

**SALAOJAPUTKEN  
YMPÄRYSAINHEET**

*ISMO TIAINEN*

SISÄLLYSLUETTELO

	s.
1. JOHDANTO	2
2. HYDRAULINEN GRADIENTTI SALAOJAPUTKEN LÄHEISYYDESSÄ JA MAAPARTIKKELEIDEN KULKEUTUMINEN PUTKEEN	3
2.1 Maapartikkeleiden kulkeutuminen putkeen	3
2.2 Hydraulinen gradientti symmetrisen radiaalivirtauksen tapauksessa	3
2.3 Hydraulinen gradientti ympärysaineella ympäröidyn ideaaliputken tapauksessa	8
2.4 Hydraulinen gradientti ympärysaineella ympäröidyn todellisen putken tapauksessa	9
2.5 Epäsymmetrinen radiaalivirtaus kohti putkea	11
3. MAAHIUKKASTEN PIDÄTTYMINEN YMPÄRYSAINEESEEN	11
3.1 Pidättymismekanismi	11
3.2 Suodatusteho	12
4. SALAOJAPUTKEN SUOJAUS MEKAANISTA RASITUSTA VASTAAN	13
5. RUOSTESAOSTUMIEN EHKÄISY	13
6. YMPÄRYSAINEMATERIAALIT	13
6.1 Ympärysaineiden luokittelu	13
6.2 Rakeiset materiaalit	14
6.2.1 Sora	14
6.2.1.1. Ympärysainesoran rakeisuuden vaikutus salaojaputken vedenottokykyyn	14
6.2.1.2. Ympärysainesoralle asetettavat vaatimukset peltosalaojituksessa	15
6.2.1.3. Rakennuspaikan salaojituksessa käytettävät ympärysainesorat	16
6.2.2. Kevytsora	16
6.2.3. Masuunikuona	16
6.3. Orgaaniset materiaalit	16
6.3.1. Kookoskuitu	17
6.4. Synteettiset materiaalit	18
7. YMPÄRYSAINEDIEN KÄYTTÖ ULKOMAILLA	19
8. YMPÄRYSAINETUTKIMUS	19
9. YHTEENVETO	20
10. LÄHDELUETTELO	22

## 1. JOHDANTO

Salaojaputken ympärille asennetaan lähes aina ns. ympärysaine, jonka tärkeimpänä tehtävänä on vähentää veden virtausvastusta maasta putkeen ja estää tukkeuttavien maahiukkasten pääsy putkirakoihin, -reikiin, putkeen ja itse ympärysaineeseen. Sillä voidaan myös suojata putkea mekaaniselta rasitukselta ja varmistaa putkien paikallaanpysyminen asennuksen aikana. Orgaanisilla ympärysaineilla on merkitystä rautasaostumien synnyn ehkäisijinä.

Maailmalla on käytössä useita erilaisia ympärysaineita, mutta alan asiantuntijat ovat yksimielisesti sitä mieltä, että sora on toiminnallisesti paras ympärysaine. Soran hyvä saatavuus Suomessa onkin vaikuttanut siihen, että alan tutkimustoiminta on jäänyt varsin vähäiseksi. On kuitenkin todennäköistä, että soravarojen ehtyessä ja hinnan noustessa joudutaan ainakin joillain alueilla turvautumaan muihin ympärysaineisiin. Lisäksi valmiiksi ympärysaineella käärityn putken nopea ja helppo asennettavuus sekä orgaanisten materiaalien kyky estää ruostesaostumien synty salaojaputkeen lisännevät niiden käyttöä. Näistä syistä johtuen olisi Suomessa ryhdyttävä tutkimaan eri ympärysaineiden soveltuvuutta maamme olosuhteisiin.

Tämän kirjallisuustutkimuksen tarkoituksena on ollut selvittää yleisesti veden ja maapartikkeleiden salaojaputkeen kulkeutumiseen liittyvät teoriat, sekä kuvata ympärysaineen vaikutustapaa ja eri tehtäviä. Lisäksi on kuvattu eri ympärysainemateriaalien ominaispiirteet ja luotu katsaus muissa maissa käytettäviin ympärysaineisiin. Lopuksi on luetteloitu ja luokiteltu mahdollisimman kattavasti tällä hetkellä ympärysaineista saatavissa oleva materiaali.

