

SALAOJAJOHTOJEN LIETETUKKEUTUMAILMIÖSTÄ ERITYISESTI  
KESÄLLÄ 1967 JA 1968 MAASOJAN KOEKENTÄLLÄ SUORITET-  
TUIJEN MALLIKOKEIDEN VALOSSA

Eino Wiitalähdet

1971

# S I S Ä L L Y S L U E T T E L O

	Sivu
JOHDANTO	1
1. SALAOJAJOHTOJEN TUKKEUTUMAT	2
1.1 TUKKEUTUMIEN ESIINTYMINEN	2
1.11 Yleistä	2
1.12 Tukkeutumalajien yleisyys	2
1.2 TUKKEUTUMIEN SYNTYYN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	4
1.21 Suunnitteluvirheet	4
1.22 Ojitustyön aikana tehdyt virheet	5
1.23 Huonojen tai sopimattomien salaojajohto-	
jen käyttämisestä johtuvat tukkeutum	7
1.24 Maaperästä johtuvat tukkeutum	8
1.25 Juurien aiheuttamat tukkeutum	11
1.26 Hyytelötukkeutum	12
1.27 Kunnossapidon laiminlyönnistä johtuvat	
tukkeutum	12
1.28 Salaojitetun maan käytössä tehtyjen	
muutosten aiheuttamat tukkeutum	13
2. LIETETUKKEUTUMAN ANALYYSI	14
2.1 SALAOJALIETTEEN KOOSTUMUKSESTA	14
2.2 LIETETUKKEUTUMAN ENNALTA EHKÄISY SUOJUSSORAA	
KÄYTTÄEN	16
2.21 Suojussoran merkitys ja laatu	16
2.22 Suojussorassa tapahtuvat muutokset	19
2.23 Suojussoran ja saumaraon vedenläpäisy	20
2.3 LIETTEEN KULKEUTUMISESTA SALAOJAJOHDOSSA	22
2.31 Maahiukkanen virtaavassa vedessä	23
3. MALLIKOKEET MAASOJAN KOEKENTÄLLÄ KESÄLLÄ 1967 JA	
1968.	31
3.1 KOEJÄSENET	31
3.11 Muoviset salaojaputket	31
3.12 Tiiliputket	32

3.13	Vedennopeudet	33
3.14	Kaltevuudet	34
3.15	Maalajitteet	35
3.2	KOEJÄRJESTELYT	35
3.21	Kokeiden suorituspaikka	35
3.22	Kokeissa käytetty välineistö	37
3.3	KOKEIDEN SUORITUS	44
3.31	Vedennopeuden määrittäminen	44
3.32	Liettämiskokeet	53
4.	YHTEENVETO	70
5.	KIRJALLISUUTTA	72

## J O H D A N T O

Suomessa on salaojajohtojen lietetukkeutumiin alettu kiinnittää vakavaa huomiota jo 1930-luvulla. Niinpä valtion tuen saannin ehdoksi tuli putkiston suojaaminen suodatinsoralla (JUUSELA, 1958).

Jos maa-ainesta kuitenkin pääsee veden mukana tunkeutumaan putkeen, voi se joko kulkeutua sieltä pois tai sedimentoitua sinne pysyvästi. Maahiukkasia kuljettavista vedennopeuksista samoinkuin salaojajohdossa tapahtuvista lieteaineksen käyttäytymisilmiöistä yleensä on mm. Suomessa ja Ruotsissa tehty joitain selvityksiä (WÄRE, 1948; GUSTAFSSON, 1938).

Seuraavassa esiteltävässä työssä on selostettu eräitä kesällä 1967 ja 1968 maataloushallituksen maa- ja vesiteknillisessä tutkimustoimistossa salaojituskoetoiminnan johtajan E.A.PÄLIKÖN valvonnassa suoritettuja mallikokeita. Nekoehdistuivat liettyimisilmiöön: 1) aallotetussa muoviputkisalaojassa, 2) normin täyttävästä tiiliputkesta tehdyssä salaojassa sekä 3) pään sisäsärmältään puhdistamattomasta eli ns. raasteellisesta tiiliputkesta tehdyssä salaojassa.

Kokeissa käytetty välineistö on esitetty pääasiassa valokuvasarjana ja kaaviopiirroksena. Niin ikään tulokset on helposti yleiskatsauksen saamiseksi esitetty piirroksina. Taulukot on otettu mukaan lukuaineiston saamiseksi. Niillä saattaa olla yleisempääkin mielenkiintoa.

# 1. SALAOJAJOHTOJEN TUKKEUTUMAT

## 1.1 TUKKEUTUMIEN ESIINTYMINEN

### 1.11 Yleistä

Salaojituksen taloudellinen tulos on suuressa määrin riippuvainen ojituksen kestoajasta. Tämä johtuu siitä, että salaojituksen perustamiskustannukset ovat suhteellisen korkeat. Niin ikään voidaan todeta, että koko salaojitetulta alueelta saadaan suurin mahdollinen hyöty mikäli salaojituksen toiminta kauttaaltaan on häiriötöntä. Saadun selvityksen mukaan yleisin syy häiriötilan syntyyn salaojaputkistossa on tukkeutumien muodostuminen. Sen aiheuttaa tavallisesti joko putkistoon päässyt ja sinne kasautunut maa-aines tai muu materiaali. Tukkeutuma hidastaa ajan oloon veden virtausta putkessa tai pysäyttää sen kokonaan (HALONEN, 1956).

Salaojaputkiston jonkin kohdan täydellinen tukkeutuminen ilmenee tavallisesti paikallisena märkyytenä, joskus jopa lähdemäisen silmäkkeen muodostumisena pellolla. Tällöin vika on helppo paikallistaa ja korjata. Sen sijaan putkiston tai sen jonkin kohdan osittainen tukkeutuminen aiheuttaa yleensä piilevän haitan. Se ilmenee vajaatehoisesti toimivan salaojituksen aiheuttamana pellolle pääsyn viivästyksenä keväällä ja vastaavasti syksyllä pellon pinnan kantavuuden heikentymisenä normaalia aikaisemmin. Näitä ilmiöitä on käytännössä usein vaikea kytkeä ojituksen alentuneen kuivatustehon kanssa, koska ojaston laskuaukosta saattaa keväällä ja syksyllä purkautua vettä ja asiat näyttävät siltä osin olevan kunnossa.

### 1.12 Tukkeutumalajien yleisyys

Missä määrin tiiliputkiojituksissa esiintyy tukkeutumia ja toimintahäiriöitä yleensä, kävi ilmi maataloushallituksen maa- ja vesitekniil-

lisen tutkimustoimiston vuonna 1955 suorittamassa selvityksessä (HALONEN, 1956). Mainitun selvityksen yhteydessä lähetettiin 1585 kyselyä. Ne osoitettiin eri lääneissä niille alueille, missä oli pääosa läänin tiiliputkisalaojituksista. Vastauksia saatiin kaikkiaan 854 eli 55 % kyselyjen määrästä. Vastauksien perusteella johtopäätöksiä tehtäessä on syytä olettaa, että kyselyyn vastasivat ilmeisesti miltei kaikki ne viljelijät, jotka olivat salaojissaan havainneet toimintahäiriöitä tai korjanneet vikoja. Toisaalta taas vastaamatta jättäneistä lienee suurin osa ollut viljelijöitä, joiden salaojat ovat toimineet moitteettomasti. Selvittelyn tuloksia esitetään taulukossa 1.

Tukkeutumalaji	Lukumäärä	% vastan- neista	% tukkeu- tuneista	% selvitetystä tukkeutumista
Juuritukkeutuma	17	2,0	13,3	23,6
Lietetukkeutuma	37	4,3	29,4	51,4
Ruostetukkeutuma	11	1,3	8,6	15,3
Jäätulppatukkeutuma	3	0,4	2,3	4,2
Putkirikkotukkeutuma	4	0,5	3,1	5,5
				100,0
Tukkeutumien syy sel- vittämättä	55	6,4	43,3	
Tukkeutumia yhteensä	127	14,9	100,0	
Tukkeutumia ei esiintynyt	727	85,1		
Vastauksia yhteensä	854	100,0		

Taulukko 1. Tiiliputkisalaojituksissa esiintyneiden tukkeutumien jakaantuminen lajeittain.

Tukkeutumia, joiden syy selvitettiin avaamalla oja, oli kaikkiaan 72 tapausta eli 8,5 % vastauksien lukumäärästä. Tämän lisäksi epäiltiin tukkeutumaa 55 tapauksessa eli 6,4 % vastauksien määrästä.

Jos tarkastellaan kysymystä erityisesti liettymätukkeutumien kohdalla havaitaan varmuudella todettujen lietetukkeutumien osuuden olleen

4,3 % kaikista tiedusteluun vastanneiden määräst. Mikäli tämä osuus lasketaan selvitettyjen ja selvittämättä jääneiden tukkeutumien yhteismäärästä, niin liettymätukkeutumia oli niistä 29,4 % ja yksinomaan selvitettyjen tukkeutumien määräst. vastaavasti yli puolet eli 51,4 %.

## 1.2 TUKKEUTUMIEN SYNTYYN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

### 1.21 S u u n n i t t e l u v i r h e e t

Yleisimpänä suunnitteluvirheenä on pidetty sitä, ettei ole kiinnitetty tarpeeksi huomiota salaojan kaltevuuden muutoksiin (KESO, 1951). Kun ojan yläpäässä on suurempi kaltevuus kuin alapäässä eikä taitekohdassa putkikokoa suurenneta, pienenee veden virtausnopeus putkessa. Veden mukana kulkeutunut liete kerrostuu salaojan alapäähän, joka vähitellen tukkeutuu.

Liian lähelle puu- tai pensasrivistöä taikka liian matalaan suunniteltu salaojitus joutuu helposti epäkuntoon. Kasvien juuret voivat tunkeutua saumarakojen kautta putkiin.

Putket voivat myös jäätyä ja särkyä. Tällaisia putkien jäätymisestä ja särkymisestä johtuneita tukkeutumia ilmeni em. tutkimuksessa neljässä tapauksessa: parissa tapauksessa oli laskuaukon lähellä jäänyt muutamia putkia ja näiden rikkoutuminen ja paikoiltaan siirtyminen aiheutti tukkeutuman kokoojaojan alapäässä. Yhdessä tapauksessa todettiin kokoojaojassa useita rikkijäätyneitä putkia. Ojan kaltevuus oli erittäin pieni ja syvyys vain 60-80 cm, kun taas toisessa tapauksessa talvitien sijainti useampana vuonna salaojan päällä oli ollut syynä muutamien putkien rikkoutumiin ja ojan tukkeutumiseen. On siis välttämätöntä, että salaojitus suunnitellaan riittävän syväksi ja ennalta tiedetyt talvitien kohdat ojassa suojataan lämpöeristeellä.

## 1.22 O j i t u s t y ö n a i k a n a t e h d y t v i r h e e t

Ojitustyön aikana tehdyt virheet ilmenevät myöhemmin varsin usein putkiston liettymisenä. Tavallisimmat työvirheet ovat ojanpohjan huono tasointa ja puhdistus sekä huolimaton putkien asettelu. Pohjan tulee ennen putkien asettelua olla tarkoin tähtäyslinjan mukaisesti viettävä. Putkien päiden väliin jäävä saumarako ei saisi olla 1-1,5 mm suurempi (KESO, 1951).

Edellä mainitut seikat ovat erityisen ajankohtaisia suunniteltaessa koneellistettua salaojitusta. Kysymykseen siitä, kuinka koneellisessa putkenlaskussa mahdollisesti syntyvät pienet epätarkkuudet saattavat vaikuttaa salaojien kunnossapysymiseen, antaa lisävalaistusta vanhoihin salaojituksiin kohdistunut tutkimus, jossa selviteltiin putkiston liettymisen riippuvuutta paitsi pohjan epätasaisuudesta myös sen yleiskaltevuudesta (SEPPÄLÄ, 1958).

Selvittelyn yhteydessä tutkittujen salaojien tiiliputkikoko oli 40 mm (4 tapausta) ja 50 mm (2 tapausta). Ojanpohja vaa'itettiin putkien päältä. Mittausmenettely oli sama kuin normaalistikin putkenlaskutyön laatua tarkastettaessa. Vaa'ituksen jälkeen putket otettiin ylös ja niissä olevan lietteen paksuus mitattiin. Sitä ennen mitattiin kuitenkin saumarakojen suuruus, jotta myös saumaraon suuruuden mahdollinen vaikutus liettymiseen olisi saatu selvitettyksi.

Putkiston liettymistä havaittiin viidessä tapauksessa kuudesta. Kaksi tapauksista oli rautasakkautuman aiheuttamaa kun sensijaan kolmessa tapauksessa liete oli lähtöisin maaperästä tai putkistoa peittävästä suojuksorasta. Taulukossa 2. esitetään k.o. selvityksessä saatuja tuloksia.



Tutkimuskondan tunnusnumero	maalaji	Suojussoran laatu	Putkien laatu	Ojituksen ikä v	Vaa'ittu pi- tuus m	Tarkastettu pituus m	Putous- eli kaltevuus %	Pohjan tasai- suuden virhe	Pohjan epätä- saisuus mm ≥ 10 mm	Lietevahvuus putkessa mm	
1	AS	-	ty	4	49	13	0,48	1,9	-	-	-
2	AS	-	-	25	66	64	0,90	6,8	18	33 <sup>x</sup>	2-27
3	tHsS	hy	hy	19	66	66	0,50	5,5	12-14	10	0-3
4a	tHsS	hu	hu	18	53	53	0,46	4,2	10	13	0-3
4b	tHsS	-	-		51	51	0,40	6,0	-	8	0-5
5	HsS	ty	hy	26	50	44	2,20	12,9	12	18 <sup>x</sup>	5-12
6a	AS	-	ty	n.100	55	55	0,14	3,9	10-28	48	30-40
6b	AS	-			57	57	0,24	5,4	10-16	45	30-40

<sup>x</sup>rautasakkautumia

Taulukko 2. Eräiden tekijöiden vaikutus salaojaputkiston lietty-  
miseen.

Kiistatonta syy-yhteyttä ei voida havaita pohjan epätasaisuuden ja liettymisen välillä, sillä varsinaiset kuopat tai pienet vastamäet putkistossa eivät näytä olleen sen arempia liettymiselle kuin muut-  
kaan osat putkistossa. Tämä siitä huolimatta, vaikka pohjan tasai-  
suuden virhe tutkimuksen mukaan oli 2-13 cm ja tavallisesti  $\pm$  5,5 cm.

Suurimmat saumaraot (5-7 mm) olivat tutkimuskohdassa 6. Tutkimus-  
kohdassa 5. esiintyi 2-8 mm:n lohkeutumia putkien päissä. Muissa  
tutkimuskohdissa olivat saumaraot 2 mm tai sitä pienempiä. Tutkimus  
ei osoittanut selvää vuorosuhdetta sauman suuruuden ja liettymisen  
välillä. Saumanraot eivät osoittautuneet vaarallisiksi liettyimiä  
ajatellen ainakaan silloin, kun kunnollista soraa oli käytetty put-  
kien suojusaineena. Kun kunnollisesti sorastetuissa putkistoissa  
tavattiin liettyimiä, niin pahimmat niistä olivat rautasakkautumien  
aiheuttamia.

Vaikka edellä selostetun tutkimuksen tulokset eivät annakaan ehdottoman selvää vastausta salaojan pohjan epätasaisuuden vaikutuksesta putkien liettymiseen, voitaneen niiden perusteella kuitenkin olettaa, että pohjan tarkkuusvaatimuksista saataisiin nykyisestään tinkiä.

Edellä mainitussa tutkimuksessa ilmeni niin ikään, että kahden liettymätapauksen kohdalla osasyyllisenä liettymään oli suojussora. Toisessa tapauksista jopa 80 % lieteaineesta arvioitiin olleen alunperin suojussoran hienoa ainesta. Heikkolaatuisen soran käyttö suojussorana onkin eräs niistä virheistä, joita salaojitettaessa saatetaan tehdä.

Suojussoraksi suositellaan tasasuhteista seosta, jossa raekoot ovat 0,5-3 mm. Sen tulisi siis olla pääosaltaan karkeaa hiekkaa. Suojussorassa ei saisi olla hietaa eikä muita hienompia maalajitteita, koska niiden on todettu tunkeutuvan helposti veden mukana putkiin (HUIKARI, MUOTIALA, WÄRE, 1964).

### 1.23 Huonojen tai sopimattomien salaojajohtojen käyttämisestä johtuvat tukkeutumat

Poltettua savea oleva tiiliputki on Euroopassa edelleenkin yleisin salaojajohtomateriaali. Sen on todettu pysyvän maassa täysin muuttumattomana läpi vuosikymmenien (MAASILTA, 1963).

Suomessa alkoi tiiliputkien käyttö salaojituksissa 1800-luvun puolivälissä. Tutkittaessa näitä jo yli 100 vuotta vanhoja salaojituksia ovat niissä käytetyt putket säilyneet ihmeteltävän muuttumattomina.

Poltetusta savesta tehty salaojaputki on todettu erittäin kestäväksi erilaisessa maaperässä kaikkialla maailmassa. Samaa ei voida sanoa esimerkiksi betoniputkista. Happamissa maissa betoniputket rapautuvat melko pian pohjavedessä olevan vapaan hiilidioksiidin vaikutuksesta. Emäksisessä maaperässä betoniputkien on sensijaan todettu kestävän hyvin (MAASILTA, 1963).

Muovisten salaojaputkien kestävyyttä maassa voidaan verrata tiili-putkien kestävyYTEEN. Tiettyjen muovilaatujen käytöstä kemian teollisuudessa saatujen kokemusten perusteella on ilmeistä, etteivät liioin maakemikaaliot pysty syövyttämään PVC- tai PE-muoviputkia, ellei putkien valmistuksessa käytetä sopimattomia lisäaineita (HUIKARI, MUOTIALA, WÄRE, 1964). Muovisalaojaputkien valmistuksen alkuaikoina kustannusten pienentämiseksi raaka-aineeseen sekoitettiin täyteaineeksi talkkia t.m.s. Ainakaan Suomessa ei tällainen menettely nykyisin ole sallittua, mikäli valmistaja markkinoi putket "RIL-68" normit täyttävinä.

#### 1.24 M a a p e r ä s t ä j o h t u v a t t u k k e u t u m a t

Toimintahäiriöt salaojissa tulevat korostuneesti esille, jos salaojituksen suunnittelussa ja toteutuksessa sattuneiden virheiden lisäksi itse maaperä on altis liettymien aiheuttaja ts. jos se sisältää runsaasti hiesu- ja hietalajitteita tai rautayhdisteitä.

Kokemus on osoittanut, että ilmeinen salaojaputkiston liettymisvaara on olemassa suhteellisen löyhärakenteisissa ja verraten puhtaissa hiesu-, hieta- ja hienohiekkamaissa. Jos ko. maat ovat lisäksi lähteellisiä, on liettymisvaara erityisen suuri (KESO, 1951).

Lietetukkeutumien syntymistä putkistoon voidaan tällaisilla mailla ennalta pyrkiä ehkäisemään käyttämällä muojissa tavallista suurempia kaltevuuksia, jolloin vedennopeus putkessa vastaavasti lisääntyy. Mainittakoon, että suosituksen mukaan ko. tapauksissa minikaltevuus on 0,5 %, kun se normaalitapauksissa on 0,3 %. Niin ikään on hiesu- ja hietamaissa, varsinkin jos pohjavesi on alueella korkealla, käytettävä putkiston päällä enemmän suojuksoraa kuin normaalisti. Sitä on oltava vähintään 5 cm:n kerros. Suositeltavaa on eräissä tapauksissa myös suodatinsoran käyttö putkiston alla. Tällaisia tapauksia esiintyy erityisesti paineellisen pohjaveden alueilla. Putkien asettelu mahdollisimman huolellisesti ojan pohjalle or myös eräs ennaltaehkäisykeino liettymistä vastaan (HUIKARI, MUOTIALA, WÄRE, 1964).

Aikaisemmin selostetun maataloushallituksessa tehdyn tukkeutumaa-

selvityksen mukaan lähteet tai lähdemäiset silmäkkeet olivat liete-  
tukkeutuman aiheuttajana kahdeksassa tapauksessa. Lisäksi kolmessa  
tapauksessa tätä epäiltiin syyksi tukkeutumaan. Huonot ojituksen  
toteuttamisolosuhteet, maalaji ja huolimaton ojitustyö olivat olleet  
liettymisen syynä 11 tapauksessa. Näistä huonot toteuttamisolosuhteet  
ja maalaji ovat suoraan maaperästä johtuvia. Niin ikään myös  
huolimaton työ ilmenee parhaiten juuri liettymiselle herkissä maissa.  
Mainittakoon, että useimmat hayaitut lietetukkeutumukset ovat olleet  
ojastoissa, jotka on tehty 1920- ja 1930-luvuilla (HALONEN, 1956).

Ruosteen aiheuttamia tukkeutumia todettiin 11 tapauksessa. Lisäksi  
yhdessä tapauksessa epäiltiin ruosteen aiheuttaneen tukkeutuman.  
Todetuista tapauksista viisi oli paikallisten lähteitten aiheutta-  
mia. Kuudessa tapauksessa ruosteen esiintyminen oli ollut yleistä  
koko ojituslohkolla.

Lähteellisten alueiden ruostetukkeutumukset ovat yleensä paikallisia  
ja ne saadaan tavallisesti kuntoon kertakorjauksella. Jos ruosteen  
esiintyminen on yleistä koko ojituslohkolla, voi ojasto menettää  
toimintakykynsä uudelleen kunnostuksen jälkeenkin. Tiedetään tapauk-  
sia, joissa on jouduttu suorittamaan korjauksia ja puhdistuksia  
jopa 3-5 vuoden väliajoin (HALONEN, 1956).

Salaojan toimintahäiriön voi aiheuttaa joko itse putkeen muodostu-  
nut hyttelömäinen rautasakkautuma tai putkisaumoihin kertynyt kiin-  
teä saostuma. Jos saostuma iskostuu saumoihin, voi veden pääsy put-  
kiin oleellisesti huonontua ja ojituksen kuivatusteho näin jatku-  
vasti vähentyä.

Tutkittaessa salaojan pohjan epätasaisuuksien vaikutusta putkien  
liettymiseen todettiin rautasakkautumaa kahdessa tapauksessa kuu-  
desta (SEPPÄLÄ, 1958). Huolimatta kohteiden vähäisestä lukumäärästä  
ilmeni tutkimuksessa kuitenkin rautasakkautumien osalta muutamia  
kiinnostavia seikkoja. Molemmista tapauksista oli näet rautasakka-  
kasautuma asettunut putkisaumojen kohdalle siten, että kasautuma  
ulottui saumasta alavirtaan päin noin 5 cm matkalla. Muuten putket

olivat rautasakan peitossa tasaisesti 1-3 mm paksuudelta. Sakka-kasautuman suurin korkeus putkisauman kohdalla pienemmän putousprosentin omaavassa salaojassa oli 33 mm. Suuremman putousprosentin omaavassa ojassa ilmiö esiintyi jonkin verran matalampana.

Rautasakkautuneissa salaojissa oli kummassakin varsin suuri kaltevuus, toisessa 0,90 % ja toisessa peräti 2,20 %. Kuten kaltevuusprosentit osoittavat, oli niillä keskenään erittäin tuntuva kaltevuusero. Merkille pantavaa on erityisesti se, että näin suuresta kaltevuuserosta huolimatta rautasakkaesiintymä oli saman tyyppinen. Salaojan kaltevuuden lisäys ei siis tämän mukaan näytä sanottavasti vähentävän rautasaostumien syntymistä.

Rautasaostuma muodostuu sekä biologisesti että kemiallisesti. Biologinen raudan saostuminen perustuu lähinnä rautabakteerien raudan hapettuessa vapautuvan energian hyväksikäyttöön. Kemiallinen raudan saostuminen tapahtuu sensijaan joko ilman hapen tai riittävän korkean pH:n vaikutuksesta ferrihydroksidiksi. Rauta voi myös muodostaa kompleksiyhdisteitä humuksen, piihapon ja alumiinin kanssa (PUUST-JÄRVI, 1953).

Salaojaputkissa tavatut sekä biologisesti että kemiallisesti syntyneet rautasakkautumat sisältävät 30-40 % rautaa, 40-50 % orgaanista ainesta ja 20 % epäorgaanista ainesta. Saostunut rauta on jopa 80 %:iin saakka biologisesti saostettua. Putkissa tavatut humuksen ja raudan yhdisteet voivat syntyä vain bakteerien välityksellä. Kemiallista raudan saostumista putkistossa edistää voimakkaasti rautapitoisen pohjaveden vedenkorkeuden vaihtelu (MUTH, 1962).

Varsin yleinen käsitys on se, että rautasakka- eli ruostetukkeutumien syntymistä voidaan hillitä tai estää n.s. vedenalaisella ojituksella. Putkisto on tällöin jatkuvasti veden täyttämä ja happitilanne huonompi kuin jos putkistoon pääsisi vapaasti happirikasta ilmaa. Kemiallisesti tapahtuvaa raudan sakkautumista voidaan jossain määrin torjua myös levittämällä kalkkia sekä putkiston alle että suodatinkerroksen päälle yhteensä n. 5 kg/m. Kalkituksen tarkoituk-

senä on saostaa rauta ennen veden joutumista putkistoon. Biologisesti tapahtuvaa raudan sakkautumista yritetään torjua ojaan pantavalla kuparilangalla tai -paloilla, joista liukeneva kupari estää bakteeritoimintaa (HUIKARI, MUOTIALA, WÄRE, 1964).

## 1.25 Juurien aiheuttamat tukkeutumat

Kasvien juurien tunkeutumisen putkistoon on todettu liettymisen jälkeen olleen toiseksi yleisimmän syyn salaojissa tapahtuneisiin tukkeutumisiin (HALONEN, 1956). Juuritukkeutumia todettiin maataloushallituksen selvityksen mukaan 23,6 % kaikista tutkituista tukkeutumisista. Selvityksen perusteella näyttävät salaojituksen kannalta vahingollisimmat kasvit olevan paju ja puutarhoissa marjapensaat ja omenapuut. Salaojan lähellä kasvanut pajupensas oli täyttänyt juuristollaan putket viidessä tapauksessa. Näistä neljä tukkeutumaa oli ollut kokoojaojassa lähellä laskuaukkoa ja vain yksi tapaus imuojassa. Neljä kyselyyn vastannutta ilmoitti marjapensaan tai omenapuun aiheuttaneen tukkeuman. Näissä tapauksissa oli ilmeisesti osittain syynä se, että salaojitus oli tehty alunperin normaalia peltoviljelyä varten, eikä puutarhasalaojituksen, jossa salaojitussyvyiden tulisi olla n. 1,4 m ja jokaisen putkisauman suojattuna kattohuoyan suikaleella, minkä lisäksi putkisto vielä peitetään n. 10 cm:n koksikuonakerroksella (KESO, 1951). Nämäkään toimenpiteet eivät aina takaa täyttä varmuutta. Tämä kävi ilmi em. selvityksen yhteydessä saadusta vastauksesta, jossa todettiin, että näistä erikoistoimenpiteistä huolimatta juuristo oli aiheuttanut tukkeutuman (HALONEN, 1956). Saman tutkimuksen mukaan peltokortteen juuristo oli aiheuttanut yhden tukkeutuman samoin kuin apilan juuristokin. Se oli eräässä notkelmassa, jossa ojan syvyys oli ollut vain 60-70 cm tunkeutunut salaojaputkeen.

Yksivuotisten kasvien juuret voivat myös aivan hyvin saavuttaa salaojaputkiston, mutta kasvin kuoltua juuret lahoavat. Lahonneet juurisäikeet kulkeutuvat vähitellen veden mukana pois. Näin ollen yksivuotinen kasvi hyvin harvoin ehtii kasvattaa putkeen vedenkulkua estävää ja lietettä kokoavaa juurastoa kuten monivuotinen kasvi, jonka juuristo jatkuvasti putkessa lisääntyy ja tukkii lietteen kanssa lopulta koko putken.

