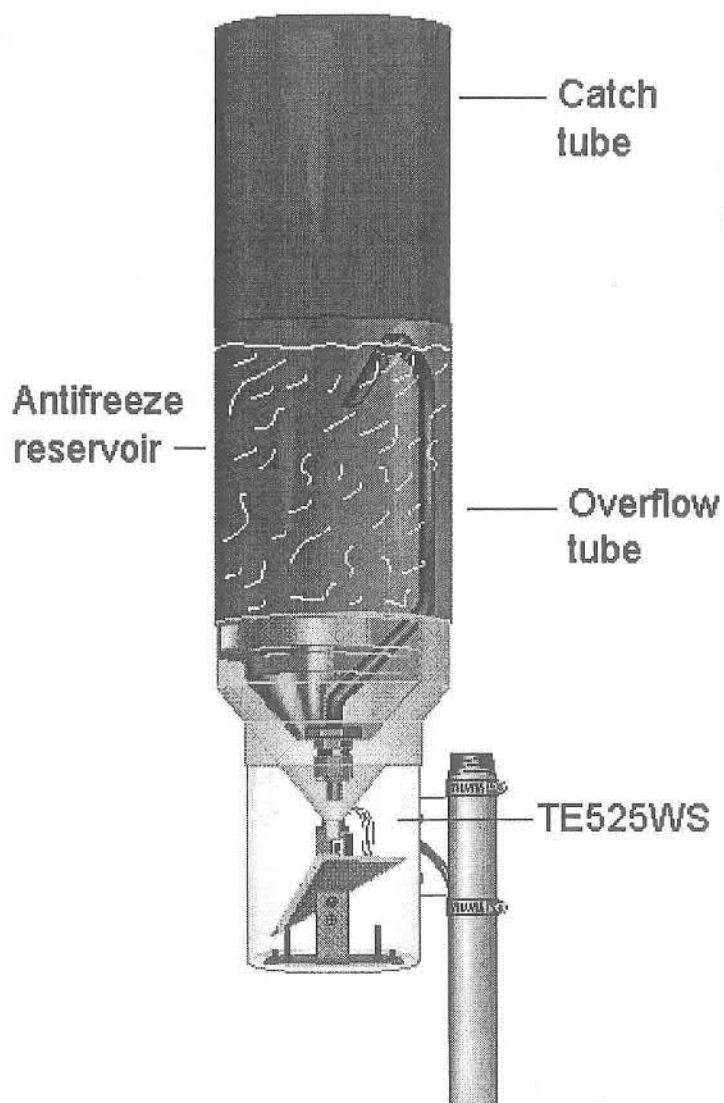
- 6-pin Western-connector:
  - Single input voltage 8 to 28.8V DC
  - Studio audio interface (600 Ohm)
  - Ignition lead
- 9-terminal Sub-D-Socket with V.24/V.28 interface
- 4-pin Western connector with handset audio interface
- FME antenna connector
- Mini-SIM card reader, integrated