Salaojitetulla alueella olisi vältettävä monivuotisten samoin kuin syväjuuristen viljelykasvien viljelyä heti salaojituksen jälkeisinä vuosina, sillä juurien muodostuminen salaojan täyttömaassa on varsin voimakasta. Ennen kaikkea pitkäaikaiseksi tarkoitettun nurmen perustamista olisi vältettävä, koska sen mukana herkästi lisääntyvät syväjuuriset rikkakasvit voivat saada myös tilaisuuden tunkea juurensa salaojaputkiin (MUTH, 1962).

#### 1.26 Hyytelötukkeutumata

Hyytelötukkeutumia saattaa esiintyä niissä tapauksissa, joissa AIV-puristemehut, lantavedet tai talousjätevedet on lietekaivon välityksellä johdettu salaojaverkostoon. Selvitettäessä tiiliputkiojituksessa esiintyneitä tukkeutumia ilmeni kaksi mainitunlaista tapusta, joissa AIV-puristemehut olivat aiheuttaneet tukkeutumien (HALONEN, 1956). Tällaisten tukkeutumien välttämiseksi on parasta johtaa edellä mainitut vedet erityisiin näitä varten rakennettuihin kaivoihin.

#### 1.27 Kunnossapidon laiminlyönnistä johtuvat tukkeutumata

Salaojien huono kunnossapito ilmenee useimmiten ojaston jonkin osan liettymisenä. Edellä mainittu selvitys tiiliputkiojituksen tukkeutumista antaa jälleen hyvän kuvan huonon kunnossapidon aiheuttamista toimintahäiriöistä. Valtaojan pohjan liettyminen, laskuaukon rikkoutuminen tai lahoaminen oli aiheuttanut kokoojaojan lietetukkeutumien laskuaukosta alkaen 11 tapauksessa eli 15,4 % selvitettyjen tukkeutumien määrästä. Lisäksi epäiltiin viidessä tapauksessa heikkokuntoisen valtaojan aiheuttaneen liettymätukkeutumien. Kunnossapitoa vaille jääneet liete- ja niskakaiivot aiheuttivat viidessä tapauksessa tukkeutumien ja neljässä tapauksessa epäiltiin tyhjentämättömiä lietekaivoja tukkeutumien aiheuttajiksi (HALONEN, 1956).

Samassa selvityksessä ilmeni viisi pajupensaiden aiheuttamaa tukkeutumaa, jotka voidaan hyvällä syyllä lukea huonon hoidon tiliin. Täten ainakin 21 tapauksessa eli n. 29 % tutkituista tukkeutumis-

tapauksista olisi voitu melko pienin kunnostustoimin välttää.

Jos valtaojien pohja pidettäisiin ainakin 10 cm laskuaukon tasoa alempana, jos liete- ja niskakaiivot puhdistettaisiin 3-4 vuoden välein ja jos peltoalueet reunamineen pidettäisiin pajuista puhtaina, olisivat salaojatukkeutumät ilmeisesti varsin harvinaisia.

#### 1.28 Salaojitettun maan käytössä tehtyjen muutosten aiheuttamat tukkeutumät

Salaojitetulla maalla voidaan tehdä maankäytön suhteen muutoksia tai toimenpiteitä, jotka saattavat myöhemmin aiheuttaa ojituksen toimintahäiriöitä. Näin voi käydä erityisesti vanhojen salaojituskohtien kohdalla, joista uusi omistaja ei ole tietoinen. Imu- ja kokoojajojien, liete- ja niskakaivojen sekä laskuaukkojen sijaintia on vaikea paikallistaa ilman suunnitelmakarttaa. Tosin salaojitusyhdistyksessä ovat kaikki alkuperäiset kartat yhdistyksen tekemistä suunnitelmista, mutta harvoin alueen uusi omistaja on siitä tietoinen.

Tietämättä alueen salaojitukselta se voidaan ottaa puutarhaksi tai tonttimaaksi. Sille voidaan tehdä uusi tie tai vaikkapa avo-oja. Nämä kaikki toimenpiteet aiheuttavat kuitenkin melko varmasti ojitukselle vahinkoa. Jos salaojituksen olemassaolo tiedettäisiin, voitaisiin tukkeutumät ennalta hyvinkin välttää. Tulevissa puutarhamaisissa voitaisiin putket suojata, tien alle jäävä osa ojasta voitaisiin lämpöeristää, osattaisiin välttää avo-ojan tekemistä putkiston yli ja siten estää juuri- ja jäätymisvauriot ja ennen kaikkea muistettaisiin hoitaa tehtyjen muutosten jälkeen salaojitettua aluetta ja salaojan erikoislaitteita.



## 2. LIETETUKKEUTUMAN ANALYYSI

### 2.1 SALAOJALIETTEEN KOOSTUMUKSESTA

Aikaisemmin kohdissa 1.22 ja 1.24 on käsitelty salaojituksissa tavattavan lietteen määrään ja ilmenemismuotoon liittyviä seikkoja. Kohdassa 1.24 esitettyä lietteen kasaantumista putkisauman läheisyyteen on pidettävä todennäköisenä silloin, kun putket on asetettu päittäin epäkeskisesti. Tämä voitiin todeta mm. kesällä 1967 ja 1968 suoritettujen mallikokeidenkin aikana.

Toinen varsin tyypillinen lietteen ilmenemismuoto salaojassa on sen tasainen kerrostuneisuus putken pohjalla. Eräissä tapauksissa kerrokset erottuvat toisistaan selvästi värinsä ja paksuutensa puolesta. Vaalea kerros on tavallisesti paksumpi kuin tumma kerros. Ilmiö on sama kuin kerrallisissa savissa, joissa vaalea paksu lusto syntyi jään sulaessa kesällä. Salaojalietekerrosten perusteella salaojituksen iän määrittäminen on kuitenkin varsin epävarmaa verrattuna kerrallisten savien iän määrittämiseen. Salaojituksen toiminnassa saattaa näet vuoden aikana sattua useampia ajanjaksoja, jolloin purkautuvat vesimäärät ovat melkoisia ja keskenään sitäpaitsi samaa suuruusluokkaa. Yleensä kuitenkin keväällä, lumensulamisen aikoina, salaojien virtaamat ovat suurimmillaan. Tällöin syntyy tavallisesti myös kerrostuneen lietteen selvemmin erottuva vaalea lusto (FLODKVIST, 1952).

Kerrallisten savien eli lustosavien vaalea osa on karkeampaa ainesta kuin tumma osa. Vaikka asiaa ei tiettävästi ole raekoon määrittämisin selvitetty, niin ilmeisesti myös salaojaputkeen sedimentoituneessa lieteaineksessa vaalea osa on tummaa osaa karkearakeisempaa. Todetakaan, että kerrallisesta lietteestä sellaisenaan on sen sijaan tehty lajitekoostumusmäärittäksiä.

Maataloushallituksen vesiteknillisen tutkimustoimiston toimesta tutkittiin vuosina 1952-1954 useita jo silloin lähes 100 vuotiaita salaojituksia eri puolilla Suomea. Näille salaojituksille oli ominaista se, ettei niiden putkistoa oltu suojattu suojussoralla. Mikäli putkeen oli jäänyt vuosien aikana veden mukanaan tuomaa lietettä, oli se siis yksinomaan ojitetun alueen perusmaasta lähtöisin olevaa ainesta. Erityisesti tämä seikka oli kiintoisa selvitetäessä sekä perusmaan että lietteen raakoostumusta.

Selvityksessä ilmeni, että kaikilla tutkituilla maalajeilla liete osoittautui lajitekoostumukseltaan varsinaista alueen maalajia, perusmaata, karkeampirakeiseksi. Tiiviiltä savimaalajeilta irtautunut liete on sisältänyt eniten karkeita hiesurakeita (0,006-0,02 mm) ja hiue- ja hietamaiden liete vastaavasti eniten raekokoa 0,06-0,2 mm eli karkeaa hietaa (JUUSELA, 1958).

Kun salaojaputkissa tavattu liete on yleensä karkearakeisempaa kuin ympäröivä maa, voitaneen tehdä sellainen johtopäätös, että salaojaputkeen on joko kulkeutunut ensi sijassa vain karkeampia rakeita tai salaojaputkeen joutuneesta lieteaineksesta on hienoin aineosa kulkeutunut pysähtymättä virtaavan veden mukana pois. On todennäköistä, että putkeen sedimentoitunut liete on näiden molempien ilmiöiden yhteisvaikutuksen seuraus.

Yleensä tiiviillä savimailla olevien salaojituksien avauksissa tavataan vain savesaineen "värjäämiä" putkia. Lietteen esiintyminen putkistossa myös savimailla johtuneen lähinnä siitä, että salaojakai-vantoa tehtäessä ja ojaa jälleen täytettäessä on täyttömaan alunperin tiivis rakenne rikottu. Täyttömaa jää aluksi hyvinkin löyhärakenteiseksi, joten siitä voi veden mukana irrota maa-ainesta monin verroin helpommin kuin koskemattomasta maasta. Käytännössä onkin todettu esimerkiksi lietekaivoihin ja laskuaukon suulle ker-tyvän usein lietettä lyhyen ajan kuluessa ojitustyön jälkeen. Lietteen tulo lakkaa kuitenkin tavallisesti miltei kokonaan muutaman vuoden kuluttua.

## 2.2 LIETETUKKEUTUMAN ENNALTA EHKÄISY SUOJUSSORAA KÄYTTÄEN

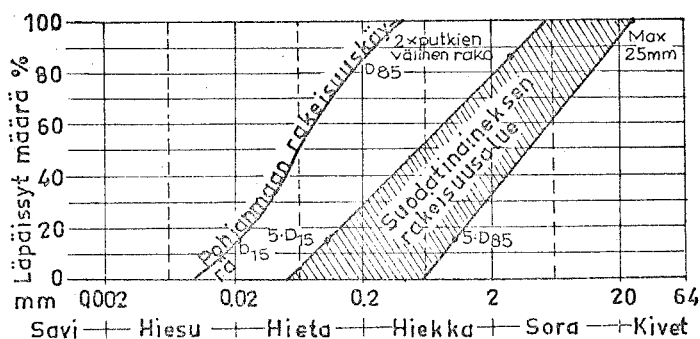
### 2.21 Suojussoran merkitys ja laatu

Salaojitukselta edellytetään, että kasvustolle ja peltoille haitallisen veden tulisi päästä salaojiin mahdollisimman nopeasti ja esteettömästi, mutta se ei saisi kuitenkaan tuodamukanaan lieteainesta. Tämän vuoksi putket peitetään kohdassa 1.22 selostetulla suojussoralla tai muulla sopivalla materiaalilla.

Suojussoran tehtävänä on ennen kaikkea toimia suodattimena. Samalla se on vettä kokoavana ja veden liikkumista edistävänä kerroksena. Kun suojuskerroksen päälle pudotetaan tavallisesti vielä ennen ojan lopullista täyttöä 15-20 cm:n ruokamultakerros, muodostuu salaojajohdon ympärille tilavuudeltaan varsin merkittävä huokoinen maamassa. Tämä huokoisen maamassan tilavuus ojametriä kohti on luonnollisesti riippuvainen paitsi salaojan putkikoosta myös salaojakaivannon leveydestä. Konekaivussa ojan leveys on kone-tyypistä riippuen 20-35 cm.

Suojussoralla on lisäksi nimensä mukaisesti suojaava tehtävä. Se estää putkia liikkumasta paikoiltaan tai särkymästä ojaa lopullisesti täytettäessä (JUUSELA, 1958).

Suomen Rakennusinsinöörien liiton vuonna 1969 julkaiseman tiili-putkien käytön teknillisten ohjeiden mukaan (RIL 54b, 1969) suodatinkerroksen rakentamiseen käytettävän maalajin on täytettävä seuraavat vaatimukset:



Piirros 1. Suodatinmateriaalin rakeisuuden määrittäminen.

$$5xD_{85}^S > D_{15}^S > 5xD_{15}$$

$$D_{85}^S > 2 L$$

$$D_{100}^S < 25 \text{ mm}$$

$D_{15}$  = Suodatinta ympäröivän maalajin läpäisyprosenttia 15 vastaava raekoko

$D_{15}^S$  = Suodatinmateriaalin läpäisyprosenttia 15 vastaava raekoko

$D_{85}$  = Suodatinta ympäröivän maalajin läpäisyprosenttia 85 vastaava raekoko

$D_{100}^S$  = Suodatinmateriaalin suurin raekoko

L = Putkien välinen rako

Tämä vaatimus edellyttää näin ollen, että suodatinkerroksen lajitteiden koon  $D_{15}^S$ , luettuna lajitekäyrästä 15 %:n kohdalta, on oltava riittävän vedenläpäisyn saavuttamiseksi 5 kertaa niin suuri kuin sen maa-aineksen lajitteiden vastaava koko, jonka suunnalta vesi suodatinkerrokseen virtaa. Toisaalta saa suodatinkerroksen  $D_{15}^S$  olla 5 kertaa niin suuri kuin vedentulosuunnassa suodatinkerrosta edeltävän kerroksen aineksen lajitteiden koko ( $D_{85}$ ) luettuna lajitekäyrästä 85 %:n kohdalta, jotta suodatinkerros pystyisi estämään tämän kerroksen aineksen kulkeutumisen veden mukana suodatinkerroksesta ja sen läpi.

Ruotsalaisten esittämä vastaava suodatinkerroksessa käytettävän maalajin vaatimus poikkeaa jonkin verran edellä esitetystä RIL:n vaatimuksesta. Sen mukaan  $4xD_{85} > D_{15}^S > 3xD_{15}$  (JUUSELA, 1958).

Missä määrin salaojitustyömailla käytetty salaojien suojussora vastasi esimerkiksi vuonna 1953 edellä selostettuja suodatinsoralle asetettuja vaatimuksia ilmenee varsin hyvin maataloushallituksessa sanottuna vuonna suoritettussa selvityksessä. Tällöin näet saatiin kaikkiaan 517 eri salaojitustyömaalta soranäytteet, jotka analysoitiin (JUUSELA, 1958).

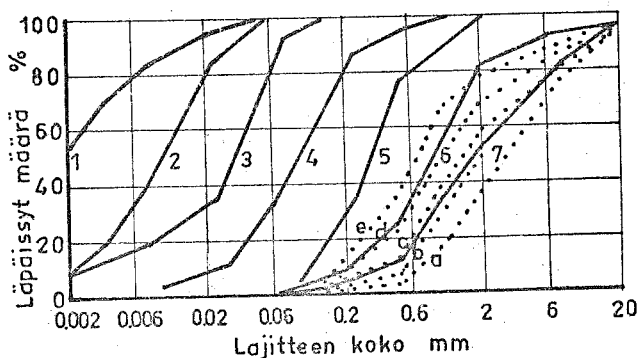
Käytetyt soralaadut ryhmiteltiin viiteen laatuluokkaan niiden sisältämän alle 0,5 mm:n rakeiden määrän perusteella. Em. raekoko otettiin kriteerioksi Salaojayhdistyksen esittämän suojussoralaatutusuosituksen mukaan. Suositus on esitetty kohdassa 1.22. Selvityk-

sessä kävi ilmi, että tavallisessa tapauksessa suojuссора sisälsi alle 0,5 mm:n rakeita noin 12 % ja noin 40 % yli 3 mm suuruisia rakeita. Ryhmittely esitetään asetelmassa 1.

Sora- laatu	Alle 0,5 mm:n aineksia %	Näytteitä	
		kpl	%
a	5	151	29
b	6 - 10	146	28
c	11 - 20	143	28
d	21 - 30	58	11
e	30	19	4
Yhteensä	-	517	100

Asetelma 1. Soranäytteiden jako eri soralaaturyhmiiin

Soralatuuriryhmien rakeisuustutkimuksen tulokset on esitetty keskimääräisinä lajitekoostumuskäyrinä piirroksessa 2. Ne on kuvattu pisteviivoina. Samaan piirrokseseen on kuvattu täysviivoina eräiden tavallisimpien maalajien lajitekoostumuskäyrät (1-5), putkiston suojana 10-15 vuotta olleen soran (6) sekä ns. keskimääräisen suojuссора (7) lajitekoostumus.



Piirros 2. Eräiden tavallisten maalajien (1 = Hs-maa, 2 = He-maa, 3 = Hht-maa, 4 = Kht-maa ja 5 = Hk-maa) ja suojuссора-näytteiden keskimääräinen lajitekoostumus (soralatuuriryhmät a, b, c, d ja e; putkiston suojana 10-15 vuotta ollut sora = 6 ja suojausena keskimäärin käytetty sora = 7).

Kun verrataan salaojituksissa käytettyjen soralaatujen sopivuutta suodatinsoraksi eräillä tavallisilla maalajeilla, voidaan todeta kaikkien soranäytteiden olleen yleiseen suodatinperiaatteeseen viitaten liian karkeita pidättämään lieteaineksen joutumista putkistoon hienojakoisilla kivennäismaalajeilla. Eniten hienoja lajitteita sisältävä soralaatu e pystyy estämään hienon hiedan läpikulun. Soralaadut c ja d suodattavat karkean hiedan, kun taas soralaadut a ja b soveltuvat varsinaisille hiekkamaille.

Edellä esitetyn perusteella voisi olettaa, että salaojien lietetukkeutumukset olisivat varsin yleisiä. Kohdassa 1.12 mainittu tutkimus osoitti kuitenkin, että 15 tapauksessa sadasta esiintyi salaojituksissa yleensä toimintahäiriöitä ja vain 4,3 % lietetukkeutumia.

## 2.22 Suojussorassa tapahtuvat muutokset

Löyhärakenteisessa ja lajittuneessa maassa adheesiovoimat sitovat heikommin maahiukkasia toisiinsa kuin tiiviissä, eri raekokoja sisältävissä maissa. Tästä on seurauksena, että löyhissä, lajittuneissa maissa hiukkaset saattavat irtaantua veden mukana helpommin kuin tiiviissä maissa.

Siitä, kuinka maahiukkaset kulkeutuvat veden mukana perusmaasta tai täyttömaasta suojussoraan ja muuttavat sen koostumusta, ei tietyvästi ole tehty selvityksiä kentällä. Tosin aikaisemmin selostetun maataloushallituksen suorittaman suojussoratutkimuksen yhteydessä otettiin myös 18 eri tilalta 10-15 vuotta vanhoista salaojituksista suojussoranäytteet, joiden perusteella tutkittiin soran laatu. Alkuperäistä soraa ei enää ollut saatavissa. Selvityksen perusteella laadittu soranäytteiden keskimääräinen lajitekoostumus (käyrä 6) on esitetty piirroksessa 2. Jos tulosta verrataan suojussoratutkimuksessa olleiden "puhtaiden" näytteiden perusteella laadittuun keskimääräiseen lajitekoostumukseen (käyrä 7) todetaan, että suojussorana 10-15 vuotta ollut näyte sisälsi hienoja aineksia enemmän kuin

"puhdas" suojussora. Tämä tukee käsitystä, että suojussoraan aset-  
tuu ympäristöstä tullutta ainesta, joka muuttaa vähitellen suoda-  
tinsoran kokoomusta (JUUSELA, 1958).

Virtaavan veden vaikutusta suojussorassa tapahtuvaan maa-aineksen  
lajittumiseen on tutkittu laboratoriokokeilla mm. maataloushalli-  
tuksen vesiteknillisessä tutkimustoimistossa. Kokeessa käytetty  
suojussora sisälsi alle 0,5 mm:n lajitetta 13,3 % ja yli 2 mm:n la-  
jitetta 38,7 %. Koe suoritettiin tiuhalla pohjaseulalla varuste-  
tulla, halkaisijaltaan 85 mm ja korkeudeltaan 150 mm olevalla  
teräslieriöllä. Sen pohjalle pantiin ensin 20 mm:n paksuinen kerros  
pesuseulottua, raekooltaan 1-2 mm soraa. Loppuosa lieriöstä eli  
130 mm täytettiin tutkittavalla soraseoksella.

Vaikka koetuloksia onkin pidettävä vain suuntaa antavina, voidaan  
niistä kuitenkin tehdä kolme mielenkiintoista havaintoa:

- 1) sorakerros näyttää tiivistyvän ajan oloon,
- 2) siinä tapahtuu maalajitteiden huuhtoutumista ja
- 3) kasautumista.

Nämä ilmiöt aiheuttavat puolestaan suojussoran vedenläpäisyn  
heikkenemisen ja samalla sen suodatuskyvyn parantumisen.

Kokeen aikana väheni soran vedenläpäisevyys arvosta 4,2 cm/min ar-  
voon 0,023 cm/min. Näytteen läpi oli kokeen aikana virrannut 182  
litraa tislattua vettä. Paine korkeus oli rajoissa 785 mm - 850 mm.  
Näytteen tilavuus pieneni 88,5 %:iin alkuperäisestä arvostaan.  
Näytteen yläosasta huuhtoutui alaspäin  $\leq 1$  mm:n lajitteita. Ne  
näyttivät kasautuvan runsaimmin näytteen alaosaan. Varsin mielen-  
kiintoinen ilmiö oli se, että eniten osoittautui muuttuvan 0,5-1,0  
mm:n raesuuruutta olevien lajitteiden määrä näytteen eri osissa.  
Ko. raekoon osuus kasvoi selvästi alaspäin mentäessä (JUUSELA, 1958).

## 2.23 S u o j u s s o r a n j a s a u m a r a o n v e d e n - l ä p ä i s y

Veden pääsy putkistoon tiiliputkisalaojituksissa tapahtuu pääasiassa  
putkipäiden väliin jäävien saumarakojen kautta. Useissa eri yhteyk-  
sissä on pyritty selvittämään saumarakojen vedenläpäisyyttä.

Eräessä tutkimuksessa verrattiin suojaamattoman 40 mm:n läpimittaisesta tiiliputkesta tehdyn salaojan saumojen kautta aikayksikössä virrannutta vesimäärää siihen vesimäärään, joka virtasi saman painekorkeuden vallitessa soralla suojatun salaojan saumarakojen kautta. Saumaraot kummassakin tapauksessa olivat 1 mm:n suuruusluokkaa. Putkipäät olivat käsittelemättömät ts. tehtaan tuotantoprosessin mukaiset. Vertailu osoitti, että sorakerros oli vähentänyt saumarakojen kautta virranneen veden määrää noin kolmanneksella. Sorakerroksen paksuus putken päältä mitattuna oli 5 cm. Suojauksena käytetyn pesuseulotun soran raekoko oli 2-4 mm (PÄLIKKÖ, 1962).

Eräessä toisessa tutkimuksessa käytettiin päistään tasaiseksi hiottuja 40 mm:n tiiliputkia. Näitä putkia käytettäessä oli mahdollista saada saumarako tarkalleen 0,5 mm:n tai 1,0 mm:n suuruisiksi. Suojaamattoman ja suojatun putkiston vertailukokeet osoittivat putkisaumojen kautta virranneen vesimäärän vähentyneen 50-66 %:lla suojuksoraa käytettäessä. Suojuksora oli "luonnonsoraa", jossa oli alle 0,6 mm raekokoa olevaa lajitetta noin 15% ja yli 2 mm:n raekokoa noin 67% (KESO, 1938).

Tutkimuksessa suojattiin putkistot myös 4-5 cm:n paksuisella ruokamultakerroksella. Se alensi saumarakojen kautta virranneen veden määrän 2-3 prosenttiin suojaamattoman johdon saumojen vedenläpäisymäärästä. Kun suojausena käytettiin vastaavasti turvetta, jonka maatumisaste oli H 3, aleni veden pääsy putkiin 5-10 %:iin suojaamattomaan putkijohtoon verrattuna.

KESO on esittänyt suorittamiensa selvitysten perusteella ohjearvoja saumarakojen läpäisykyvystä käytettäessä eri putkikokoja ja suojausmateriaaleja tapauksessa, jolloin hehtaarille tulee 600 metriä salaojaa ja kun veden painekorkeus on 100 mm putken harjastamattuna:

Putken halkaisija cm	Putkien suojaustapa			
	Ilman peittoa	Sora- peitto	Multa- peitto	Turve- peitto
4	60 l/s	20 l/s	2 l/s	4 l/s
5	100 "	30 "	3 "	8 "
6,5	140 "	40 "	(10) "	(20) "
8	190 "	55 "	-	-
10	240 "	70 "	-	-

Asetelma 2. Tiiliputkien saumarakojen kautta putkistoon virtaava vesimäärä l/s ha, kun ojametrimäärä on 600 m/ha ja ve-



Salaojituksia suunniteltaessa mitoitetaan putkisto tietyn suuruisista, hehtaaria kohti tapahtuvaa valumaa silmällä pitäen. Tämän mitoitusvaluman suuruus on riippuvainen alueen sijainnista, kuivatustarpeesta, maalajista jne. Etelä-Suomessa käytetään tavallisessa tapauksessa seuraavia hehtaaria kohti laskettuja valumia (HUIKARI, MUOTIALA, WÄRE, 1964):

Liejusavimaa	0,5 l/s ha
Liejuinen hiesumaa	0,65 " "
Löyhä hieta ja turvemaa	0,75 " "
Tiiviit maat	1,0 " "

Kun verrataan asetelmassa 2. esitettyjä ja toisaalta salaojien mitoituksessa käytettyjä valuma-arvoja keskenään, niin voidaan todeta, että tiiliputkisalaojien saumaraot kykenevät soralla suojattuna läpäisemään 20 kertaa sen vesimäärän, kuin mitä normaalitapauksessa Etelä-Suomessa tiiviitten maitten salaojituksissa edellytetään. Läpäisevyys ruokamultaa tai turvetta suojusaineena käytettäessä on niin ikään täysin riittävä eli 2-4 kertaa tarvetta suurempi.

### 2.3 LIETTEEN KULKEUTUMISESTA SALAOJAJOHDOSSA

Lieteaineksen liikkeitä salaojaputkessa säätelee ennen kaikkea valittava vedennopeus. Se on puolestaan riippuvainen mm. ojan kaltevuudesta, putkijohdon täyttöasteesta ja putkikoosta (FLODKVIST, 1952). Lieteaineksen koolla, rakeen muodolla ja ominaispainolla on myös merkityksensä ko. liikkumisilmiöön. On tunnettua, että mitä pienemmästä maahiukkasesta on kysymys sitä hitaampi on sen vajoamisnopeus vedessä. Esimerkiksi KÖHN'in liettämiskojeessa saveshiukkasen (< 0,002 mm) vajoamisnopeus oli 7 t 40 min ja hienon hiesurakeen (< 0,006 mm) 1 t 10 min (MUTH, 1962). On epätodennäköistä, että kevyt vesihiukkanen ehtii salaojassa hitaankaan virtauksen vallitessa laskeutua putken pohjalle. Edellytyksenä tähän täytyy olla virtauksen pysähtyminen tai varsin pieni putken täyttöaste.

## 2.31 Maahiukkaneen virtaavassa vedessä

Virtaavan veden liike alhaisen nopeuden vallitessa on laminaarista ts. vesimolekyylit kulkevat yhdensuuntaisia ratoja pitkin. Jos virtausnopeus kasvaa, alkavat vesimolekyyliden liikeradat mutkitella kunnes tietyn kriittillisen nopeuden ylitettyään veden liike muuttuu pyörteiseksi eli turbulentiksi (KUUSKOSKI, 1963).

Laminaarivirtauksen aikanamaahiukkasten laskeutuminen voi tapahtua häiriintymättä. Ilmiö on sama kuin liikkumattomassa vedessä, jolloin epäorgaanisen aineksen laskeutumiseen vaikuttaa vain hiukkasen ja veden välinen kitka. Laminaarivirtauksen aikana maahiukkanen laskeutuu samalla kun se liikkuu veden pääsuunnassa eikä ylöspäin suuntautuva voima häiritse sitä. Maahiukkanen laskeutuu pohjaan siis ennemmin tai myöhemmin riippuen virtauksen nopeudesta ja hiukkasen raakoosta, eikä tasaisen virtauksen vallitessa enää pysty sieltä irtautumaan (GUSTAFSON, 1938).

Hiukkasen laskeutuminen vedessä voi estyä, jos ylöspäin suuntautuva liike on suurempi kuin laskeutumisnopeus. Tällainen ylöspäin suuntautuva liike esim. salaojaputkessa voi syntyä silloin, jos veden virtaus on pyörteistä l. turbulenttia. Epäorgaaniset ainehiukkaset ikäänkuin kelluvat vedessä ja kulkeutuvat veden mukana. Turbulenssi-ilmiön syntyminen riippuu myös putken seinämän ominaisuuksista, putken läpimitasta ja veden viskositeetista (GUSTAFSSON, 1938).

Erään ruotsalaisen tutkimuksen yhteydessä laminaarisen virtauksen muuttuminen pyörteiseksi määritettiin kokeellisesti 5 m:n lasijohdossa. Se oli koottu 33 cm:n mittaisista lasiputkista, joiden sisäläpimitta oli 46,5 mm. Koe osoitti, että muutos tasaisesta virtauksesta pyörteiseksi tapahtui äkillisesti ja melko tarkasti putouksen ollessa 0,01 %. Tällöin veden keskinopeus oli 0,04 m/s (GUSTAFSSON, 1938).

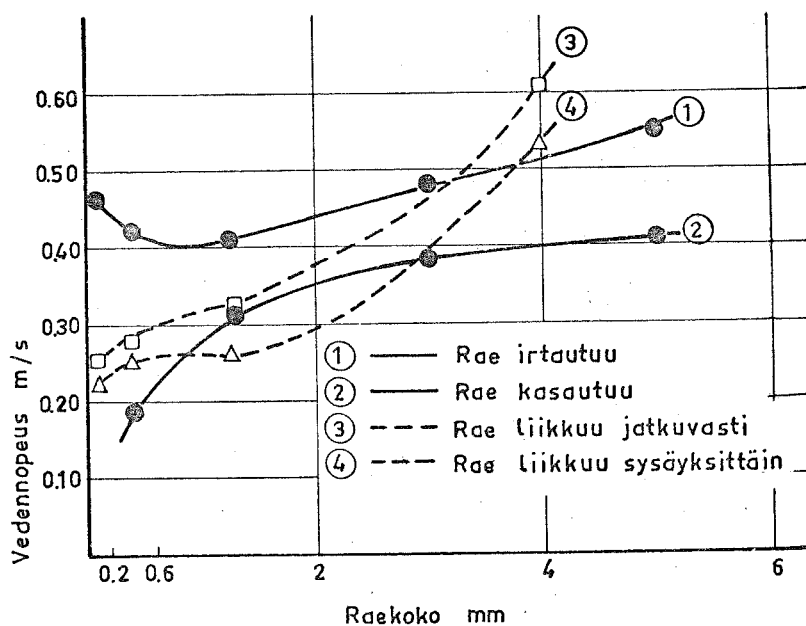
Suomessa on imuojien pienin sallittu kaltevuus 0,3 %. Vedennopeus 40 mm:n tiiliputkessa on tällöin 0,16 m/s. Kun tiiliputken ja lasiputken vedenjohtokyvyssä ei liene suurta eroa, niin teoreettisesti

asiaa tarkastellen hienon lieteaineksen pitäisi pysyä sekoittuneena salaojassa virtaavassa vedessä ja kulkeutua senmukana pois putkesta. Samoin putken pohjalle kerrostuneessa lietteessä pitäisi tapahtua hiukkasten irtautumista l. eroosiota, koska jo minimikaltevuudellakin veden virtaus putkistossa on pyörteistä.

Turbulentin virtauksen kyvystä kuljettaa putkiin joutunutta liettä tehtiin em. ruotsalaisen tutkimuksen aikana kaksi koesarjaa. Toisessa etsittiin se vedennopeuden raja-arvo, milloin maahiukkaset asettuivat putkijohdon pohjalle ja toisessa koesarjassa etsittiin se raja-arvo, jolla maahiukkaset irtautuivat pohjasta. Koesarjassa käytettiin raekokoja: 0,02-0,2 mm, 0,2-0,6 mm, 0,6-2,0 mm, 2-4 mm ja 4-6 mm. Putkijohtoon syötettiin kerrallaan tutkittavaa raekokoja 10 g. Asetelmassa 3 ja piirroksessa 3 esitetään saadut tulokset. Piirroksessa 3 on lisäksi tulokset puukourussa tehdystä kokeesta (WÄRE, 1948).

Raekoko mm	Maahiukkaset asettuvat putken pohjalle		Maahiukkaset irtautuvat putken pohjalta	
	Putous- %	Veden nopeus m/s	Putous- %	Veden nopeus m/s
0,02 - 0,2	-	-	0,75	0,46
0,2 - 0,6	0,15	0,18	0,63	0,42
0,6 - 2,0	0,38	0,31	0,61	0,41
2,0 - 4,0	0,54	0,38	0,80	0,48
4,0 - 6,0	0,60	0,41	1,02	0,55

Asetelma 3. Putousprosentit ja niitä vastaavat vedennopeudet, joiden vallitessa maahiukkanen laskeutuu pohjaan (kasaantuu) tai lähtee liikkeelle lasisessa putkijohdossa.



Piirros 3. Vedennopeuden raja-arvot, jolloin rae irtautuu ① tai kasautuu ② lasisessa putkijohdossa sekä vedennopeuden raja-arvot, jolloin rae liikkuu jatkuvasti ③ tai sysäyksittäin ④ avonaisessa puukourussa.

Lasijohtokokeen tuloksista selviää, että se veden nopeus, joka panee putken pohjalle pysähtyneen lietteen jälleen liikkeelle, on tuntuvasti suurempi kuin se miniminopeus, jonka vallitessa liete vielä etenee.

Kun tarkastellaan irtautumis ①- ja kasautumiskäyrän ② kulkua maa-aineksen raekoon kasvaessa todetaan, että aluksi irtautumiskäyrä laskee ja kasautumiskäyrä nousee. Hiukkaskoon kasvaessa kokoon 0,7 mm irtautumiskäyrä kääntyy myös nousuun. Kokeen mukaan näyttää siis 0,7 mm:n raekoko olevan herkemmin irtautuva. Koska hiukkasten irtoaminen alkoi vedennopeuden ollessa n. 0,41 m/s, voitaneen tätä arvoa pitää miniminopeutena, minkä vallitessa eroosiota alkaa salaojajohdossa tapahtua. Vedennopeuden tarpeen lisääntyminen 0,7 mm:n raekoon molemmin puolin johtuu osaksi maarakeitten hiukkas-

pintojen välisen ja toisaalta maarakeitten ja putkenseinämän välisen adheesiovoiman lisääntymisestä.

Salaojaputkeen veden mukana tullessaan liete on liikkeessä. Sen eteneminen voi välittömästi jatkua, jos vedennopeus putkessa on kasautumisrajan vedennopeutta suurempi. Vedennopeuksia, joiden vallitessa maahiukkaset kulkeutuvat, on määritetty myös lasilevyllä peitettyssä puukourussa (WÄRE, 1948). Puukourun mitat olivat 520 x 5,0 x 4,5 cm. Puukourun puolivälissä oli syvennys, johon maanäyte asetettiin. Näytteen yläpinta oli tarkoin kourun pohjan tasossa. Asetelmassa 4 on esitetty puukourukokeen antamat tulokset maalajitteita kuljettavista vedennopeuksista. Vedennopeus, missä maahiukkasten kulku on jatkuvaa ja sysäyksittäistä, on esitetty myös piirroksessa 3 sivulla 25.

Raekoko mm	Vedennopeus m/s, missä maahiukkaset	
	alkavat kulkea sysäyksittäin	kulkevat jatkuvasti
0,06-0,2	0,22	0,25
0,2 -0,6	0,25	0,28
0,6 -2,0	0,26	0,33
2,0 -6,0	0,53	0,61

Asetelma 4. Maalajitteita kuljettavat vedennopeudet puukourussa.

Kun lietekokeet tehtiin sekä lasisessa johdossa että lasilevyllä peitettyssä puukourussa, voitiin havainnollisesti nähdä hiukkasten kulkeutumisasiä. Lasijohtokokeessa havaittiin, että varsinkin vedennopeuden vallitessa putkeen syötetyt maarakeet painuivat pohjaan ja jatkoivat liikettä kierien pohjaa pitkin. Hieta pysyi sensijaan nopean virtauksen aikana suspenssiona ja pöistui veteen sekoittuneena putkesta.

"Erosionopeutta" määrättäessä aloitettiin koe vedennopeuden ollessa nolla, jolloin sisään syötetty maa-aines kasautui välittömästi putken pohjalle. Tämän jälkeen veden virtaus pantiin alulle

ja vedennopeutta lisättiin, kunnes maa-aines alkoi liikkua.

Lieteaines liikkui eteenpäin yhtenäisenä dyynimuodostelmana siten, että ylävirran puoleiset hiukkaset pyörivät dyynin loivaa sivua ylöspäin. Saavuttuaan dyynin harjalle ne kierivät sen jyrkkää alavirran puoleista sivua alas putken pohjalle ja pysähtyivät siihen. Näin dyyni liikkui eteenpäin yhtenäisenä muodostelmana. Esimerkiksi 0,6-2,0 mm:n rakeista muodostunut dyyni ei ollut 10 cm pidempi saavuttaessaan 5 m:n mittaisen putken alapään (GUSTAFSSON, 1938). Dyynit etenivät keskimäärin 8 mm/min, kun vedennopeus oli 0,25 m/s. Kun vedennopeus oli 0,27 m/s, niin dyynien etenemisnopeus kaksinkertaistui (WÄRE, 1948).

Kenttäoloissa putkissa tavattu liete ei ole ollut karkeaa hiekkaa karkearakeisempaa. Itse asiassa karkea hiekkakin, johon mm. raekoko 0,7 mm kuuluu, on varsin harvinainen raekoko salaojajohdossa. Karkeammista lieteaineuksista on karkea hieta ollut yleisin. Seuraavassa tarkastellaan raekokoa 0,7 mm ja sitä hienompia maalajitteita.

Piirroksen 3 mukaan 0,7 mm pienempien raekokojen pysähtymistä ja kasautumista putken pohjalle ei tapahdu, jos vedennopeus on vähintään 0,25 m/s. Jos taas salaojissa pyritään ajoittain niin suuriin vedennopeuksiin, että pohjaan laskeutunut liete irtautuisi ja kulkeutuisi pois, niin vedennopeuden tulisi olla enemmän kuin 0,41 m/s. Piirroksen 3 mukaan sanotulla vedennopeudella lähtee herkimmin irtoava 0,7 mm raekoko liikkeelle.

Edellä mainitut lukuarvot vedennopeuksista ja lietteen kulkeutumisesta on saatu putken ollessa täynnä vettä. Toisaalta tiedetään, että putkessa virtaavan vesikerroksen korkeuden ollessa noin 85 % putken halkaisijasta, niin vedennopeus on suurimmillaan, kun taas virtaama (l/s) on suurimmillaan silloin, kun putken täyttöaste on 95 % suuruusluokkaa (JÄÄMIES, KAJOSAARI, 1963).

Kuten edellä kohdassa 2.3 on sanottu, vedennopeus on riippuvainen myös putkikoosta. Vedennopeus kasvaa putken halkaisijan kasvaessa. Näin ollen voidaan saman kaltevuuden vallitessa lisätä vedennopeutta salaojassa putkikokoa suurentamalla. Ojan kaltevuuden ollessa esim. 0,3 % on vedennopeus 40 mm:n tiiliputkessa n. 0,18 m/s. Ko. nopeuden vallitessa esim. hieno hiekka on piirroksen 2 mukaan ns. kasautumisrajalla. Vastaavasti 50 mm:n putkessa on em. kaltevuuden vallitessa vedennopeus n. 0,22 m/s. Se riittäisi jo kuljetta-  
maan hienoa hiekkaa. Mikäli hieno hiekka on pysähtynyt putken pohjalle, se irtautuu vasta vedennopeudella 0,42 m/s. 0,3 %:n kaltevuudella tämä vedennopeus saavutettaisiin vasta 130 mm:n putkella. Paitsi vedennopeuden lisääntymistä olisi suurempien putkien käytöllä myös se etu, että putkien pohjalle voisi laskeutua melkoinen määrä lietettä ennen kuin siitä olisi sanottavaa haittaa. Sen sijaan 40 mm:n putken pohjalla voi jo pienikin määrä lietettä haitallisesti vähentää putken vedenjohtokykyä.

Putkisalaojissa voidaan vedennopeutta lisätä myös ojan kaltevuutta lisäämällä. Luontaiset mahdollisuudet tähän ovat olemassa vain viettävillä mailla. Kokeen mukaan putken pohjalle laskeutuneet maahiukkaset alkavat irtautua vasta vedennopeuden ollessa vähintään 0,42 m/s. Tämä edellyttäisi läpimitaltaan 40 mm:n putkesta tehdyille salaojalle 1,5 %:n eli 1,5 m:n putousta 100 metriä kohti. Vastaava vedennopeus saavutetaan 65 mm:n putkella 0,6 %:n kaltevuudella ja 100 mm:n putkella 0,4 %:n kaltevuuden vallitessa.

Salaojitettavan alueen luontaisia kaltevuuksia ei kuitenkaan yleensä tässä mielessä käytetä hyväksi, vaan imuojat suunnataan tavallisesti viistoon rinteeseen poikki. Kaltevuus imuojissa harvoin ylittää 0,5 %. Ojan sijoittaminen rinteeseen poikkisuuntaan on mielekästä silloin, kun ajatellaan sen kuivattavaa vaikutusta.

Selventävän kuvan kaltevuuden vaikutuksesta putkien liettymiseen antaa Länsi-Saksassa suoritettu koe, jossa 50 mm:n tiiliputket olivat suojaamattomina hiekkaisessa hietamaassa 10 vuoden ajan. Vaikka käytetyt kaltevuudet käsittivät vain salaojien minimikaltevuus-

alueen, niin siitä huolimatta tuloksista voidaan päätellä, että liettyminen vähenee selvästi jos kaltevuus on yli 0,30 % (KUNTZE, 1969). Kokeen tuloksia esitellään asetelmissa 5 ja 6.

Kaltevuus %	Lietettä grammaa putkimetriä kohti			
	Ojan ylä- päässä (1/3)	Ojan keski- osassa (1/3)	Ojan ala- päässä (1/3)	Keski- määrin
0,25	132	205	420	252
0,30	132	196	92	140
0,35	132	193	73	136
0,40	61	99	68	76

Asetelma 5. Kaltevuuden vaikutus tiiliputkien liettymiseen 67 m pitkissä imuojissa hiekkaisessa hietamaassa.

Salaojajohdossa vallitsevaan vedennopeuteen saattaa vaikuttaa myös vedenpaine. Painevaihteluista riippuen se voi olla suurempi tai pienempi kuin ojan kaltevuus edellyttäisi. Normaalia suurempi paine esiintyy silloin, kun putkistoon johdetaan suuria avovesimääriä. Tosin kokeellisesti on todettu, että poistamalla vain pohjavettä, voi myös syntyä ylipainetta (FLODKVIST, 1952). Normaalia pienempi paine salaojassa syntyy silloin, kun vedenpinta nousee siinä valtaojassa, johon salaoja laskee. Salaojaputkisto jää vedenalaiseksi (FLODKVIST, 1952).

Valtaojat ovat keskimäärin 1,5 m syviä. Keväisin ja syksyisin valtaojassa voi olla runsaasti vettä. Yhden metrin vedennousu valtaojassa salaojan laskuaukon tasosta vaikuttaa 1 %:n kaltevuudella olevassa salaojassa vielä 100 m:n päähän ja 0,5 %:n kaltevuudella 200 m:n päähän laskuaukosta lukien. Näin ollen tasaisilla alueilla saattaa veden liike salaojassa olla vähäistä tai aivan olematonta keväisin tai yleensä tulva-aikoina.

Nopeat vedenpinnan korkeusvaihtelut valtaojissa aiheuttavat paine-eroja salaojaputkistossa. Tällöin vedennopeudet putkissa vaihtelevat. Yleensä pyritään salaojissa lisäämään vedennopeutta mentäessä laskuaukkoa kohti. Se tapahtuu joko kaltevuutta tai



putkisuuruutta lisäämällä. Kuten edellä on mainittu, saattaa vedenousu valtaojassa kuitenkin eräissä tapauksissa kumota edellämainttujen toimenpiteiden vaikutukset. Toimenpiteethän oli tehty pitämällä perustana veden esteetöntä virtausta putkistossa.

Edellä mainitussa länsi-saksalaisessa liettymiskokeessa selvitettiin myös putkissa olleen lietteen raekoon ja ympäröivän maan raekoon suhteita. Sen mukaan oli suhteellisesti eniten lietteeseen rikastunut hiesua, kuten asetelmasta 6 ilmenee. Koealueen maalajin raekoostumus oli seuraava:

yli 2 mm 1,7 %, 2-0,2 mm 21,8 %, 0,2-0,06 mm 6,2 %,  
0,06-0,02 mm 6,2 %, 0,02-0,002 mm 0,6 %, alle 0,002 mm 2,4 %  
(KUNTZE, 1969).

Putous- %	2-0,2	0,2-0,06	0,06-0,02	0,02-0,002	alle 0,002 mm
0,25	72	103	110	613	193
0,30	49	103	149	1695	401
0,35	122	82	416	739	605
0,40	63	96	155	5292	649

Asetelma 6. Salaojaputkissa tavatun lietteen raekoon suhteellinen lisäys (yli 100) tai vähennys (alle 100) verrattuna ympäröivään maahan (=100)

Kokeessa käytetyt kaltevuudet ovat alle suomalaisten vähimmäisvaatimusten. Tällaisella maalajilla meillä suositellaan 0,45 %:n kaltevuutta, jos käytetään 50 mm:n putkia. Vedennopeudet mainittua putkikokoa käytettäessä ovat 0,20 %:n kaltevuudella 0,16-0,17 m/s ja 0,40 %:n kaltevuudella noin 0,26 m/s. Näin ollen hienotkin maalajitteet ovat sedimentoituneet putken pohjalle.

### 3. MALLIKOKEET MAASOJAN KOEKENTÄLLÄ KESÄLLÄ 1967 JA 1968

#### 3.1 KOEJÄSENET

##### 3.11 Muoviset salaojaputket

Muovisten salaojaputkien käyttö on verrattain uutta. Ensimmäiset kokeilut niillä tehtiin Suomessa runsas vuosikymmen sitten. Muoviteollisuuden nopea kehittyminen on aiheuttanut muoviraaka-aineiden maailmanmarkkinahinnoissa huomattavaa laskua, joten muovisten salaojaputkien tuotantoon myös meillä olisi ollut kilpailukykyiset mahdollisuudet. Varsinaista muovisalaojaputkien kaupallista tuotantoa on maassamme ollut vajaat kymmenen vuotta. Salaojitusyhdistyksen tilastojen mukaan sen käyttö on kuitenkin pysytellyt varsin pienenä.

Uuden salaojaputkityypin käyttöönotto vaatii yleensä joukon erilaisia kokeita ja testejä. Niillä pyritään varmistumaan siitä, että uudet putket täyttävät salaojaputkille asetetut yleiset vaatimukset. Niinpä esimerkiksi on tutkittu muovisten salaojaputkien siivilä- ja saumarakojen vedenläpäisykykyä (PÄLIKKÖ, 1962) samoin kuin erityyppisten muovisalaojaputkien vedenjohtokykyä (BRINK ja NILSSON, 1964). Joidenkin putkityyppien markkinoilletulo saattaa tuoda kokonaan uusia, aikaisemmin tutkimattomia kysymyksiä selvitettäviksi.

Muovisalaojaputkien valmistuksen alkuaikoina käytettiin Suomessa putkien raaka-aineena PVC- tai PE-kestomuoveja. Nykyään käytetään vain PVC-muovia. Siitä tehdyt salaojaputket on todettu lujuudeltaan toistaiseksi parhaiksi. Muovisia salaojaputkia on nykyään kahta tyyppiä, niin sanottuja sileitä putkia ja aaltoseinäisiä putkia. Suorat, sileät putket ovat yleensä käsittely-yksiköltään 5 m:n mittaisia. Aallotetut putket ovat aaltomaisen seinärakenteensa an-

sioista verrattain taipuisia ja niitä voidaan kuljettaa ja käsitellä halkaisijaltaan noin 1,5 m:n kieppeinä. Kiepeissä voi olla putkea n. 200 m. Molemmat putkityypit ovat siiviläputkia, joissa rei'itys on tasaisesti putken eri puolilla. Reikäpinta-ala on yleensä 6-15 cm<sup>2</sup> putkimetriä kohti (HUIKARI, MUOTIALA, WÄRE, 1964).

Sen johdosta, että sileät muoviputket liitetään toisiinsa muhvi-liitoksilla, ei liitoskohtiin muodostu vedenkulkua haittaavia kynnyksiä. Tästä syystä myös sileitten 40 mm:n muovisalaojaputkien vedenjohtokyvyn on todettu vastaavan 50 mm:n tiilisalaojaputkien luokkaa. Käytettäessä aallotettua muovisalaojaputkea monen salaojittajan mieltä on askarruttanut kysymys maahiukkasten kulkeutumisesta tällaisessa putkessa. Putkien ominaisuuksia koskevissa selostuksissa on tosin mainittu, että aaltoseinäisten putkien vedenjohtokyky on jonkin verran pienempi kuin vastaavan kokoisten tiili-putkien vedenjohtokyky (HUIKARI, MUOTIALA, WÄRE, 1964), mutta sen sijaan maahiukkasten kulkeutumisesta ko. putkessa ei niissä ole sanottavasti mainintoja. Tämän puutteen korjaamiseksi valittiin aallotettu muoviputki liettämistutkimuksen yhdeksi koejäseneksi.

Aallotettua muovisalaojaputkea valmistaa Suomessa saksalaisella lisenssillä OY NOKIA AB:n kaapelitehdas VETO-salaojaputken nimellä. Kokeessa käytetyn aaltoseinäisen putken vapaa sisäläpimitta oli 40 mm, seinämän aaltopoimun pituus harjalta harjalle mitattuna oli keskimäärin 4,7 mm ja poimun keskimääräinen korkeus vastaavasti 1,8 mm. Kokeessa käytetyt putket pyydettiin valmistajan toimittamaan koeteknillisistä syistä rei'ittämättöminä. Erikoiskokeita varten tehdas toimitti osan putkista ns. kouruputkena.

### 3.12 T i i l i p u t k e t

Suomessa salaojaputkinormien tiiliputkille asettamat laatuvaatimukset on kansainvälistä tasoa ankarammat. Tämän johdosta suomalaiset tiiliputket ovat yleensä varsin korkealuokkaisia. Kokeissa näitä putkia edustamaan valittiin Paloheimo-yhtymän Riihimäen tiiliputkitehtaan tuotantoa. Riittävä määrä 40 mm:n putkia otettiin valikoi-

matta tehtaan myyntivarastolta. Näistä RIL-54 normit täyttävistä putkista tehdyt "koesalaojat" toimivat kokeen mittarisalaojina, joihin koejäsenistä saatuja tuloksia voidaan verrata.

Tiiliputkikoejäseneksi tehdas valmisti muilta osiltaan kuin pään sisäsärmän puhtaudelta normin laatuvaatimukset täyttäviä 40 mm:n putkia. Putkenpään sisäsärmään jää näet tavallisesti 0,7-1,0 mm:n paksun teräksisen katkaisulangan jättämä raaste, joka laatuvaatimuksen mukaan on poistettava. Kun putkipuristimen suuttimesta työn-tyy kiinteä saviputkiaihio, suorittaa automaattileikkuri putken katkaisun 33,3 cm:n pituisiksi putkiksi. Eräissä tehtaissa suori-tetaan tässä tuoresavivaiheessa ns. putkenpään kapulointi, jossa poistetaan leikkauslangan jättämä raaste. Toisissa tehtaissa taas raasteen poisto suoritetaan paineharjalla putkien esikuivatusvai-heen jälkeen ennen niiden lopullista polttoa tiiliputkiksi.

Molemmissa tapauksissa raasteen poisto vaatii lisätyötä, joka on suoritettava käsin, ihmistyönä. Missä määrin raasteen poisto on todella tarpeellinen, ts. aiheuttaako raaste salaojan vedenjohto-kyvyn sanottavia muutoksia ja muodostaako raaste lisäriskin liet-tymistä ajatellen, oli tutkimuksen yhtenä selvittelyn tavoitteena ja siten perusteluna sille, että tällainen putkityyppi valittiin yhdeksi koejäseneksi. Tehdas valmisti pyynnöstä lisäksi 40 mm:n normaali- ja raasteputkista ns. kouruputkia erikoiskokeita varten.

### 3.13 V e d e n n o p e u d e t

Salaojitusyhdistyksen suosituksen mukaan imuojien vähimmäiskaltevuus on 0,3 % ja herkästi liettyvillä mailla vastaavasti 0,5 %. Näillä kaltevuuksilla 40 mm:n tiiliputkilla tehdyissä imuojissa vedenno-peudet ovat suuruusluokkaa 0,20 m/s ja 0,25 m/s. Myös kokoojaojissa edellytetään vähintään 0,20-0,30 m/s vedennopeuksia, liettyvissä maissa peräti 0,40 m/s minimivedennopeutta. Tämän perusteella kokooja-ojan vähimmäiskaltevuusvaatimukseksi eri putkikokoja käyttäen saa-daan seuraavat arvot (HUIKARI, MUOTIALA, WÄRE, 1964):

Putkikoko	mm	50	65	80	100	130	160
Vähimmäiskaltevuus	%	0,45	0,35	0,30	0,25	0,20	0,17
Vähimmäiskaltevuus herkästi liettyvil- lä mailla	%	0,25	0,20	0,17	0,17	0,12	0,10

Kun 40 mm:n tiiliputkesta tehdyssä salaojassa on käytännön ohjeeksi annetun minimikaltevuusvaatimuksen (0,3 %) vallitessa 0,20 m/s suuruusluokkaa oleva vedennopeus ja kun sama vedennopeus on esitetty miniminopeudeksi myös kokoojaojissa, valittiin 0,20 m/s yhdeksi koejäseneksi myös Maasojan mallikokeisiin. Toiseksi vedennopeuskoejäseneksi valittiin 0,40 m/s. Tämä vedennopeus edustaa mm. ruotsalaisen tutkimuksen mukaan rajanopeutta, jossa hiekkarae (0,7 mm) irtautuu putken pohjasta. Kolmanneksi koejäseneksi valittiin 0,60 m/s, mikä nopeus saavutetaan 40 mm:n imuojassa sen ollessa suositellussa 3,0 %:n maksimikaltevuudessaan.

### 3.14 K a l t e v u d e t

Suunniteltaessa salaojan liettymisilmiön tutkimista mallikokeiden avulla lähdettiin alunperinsitä, että ilmiötä on selvitettävä myös vajaatäyttöasteisellä putkella. Käytännössä salaojaputkisto on näet suurimman osan vuodesta vähävetinen tai peräti tyhjänä. Onpa todennäköistä, että eräissä tapauksissa ojan yläpään putket tuskin milloinkaan ovat täysin veden täyttämiä.

Täyttöasteeltaan vajaan salaojan liettymisilmiötä on erityisen hyvä seurata kourujohdossa, joka on tehty normaaleista salaojaputkista siten, että 1/3-osa putken seinämän piiristä on poistettu pitkittäissahauksella. Tällaisessa avokourussa vedennopeuksia voidaan säädellä kaltevuuden muutosten avulla ts. kourun jompaa kumpaa päätä nostamalla tai laskemalla.

Kaltevuus- eli putousprosentteiksi valittiin tiiliputkikokeissa 0,3 %, 0,5 %, 1,0 % ja 1,75 % sekä aaltoseinäisiä muoviputkia käytettäessä vastaavasti 0,4 %, 0,6 %, 1,0 % ja 1,75 %.

### 3.15 M a a l a j i t t e e t

Lieteaineet pääsevät tiiliputkisalaojaan saumarakojen kautta ja muoviputkisalaojaan putken seinämässä olevien rakojen tai reikien kautta. Tiiliputket pyritään asettamaan ojan pohjalle mahdollisimman tiiviisti siten, että putkipäiden väliin jäävä sauma ei jäisi 1-1,5 mm suuremmaksi (KESO, 1951). Edellä mainitun perusteella, ja kun VETO-muoviputken seinämissä olevien reikien läpimitta on myös noin 1 mm, valittiin selvitykseen otettavien maalajitteiden raekoon ylärajaksi 1 mm. Raekooltaan 1 mm:n maa-aines on karkeaa hiekkaa. Sitä karkeamman maa-aineksen putkistoon joutuminen on sattumanvaraista niin kuin aikaisemmin on jo todettu.