#### Software

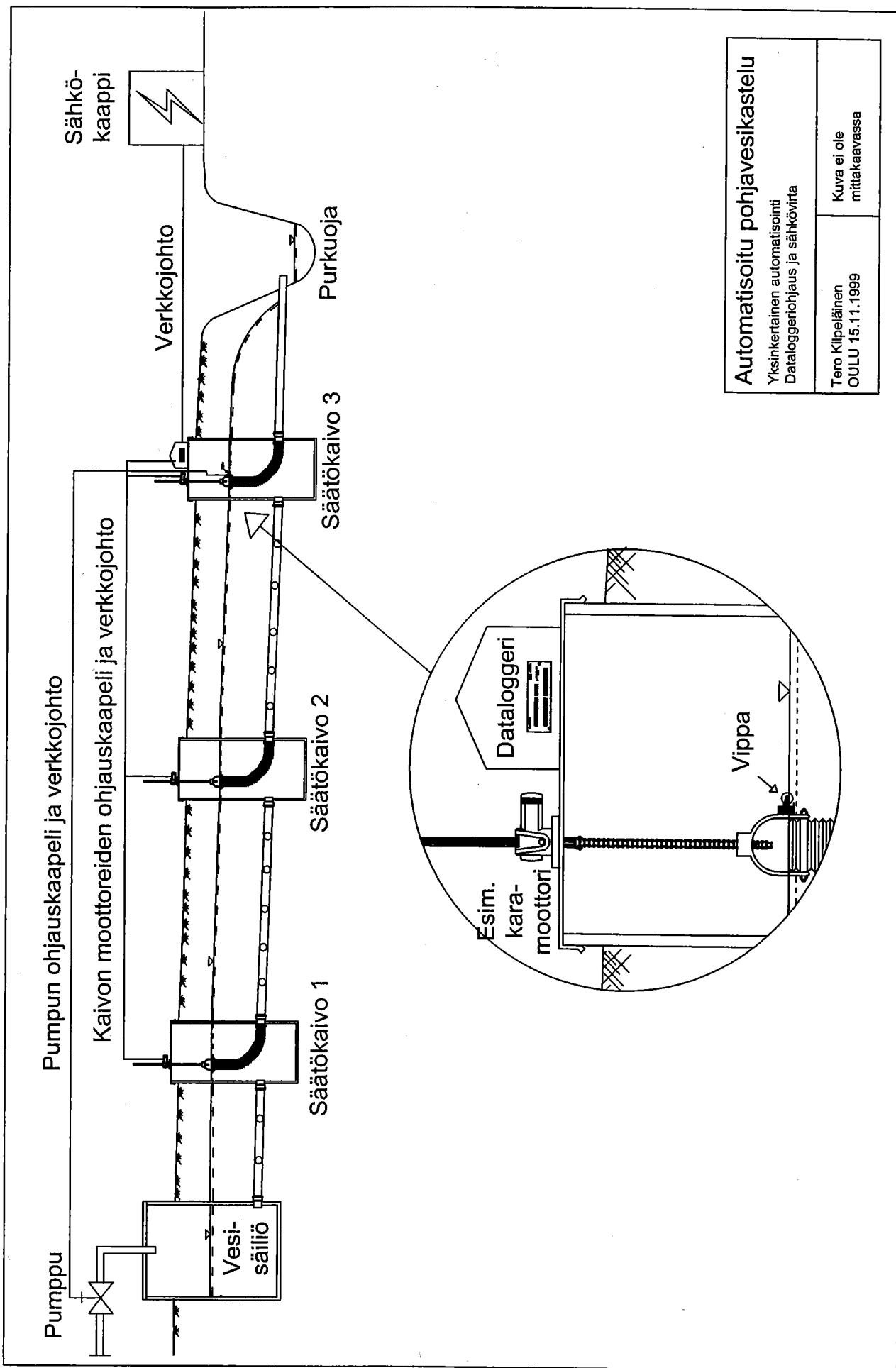
- Software Interface with commands as per AT Hayes and AT Cellular (acc. to GSM 07.07 and GSM 07.05)