Kokeessa käytetty maa-aines oli seulottu pohjoismaissa yleisesti käytetyllä seulasarjatyypillä viiteen raesuuruusluokkaan. Raesuuruusluokat olivat 1,0-0,5 mm, 0,5-0,25 mm, 0,25-0,125 mm, 0,125-0,075 mm ja alle 0,075 mm. Seulasarjan pohjalle jääneestä maa-aineksesta tehtiin areometrillä raesuuruuden määrittäminen, ja se sisälsi savesta 1 %, hiesua 16 % (HHS 2 % ja KHS 14 %) ja hietaa 83 % (HHT 60 % ja KHT 23 %), kuten piirroksista 3 ilmenee.

### 3.2 KOEJÄRJESTELYT

#### 3.2.1 K o k e i d e n s u o r i t u s p a i k k a

Salaojajohtojen vedennopeus- ja liettämiskokeet suoritettiin kesällä 1967 ja 1968 maataloushallituksen vesiteknillisen tutkimustoimiston Maasojan vesitaloudellisella koekentällä Vihdissä. Se on lähellä Helsinki-Pori valtamaantietä ja noin 45 km:n päässä Helsingistä.

Varsinainen kokeiden suorituspaikka sijaitsi koekentän reunassa virtaavan puron - Maasojan - varrella. Puron vesi soveltuukoetar-koitukseen hyvin. Puron valuma-alueella on runsaasti lähteitä, mistä syystä vesi oli riittoisaa ja puhdasta. Varsinaisena vedenottamona oli puroon tehty patoallas. Mainittakoon, että samalla paikalla on

# Reesuuruuden määrittäminen

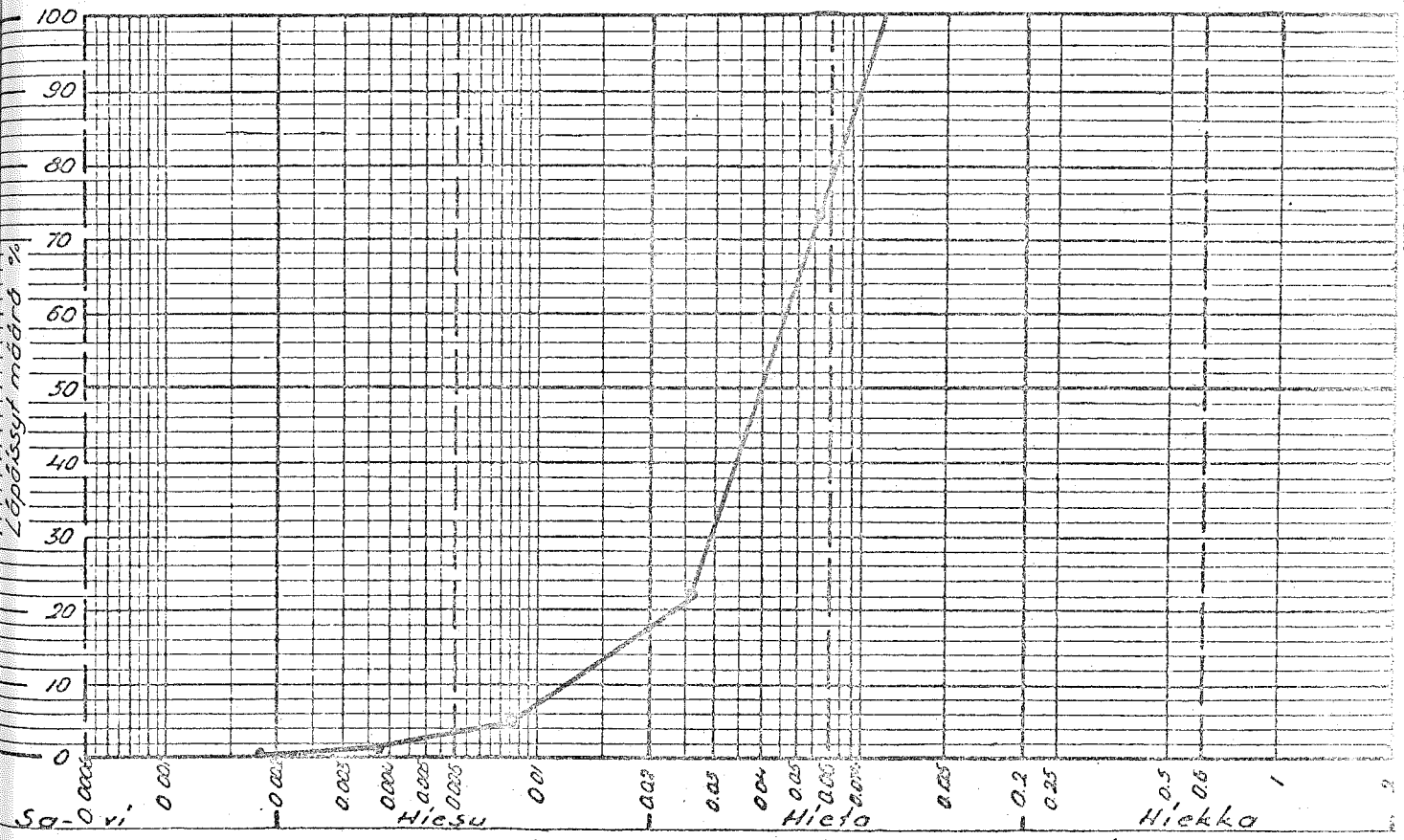
mittausasteikon n:o

4

mittausastioiden halkaisija

cm

g												505 g												g											
Lämpötila 0,1° Lukema 0,0001	Rae-suuruus 0,0001	Läpäisi %	Kilo	Lämpötila 0,1° Lukema 0,0001	Rae-suuruus 0,0001	Läpäisi %	Kilo	Lämpötila 0,1° Lukema 0,0001	Rae-suuruus 0,0001	Läpäisi %	Kilo	Lämpötila 0,1° Lukema 0,0001	Rae-suuruus 0,0001	Läpäisi %	Kilo	Lämpötila 0,1° Lukema 0,0001	Rae-suuruus 0,0001	Läpäisi %																	
			9																																
			00																																
				23,5	0057	73																													
				22,0	8,00026	22																													
				21,0	2,500086	5																													
				21,0	2,000039	1																													
				20,0	2,000018	1																													
<i>Seulan pohjasta</i>																																			
Seulalle jäi				Seulalle jäi				Seulalle jäi				Seulalle jäi				Seulalle jäi																			
g		%		g		%		g		%		g		%		g		%																	



Sa	Sa 1	Sa	Sa	Sa
HHs	HHs 2	HHs	HHs	HHs
KHs	KHs 14	KHs	KHs	KHs
Hs	Hs 16	Hs	Hs	Hs
HHt	HHt 60	HHt	HHt	HHt
KHt	KHt 23	KHt	KHt	KHt
Ht	Ht 83	Ht	Ht	Ht
HHk	HHk	HHk	HHk	HHk
KHk	KHk	KHk	KHk	KHk
Hk	Hk	Hk	Hk	Hk
HSr	HSr	HSr	HSr	HSr
KSr	KSr	KSr	KSr	KSr
Sr	Sr	Sr	Sr	Sr

suoritettu mm. vuosina 1948 ja 1949 WÄREEN toimesta määrityksiä maalajitteita kuljettavista vedennopeuksista samoinkuin eri maalajitteiden vedenläpäisykyvystä.

### 3.22 K o k e i s s a k ä y t e t t y v ä l i n e i s t ö

Kokeissa käytetty välineistö selviää pääpiirteissään piirroksesta 5, jossa on kaavion avulla pyritty esittämään koetapahtuman puitteet. Yksityiskohtia välineistöstä on esitetty valokuvissa 1-16.

Tutkittavat salaojaputket asetettiin 10 metrin pituisena johtona puurakenteiselle alustalle, joka oli noin 1 metrin korkeudella maasta. Alusta oli putkikokeiden aikana vaakasuorassa asennossa. Sen sijaan kouru- eli avoputkikokeen suorittamista varten alusta oli kalteva. Sen asentoa voitiin muuttaa alavirran puoleisen pään nivelakselin avulla. Ylävirran puoleista päätä nostamalla saatiin alustalla olevalle kourulle haluttu kaltevuus.

Kokeen aikana salaojajohdon läpi juoksutettavaa vettä pumpattiin jatkuvasti patoaltaasta sähkömoottorilla varustetulla pumpulla 200 litran säiliöön, jonka yläreunassa oli yliveden poistoaukko. K.o. säiliön avulla säädettiin kulloinkin tarvittava painekorkeus. Säiliöstä vesi johdettiin 2" taipuisallamuoviletkulla 70 litran tasausaltaaseen, jossa häiriövapaa vesipinta asettui 200 litran säiliön poistoaukosta purkautuvan veden yläpinnan tasoon. Molempien säiliöiden nosto tai lasku suoritettiin taljojen avulla.

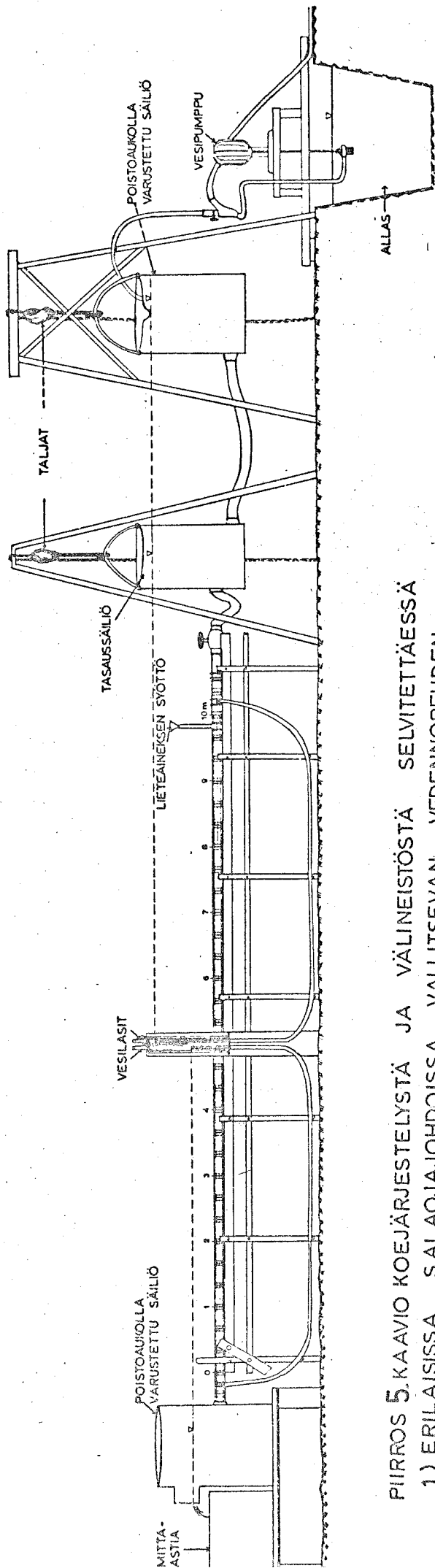
Tasaussäiliöstä, jonka avulla voitiin suorittaa myös ns. painekorkeuden hienosäätö, vesi johdettiin tutkittavana olleeseen salaojajohtoon niin ikään 2"-muoviletkua pitkin. Letku oli varustettu 2" luistinventtiilillä, jolla voitiin tarvittaessa keskeyttää veden tarjoilu tai säätää veden tulo sopivan suuruisiksi kouruputkikokeiden aikana.



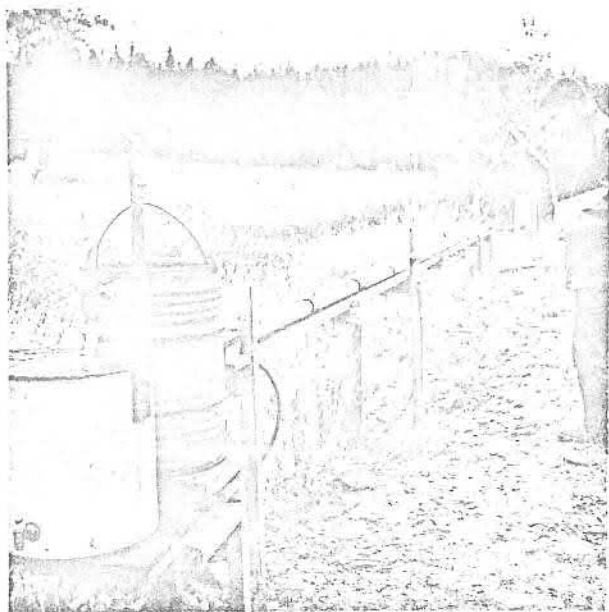
Salaojajohdon alapäässä oli kiinteällä alustalla varustettu säiliö, jonka poistoaukon alareunan korkeus oli 25 cm salaojajohtoa korkeammalla. Vedennopeusmäärittäessä suoritettaessa asetettiin tämän poistoaukon alle 52,15 litran vetoinen mitta-astia. Kun liettämiskokeita suoritettiin kouruputkilla, poistettiin säiliöputken alapäästä ja annettiin veden purkautua vapaasti kouruputkesta.

Kuten piirroksista 5 käy ilmi, kuului koevälineistöön myös salaojajohdon ylä- ja alapäässä vallitsevia paineitamittaavat piezometrit. Paineerokkeuksien ero voitiin helposti lukea rinnakkain millimetriasteikolle kiinnitetyistä  $\varnothing$  10 mm lasiputkista. Suorittamalla painerojen havaitseminen em. tavalla eikä ylä- ja alapään säiliöiden vesipintojen korkeuseroina, saatiin selville todellinen salaojajohdossa vallinnut tilanne. Edelleen piirroksessa ilmenee lieteainekesyöttösuppilon sijainti.

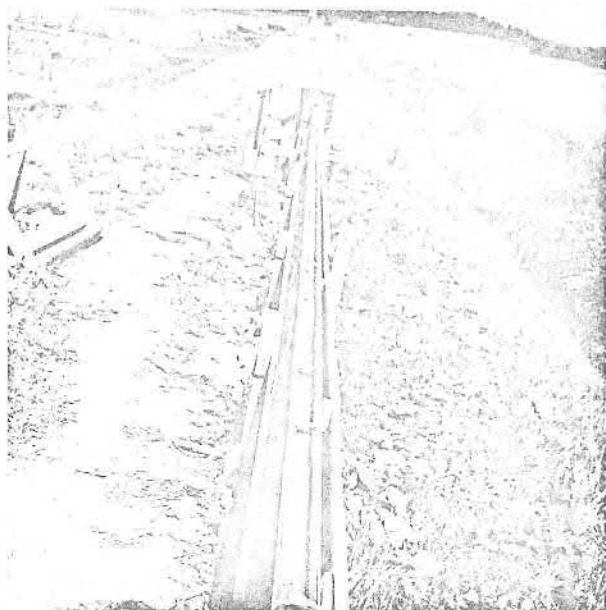
Tiiliputket liitettiin salaojajohdoksi sovittelemalla putket mahdollisimman tiiviisti päittäin, kuten normaalistikin salaojaa tehtäessä. Saumat tiivistettiin ulkoa päin 10 cm:n levyisellä kumi tiivisteellä, putkikitillä ja letkunkiristimillä. Vain joka kolmas sauma jouduttiin kokeen aikana aukaisemaan, koska tilannetta voitiin koejäsenien vaihtuessa seurata 1 metrin pituisten johdon osien osalta varsin hyvin.



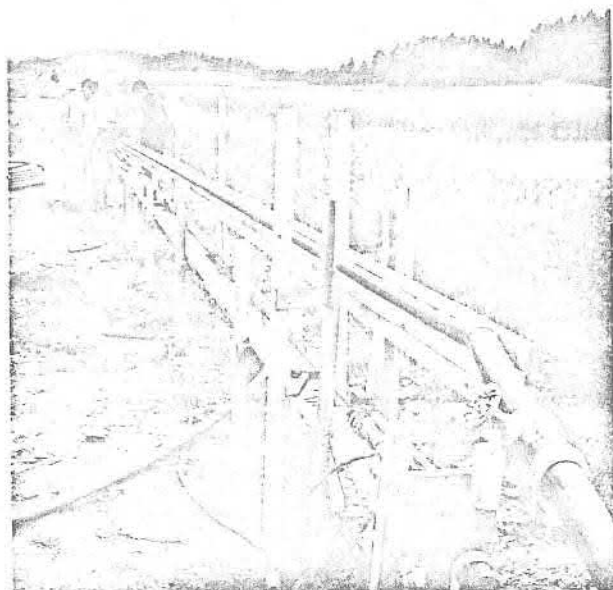
PIirros 5. KAAVIO KOEJÄRJESTELYSTÄ JA VÄLINEISTÖSTÄ SELVITETTÄESSÄ  
 1) ERILAISSA SALAOJAJOHDOISSA VALLITSEVAN VEDENNOPEUDEN  
 RIIPPUVUUTTA VEDEN IPAINEKORKEUDESTA JA  
 2) PUTKISTON LIETTYMISEN RIIPPUVUUTTA VEDENNOPEUDESTA



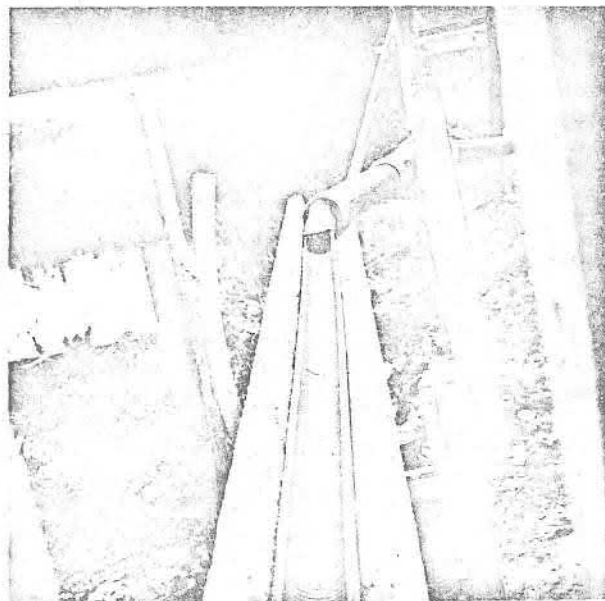
Kuva 1. Mallikokeiden alustarakennelma lisälaitteineen oli lähes 20 m pituinen. Liettämiskoe tiiliputkilla käynnissä.



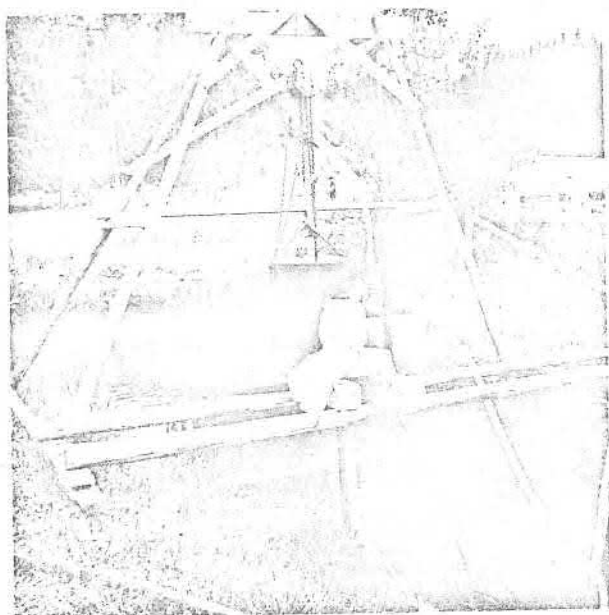
Kuva 2. Tiiliputkista asennettu kouru liettämiskokeessa.



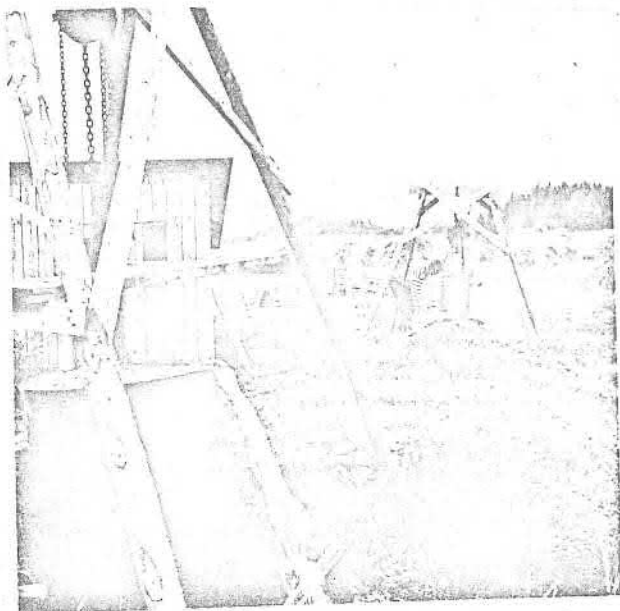
Kuva 3. VETO-putkesta tehty kouru alustalla, jonka kaltevuus oli kuvaa otettaessa 1%. Etualalla näkyvällä luistinventtiilillä säädettiin vedentulo sopivaksi.



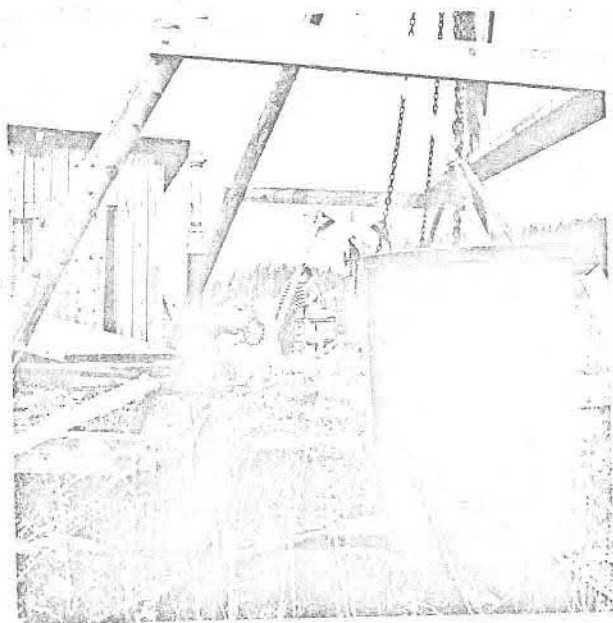
Kuva 4. Veden virtaus on lopetettu VETO-kourun pohjalla erottuva vaalea vaippa on tasaisesti levittänyt lieteainesta.



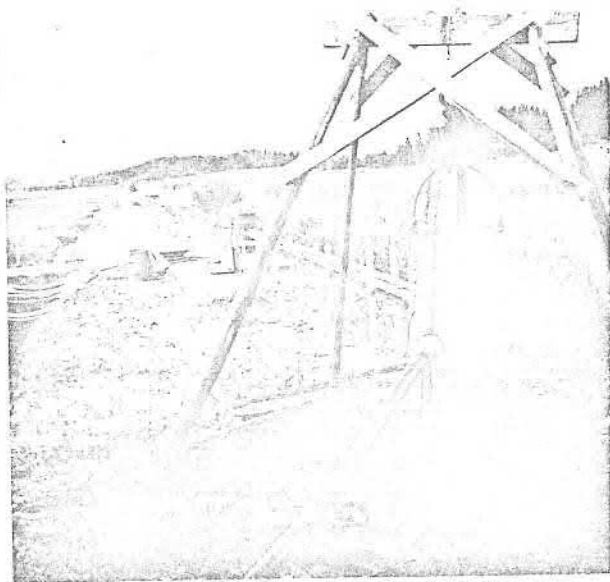
Kuva 5. Maasojan patoaltaasta vesi pumpattiin sähköpumpulla 200 litran säiliöön.



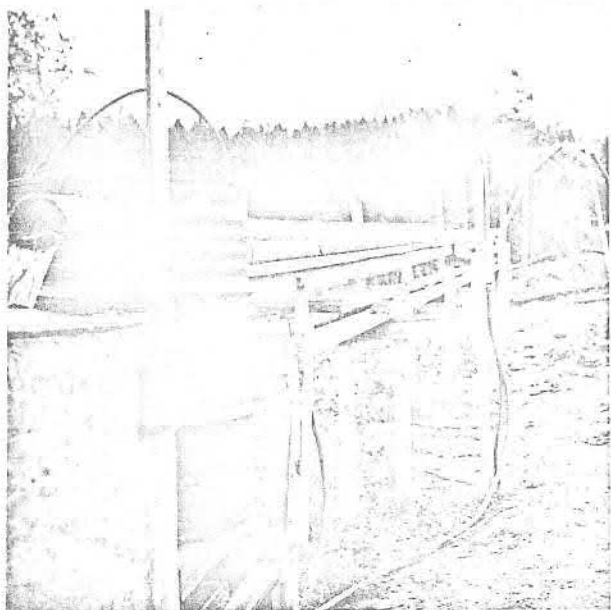
Kuva 6. Ylivesi poistui säiliöstä yläreunaan tehdyn poistoaukon kautta.



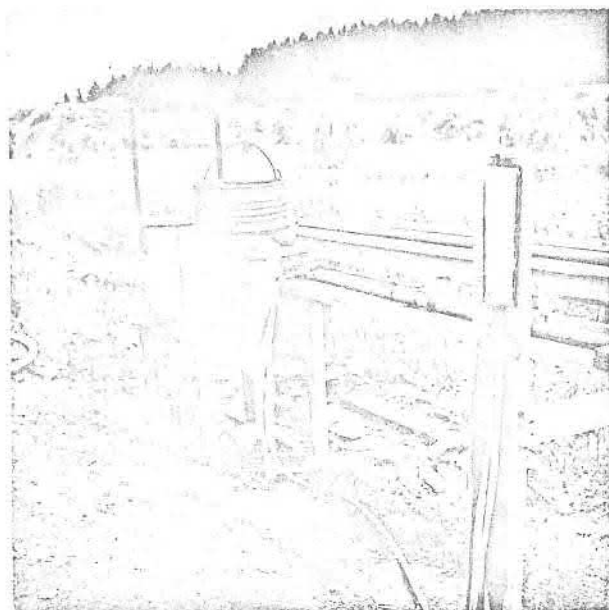
Kuva 7. 200 litran säiliöstä vesi johdettiin 2"-muoviletkulla n. 70 l:n vetoiseen tasaussäiliöön.



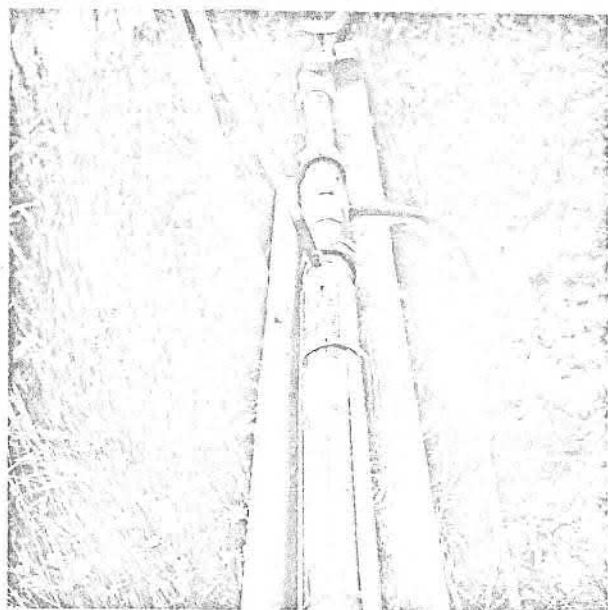
Kuva 8. Tasaussäiliössä vesipinta asettui häiriövapaasti 200 l:n säiliön vesipinnan tasoon. Säiliöitä nostettiin tai laskettiin taljojen avulla.



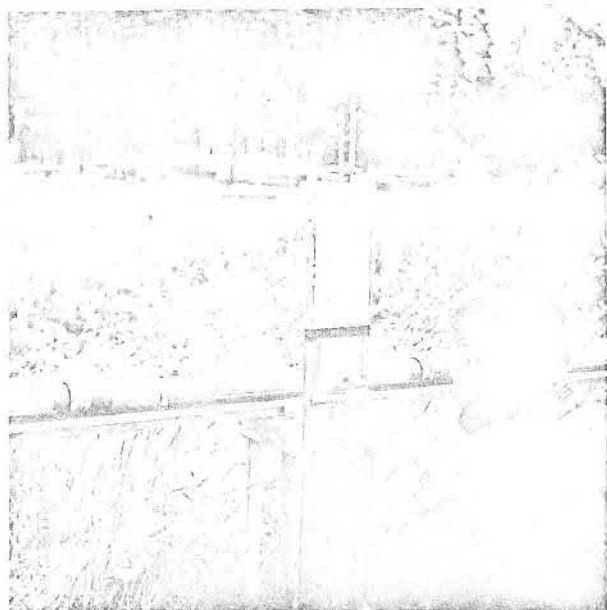
Kuva 9. Salaojajohdon alapään säiliö oli varustettu poistaukolla, jolla vesi ohjattiin mitta-astiaan.



Kuva 10. Salaojajohdon kummassak päässä oli piezometrit putkessa vallitsevan paineenmäärittämistä varten.



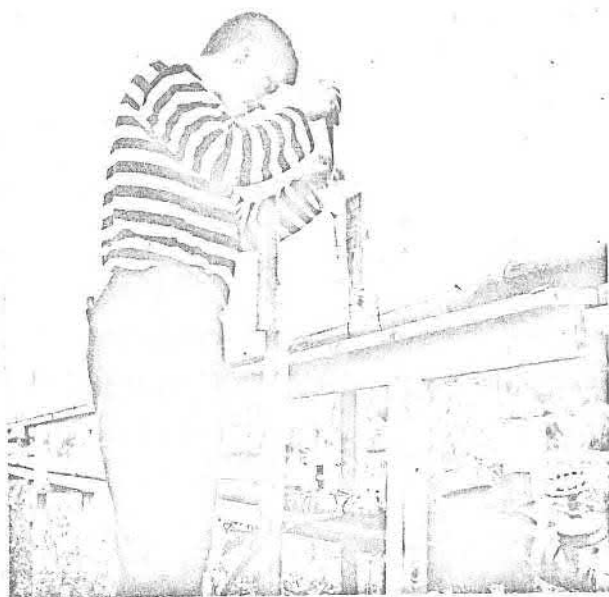
Kuva 11. Yläpään ensimmäisen putken kyljestä lähtevä paineenmittausletku ja toisen putken selkään asennettu lietteen syöttösuppilon liitos.



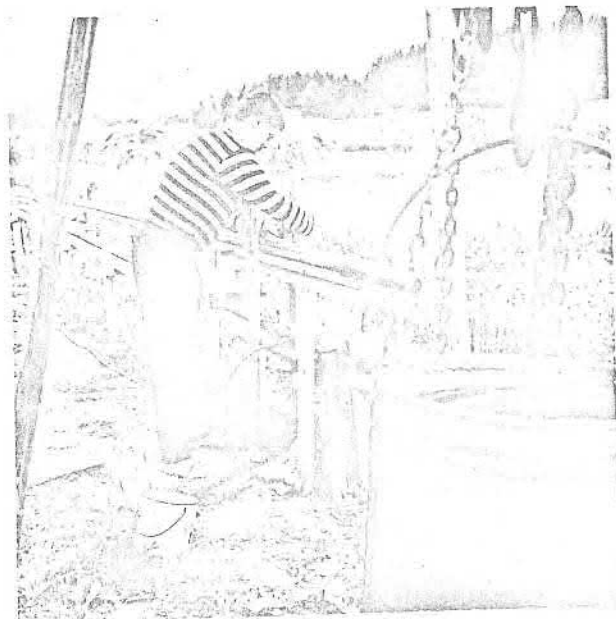
Kuva 12. Piezometrien ilmaisema painekorkeuksien ero salaojajohdon ylä- ja alapäässä voitiin lukea suoraan rinnakkain millimetriasteikoille asennetuista lasiputkista.



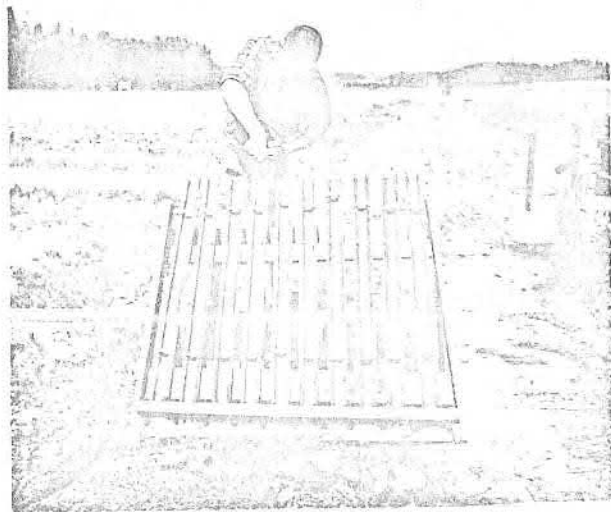
Kuva 13. 100.0 g ilmakuivaa maa-ainesta valutettiin 5 min ajan putkeen suppiloa apuna käyttäen.



Kuva 14. Karkeampi, selvästi rake-  
nen maa-aines valui tavallisesti  
tasaisesti kuin tiimalasista let-  
kua pitkin putkeen syötössä jou-  
duttiin joskus käyttämään vettä  
apuna.



Kuva 15. Kokeen jälkeen tiili-  
putkista tehty salaojajohto  
pätkittiin 3 putken eli 1 met-  
rin käsittelykappaleisiin.



Kuva 16. 10 käsittelykappalletta  
eli yhteensä 10 metrin salaoja-  
johto lietteenhuuhtelutelinees-  
sä. Huom. lietteenkeräysastiat  
putkien alapäissä.

### 3.3 KOKEIDEN SUORITUS

#### 3.31 Vedennopeuden määrittäminen

Ennen varsinaisia liettämistutkimuksia oli saatava selville putkien vedenjohtokyky ja se, millainen vedennopeus putkessa vallitsee eri paine- tai putouskorkeuksien aikana. Salaojajohdon kyseessä ollen selvitetettiin nämä seikat virtaamamittauksien avulla ts. mitta-astiaa ja sekuntikelloa apuna käyttäen. Avoputki- eli kourujohdon kyseessä ollen suoritettiin paitsi virtaamamittauksia myös vedennopeusmittauksia uimuria käyttäen.

Vedennopeus ( $v$ ) saadaan lasketuksi, kun tiedetään uoman tai johdon poikkileikkaus ( $A$ ) ja uomasta tai johdosta aikayksikössä virrannut vesimäärä eli virtaama ( $Q$ ). Sekä tiiliputkijohdon että muoviputkijohdon poikkiala tunnettiin. Virtaama  $Q$  saatiin selvitettyksi, kuten aikaisemmin on jo mainittu, tarkkailemalla sekuntikellolla, kuinka pitkä aika kului 52.15 litran mitta-astian täyttymiseen. Virtaamamittaukset aloitettiin mahdollisimman pienen paine-eron vallitessa ja jatkettiin tasaisin, riittävän tihein välein aina 300 mm:n paine-eroon asti. Tulokset on esitetty taulukoissa 3-7. Tulosten perusteella voitiin piirtää kullekin putkityypille piirroksessa 6 esitetty nomogrammi, jota liettämiskokeen aikana käytettiin hyväksäädettäessä haluttua vedennopeutta kulloinkin testissä olevalle putkityypille.

Kouru- eli avoputkijohdolla suoritettut virtaamamittaukset olivat periaatteessa samanlaiset. Alun pitäen oli koetta suunniteltaessa päädytty siihen, että kouruputken täyttöaste eli kourussa olevan vesikerroksen keskimääräinen paksuus on 15 mm, jolloin siis vesipoikkiala ( $A$ ) kaikissa tapauksissa tuli olemaan  $4,3 \text{ cm}^2$ . Virtaamamittausten lisäksi suoritettiin, kuten aikaisemmin vedennopeusmäärittämisessä on jo mainittu, myös pintauimurilla. Pintauimuriksi valittiin vettynyt puupala, joka veistettiin  $4 \times 4 \times 10$  mm sauvan muotoiseksi. Se oli riittävän raskas uimaan pintauimurille sopivassa asennossa eikä ollut kovin altis esim. ilmavirtausten aiheuttamille häiriöille. Uimurin antamia tuloksia käytettiin hyväksi vertailuaineistona.



## Taulukko 3.

Virtaamamittaustulokset aaltoseinäisessä muovisalaajaputkessa ( VETO-putki ), sisä-Ø 40 mm ja ulko-Ø 45 mm.

Veden lämpö- tila °C	Vesi- määrä l	52,15 l:n säiliön täytt. aika s	Q = Vir- taama m <sup>3</sup> /s	Vesipint. kork. ero mm	A = 12,566 cm <sup>2</sup> v = $\frac{Q}{A}$ m/s
11	52,15	349,8		9,5	
"	"	351,0	0,000148	"	0,118
10,5	"	351,9		"	
"	"	246,9		20,0	
"	"	246,6	0,000211	"	0,169
"	"	247,6		"	
"	"	204,6		30,0	
"	"	204,4	0,000255	"	0,203
11	"	203,6		"	
"	"	176,2		40,0	
"	"	177,7	0,000294	"	0,231
"	"	176,9		"	
"	"	159,3		50,0	
"	"	158,6	0,000327	"	0,260
"	"	159,1		"	
"	"	144,1		60,0	
"	"	144,0	0,000361	"	0,287
"	"	132,9		70,0	
"	"	133,8	0,000390	"	0,311
12	"	125,7		80,0	
"	"	126,0	0,000413	"	0,329
"	"	119,9		89,0	
"	"	119,7	0,000434	89,0	0,346
"	"	113,9		100,0	
"	"	112,4	0,000460	"	0,366
"	"	112,6		"	
"	"	103,0		119,0	
"	"	102,9	0,000505	"	0,402
"	"	94,4		140,0	
"	"	94,6	0,000550	"	0,438
"	"	88,4		159,0	
"	"	88,2	0,000589	"	0,469
"	"	81,2		189,0	
"	"	80,9	0,000641	"	0,510
"	"	72,0		230,0	
"	"	72,5	0,000719	"	0,572
"	"	66,3		270,0	
"	"	66,2	0,000784	"	0,624



Taulukko 4. Virtaamamittaustulokset RIL 54 putkilla, sisä- $\emptyset$  40 mm.

Veden lämpö- tila $^{\circ}\text{C}$	Vesi- määrä l	52,15 l:n säiliön täytt. aika s	Q = Vir- taama $\text{m}^3/\text{s}$	Vesipint. kork. ero mm	A = 12,566 $\text{cm}^2$ $v = \frac{Q}{A}$ m/s
14,8	52,15	329,7		6,5	
"	"	332,3	0,000156	"	0,124
15,6	"	340,1		"	
15,8	"	248,9		10,0	
16,0	"	248,8	0,000209	"	0,166
"	"	252,6		"	
16,2	"	169,4		20,0	
"	"	170,3	0,000307	"	0,244
16,4	"	169,9		"	
14,6	"	137,9		30,0	
"	"	138,5	0,000377	"	0,300
14,8	"	139,0		"	
"	"	114,9		40,0	
"	"	114,7	0,000454	"	0,361
15,0	"	115,1		"	
"	"	100,7		50,0	
"	"	101,2	0,000516	"	0,411
15,2	"	101,2		"	
"	"	93,1		60,0	
"	"	92,3	0,000564	"	0,448
"	"	92,2		"	
15,4	"	83,6		70,0	
15,6	"	83,5	0,000625	"	0,497
"	"	83,3		"	
15,8	"	77,3		80,0	
16,0	"	77,5	0,000673	"	0,535
"	"	77,7		"	
17,0	"	71,5		90,0	
17,2	"	71,7	0,000728	"	0,579
"	"	71,5		"	
17,4	"	67,5		100,0	
17,6	"	67,3	0,000774	"	0,616
17,8	"	67,5		"	
18,0	"	64,1		110,0	
"	"	64,1	0,000814	"	0,648
"	"	64,0		"	
"	"	60,9		120,0	
"	"	60,9	0,000855	"	0,680
18,2	"	61,2		"	
18,4	"	55,9		140,0	
"	"	55,6	0,000935	"	0,744
"	"	55,8		"	
18,6	"	51,7		160,0	
"	"	51,8	0,001007	"	0,801
"	"	51,8		"	
18,8	"	48,4		180,0	
"	"	48,5	0,001075	"	0,855
"	"	48,5		"	
"	"	44,1		210,0	
"	"	44,5	0,001175	"	0,935
"	"	44,1		"	
"	"	40,6		240,0	
"	"	41,0	0,001281	"	1,019
"	"	40,6		"	
"	"	38,4	0,001369	270,0	1,089
"	"	38,0		"	
"	"	38,0		"	

## Taulukko 5.

Virtaamamittaukset raasteellisella tiili-putkella ( RIL 54 tl 0,7 ), sisä  $\emptyset$ -40 mm.

Veden lämpötila °C	Vesimäärä l	52,15 l:n säiliön täytt. aika s	Q = Vir- taama m <sup>3</sup> /s	Vesipint. kork. ero mm	A = 12,566 cm <sup>2</sup> v = $\frac{Q}{A}$ m/s
11,4	52,15	347,3		6,0	
"	"	366,1	0,000144	"	0,115
"	"	373,9		"	
11,6	"	274,3		10,0	
"	"	272,6	0,000191	"	0,152
"	"	272,1		"	
11,8	"	187,7		20,0	
"	"	187,1	0,000279	"	0,222
"	"	186,9		"	
12,0	"	152,6		30,0	
"	"	151,7	0,000342	"	0,272
"	"	152,7		"	
9,2	"	131,0		40,0	
"	"	131,5	0,000397	"	0,316
"	"	131,9		"	
9,4	"	116,4		50,0	
"	"	116,8	0,000447	"	0,356
"	"	116,8		"	
"	"	104,6		60,0	
"	"	104,3	0,000500	"	0,398
"	"	104,4		"	
"	"	96,7		70,0	
"	"	96,6	0,000539	"	0,429
"	"	96,7		"	
"	"	86,7		80,0	
"	"	86,8	0,000601	"	0,479
"	"	86,9		"	
"	"	80,8		90,0	
"	"	81,1	0,000644	"	0,513
"	"	81,2		"	
9,6	"	77,1		100,0	
"	"	76,8	0,000679	"	0,541
"	"	76,6		"	
"	"	72,8		110,0	
"	"	72,9	0,000716	"	0,570
"	"	72,8		"	
9,8	"	69,5		120,0	
"	"	69,7	0,000749	"	0,596
"	"	69,7		"	
10,2	"	62,7		140,0	
"	"	62,7	0,000832	"	0,662
"	"	62,8		"	
"	"	57,9		160,0	
"	"	57,8	0,000901	"	0,717
"	"	57,9		"	
"	"	54,2		180,0	
"	"	54,2	0,000964	"	0,768
"	"	53,8		"	

## Taulukko 5. jatkuu

Veden lämpö- tila °C	Vesi- määrä l	52,15 l:n säiliön täytt. aika s	Q = Vir- taama m <sup>3</sup> /s	Vesipint. kork. ero mm	A = 12,566 cm <sup>2</sup> v = $\frac{Q}{A}$ m/s
10,4	52,15	50,1	0,001043	210,0	0,830
"	"	50,0		"	
"	"	49,8		"	
10,6	"	46,3		240,0	
"	"	46,1	0,001129	"	0,899
"	"	46,1		"	
"	"	42,9		270,0	
"	"	43,1	0,001210	"	0,963
"	"	43,3		"	

## Taulukko 6.

Virtaamamittaustulokset aaltoseinäisessä muovisalaajaputkessa ( VETO-putki ), sisä-Ø 40-mm ja ulko-Ø 45 mm. Uusintakoe 1968.

Veden lämpö- tila °C	Vesi- määrä l	52,15 l:n säiliön täytt. aika s	Q = Vir- taama m <sup>3</sup> /s	Vesipint. kork. ero mm	A = 12,566 cm <sup>2</sup> v = $\frac{Q}{A}$ m/s
9,2	52,15	364,0		10,0	
"	"	363,8	0,000143	"	0,114
"	"	362,9		"	
"	"	271,0		20,0	
"	"	270,9	0,000192	"	0,153
"	"	271,5		"	
"	"	219,6		30,0	
"	"	219,3	0,000238	"	0,189
"	"	219,0		"	
"	"	188,5		40,0	
"	"	187,9	0,000277	"	0,221
"	"	188,8		"	
"	"	169,7		50,0	
"	"	169,1	0,000308	"	0,245
"	"	169,0		"	
9,6	"	154,6		60,0	
"	"	154,4	0,000338	"	0,269
"	"	154,3		"	
9,8	"	142,5		70,0	
"	"	142,8	0,000366	"	0,291
"	"	142,6		"	
"	"	133,9		80,0	
"	"	133,6	0,000390	"	0,311
"	"	133,9		"	
10,0	"	126,5		90,0	
"	"	126,4	0,000412	"	0,328
"	"	126,5		"	
10,2	"	118,6		100,0	
"	"	118,6	0,000439	"	0,350
"	"	118,8		"	

seur. sivu

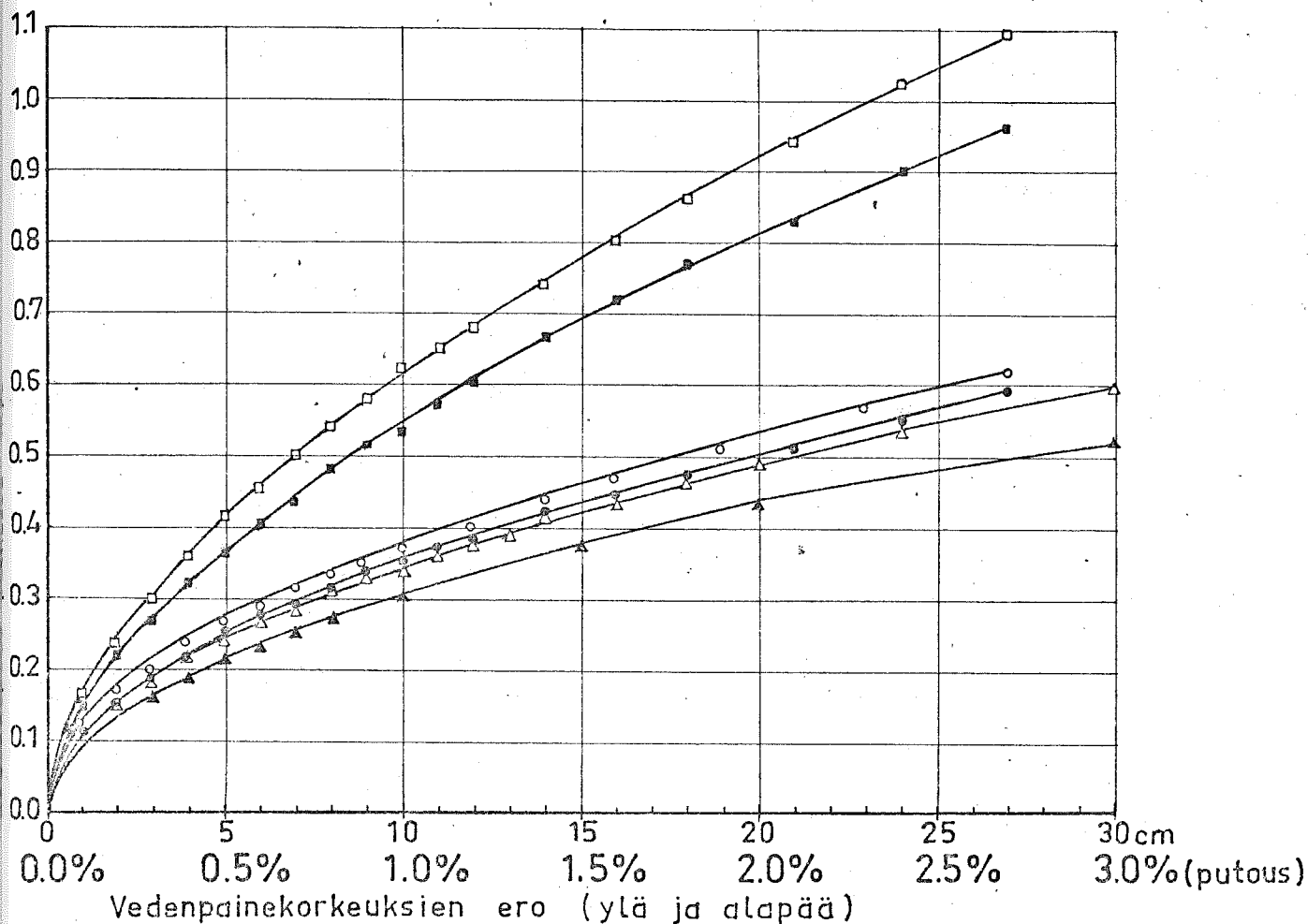
## Taulukko 6. jatkuu

Veden lämpötila °C	Vesimäärä l	52,15 l:n säiliön täytt. aika s	Q = Vir- taama m <sup>3</sup> /s	Vesipint. kork. ero mm	A = 12,566 cm <sup>2</sup> v = $\frac{Q}{A}$ m/s
10,2	52,15	113,6		110,0	
"	"	113,5	0,000460	"	0,366
"	"	113,1		"	
6,8	"	109,0		120,0	
"	"	109,1	0,000478	"	0,381
"	"	109,0		"	
"	"	100,9		140,0	
"	"	100,7	0,000517	"	0,412
"	"	100,8		"	
7,0	"	93,8		160,0	
"	"	93,9	0,000556	"	0,443
"	"	93,6		"	
"	"	88,1		180,0	
"	"	88,1	0,000592	"	0,471
"	"	88,2		"	
7,2	"	80,9		210,0	
"	"	81,3	0,000643	"	0,512
"	"	81,2		"	
"	"	75,4		240,0	
"	"	75,1	0,000690	"	0,549
"	"	75,2		"	
7,4	"	70,8		270,0	
"	"	70,5	0,000740	"	0,589
"	"	70,3		"	

## Taulukko 7.

Pintauimurilla mitatut vedennopeudet aaltoseinäisen muovisalaojaputken kouruputkessa ( VETO-putki sisä- $\varnothing$  40 mm ja ulko- $\varnothing$  45 mm ). Putkessa vesikerroksen korkeus on 15 mm.

Veden lämpötila °C	Kaltevuus %	Vedennopeus pintauimurilla 10 m:n matk. aika s	v = m/s	52,15 l:n säiliön täytt. aika s	A = 4,33 cm <sup>2</sup> v = $\frac{Q}{A}$ m/s
12,0	0,4	43,5	0,23	718	0,17
12,5	"	40,0	0,25	640	0,19
"	"	-	-	675	0,18
13,5	0,62	34,4	0,29	-	-
14,5	"	-	-	632	0,19
10,5	"	35,7	0,28	623	0,19
14,0	1,04	27,8	0,36	580	0,22
13,0	"	-	-	546	0,22
14,0	1,76	20,0	0,50	414	0,30
17,0	"	-	-	424	0,30
14,0	"	20,8	0,48	-	-



KOE 1967

○—○—○ Aaltoseinäinen muoviputki (VETO-putki) sisä- $\varnothing$  40 mm  
Vedenlämpötila  $+11.5^{\circ} \pm 1.5^{\circ}C$

KOE 1968

●—●—● Aaltoseinäinen muoviputki (VETO-putki) sisä- $\varnothing$  40 mm  
Vedenlämpötila  $+9.0^{\circ} \pm 1.5^{\circ}C$

□—□—□ Tiiliputki (RIL 54) sisä- $\varnothing$  40 mm  
Vedenlämpötila  $+17^{\circ} \pm 1.5^{\circ}C$

■—■—■ Raasteellinen tiiliputki (RIL 54 t10.7) sisä- $\varnothing$  40 mm  
Vedenlämpötila  $+11^{\circ} \pm 1.5^{\circ}C$

△—△—△ Tiiliputki sisä- $\varnothing$  40mm KESON NOMOGRAMMI

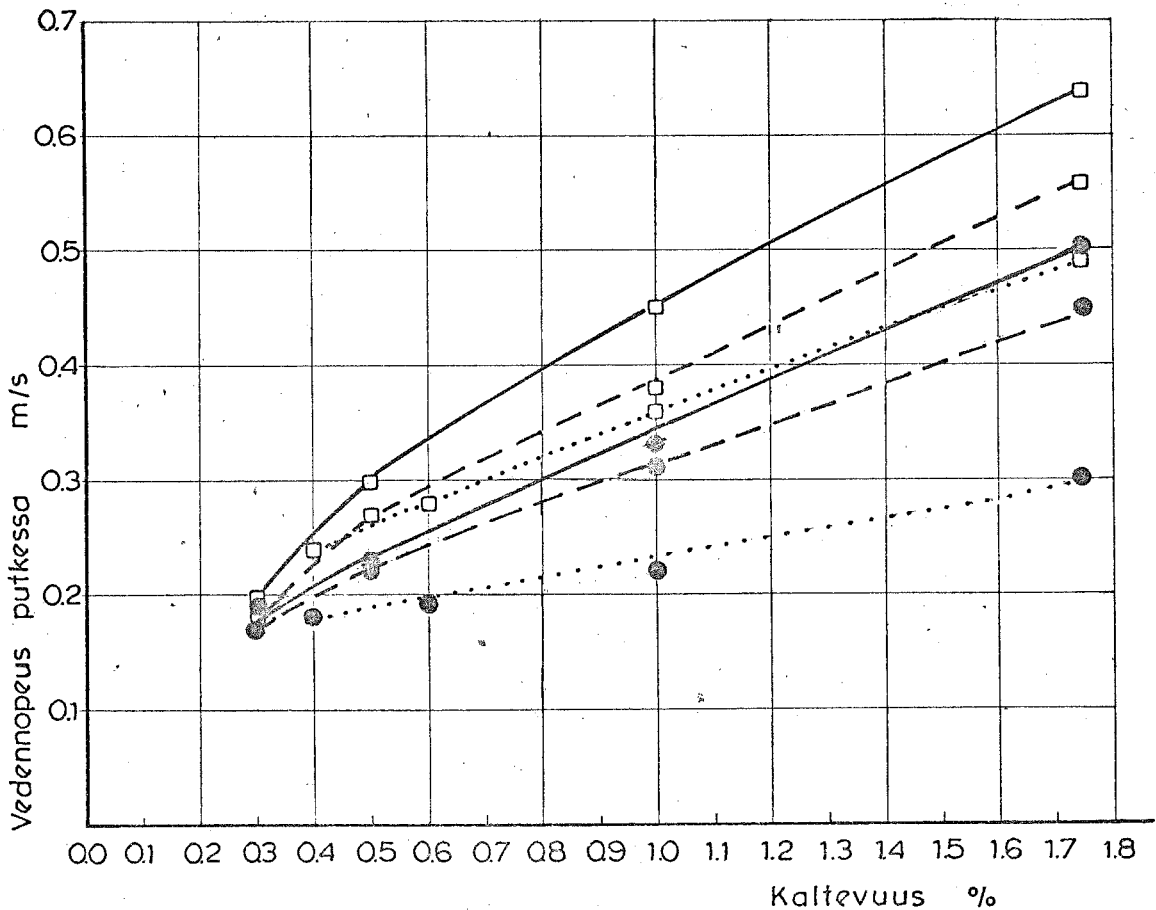
▲—▲—▲ Tiiliputki sisä- $\varnothing$  40mm (DIN 1185 K<sub>s</sub>65)

PIIRROS 6 Vedennopeuden riippuvuus painekorkeudesta (putous) 40mm:n  
sisäläpimittaisessa ja 10m:n pituisessa putkisalaojassa

Puuttumatta enemmälti edellä esitettyjen taulukoitten lukuaineistoon on kenties sen sijaan syytä todeta piirroksen 6 perusteella eräitä varsin oleellisia seikkoja. Esimerkiksi raasteellisessa tiiliputkessa näyttää vedennopeus olevan n. 90 % normien mukaisen tiiliputken vedennopeudesta, kun taas aaltoseinäinen muoviputki täyttää selvityksen mukaan vedenjohtokykynsä puolesta 40 mm:n salaojaputkelle asetetut vaatimukset ylittäen ne noin 5 prosentilla.