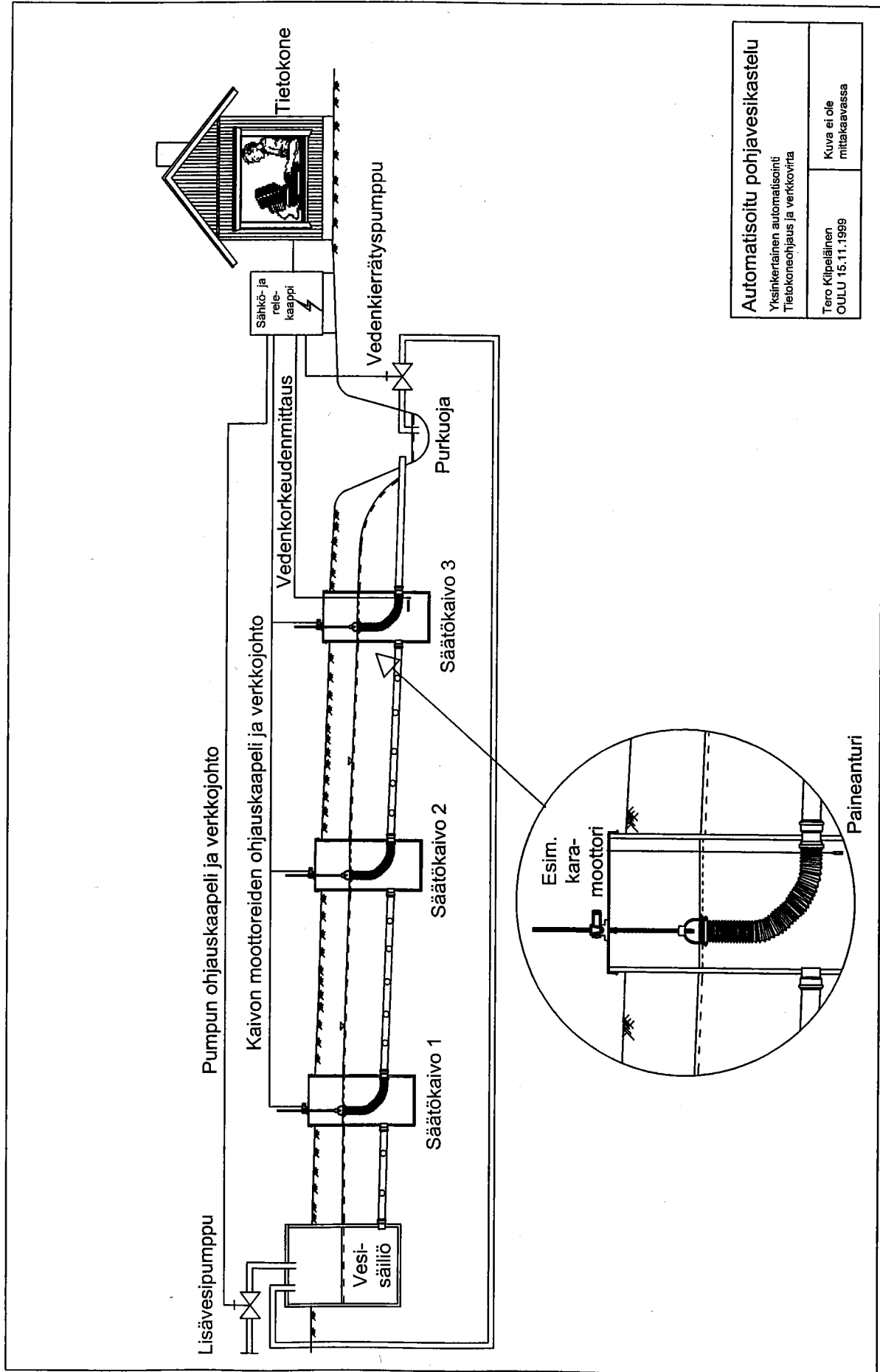
Kuva a) Vaisala QMR101 ja QMR102 sademittarit (Vaisala, 1999).



Kuva b) Texas Electronics TE525WS sademittari varustettuna Campbell Scientific CS705 lumenkeräimellä (Campbell Scientific, 1999).



<b>Automatisoitu pohjavesikastelu</b>	
Yksinkertainen automatisointi Dataloggeriohjaus ja sähkövirta	
Tero Kilpeläinen OULU 15.11.1999	Kuva ei ole mittakaavassa