Avoputkella eli kourulla suoritettut vedennopeusmääritykset osoittavat niin ikään, että saman kaltevuuden vallitessa paras tulos on normien mukaisesta tiiliputkesta tehdyssä kourussa, seuraavaksi paras raasteellisessa tiilikourussa ja pienin vedennopeus saavutetaan aaltoseinäisestä muoviputkesta tehdyssä kourussa. Vedennopeus raasteellisessa tiiliputkikourussa on n. 90 % normien mukaisen tiiliputkikourun vedennopeudesta. Aaltoseinäisessä muoviputkikourussa oli vedennopeus 85 % normien mukaisen tiiliputkikourun vedennopeudesta silloin, kun kaltevuus oli 0,4 % ja 60 % kaltevuuden ollessa 1,75 %. Tulokset on esitetty piirroksessa 7.

Pintauimurimäärityksillä saaduista vedennopeusarvoista todettakoon, että aaltoseinäisessä muovikourussa oli vesimäärämittauksen perusteella laskettu vedennopeus n. 60 % pintauimurilla määritetystä vedennopeudesta. Normien mukaisista tiiliputkista tehdyssä kourussa oli vastaavasti vesimäärämittauksella saatu arvo n. 75 % pintauimurilla saadusta vedennopeusarvosta ja raasteellisessa tiiliputkikourussa vastaavasti n. 80 %.



#### Virtaamamittauksten perusteella lasketut vedennopeudet

- ...●...● Aaltoseinäinen muoviputki (VETO-putki)
- Normien mukainen tiiliputki (RIL 54)
- -●- -● Raasteellinen tiiliputki (RIL 54 t1 0.7)

#### Pintaumuria käyttäen mitatut vedennopeudet

- ...□...□ Aaltoseinäinen muoviputki (VETO-putki)
- Normien mukainen tiiliputki (RIL 54)
- -□- -□ Raasteellinen tiiliputki (RIL 54 t1 0.7)

Piirros 7 Vedennopeuden riippuvuus kaltevuudesta (putous %) 40mm:n sisäpäämittäisistä salaojaputkista tehdyissä 10m:n pituisissa kouruputkissa, kun vesipaksuus kourussa on 15mm.

### 3.32 Liettämisskokeet

Edellä kohdassa 3.15 mainittuja lajitteita ei sekoitettu keskenään, vaan jokaisella raekoolla tehtiin selvitykset erikseen. Kutakin koetta varten punnittiin 100,00 g ilmakeivaa lajitetta. Kun haluttu vedennopeus putkijohdossa oli saavutettu, syötettiin maa-aines lasisuppilon kautta putkeen tasaisesti tiimalasiperiaatteen mukaisesti valuttaen. Valutusaika oli 5 min. Varsinainen virtausaika laskettiin alkavaksi siitä hetkestä, kun maa-aineksen syöttö putkeen oli päättynyt.

Kun tarkoituksena oli seurata myös lieteaineksen mahdollista etenemisrytmiä putkijohdossa, valittiin varsinaiseksi virtausajaksi eli siis siksi ajaksi, jonka maa-aines putkeensyötön jälkeen voi kulkeutua veden mukana, 10 min, 30 min ja 60 min.

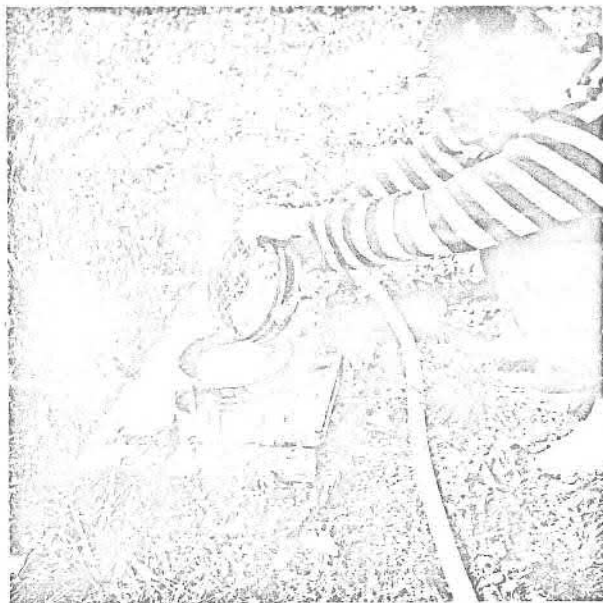
Virtausajan kuluttua umpeen suljettiin veden pääsy putkeen venttiilillä. Tämän jälkeen putkijohto pätkittiin 3 putken eli 1 metrin pituisiin osiin. Kuhunkin osaan kulkeutunut ja sinne jäänyt lieteaine huuhdeltiin erilliseen astiaan käyttäen terävää, sumuttimen kaltaista vesisuihkua. Tällöin myös putkien välisiin saumarakoihin mahdollisesti tunkeutunut lieteaine irtautui. Huuhteluveden mukana tullut liete kuivattiin ja punnittiin ilmakeivana 0,01 g tarkkuudella. Koemenettely aaltoseinämaisen muoviputken kohdalla oli muutoin samanlainen paitsi putken mittojen osalta. Muoviputkilla käytettiin 9 metrin pituista putkijohtoa, joka kokeen päätyttyä pätkittiin neljään yhtä pitkään käsittelykappaleeseen. Kuvassa 17 näkyy k.o. 2,25 m mittainen putken pätkä, joka on parasta aikaa käsiteltävänä eli huuhdeltavana. Kuvissa 18, 19 ja 20 huuhdellaan vesisuihkulla edelleen 0,075 mm seulalle jäänyt aine astiaan. Milloin kokeessa oli alle 0,075 mm lieteaine, huuhdeltiin se putkesta suoraan riittävän suureen astiaan, annettiin suspension seistä, kunnes aine laskeutui pohjalle. Tämän jälkeen "kirkas" vesi kaadettiin varovasti pois ja pohjalle jäänyt maa-aine kuivattiin ja punnittiin ilmakeivana.

Taulukoissa 8-13 on esitetty liettämisskokeiden tuloksia.

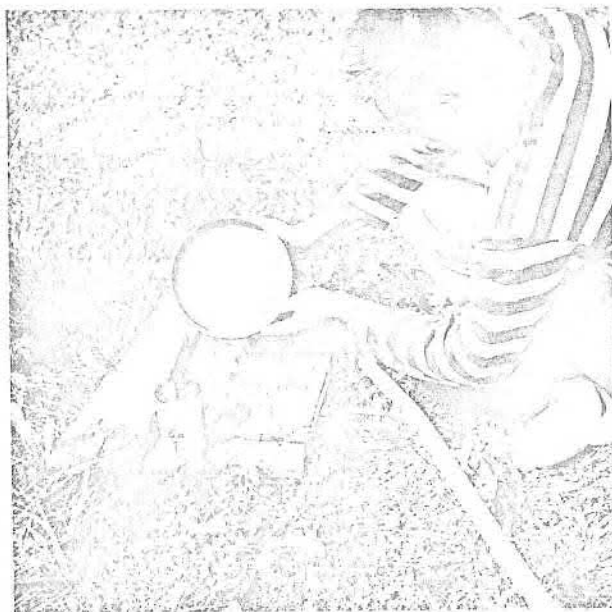




Kuva 17. 2,25 metrin mittainen VETO-putken "käsittelykappale" huuhdottavana. Putken alapäässä seulat ja astia.



Kuva 18. Myös tukialustana ollut ristikko huuhdottiin.



Kuva 19. 0,075 mm:n seulalle jäänyt maa-aines pakotettiin ohuella vesisuihkulla varovasti seulan reunaan....



Kuva 20. ... ja seulalta edelleen kuivausastiaan. Kuivatuksen jälkeen maa-aines punnittiin ilma-kuivana.

## Taulukko 8.

Liettimiskokeen tuloksia aaltoseinäisellä muovisalaojaputkella ( VETC-putki ), sisä- $\emptyset$  40 mm ja ulko- $\emptyset$  45 mm.

Lietteen putkeen syöttöaika 5 min ja lietteen määrä 100,00 g

Veden lämp. t <sup>o</sup> C	Veden nope. m/s	Virt. aika syötöstä min	Rae-koko mm	Lietteen määrä putkessa g					Putkesta poistunut liete g
				I 0-2,25	II 2,25-4,5	III 4,5-6,75	IV 6,75-9 <sub>m</sub>	Yht. g	
	0,2		1,0						
	"		-0,5	Ei suoritettu koetta					
	"		0,5						
12,0	"	60	-0,25	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	-
	"	10	0,25	-	-	-	-	-	-
15,0	"	30		98,27	0,30	0,09	0,03	98,69	1,31
14,0	"	60	-0,125	98,53	0,21	0,04	0,02	98,80	1,20
13,0	"	10	0,125	89,65	4,05	0,38	0,11	94,19	5,81
16,0	"	30		90,24	4,21	0,32	0,07	94,84	5,16
11,0	"	60	-0,075	85,82	5,41	0,68	0,17	92,08	7,92
"	"	10	0,075	44,19	15,67	7,86	4,64	72,36	27,64
12,0	"	30		41,96	16,42	8,14	4,66	71,18	28,82
"	"	60	-0,000	43,11	15,67	7,33	4,53	70,64	29,36
"	0,41	10	1,0	27,30	30,83	29,50	11,14	98,77	1,23
"	"	30		22,90	25,45	23,90	21,48	93,73	6,27
10,0	0,40	60	-0,5	12,40	13,97	15,65	16,42	58,44	41,56
14,5	0,41	10	0,5	35,40	62,64	0,20	0,19	98,43	1,57
9,5	0,40	30		21,07	23,78	25,50	25,54	95,89	4,11
14,0	"	60	-0,25	11,36	13,15	15,36	13,42	53,29	46,71
13,0	"	10	0,25	28,07	38,04	30,91	0,61	97,63	2,37
"	"	30		24,66	29,77	31,73	8,65	94,81	5,19
10,0	"	60	-0,125	8,18	8,76	11,49	13,61	42,04	57,96
11,0	"	10	0,125	11,79	14,66	17,10	18,67	62,22	37,78
11,5	"	30		9,90	10,38	12,46	15,84	48,58	51,42
12,0	"	60	-0,075	4,69	5,00	5,45	6,42	21,59	78,41
13,0	"	10	0,075	4,26	4,41	3,87	3,64	16,17	83,83
"	0,41	30		2,00	2,06	1,63	1,50	7,19	92,81
10,5	0,40	60	-0,000	1,90	1,90	1,69	1,55	6,84	93,16
10,0	0,59	10	1,0	5,25	7,60	8,53	8,95	30,33	69,67
14,0	0,60	30		3,10	4,35	5,37	5,57	18,39	81,61
11,5	"	60	-0,5	2,28	2,46	3,20	3,00	10,94	89,06
12,5	"	10	0,5	4,20	5,69	8,00	10,35	28,24	71,76
12,0	"	30		2,72	2,88	3,60	4,20	13,40	86,60
13,0	"	60	-0,25	2,46	2,20	2,60	2,85	10,11	89,89
13,5	"	10	0,25	3,95	3,20	3,69	3,20	14,04	85,96
11,5	"	30		3,00	2,69	2,67	2,75	11,10	88,90
12,0	"	60	-0,125	1,67	1,15	1,16	1,52	5,50	94,50
16,0	"	10	0,125	1,13	1,04	1,05	1,20	4,42	95,58
12,0	"	30		0,50	0,49	0,47	0,55	2,01	97,99
11,5	"	60	-0,075	0,45	0,34	0,25	0,72	1,76	98,24
10,0	"	10	0,075	1,01	1,27	0,00	0,86	4,04	95,96
12,0	"	30		0,50	0,50	0,44	0,39	1,83	98,17
"	"	60	-0,000	0,36	0,25	0,23	0,52	1,36	98,64

Liettämiskokeen tuloksia normien mukaisella tiiliputkella (RIE 54), sisä Ø 40 mm. Lietteen putkeen syöttöaika 5 min ja lietteen määrä 100,00 g.

Veden- nopeus m/s	Virtaus- aika lietteen syötöstä min	Raekoko mm	Lietteen määrä putkessa g										Yht. 0 - 10m g	Putkesta poistunut liete g		
			I 0 - 1	II 1 - 2	III 2 - 3	IV 3 - 4	V 4 - 5	VI 5 - 6	VII 6 - 7	VIII 7 - 8	IX 8 - 9	X 9 - 10				
0,20	10	1,0-0,5	98,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98,63	1,37
0,18	30	"	99,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,32	0,68
"	60	"	98,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98,84	1,16
0,20	10	0,5-0,25	99,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,50	0,50
"	30	"	99,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,48	0,52
0,19	60	"	99,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,25	0,75
"	10	0,25-0,125	97,70	1,00	0,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98,91	1,09
0,20	30	"	96,70	1,45	0,18	-	0,10	-	-	-	-	-	-	-	98,43	1,57
"	60	"	95,65	0,91	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	96,67	3,33
"	10	0,125-0,075	71,90	19,75	2,25	1,58	0,77	0,45	0,25	-	-	-	-	-	96,95	3,05
"	30	"	73,66	16,68	3,42	1,52	0,46	0,25	0,18	-	-	-	-	-	96,17	3,83
"	60	"	71,54	19,54	3,20	0,44	1,20	0,25	0,18	-	-	-	-	-	96,35	3,65
"	10	0,075-0,000	42,38	23,68	8,28	4,27	2,62	1,95	1,40	1,24	0,88	0,69	-	-	87,39	12,61
"	30	"	44,30	23,12	7,59	3,80	2,38	1,57	1,22	1,14	0,88	0,52	-	-	86,52	13,48
"	60	"	37,31	22,32	9,10	5,30	2,85	2,06	1,76	1,51	1,02	0,67	-	-	83,90	16,10
0,40	10	1,0-0,5	0,50	94,55	1,17	0,38	0,40	0,15	-	-	-	-	-	-	97,15	2,85
"	30	"	0,48	0,90	2,27	25,24	65,75	0,29	0,27	0,22	0,14	-	-	-	95,56	4,44
"	60	"	1,21	1,04	2,08	1,45	1,45	0,55	0,30	28,72	43,56	0,06	-	-	80,42	19,58
0,40	10	0,5-0,25	1,03	53,82	26,17	10,82	0,38	0,25	0,31	0,39	0,20	0,15	-	-	93,52	6,48
0,39	30	"	1,14	1,20	44,19	15,07	15,04	10,35	0,45	0,50	0,28	0,17	-	-	88,39	11,61
"	60	"	0,94	1,21	1,48	1,13	0,79	13,62	27,85	5,56	22,67	6,39	-	-	81,64	18,36
0,40	10	0,25-0,125	1,40	25,05	29,81	20,29	15,65	2,65	0,57	0,20	0,10	-	-	-	95,72	4,28
0,39	30	"	1,73	1,34	5,18	29,94	15,98	7,07	11,15	4,37	9,00	2,99	-	-	88,75	11,25
"	60	"	2,26	1,71	2,11	1,20	0,90	3,39	18,64	4,62	6,70	9,72	-	-	51,25	48,75
0,40	10	0,125-0,075	1,27	3,43	8,33	7,64	10,84	14,52	9,89	8,34	6,99	3,35	-	-	74,73	25,27
"	30	"	1,37	1,12	1,67	2,69	2,68	2,70	3,24	3,50	5,04	3,57	-	-	27,50	72,50
"	60	"	1,18	1,25	1,76	1,19	0,99	1,65	2,08	2,08	2,19	1,81	-	-	16,18	83,82
"	10	0,075-0,000	0,97	3,88	6,58	6,72	5,46	4,34	4,80	1,96	2,59	2,11	-	-	39,41	60,59
"	30	"	0,69	0,80	3,40	3,99	3,60	3,94	4,37	3,20	2,84	1,47	-	-	23,29	71,71
"	60	"	0,66	0,88	1,46	1,21	0,77	0,83	1,63	1,83	1,94	1,89	-	-	13,10	86,90
0,60	10	1,0-0,5	0,91	0,58	1,40	1,00	0,55	0,20	0,10	0,24	0,09	0,05	-	-	5,12	94,88
"	30	"	0,77	0,48	1,41	1,03	0,49	0,14	0,03	0,09	0,08	0,19	-	-	4,71	95,29
"	60	"	0,65	0,32	1,36	0,78	0,73	0,18	0,06	0,40	0,18	0,10	-	-	4,76	95,24
"	10	0,5-0,25	1,32	0,67	1,71	1,49	1,02	0,50	0,12	0,59	0,12	0,20	-	-	7,74	92,26
"	30	"	1,22	0,75	1,36	1,60	0,46	0,41	0,05	0,73	0,09	0,19	-	-	6,86	93,14
"	60	"	1,29	0,68	1,22	1,54	0,58	0,45	0,07	0,64	0,10	0,15	-	-	6,72	93,28
0,59	10	0,25-0,125	1,26	0,80	1,55	1,51	0,65	0,64	0,17	0,32	0,27	0,37	-	-	7,54	92,46
"	30	"	1,35	0,92	1,60	1,53	0,62	0,5	0,15	0,42	0,24	0,46	-	-	8,04	91,96
0,60	60	"	0,98	0,66	1,24	1,74	0,57	0,60	0,13	0,65	0,19	0,22	-	-	6,98	93,02
"	10	0,125-0,075	0,23	0,90	1,29	1,58	0,49	0,14	0,44	0,45	0,27	0,40	-	-	6,19	93,81
"	30	"	0,20	0,75	1,55	1,64	0,30	0,37	0,12	0,36	0,16	0,25	-	-	5,70	94,30
"	60	"	0,39	0,97	0,64	1,97	0,36	0,46	0,13	0,29	0,18	0,26	-	-	5,65	94,35
"	10	0,075-0,000	0,17	0,18	0,37	1,26	0,19	0,33	0,05	0,20	0,15	0,23	-	-	3,13	96,87
"	30	"	0,19	0,19	0,25	1,17	0,27	0,27	0,08	0,15	0,11	0,22	-	-	2,90	97,10
"	60	"	0,19	0,30	0,31	1,28	0,23	0,20	0,07	0,21	0,13	0,14	-	-	3,06	96,94



## Taulukko 10.

Liettiniskokeen tuloksia raasteellisella tiiliputkella ( R<sub>P</sub> 54 tl 2,7 ), sisä Ø 40 mm. Lietteen putkeen syöttöaika 5 min  
 ja lietteen määrä 100,00 g.

Veden lämpö- tila °C	Veden- nopeus m/s	Virtaus- aika lietteen syötöstä min	Raekoko mm	Lietteen <sup>1</sup> määrä putkessa g										Yht. 0 - 10m g	Putkesta poistunut liete g		
				I 0 - 1	II 1 - 2	III 2 - 3	IV 3 - 4	V 4 - 5	VI 5 - 6	VII 6 - 7	VIII 7 - 8	IX 8 - 9	X 9 - 10				
10,4	0,20	10	1,0-0,5	99,95	-											99,95	0,05
10,6	0,19	30	"	99,59	-											99,59	0,41
10,8	"	60	"	99,99	-											99,99	0,01
11,4	0,20	10	0,5-0,25	99,34	-											99,34	0,66
12,0	0,18	30	"	99,31	0,09											99,40	0,60
12,8	"	60	"	98,42	0,16											98,58	1,42
19,4	0,20	10	0,25-0,125	96,49	1,66	0,18										98,33	1,67
"	"	30	"	96,40	1,89	0,33										98,52	1,48
19,8	0,19	60	"	93,90	2,40	0,19										96,40	3,60
20,2	0,20	10	0,125-0,075	70,87	18,59	4,19	1,38	0,53	0,23	0,11						95,90	4,10
20,6	0,19	30	"	64,69	21,33	5,53	2,19	0,80	0,65	0,39						95,58	4,42
"	"	60	"	65,96	20,58	5,29	2,02	0,87	0,60	0,30						95,62	4,38
"	0,20	10	0,075-0,000	31,08	19,82	9,02	5,61	3,87	2,79	2,02	1,64	1,34	0,90			78,09	21,91
19,2	0,19	30	"	27,35	18,79	9,11	6,23	4,30	3,21	2,63	2,05	1,59	0,87			76,13	23,87
10,6	"	60	"	27,87	19,80	8,75	5,61	3,75	2,62	2,55	1,65	1,40	0,98			74,98	25,02
18,8	0,40	10	1,0-0,5	4,61	1,74	88,97	0,12	0,39	0,25	0,34	0,17	0,13	0,10			96,83	3,17
19,2	0,39	30	"	0,65	1,40	0,52	0,47	0,64	87,99	0,57	0,35	0,36	0,30			93,25	6,75
19,0	"	60	"	0,98	1,20	0,39	0,27	0,96	0,39	1,12	0,75	0,54	0,35			6,95	95,05
11,0	0,40	10	0,5-0,25	1,07	23,72	48,01	12,39	3,40	0,57	0,47	1,15	0,50	0,71			92,79	7,21
11,2	"	30	"	0,51	1,56	0,46	0,74	0,43	0,3	9,80	25,42	12,42	3,89			55,86	44,14
18,8	0,40	60	"	0,56	1,40	0,51	0,64	0,30	0,83	1,15	0,99	0,39	16,42			23,19	67,81
19,4	0,39	10	0,25-0,125	0,82	13,32	31,02	24,45	9,59	7,57	4,23	0,74	0,46	0,25			92,45	7,55
"	"	30	"	0,62	1,65	0,60	2,19	6,07	13,15	15,40	12,85	11,88	8,90			73,31	26,69
19,2	"	60	"	0,36	1,47	0,57	0,82	0,32	0,52	0,60	2,07	1,06	5,57			13,36	86,64
19,6	0,40	10	0,125-0,075	0,65	1,73	4,45	7,98	7,65	7,07	9,57	8,81	7,62	5,89			61,42	38,58
18,8	"	30	"	0,25	1,15	0,51	0,50	1,73	1,82	2,77	4,14	4,96	5,40			23,23	76,77
18,8	"	60	"	0,25	1,30	0,55	0,36	0,50	0,40	1,29	1,00	0,80	1,72			8,17	91,83
18,4	"	10	0,075-0,000	0,21	1,16	3,92	4,90	2,03	2,70	3,96	2,65	2,77	2,32			26,62	73,38
19,8	"	30	"	0,17	0,74	0,44	0,94	1,21	1,11	2,06	2,17	2,75	2,57			14,16	85,84
19,4	"	60	"	0,20	0,75	0,40	0,42	0,29	0,35	0,45	0,45	0,60	0,36			4,27	95,73
20,4	0,61	10	1,0-0,5	0,24	0,99	0,14	0,05	0,12	0,25	0,43	0,26	0,24	0,15			2,87	97,13
11,0	"	30	"	0,26	0,92	0,24	0,04	0,10	0,41	0,30	0,19	0,15	0,16			2,77	97,23
20,4	"	60	"	0,20	0,77	0,13	0,02	0,09	0,35	0,39	0,09	0,14	0,17			2,35	97,65
11,6	0,60	10	0,5-0,25	0,21	1,02	0,30	0,10	0,15	0,85	0,42	0,27	0,43	0,37			4,15	95,85
13,0	"	30	"	0,28	0,99	0,24	0,10	0,24	0,40	0,60	0,49	0,35	0,22			3,91	96,09
13,8	"	60	"	0,40	1,05	0,34	0,10	0,24	0,50	0,51	0,39	0,35	0,28			4,16	95,84
13,8	"	10	0,25-0,125	0,22	1,00	0,36	0,16	0,44	0,24	1,01	0,39	0,54	0,35			4,71	95,29
"	"	30	"	0,17	0,94	0,30	0,14	0,32	0,46	0,40	0,22	0,51	0,35			3,81	96,19
13,4	"	60	"	0,20	1,35	0,31	0,12	0,30	0,39	0,50	0,28	0,54	0,34			4,33	95,67
13,8	"	10	0,125-0,075	0,13	0,81	0,28	0,19	0,33	0,17	0,21	0,25	0,36	0,32			3,05	96,95
13,4	"	30	"	0,10	0,53	0,21	0,17	0,27	0,29	0,26	0,28	0,25	0,20			2,56	97,44
13,8	"	60	"	0,10	0,72	0,19	0,15	0,25	0,17	0,22	0,20	0,27	0,25			2,52	97,48
13,2	"	10	0,075-0,000	0,04	0,24	0,25	0,09	0,35	0,07	0,12	0,15	0,10	0,15			1,56	98,44
"	"	30	"	0,05	0,27	0,17	0,12	0,22	0,10	0,12	0,13	0,12	0,18			1,48	98,52
13,0	"	60	"	0,05	0,2	0,19	0,11	0,24	0,05	0,12	0,20	0,11	0,15			1,45	98,55

Paulukko 11.

Lietettäriiskokeen tuloksia aaltoseinäisellä muoviputkella ( VETO-putki sisä  $\varnothing$  40 mm ja ulko  $\varnothing$  45 mm ). Putkessa virtaa 15 mm:n vesikerros. Vedennopeus määräytyy luonnollisen kaltevuuden mukaan. Lietteen putkeen syöttöaika 5 min ja lietteen määrä 100,00 g.

Veden lämpötila + °C	Kaltevuus %	Vedennopeus pinta-uimur. m/s	$A=4,33 \text{ cm}^2$ $v = \frac{Q}{A} \text{ m/s}$	Virt. aika liett. syöt. min	Raekoko mm	Putkesta poistunut liete g
	0,4	Ei koetta		10	1,0	
	"			30		
	"			60	- 0,5	
	"			10	0,5	
	"			30		
12,0	"	0,23	0,17	60	- 0,25	0,04
	"	Ei koetta		10	0,25	
12,5	"	0,23	0,17	30		0,01
11,5	"	"	"	60	- 0,125	0,07
	"	Ei koetta		10	0,125	
12,0	"	0,23	0,17	30		0,08
10,5	"	0,25	0,19	60	- 0,075	0,14
12,5	"	"	0,18	10	0,075	14,50
"	"	"	"	30		13,84
12,0	"	"	"	60	- 0,000	16,54
	0,6	Ei koetta		10	1,0	
	"			30		
	"			60	- 0,5	
	"			10	0,5	
	"			30		
13,5	"	0,29	0,19	60	- 0,25	0,02
	"	Ei koetta		10	0,25	
15,0	"	0,29	0,19	30		0,06
12,5	"	"	"	60	- 0,125	0,04
	"	Ei koetta		10	0,125	
14,5	"	0,29	0,19	30		0,06
13,5	"	"	"	60	- 0,075	0,27
11,0	"	"	"	10	0,075	16,75
10,5	"	"	"	30		17,94
"	"	"	"	60	- 0,000	21,55
15,0	1,0	0,36	0,22	10	1,0	-
"	"	"	"	30		-
"	"	"	"	60	- 0,5	-
14,0	"	"	"	10	0,5	0,01
"	"	"	"	30		0,02
"	"	"	"	60	- 0,25	0,03
"	"	"	"	10	0,25	0,06
14,5	"	"	"	30		0,10
15,0	"	"	"	60	- 0,125	0,30
14,5	"	"	"	10	0,125	0,19
"	"	"	"	30		0,29
13,0	"	"	"	60	- 0,075	0,44
14,0	"	"	"	10	0,075	26,70
"	"	"	"	30		28,60
15,0	"	"	"	60	- 0,000	4,35

## Tauluko 11. jatk.

Veiden lämp. tila + °C	Kalte- vuus %	pinta uimur. m/s	$A=4,33 \text{ cm}^2$ $v = \frac{Q}{A} \text{ m/s}$	Virt. aika liett. syöt. min	Raekoko mm	Putkesta poistunut liete g
14,0	1,75	0,50	0,30	10	1,0	0,11
"	"	"	"	30		0,12
"	"	"	"	60	- 0,5	0,17
13,5	"	"	"	10	0,5	0,05
"	"	"	"	30		0,06
"	"	"	"	60	- 0,25	0,07
16,0	"	"	"	10	0,25	0,07
16,5	"	"	"	30		0,12
17,0	"	"	"	60	- 0,125	0,15
13,0	"	"	"	10	0,125	5,40
14,0	"	"	"	30		24,83
15,0	"	"	"	60	- 0,075	61,33
13,0	"	0,48	"	10	0,075	55,07
14,0	"	"	"	30		70,71
13,0	"	"	"	60	- 0,000	93,57

## Taulukko 12.

Lietämissäkökeen tuloksia normien mukaisen tiiliputken avoputkella ( RIL 54 sisä Ø 40 mm ). Putkessa virtaa 15 mm:n vesikerros

Vedennopeus määräytyy luonnollisen kaltevuuden mukaan. Lietteen putkeen syöttöaika 5 min ja lietteen määrä 100,00 g.

Veden lämpö- tila + °C	Kalte- vuus %	Vedennopeus pinta- uimurilla m/s	Vedennopeus A=4,33 cm <sup>2</sup> v = $\frac{Q}{A}$ m/s	Virtaus- aika lietteen syötöstä min	Raekoko mm	Lietteen määrä putkessa g										Yht. 0 - 10m g	Putkesta poistunut liete g		
						I 0 - 1	II 1 - 2	III 2 - 3	IV 3 - 4	V 4 - 5	VI 5 - 6	VII 6 - 7	VIII 7 - 8	IX 8 - 9	X 9 - 10				
10,6	0,3	0,18	0,19	10	1,0	99,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18
10,8	"	-	"	30	-	99,67	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27
11,2	"	0,21	-	60	- 0,5	99,42	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53
10,2	"	0,19	0,19	10	0,5	98,80	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,17
9,2	"	0,19	-	30	-	97,75	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,23
9,8	"	-	0,19	60	- 0,25	98,70	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,25
8,0	"	0,18	0,19	10	0,25	97,73	0,20	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,02
8,2	"	0,20	0,18	30	-	96,94	0,06	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,75
12,2	"	-	-	60	- 0,125	94,55	0,85	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,56
8,4	"	0,21	0,19	10	0,125	84,93	7,00	0,74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,33
8,6	"	0,20	0,19	30	-	84,60	6,00	0,75	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,54
8,8	"	-	-	60	- 0,075	75,49	17,40	0,56	0,05	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	6,46
9,0	"	-	0,18	10	0,075	57,51	13,97	4,49	1,54	0,65	0,95	0,55	0,45	0,26	0,10	80,47	-	19,53	
"	"	0,21	0,19	30	-	56,22	13,92	4,62	1,38	1,02	1,37	0,59	0,36	0,34	0,08	79,90	-	21,10	
"	"	"	"	60	- 0,000	37,07	32,14	5,32	1,48	0,91	1,57	0,95	0,64	0,42	0,12	80,62	-	19,38	
"	0,5	0,30	0,21	10	1,0	69,42	30,19	0,22	-	-	-	-	-	-	-	99,83	-	0,17	
9,5	"	-	-	30	-	64,14	36,05	0,57	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-	
10,0	"	0,29	0,22	60	- 0,5	32,49	67,10	0,77	-	-	-	-	-	-	-	100,00	-	-	
11,0	"	0,30	0,22	10	0,5	48,10	50,35	0,29	-	-	-	-	-	-	-	98,74	-	1,26	
11,5	"	-	-	30	-	29,52	67,65	1,12	-	-	-	-	-	-	-	98,29	-	1,71	
13,0	"	0,29	0,23	60	- 0,25	22,17	72,23	0,43	0,09	-	-	-	-	-	-	96,92	-	3,08	
8,5	"	0,30	0,24	10	0,25	61,10	33,88	0,55	0,07	0,02	0,03	0,02	-	-	-	95,67	-	4,33	
11,0	"	0,29	0,22	30	-	56,08	37,40	2,77	0,06	0,05	0,01	0,02	0,02	0,01	-	96,42	-	3,58	
9,0	"	-	-	60	- 0,125	55,08	33,87	5,30	0,13	0,10	0,11	0,12	0,03	0,01	-	94,75	-	5,25	
12,5	"	0,29	0,23	10	0,125	51,57	31,18	10,15	1,23	0,25	0,31	0,15	0,08	0,09	-	95,01	-	4,99	
11,0	"	0,30	"	30	-	37,42	40,54	13,01	1,17	0,07	0,30	0,14	0,12	0,04	0,02	92,83	-	7,17	
12,0	"	-	-	60	- 0,075	35,04	30,55	22,07	3,10	0,57	0,62	0,65	0,28	0,22	0,19	93,29	-	6,71	
8,0	"	0,31	0,22	10	0,075	47,87	15,47	8,54	3,57	0,77	1,76	0,76	1,03	0,40	0,74	80,91	-	19,09	
10,5	"	-	-	30	-	45,55	17,51	9,20	3,24	0,53	0,43	1,45	1,04	1,08	0,45	80,48	-	19,52	
9,0	"	0,31	0,24	60	- 0,000	44,12	9,35	13,83	3,81	0,44	1,58	3,57	0,55	2,30	0,56	80,11	-	19,89	
"	1,0	0,45	0,35	10	1,0	42,15	5,01	5,89	7,32	0,25	0,63	1,75	0,24	0,74	10,28	74,25	-	25,75	
10,5	"	-	0,35	30	-	34,27	0,32	19,52	0,10	0,05	0,24	0,64	0,06	0,20	1,00	56,60	-	43,40	
9,0	"	0,44	-	60	- 0,5	18,00	0,25	9,02	0,14	0,09	0,22	0,62	0,07	0,99	0,21	29,61	-	70,39	
8,5	"	0,44	0,33	10	0,5	20,50	30,94	44,03	0,48	0,09	0,50	0,20	0,10	0,19	0,42	97,45	-	2,55	
"	"	0,45	0,34	30	-	30,18	0,95	36,78	3,18	0,20	0,55	0,71	0,31	0,59	4,26	77,71	-	22,29	
11,0	"	-	-	60	- 0,25	26,20	0,40	5,04	0,17	0,08	0,32	0,15	0,10	0,22	0,44	33,12	-	66,88	
8,5	"	-	-	10	0,25	46,02	13,74	30,22	3,28	0,25	0,40	0,47	0,19	0,29	0,34	95,20	-	4,80	
9,5	"	0,45	0,33	30	-	18,22	6,10	32,23	12,25	0,62	1,22	3,79	1,33	1,58	7,03	84,37	-	15,63	
"	"	"	"	60	- 0,125	11,27	0,67	12,70	1,78	0,40	0,69	1,04	0,39	0,89	7,80	37,63	-	62,37	
10,0	"	0,44	-	10	0,125	34,20	5,99	26,82	8,45	1,37	0,95	1,00	0,92	1,95	2,70	84,35	-	15,65	
"	"	"	0,33	30	-	36,65	1,60	11,17	5,95	1,32	0,69	2,78	2,05	2,88	5,46	70,55	-	29,45	
11,5	"	0,47	0,34	60	- 0,075	21,07	3,20	6,85	5,85	1,19	0,45	1,87	1,17	2,07	2,55	46,27	-	53,73	
12,0	"	-	0,33	10	0,075	48,15	1,27	9,74	3,94	0,88	0,75	0,79	0,40	1,24	2,15	69,31	-	30,69	
8,0	"	0,44	-	30	-	38,10	1,58	3,89	1,89	0,39	0,62	0,84	0,53	0,78	4,55	53,17	-	46,83	
"	"	"	0,31	60	- 0,000	29,90	2,46	2,95	1,97	0,47	0,40	1,02	0,35	0,76	2,04	42,14	-	57,86	

seur. sivu

Taulukko 12. jatk.

Veden lämpötila °C	Kaltevuus %	Vedennopeus pinta-uimurilla m/s	Vedennopeus $A=4,33 \text{ cm}^2$ $v = \frac{Q}{A} \text{ m/s}$	Virtaus-aika lietteen syötöstä min	Raekoko mm	I		II		Lietteen määrä putkessa g										Yht. 0-10m g	Putkesta poistunut liete g
						0-1	1-2	III 2-3	IV 3-4	V 4-5	VI 5-6	VII 6-7	VIII 7-8	IX 8-9	X 9-10						
8,5	1,75	0,64	0,52	10	1,0	0,55	0,60	0,64	0,22	0,18	0,19	0,26	0,19	0,29	0,20	3,4	96,6				
8,0	"	0,64	0,48	30		0,50	0,21	0,29	0,17	0,09	0,17	0,20	0,07	0,18	0,13	2,1	97,9				
11,0	"	0,64		60	- 0,5	0,51	0,37	0,29	0,19	0,10	0,14	0,22	0,09	0,22	0,15	2,4	97,6				
8,0	"	0,65	-	10	0,5	0,87	0,58	0,57	0,30	0,22	0,25	0,37	0,22	0,27	0,22	4,0	96,0				
"	"	0,63	-	30		0,48	0,43	0,32	0,27	0,10	0,22	0,35	0,08	0,32	0,11	2,7	97,3				
"	"	0,67	0,52	60	- 0,25	0,50	0,58	0,44	0,25	0,17	0,20	0,19	0,09	0,22	0,14	2,8	97,2				
8,5	"	-	0,52	10	0,25	6,90	0,94	0,78	0,59	0,44	0,70	0,51	0,42	0,49	0,48	12,2	87,8				
9,5	"	0,65	0,51	30		0,72	1,66	0,60	0,23	0,11	0,32	0,39	0,17	0,44	0,22	4,8	95,2				
10,5	"	0,64	-	60	- 0,125	0,78	1,03	0,39	0,18	0,17	0,25	0,39	0,30	0,33	0,20	4,1	95,9				
8,0	"	-	0,51	10	0,125	23,54	2,01	1,35	1,22	0,70	0,80	0,71	0,39	0,83	0,78	32,3	67,7				
"	"	0,63	0,49	30		0,86	1,97	0,94	0,61	0,30	0,37	0,52	0,42	0,59	0,95	7,6	92,4				
"	"	-	-	60	- 0,075	1,24	2,19	0,70	0,58	0,19	0,28	0,40	0,21	0,63	0,39	6,8	93,2				
8,5	"	0,66	0,50	10	0,075	22,77	1,87	0,82	0,34	0,29	0,42	0,40	0,15	0,60	0,46	28,2	71,8				
9,0	"	0,64	0,49	30		1,57	0,29	0,30	0,44	0,68	0,38	0,49	0,35	0,51	0,72	6,0	94,0				
10,0	"	0,63	-	60	- 0,000	0,12	1,58	1,18	0,40	0,25	0,40	0,07	0,27	0,17	0,30	4,9	95,1				

Taulukko 13.

Lietämiskokeen tuloksia raasteellisen tiiliputken avo-putkella ( RIL 54 tl 0,7 sisä Ø 40 mm ). Putkessa virtaa 15 mm:n vesikerros. Vedennopeus määräytyy luonnollisen kaltevuuden mukaan . Lietteen putkeen syöttöaika 5 min ja lietteen määrä 100,00 g.

Veden lämpötila °C	Kaltevuus %	Vedennopeus pinta-uimurilla m/s	Vedennopeus $A=4,33 \text{ cm}^2$ $v = \frac{Q}{A} \text{ m/s}$	Virtaus-aika lietteen syötöstä min	Raekoko mm	I		II		Lietteen määrä putkessa g										Yht. 0-10m g	Putkesta poistunut liete g
						0-1	1-2	III 2-3	IV 3-4	V 4-5	VI 5-6	VII 6-7	VIII 7-8	IX 8-9	X 9-10						
6,5	0,3	-	0,17	10	1,0	99,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,1	0,9			
6,0	"	0,18	-	30		99,87	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,0	-			
"	"	-	-	60	- 0,5	99,33	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,4	0,6			
5,5	"	0,18	-	10	0,5	99,28	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,0	-			
"	"	-	-	30		99,50	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,6	0,4			
"	"	-	0,17	60	- 0,25	97,55	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	97,7	2,3			
"	"	0,18	"	10	0,25	97,23	1,16	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	98,5	1,5			
"	"	0,19	"	30		97,86	1,15	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	99,2	0,8			
"	"	-	-	60	- 0,125	94,98	3,52	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	98,6	1,4			
"	"	0,17	0,18	10	0,125	86,75	9,29	0,74	-	-	-	-	-	-	-	-	96,8	3,2			
8,0	"	0,19	"	30		82,41	13,85	1,45	0,66	-	-	-	-	-	-	-	98,4	1,6			
"	"	-	-	60	- 0,075	77,60	18,35	1,08	0,58	0,04	-	-	-	-	-	-	98,4	1,6			
"	"	0,18	0,17	10	0,075	67,32	12,94	5,70	2,87	1,23	0,84	0,57	0,43	0,40	0,15	92,4	7,6				
"	"	"	0,18	30		62,17	13,34	6,62	3,07	1,17	0,68	0,48	0,50	0,32	0,10	88,5	11,5				
"	"	-	-	60	- 0,000	63,83	15,49	5,10	2,55	1,09	0,58	0,43	0,40	0,24	0,08	89,8	10,2				
7,5	0,5	0,27	0,21	10	1,0	98,77	0,87	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	99,8	0,2			
8,5	"	-	-	30		98,85	0,55	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-	99,8	0,2			
"	"	0,27	0,22	60	- 0,5	95,22	4,90	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	100,0	-			
7,5	"	-	"	10	0,5	98,93	0,40	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	100,0	-			
"	"	0,28	"	30		98,32	1,02	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	99,4	0,6			
"	"	-	-	60	- 0,25	95,20	3,87	0,28	0,13	-	-	-	-	-	-	-	99,4	0,6			
"	"	0,26	0,21	10	0,25	97,23	1,45	0,13	0,16	0,06	0,10	0,04	-	-	-	-	99,5	0,5			
"	"	-	-	30		92,88	3,12	0,19	0,25	0,05	0,07	0,07	0,07	0,08	-	-	99,3	0,7			
"	"	0,27	0,22	60	- 0,125	91,33	6,50	0,14	0,28	0,09	0,11	0,14	0,03	0,09	-	-	97,0	3,0			
"	"	-	-	10	0,125	81,33	12,15	1,83	0,39	0,17	0,10	0,20	0,10	0,09	0,03	96,7	3,3				
"	"	0,26	0,22	30		76,10	16,18	2,60	0,50	0,15	0,11	0,21	0,07	0,08	0,04	96,2	3,8				
8,0	"	0,28	0,23	60	- 0,075	71,07	12,22	6,84	1,06	0,25	0,15	0,41	0,16	0,10	0,05	92,5	7,5				
"	"	0,27	"	10	0,075	60,60	10,60	5,14	1,94	0,85	0,83	0,72	0,56	0,54	0,21	82,0	18,0				
"	"	-	-	30		57,39	14,00	5,40	1,95	1,11	0,63	1,09	0,55	0,46	0,22	82,9	17,1				
"	"	0,27	0,22	60	- 0,000	48,37	13,77	9,74	2,78	1,82	1,10	1,85	0,97	0,79	0,49	81,8	18,2				



Taulukko 13. jatk.

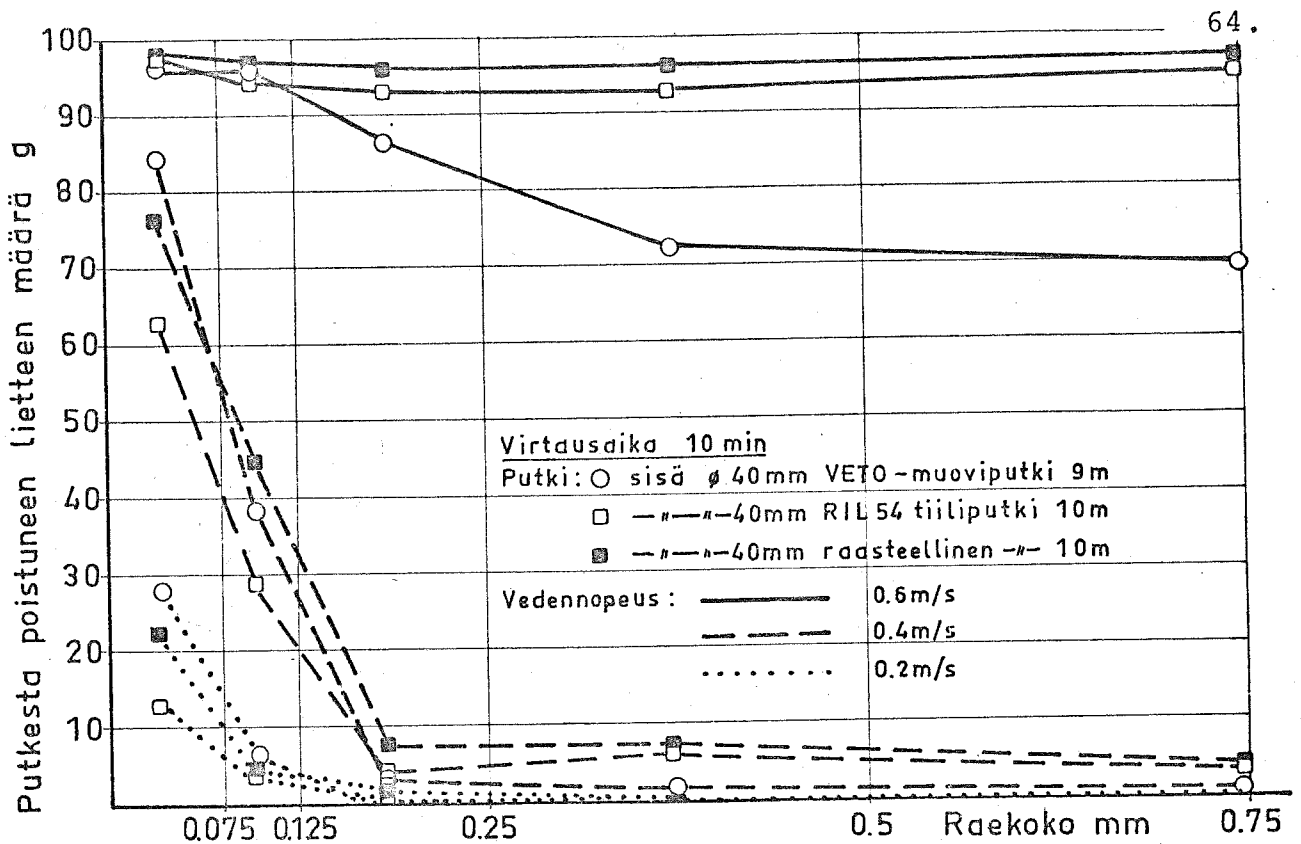
Veden lämpö- tila °C	Kalte- vuus %	Vedennopeus pinta uimurilla m/s	Vedennopeus $A=4,33 \text{ cm}^2$ $v = \frac{Q}{A} \text{ m/s}$	Virtaus- aika lietteen syötöstä min	Raekoko mm	Lietteen määrä putkessa g										Yht. 0 - 10m g	Putkesta poistunut liete g
						I 0 - 1	II 1 - 2	III 2 - 3	IV 3 - 4	V 4 - 5	VI 5 - 6	VII 6 - 7	VIII 7 - 8	IX 8 - 9	X 9 - 10		
9,0	1,0	0,37	0,30	10	1,0	74,35	0,62	22,35	0,17	0,41	0,44	0,51	0,18	0,31	0,75	100,0	-
8,0	"	0,39	-	30		61,38	0,49	31,44	0,17	3,07	0,27	0,47	0,21	0,42	2,12	100,0	-
9,0	"	-	0,31	60	- 0,5	58,27	0,47	39,13	0,29	0,32	0,26	0,52	0,12	0,39	0,30	100,0	-
8,0	"	-	0,32	10	0,5	80,18	1,22	16,47	0,15	0,51	0,46	0,21	0,09	0,10	0,04	99,6	0,4
"	"	0,39	-	30		65,17	1,05	30,97	0,14	0,41	0,43	0,20	0,19	0,10	0,04	98,8	1,2
"	"	0,41	0,30	60	- 0,25	52,61	0,68	37,61	0,35	3,94	0,44	0,61	0,33	0,15	0,23	96,9	3,1
8,5	"	0,39	-	10	0,25	76,44	3,18	15,50	0,23	0,46	0,31	0,33	0,11	0,09	0,06	96,7	3,3
"	"	-	0,31	30		63,10	0,64	28,70	0,87	2,45	0,40	0,67	0,08	0,07	0,07	97,2	2,8
"	"	0,37	"	60	- 0,125	53,77	0,96	16,36	3,12	12,79	6,35	2,27	0,08	0,31	0,12	96,3	3,7
"	"	0,39	"	10	0,125	51,67	4,59	19,60	5,18	5,40	3,67	2,66	0,22	0,88	0,52	94,5	5,5
"	"	-	-	30		47,82	1,57	15,85	5,10	4,29	6,89	2,89	0,32	1,85	1,32	88,2	11,8
"	"	0,37	0,31	60	- 0,075	35,95	1,27	7,48	6,69	6,07	7,61	10,10	0,98	5,00	3,72	84,9	15,1
"	"	0,38	0,32	10	0,075	52,68	0,85	8,49	1,57	2,32	2,67	3,23	0,46	1,83	1,76	76,0	24,0
"	"	-	-	30		39,88	0,76	6,29	0,97	1,21	1,85	3,30	0,45	4,36	2,45	61,8	38,2
"	"	0,37	0,33	60	- 0,000	22,51	0,91	2,28	1,01	1,53	1,99	7,55	0,32	1,41	4,25	43,8	56,2
9,0	1,75	0,56	0,48	10	1,0	0,31	0,14	0,09	0,07	0,24	0,36	0,17	0,11	0,19	0,24	1,9	98,1
"	"	-	0,47	30		0,24	0,08	0,09	0,06	0,17	0,26	0,29	0,10	0,19	0,75	2,4	97,6
"	"	0,59	-	60	- 0,5	0,30	0,07	0,09	0,06	0,12	0,31	0,26	0,03	0,14	0,68	2,2	97,8
"	"	0,56	0,45	10	0,5	0,36	0,16	0,15	0,15	0,34	0,59	0,91	0,19	0,19	1,35	4,6	95,4
9,2	"	-	-	30		0,45	0,15	0,11	0,13	0,21	0,45	0,62	0,64	0,14	0,68	3,6	96,4
"	"	0,56	0,46	60	- 0,25	0,21	0,15	0,17	0,10	0,24	0,62	0,46	0,21	0,15	0,59	2,6	97,4
"	"	"	0,44	10	0,25	1,05	1,00	0,56	0,43	0,82	1,10	2,65	0,93	0,40	1,83	10,8	89,2
"	"	0,55	0,46	30		0,46	0,57	0,27	0,21	0,45	0,97	3,92	1,05	0,20	0,31	8,6	91,4
9,0	"	-	-	60	- 0,125	0,30	0,44	0,25	0,20	0,35	0,46	5,18	1,25	0,20	0,29	9,1	90,9
"	"	0,59	0,44	10	0,125	16,81	0,82	0,44	0,30	0,64	0,95	4,67	1,69	0,40	0,33	27,0	73,0
"	"	0,57	0,47	30		0,53	0,53	0,29	0,25	0,49	0,94	4,08	0,76	0,39	1,50	9,8	90,2
8,5	"	-	-	60	- 0,075	0,33	0,55	0,35	0,35	0,28	0,58	2,14	1,65	0,33	0,06	6,8	93,2
"	"	0,55	0,45	10	0,075	23,19	0,30	0,26	0,27	0,30	0,29	2,61	1,20	0,38	0,16	29,1	70,9
"	"	-	-	30		0,57	0,49	0,24	0,50	0,25	0,24	2,71	1,04	0,37	0,11	6,5	93,5
"	"	0,58	0,45	60	- 0,000	0,31	0,29	0,13	0,40	0,27	0,41	2,41	1,00	1,01	0,06	6,3	93,7

Taulukkojen 8-13 sisältämästä lukuaineistosta voidaan koota erilaisia yhdistelmiä ja laatia niiden perusteella graafisia esityksiä, jotka kenties valaisevat kulloinkin tarkasteltavana olevaa kysymystä helpommin kuin taulukko sellaisenaan. Niinpä yhdistelmätaulukossa 14 ja sen perusteella tehdyissä piirroksissa 8, 9 ja 10 on pyritty esittämään eri vedennopeuksien vallitessa putkesta poistuneen lietteen määrä siten, että ensinmähitussa piirroksessa on 10 min. virtausajan, keskimmaisessä 30 min. ja jälkimmäisessä piirroksessa 60 min. virtausajan aikana putkesta poistunut lietteen määrä grammoina. Tämä lietteen painon ilmaiseva luku ilmaisee samalla poistuneen lietteen määrän prosenteissa putkeen syötetyn lietteen määrästä.