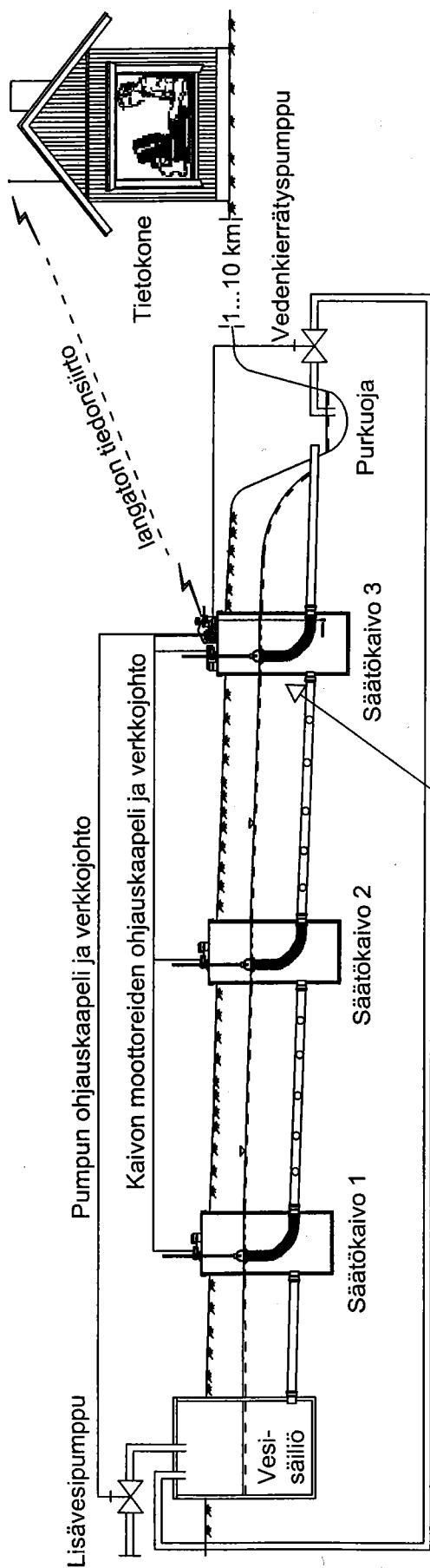


**Automatisoitu pohjavesikastelu**  
 Yksinkertainen automatisointi  
 Tietokoneohjaus ja verkkovirta

Tero Klipeläinen  
 OULU 15.11.1999

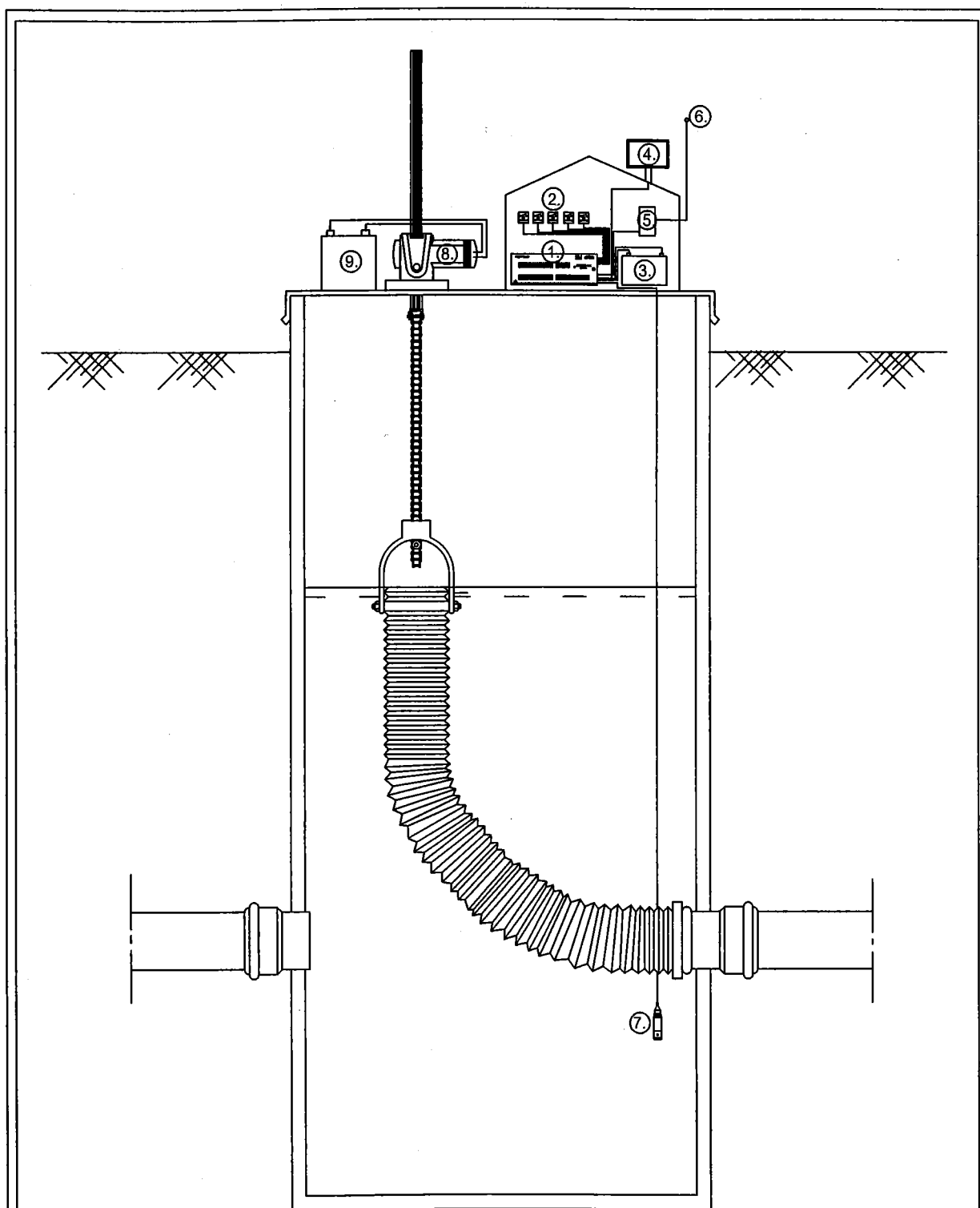
Kuva ei ole  
 mittakaavassa





**Automatisoitu pohjavesikastelu**  
 Täydellinen automatisointi  
 Langaton loggeri- ja tietokoneohjaus

Tero Kilpeläinen OULU 15.11.1999	Kuva ei ole mittakaavassa
-------------------------------------	------------------------------



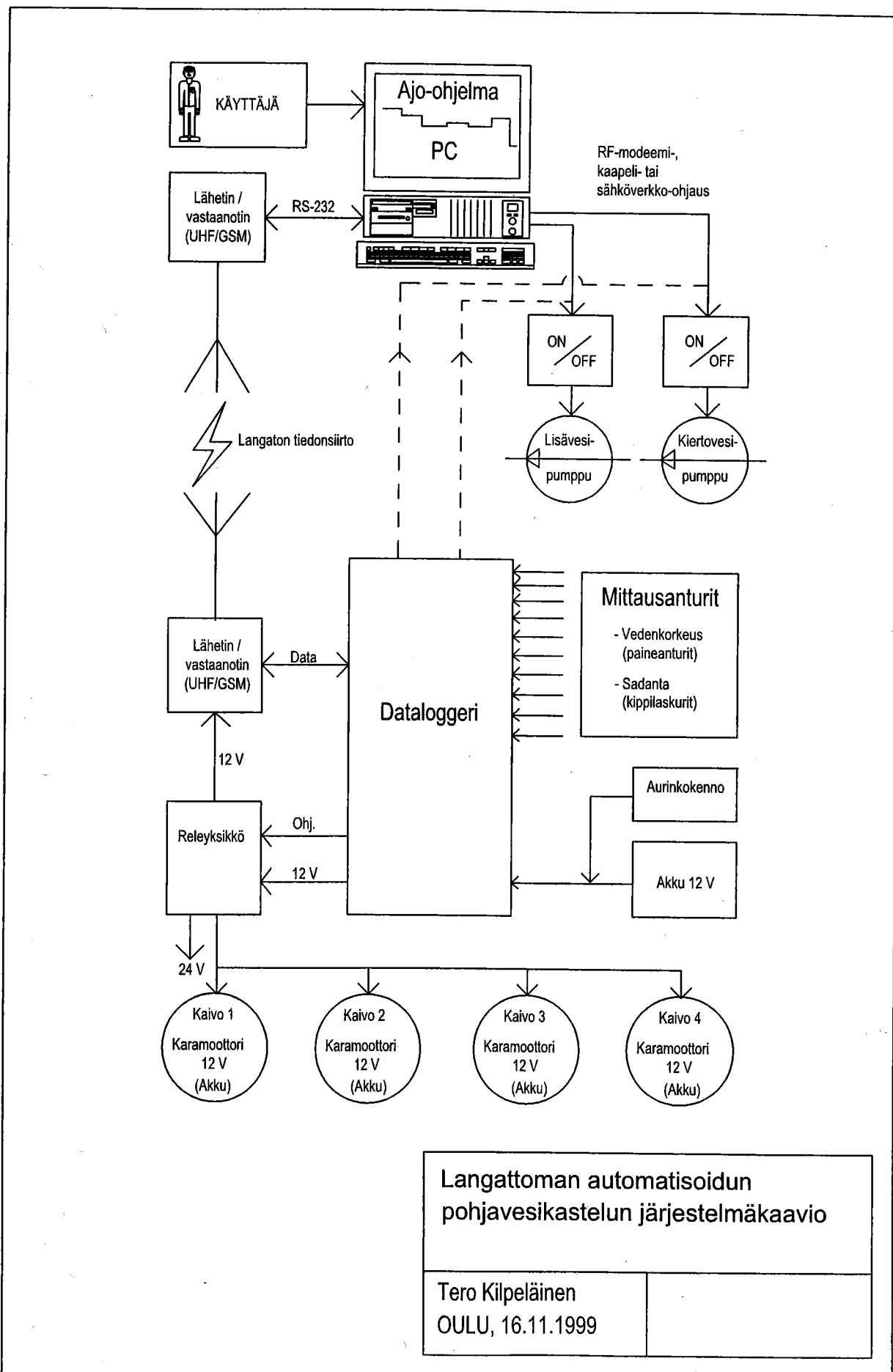
1. Tiedonkeruuyksikkö eli dataloggeri
2. Releet
3. Dataloggerin akku
4. Aurinkokenno
5. Lähetin / vastaanotin
6. Antenni
7. Paineanturi
8. Karamoottori
9. Karamoottorin akku