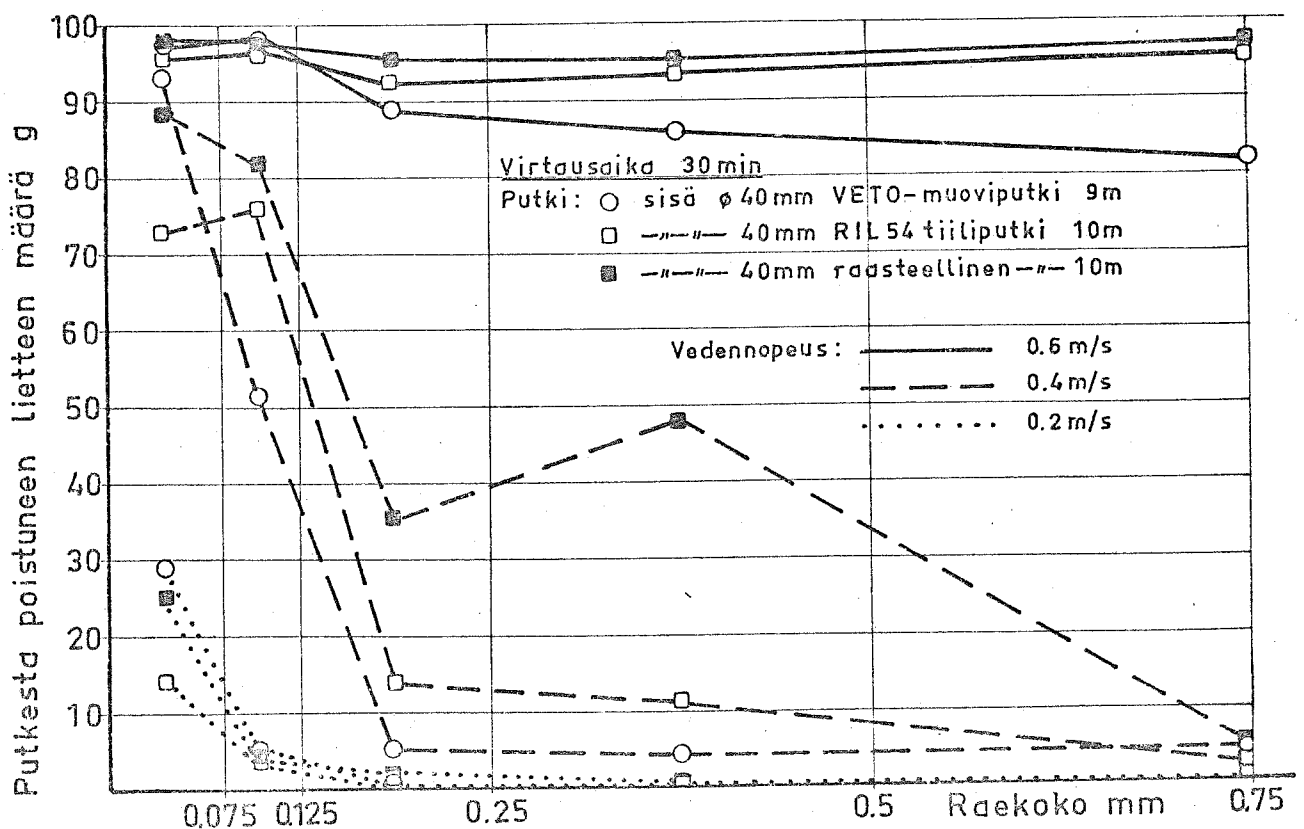
		V e d e n v i r t a u s a i k a								
		10 min.			30 min.			60 min.		
Veden- nopeus	Raekoko	Putkityyppi			Putkityyppi			Putkityyppi		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
m/s	mm	Poistunut liete			Poistunut liete			Poistunut liete		
		g	g	g	g	g	g	g	g	g
0.20	1.0-0.5	-	1	-	-	1	-	-	1	-
"	0.5-0.25	-	1	1	-	1	1	-	1	-
"	0.25-0.125	-	1	2	1	2	2	1	3	4
"	0.125-0.075	6	3	4	5	4	4	8	4	4
"	alle 0.075	28	13	23	29	14	25	29	17	26
0.40	1.0-0.5	1	3	3	6	4	7	42	20	95
"	0.5-0.25	2	7	8	4	12	48	46	25	93
"	0.25-0.125	2	4	8	5	14	36	58	59	92
"	0.125-0.075	38	29	44	51	76	82	78	86	94
"	alle 0.075	84	63	76	93	73	88	93	89	96
0.60	1.0-0.5	70	95	97	82	95	97	89	95	98
"	0.5-0.25	72	92	96	87	93	96	90	93	96
"	0.25-0.125	86	93	96	89	92	97	95	93	96
"	0.125-0.075	96	94	97	98	95	98	98	95	98
"	alle 0.075	96	97	99	98	97	99	99	98	99

A = aaltoseinäinen muoviputki (VETO Ø 40 mm)  
 B = normien (RIL 54) mukainen tiiliputki Ø 40 mm  
 C = raasteellinen tiiliputki Ø 40 mm

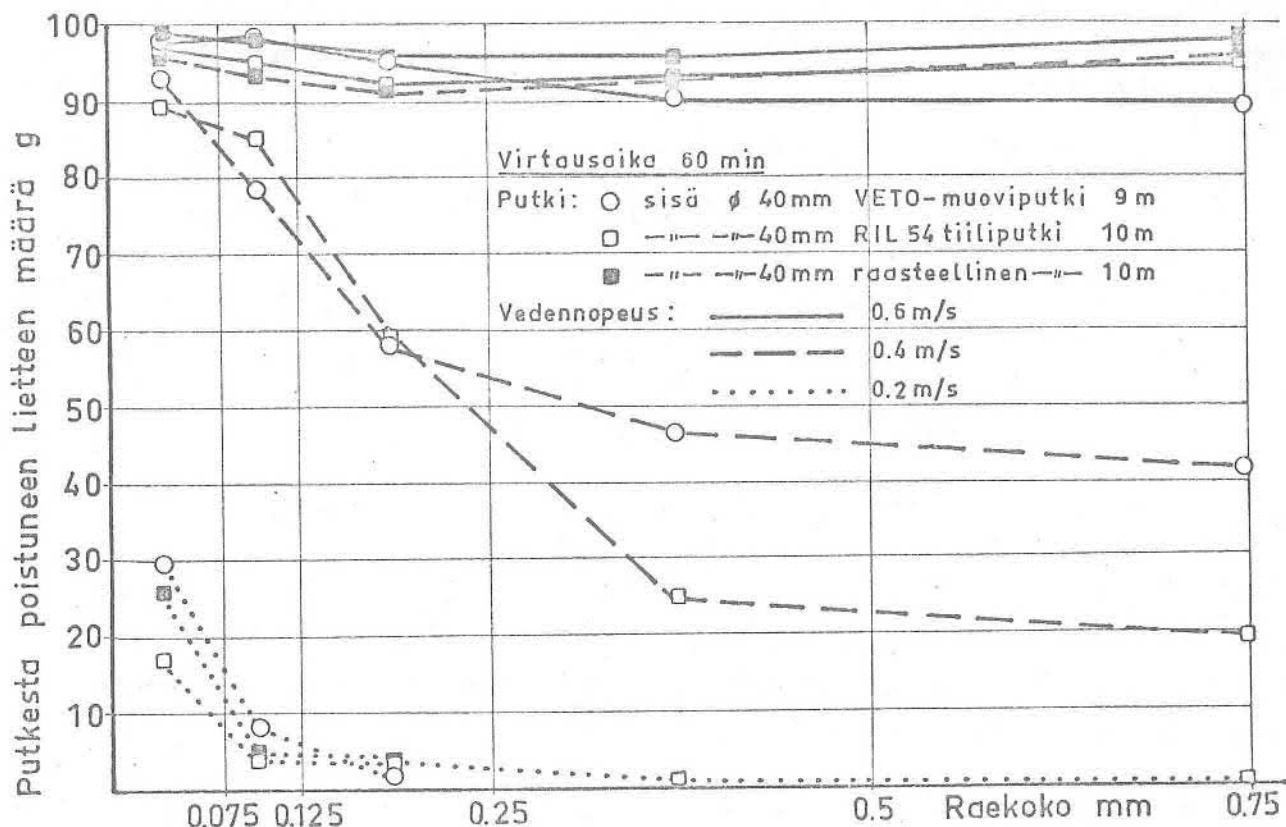
Taulukko 14. 40 mm:n salaojajohdosta veden mukana poistuneen lietteen määrä eri vedennopeuksien vallitessa, kun salaojajohto on vettä täynnä.



Piirros 8. Eri vedennopeuksien vallitessa vettä täynnä olevasta sala-  
 ojajohdosta poistuneen lietteen määrä silloin, kun virtaus-  
 aika lietteen putkeensyötön jälkeen on ollut 10 min.



Piirros 9. Eri vedennopeuksien vallitessa vettä täynnä olevasta sala-  
 ojajohdosta poistuneen lietteen määrä silloin, kun virtaus-  
 aika lietteen putkeensyötön jälkeen on ollut 30 min.



Piirros 10. Eri vedennopeuksien vallitessa vettä täynnäolevasta salaojajohdosta poistuneen lietteen määrä silloin, kun virtausaika lietteen putkeensyötön jälkeen on ollut 60 min.

Jos vettä täynnä olevassa johdossa vedennopeus on 0,20-0,40 m/s suuruusluokkaa, näyttää tulosten mukaan siltä, että aaltoseinäinen salaojajohto olisi hienojen, raekooltaan alle 0,125 mm lieteainesten poiskulkeutumisen kannalta edullisempi kuin norminmukaisesta tiiliputkesta tehty salaojajohto. Ero on välittömästi lietteen putkeenpääsyn jälkeen sitä selvempi mitä alhaisemmasta vedennopeudesta on kysymys. Tämä ilmiö selittyy sillä, että aaltomainen seinämän rakenne lisää vedenliikkeen pyörteisyyttä. Suhteellisen kevyet maahiukkaset seurailevat pyörteisen veden liikeratoja. Kevyin maa-aines kulkeutuu melko nopeasti veden mukana kokonaan pois putkesta raskaamman aineksen levittäytyessä ja jäädessä aaltopöimujen pohjalle.

Piirroksista voidaan todeta myös, että raasteellisista tiiliputkista tehdyssä salaojassa saadut koetulokset ovat samantapaisia kuin aaltoseinäisessä muoviputkessa saadut tulokset. Koe osoitti edelleen sen, että jos salaojajohtoon joutuu 0,60 m/s vedennopeuden vallitessa raekooltaan 1 mm. tai sitä hienompaa lieteainesta, kulkeutuu aines yleensä samantien vedenkana pois putkesta. Lieteaineksestä muutaman gramman (prosentin) jääminen salaojajohtoon kovankin virtausnopeuden vallitessa selittyy sillä, että hiukkaset saattavat tunkeutua ja jäädä kiinni saumarakojen alaosaan.

Lietteen poistumisesta vajaatäyttöisestä salaojajohdosta esitetään puolestaan yhdistelmätaulukko 15 ja sen perusteella laaditut piirrokset 11, 12 ja 13. Piirroksessa 11 on esitetty 10 min. virtausajan, piirroksessa 12 30 min. virtausajan ja piirroksessa 13 60 min. virtausajan aikana salaojajohdosta poistuneen lietteen määrä grammoina. Salaojaputken täyttöaste oli runsas kolmannes. Kuten kohdassa 3.31 olevista vedennopeuden määrityksiä käsittelevistä taulukoista ja piirroksista 7 ilmenee, on virtaushäviö vajaatäyttöisessä aaltoseinäisessä putkessa tuntuvasti suurempi kuin tiiliputkillla tehdyissä putkijohdoissa. Osaksi tämän johdosta käytettiin liettämiskokeessa aaltoseinäisen putken kohdalla 0,4 % ja 0,6 % kaltevuusarvoja 0,3 % ja 0,5 % sijasta.

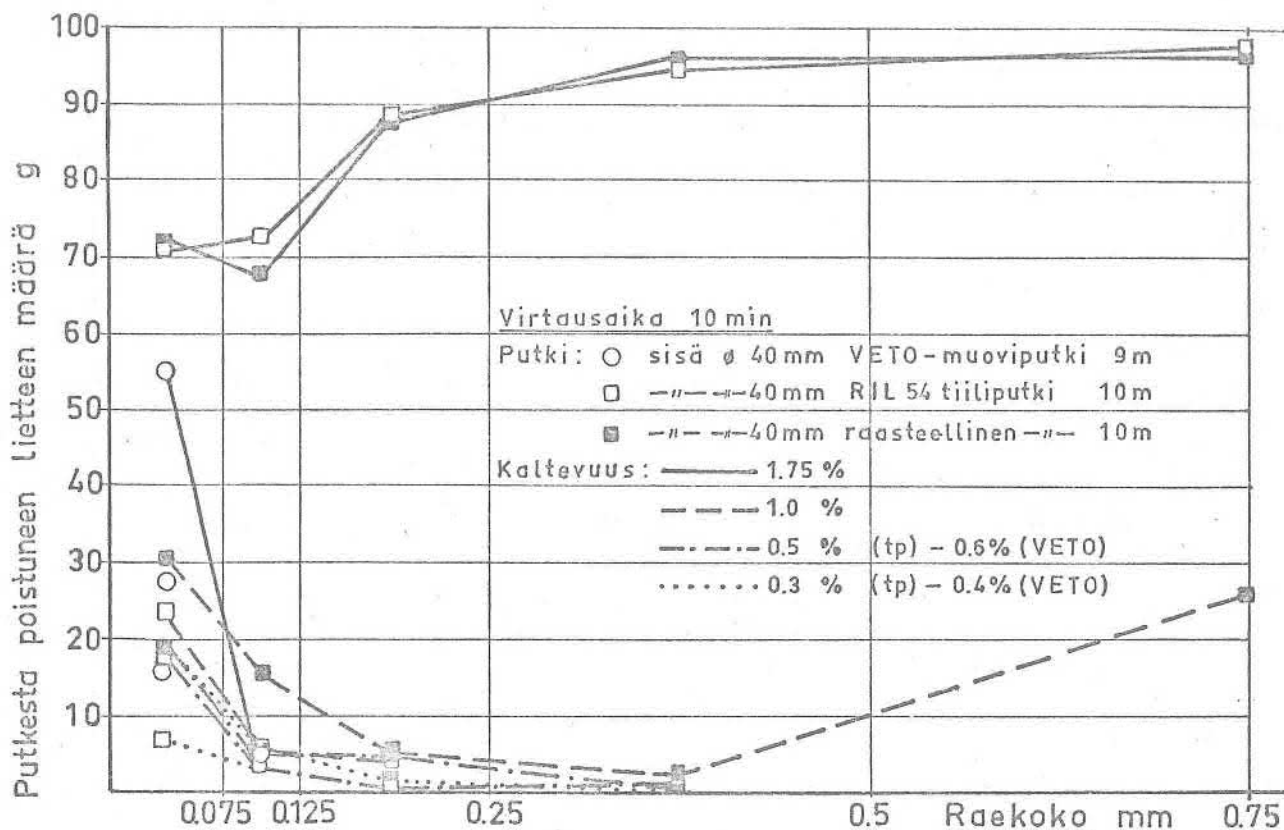
Kalte- vuus %	Raekoko mm	V e d e n v i r t a u s a i k a								
		10 min.			30 min.			60 min.		
		Putkityyppi			Putkityyppi			Putkityyppi		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
Poistunut liete			Poistunut liete			Poistunut liete				
g			g			g				
0,3	1.0-0.5	-	1	-	-	-	-	-	-	-
"	0.5-0.25	-	-	1	-	-	2	-	2	1
"	0.25-0.125	-	2	2	-	1	3	-	1	4
"	0.125-0.075	-	3	7	-	2	9	-	2	6
"	alle 0.075	15	8	19	14	12	20	17	10	19
0,5	1.0-0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
"	0.5-0.25	-	1	1	-	1	2	1	1	3
"	0.25-0.125	-	1	4	-	3	3	-	1	5
"	0.125-0.075	-	3	5	-	4	7	-	8	7
"	alle 0.075	17	18	19	18	17	20	22	18	20
1,0	1.0-0.5	-	-	26	-	-	44	-	-	70
"	0.5-0.25	-	-	3	-	1	22	-	3	67
"	0.25-0.125	-	3	5	-	3	18	-	4	62
"	0.125-0.075	-	6	16	-	12	29	-	15	53
"	alle 0.075	27	24	31	29	38	47	35	56	58
1,75	1.0-0.5	-	98	97	-	98	98	-	98	98
"	0.5-0.25	-	95	96	-	96	97	-	97	97
"	0.25-0.125	-	89	88	-	91	95	-	91	96
"	0.125-0.075	5	73	68	25	90	92	61	93	93
"	alle 0.075	55	71	72	71	94	94	94	94	95

A = aaltoseinäinen muoviputki (VETO Ø 40 mm) kaltevuus-% 0,4

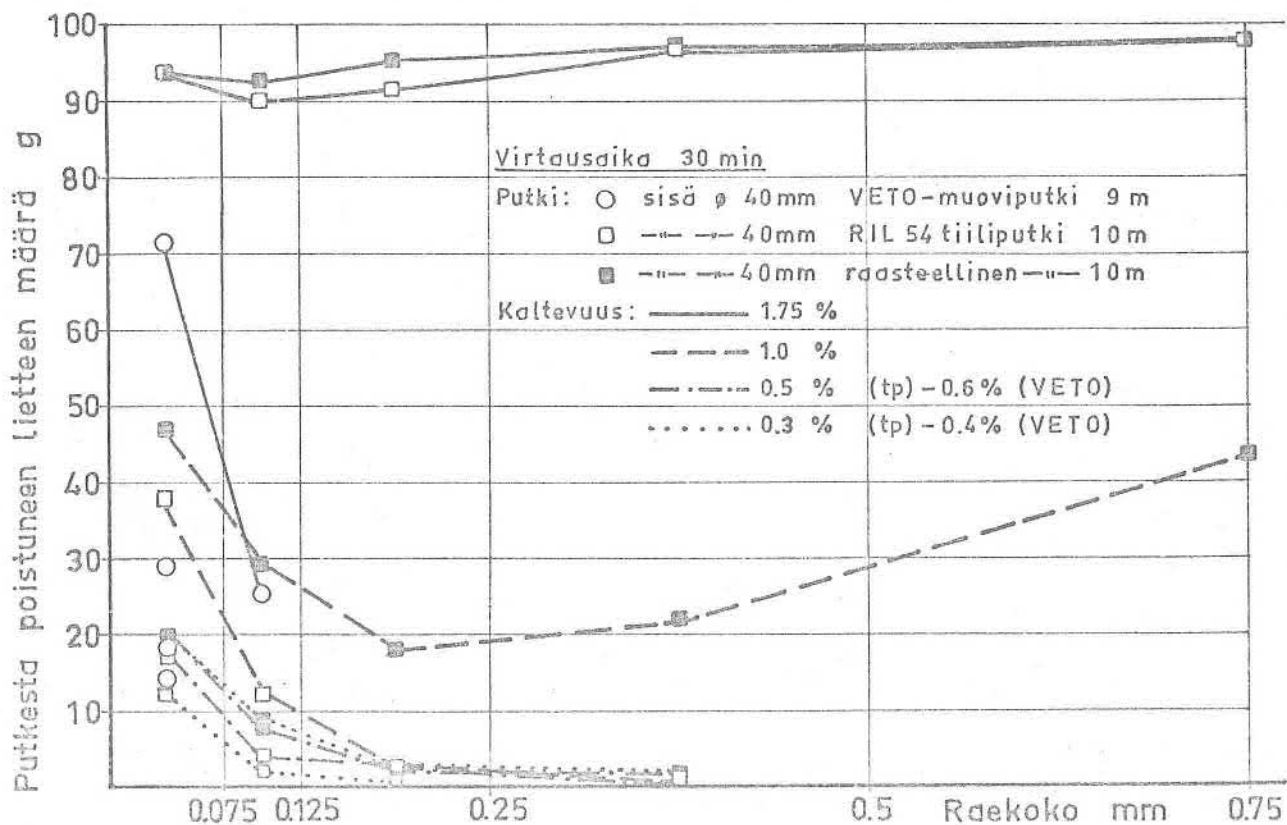
B = normien (RIL 54) mukainen tiiliputki Ø 40 mm

C = raasteellinen tiiliputki Ø 40 mm

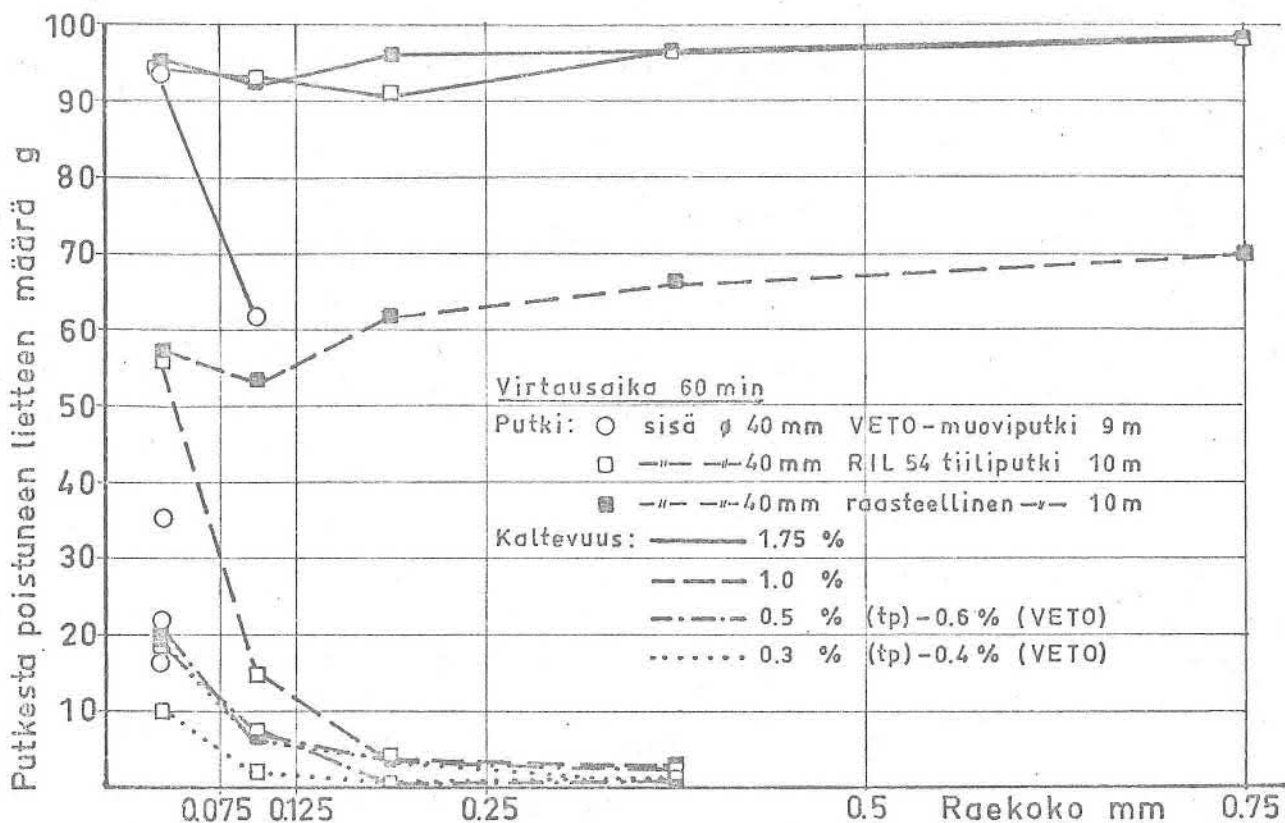
Taulukko 15. 40 mm:n salaojajohdosta veden mukana poistuneen lietteen määrä eri kaltevuuksien vallitessa, kun putken täyttöaste on keskimäärin 37,5 % eli 15 mm.



Piirros 11. Eri kaltevuuksien vallitessa täyttöasteeltaan 37,5 %:n salaojajohdosta poistuneen lietteen määrä silloin, kun virtausaika lietteen putkeensyötön jälkeen on ollut 10 min.



Piirros 12. Eri kaltevuuksien vallitessa täyttöasteeltaan 37,5 %:n salaojajohdosta poistuneen lietteen määrä silloin, kun virtausaika lietteen putkeensyötön jälkeen on ollut 30 min.



Piirros 13. Eri kaltevuuksien vallitessa täyttöasteeltaan 37,5 %:n salaojajohdosta poistuneen lietteen määrä silloin, kun virtausaika lietteen putkeensyötön jälkeen on ollut 60 min.

Vajaatäyttöisillä salaojajohdoilla tehdyt kokeet osoittivat, että lieteaineksen liikkuminen ja poistuminen veden mukana putkesta edellyttää ojalta itse asiassa varsin suurta putousprosenttia. Minimikaltevuuden (0,3 %) vallitessa poistui putkesta vain 10-20 % sinne päässeestä alle 0,075 mm maa-aineksesta. Karkeampi aines näytti kasautuneen putkeen. Se osa hienommasta maa-aineksesta, joka poistui putkesta, teki sen yleensä välittömästi putkeenpääsyn jälkeen. Vasta 1,0 % kaltevuus näyttää vajaatäyttöisessä salaojassa saaneen aikaan myös karkeamman maa-aineksen lisääntyvää poistumista putkesta. Merkillepantava seikka oli myös se, että suurimman kaltevuuden (1,75 %) vallitessa näyttää hienoin aines poistuvan hitaammin putkesta kuin karkea aines. 1 tunnin kestävä virtauksen aikana näyttää hienoin aines käytännöllisesti katsoen kokonaan poistuneen kaikista kolmesta putkityypistä. Aaltoseinäisessä, vajaatäyttöisessä putkessa näyttää tapahtuvan korkeiden raekokojen kohdalla kasautumista aaltopöimun pohjalle.



#### 4. Y H T E E N V E T O

Kolmella eri salaojaputkityypillä: aaltoseinäisellä VETO-muovi-putkella, RIL 54-tiiliputkella ja ns. raasteellisella tiiliputkella suoritettiin mallikokeita putkien vedenjohtokyvyn ja toisaalta putkien liettymisherkkyden selvittämiseksi.

Aaltoseinäinen muoviputki (VETO, sisä- $\varnothing$  40 mm) osoittautui vedenjohtokyvyltään kahta muuta kokeessa ollutta putkityyppiä heikommaksi. Kuitenkaan sen vedenjohtokyky ei alittanut salaojajohdon vedenjohtokyvylle Suomessa asetettuja vaatimuksia.

Veden virratessa putken täydeltä on lietteen kulkeutuminen salaojassa likipitään samaa suuruusluokkaa kaikilla kolmella putkityypillä. Hienon maa-aineksen kyseessä ollen näyttäisi sen poistuminen 0,20-0,40 m/s vedennopeuden vallitessa aaltoseinäisessä putkessa olevan tehokkaampaa kuin tiiliputkisalaojassa. Tämä johtuu ilmeisesti seinämän aaltomuodon synnyttämästä voimakkaammasta turbulenti-ilmiöstä veden liikkeessä, mikä puolestaan aiheuttaa vedessä kelluvalle maahiukkaselle ylöspäin suuntautuvia syysäyksiä.

Mallikokeiden antamien tulosten perusteella näyttäisi siltä, että salaojan ollessa vajaatäyttöisenä on aaltoseinäinen putki liettymisalttiimpi kuin tiiliputkista tehty salaoja. Tällainen olisi tilanne varsinkin karkeamman maa-aineksen päästyä putkeen. Kun lietteen kulkeutumista ja käyttäytymistä vajaatäyttöisessä salaojassa (kouruputki) voitiin silmin seurata, osoittautui, että liete asettui VETO-putkessa aaltopoimun pohjalle täyttäen sen ja levittäytyen koko putken pituudelle. Tiiliputkista tehdyssä salaojassa (kourussa) näytti lieteainees sensijaan asettuvan yleensä kynnyksellisen saumakohdan jommalle kummalle puolelle riippuen

siitä, oliko kynnys veden virtaukseen nähden myötä- tai vastasuuntaan.

Mallikokeista saadut tulokset antavat sellaisenaan viitteitä salaojitusten suunnittelijoille ja salaojittajille. Samalla ne poistavat eräitä virheellisiä, salaojittajien keskuudessa vallinneita käsityksiä, jotka ovat perustuneet ennakkoluuloihin ja väärään "sormituntumaan".

Kesällä 1967 ja 1968 suoritettut kokeet ovat myös olleet lähtökohtana laajemmalle koesarjalle antaen samalla paitsiviitteitä uuteen koetekniikkaan myös viitteitä uusien koejäsenien tarpeesta.

## 5. K I R J A L L I S U U T T A

- BRINK, N. & NILSSON, S., 1965. Leistungsvermögen von Dränrohren aus Kunststoff. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung n:o 1. Berliini.
- GUSTAFSSON, Y., 1938. Om materialtransporten i dräneringledning. N.J.F.Hefte 4-7. Kööpenhamina.
- FLODKVIST, H., 1952. Apparatur för undersökning av dräneringsledningars kapacitet och av erforderlig vattenhastighet till förhindrande av sedimentation. Grundförbättring n:o 2. Uppsala.
- HALONEN, R., 1956. Tiiliputkiojituksessa esiintyneistä tukkeutumista. Maaseudun Tulevaisuuden Koetoiminta ja Käytäntö, liite n:o 11. Helsinki.
- HUIKARI, O. & MUOTIALA, S. & WÄRE, M., 1964. Ojitusopas. Helsinki.
- JUUSELA, T., 1964. Maan vesitalous ja sen järjestely. Maanviljelijän Tietokirja I. Helsinki.
- JUUSELA, T., 1958. Salaojitusputkiston suojausaineista ja soraan käytöstä suojausaineena. Maa- ja vesirakentaja 3. Helsinki.
- JÄÄMIES, A. & KAJOSAARI, E., 1963. Vesihuolto. Maa- ja vesirakentajan käsikirja. Helsinki.
- KESO, L., 1951. Salaojitusyöt. Helsinki.
- KESO, L., 1938. Tutkimuksia veden pääsystä salaojaputkistoon. Teknillinen Aikakauslehti n:o 11. Helsinki.
- KUNTZE, H., 1969. Der Einfluss des Gefälles auf die Versandung und Verockerung des Sauger. Wasser und Boden n:o 12. Bonn.
- KUUSKOSKI, M., 1963. Hydraulikka. Maa- ja vesirakentajan käsikirja. Helsinki.
- MAASILTA, A., 1963. Salaojitus tutkimuksen kohteena. Pellervo n:o 4-5. Helsinki.
- MUTH, E., 1962. Untersuchungen über die Wirkung von Filterstoffen bei Abflussstörungen in Dränanlagen. Marburg.
- PUUSTJÄRVI, V., 1953. Salaojien rautasaostumista ja niiden torjuntamenetelmistä. Maaseudun Tulevaisuuden Koetoiminta ja Käytäntö, liite n:o 2. Helsinki.

- PÄLIKKÖ, E., 1962. Muovisten salaojaputkien siivilä- ja saumarakojen vedenläpäisykyvystä. Maaseudun Tulevaisuuden Koetoiminta ja Käytäntö, liite n:o 1. Helsinki.
- SEPPÄLÄ, N., 1958. Salaojan pohjan epätasaisuuksien vaikutuksesta putkien liettymiseen. Maa- ja vesirakentaja 3. Helsinki.
- WÄRE, M., 1948. Eri maalajitteita kuljettavista vedennopeuksista. Teknillinen Aikakauslehti n:o 12. Helsinki.