### VETO-säätösalaojakaivo

Täydellisesti automatisoitu säätökaivo  
 Kuva ei ole mittakaavassa

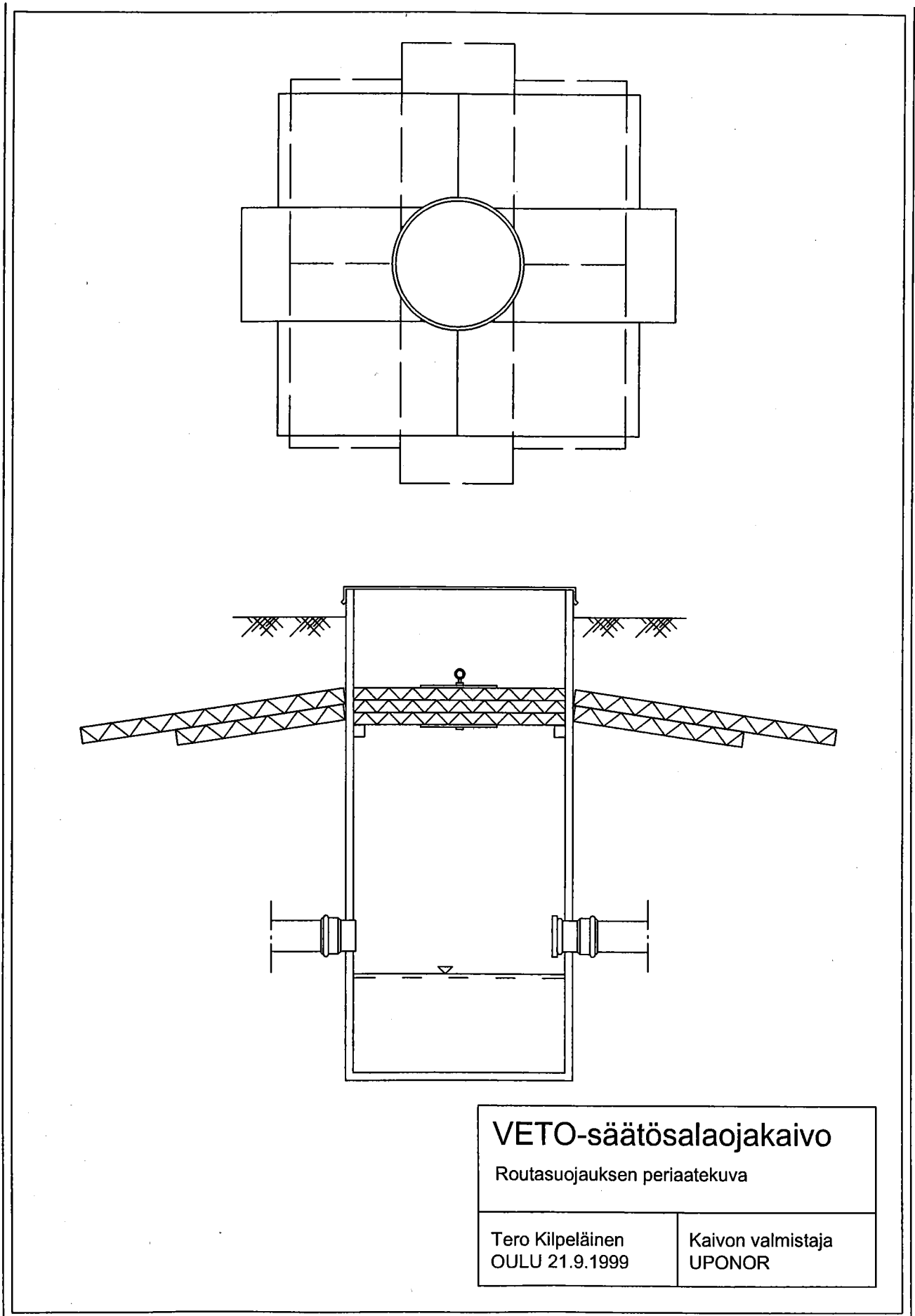
Tero Kilpeläinen  
 OULU 21.9.1999

Kaivon valmistaja  
 UPONOR



Langattoman automatisoidun pohjavesikastelun järjestelmäkaavio

Tero Kilpeläinen  
OULU, 16.11.1999



<p><b>VETO-säätösalojakaivo</b>                  Routasuojauksen periaatekuva</p>	
<p>Tero Kilpeläinen                  OULU 21.9.1999</p>	<p>Kaivon valmistaja                  UPONOR</p>