## 2. HYDRAULINEN GRADIENTTI SALAOJAPUTKEN LÄHEISYYDESSÄ JA MAAPARTIKKELEIDEN KULKEUTUMINEN PUTKEEN

(Dierickx, W., Transactions of the ASAE, 1983, vol. 26. no. 5)

### 2.1 Maapartikkeleiden kulkeutuminen putkeen

Maapartikkeleiden liike tai maan eroosio on riippuvainen maan leikkauslujuudesta, joka vastustaa maapartikkeleiden keskinäistä liikettä. Leikkauslujuuden suuruutta kuvaa Coulombin kaava :

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

- $\tau_f$  = leikkauslujuus
- $c$  = koheesio
- $\sigma$  = maan sisäinen kitkakulma
- $\phi$  = leikkauspinnassa vaikuttava normaaliännitys

Sisäinen kitka aiheutuu maarakeiden välisestä hankauksesta ja se muodostuu normaalin kitkan tapaan kitkapinnassa vaikuttavan normaaliännityksen ( $\sigma$ ) ja kitkakertoimen tulona. Kitkakerroin ilmaistaan kitkakulman tangentinä. Maan sisäisen kitkakulman suuruuteen vaikuttavat merkittävimmin maan raekoostumus, rakeiden muoto ja pyöristyneisyys sekä maan tiiviys. Maarakeiden välisten voimien suuruus riippuu maamassojen kuormituksesta ja maassa mahdollisesti olevan veden paineesta. Virratessaan maapartikkeleiden välisessä huokostilassa aiheuttaa vesi maapartikkeleihin virtauksen suuntaisen voiman, jota kutsutaan virtauspaineeksi (*flow pressure*). Jos tämä virtauspaine ylittää maan leikkauslujuuden, alkaa eroosio maan kadottaessa rakenteellisen lujuutensa. Koska virtauspaine on verrannollinen vallitsevaan hydrauliseen gradienttiin, alkaa eroosio hydraulisen gradientin  $i$  saavuttaessa kriittisen arvon  $i_c$ .

Vedellä kyllästetyn, koheesiottoman maan kriittinen hydraulinen gradientti saadaan yhtälöstä (2):

$$i_c = \rho_s - \rho_w / \rho_w \quad (2)$$

- $\rho_s$  = kyllästetyn maan tilavuuspaino,  $\text{kg/m}^3$
- $\rho_w$  = veden tilavuuspaino,  $\text{kg/m}^3$

Vastaavasti kyllästetyssä koheesiomaassa maapartikkeleiden keskinäinen liike alkaa, kun yhtälö (1) saa arvon nolla. Tämä edellyttää korkeampaa hydraulista gradienttia kuin koheesiottoman maan tapauksessa.

### 2.2 Hydraulinen gradientti symmetrisen radiaalivirtauksen tapauksessa

Esitetyt teoriat pätevät myös tarkasteltaessa veden virtausta maasta salaojaputkeen. Radiaalisen virtauksen tapauksessa voidaan hydraulinen gradientti ideaaliputken läheisyydessä johtaa teoreettisesti. Tehollisen säteen käsitteen avulla voidaan samalla tavoin

johtaa hydraulinen gradientti todellisen putken läheisyydessä, myöskin tapauksissa, joissa putki on ympäröity ympärysaineella. Painehäviö virtaukselle kohti täytenä virtaavaa ideaaliputkea saadaan yhtälöstä (3) :

$$\Delta h_r = (q / 2\pi k) * \ln (R / R_0) \quad (3)$$

Hydraulinen gradientti  $i$  voidaan nyt johtaa yhtälöstä (3) :

$$i = dh/dR = q / 2\pi k R \quad (4)$$

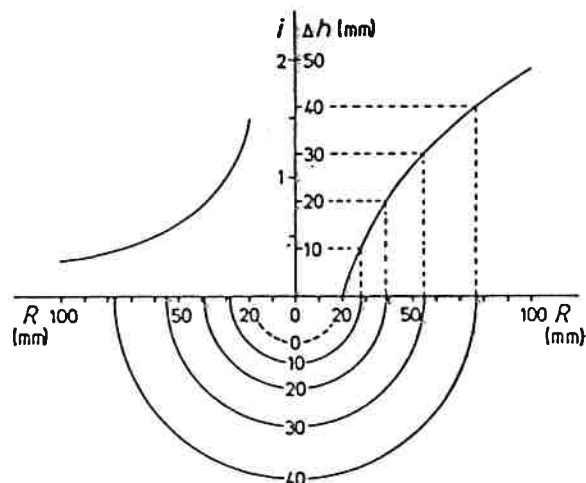
- $\Delta h_r$  = radiaalisen virtauksen painehäviö, m  
 $q$  = virtaama putken pituusyksikköä kohden,  $m^2/d$   
 $k$  = maan hydraulinen johtavuus,  $m/d$   
 $R$  = ekvipotentiaalin säde, m  
 $R_0$  = ideaaliputken säde, m

Kuten yhtälöstä (4) voidaan nähdä, on hydraulinen gradientti suurimmillaan putken kehällä.

Esim. ideaaliputkelle, jonka

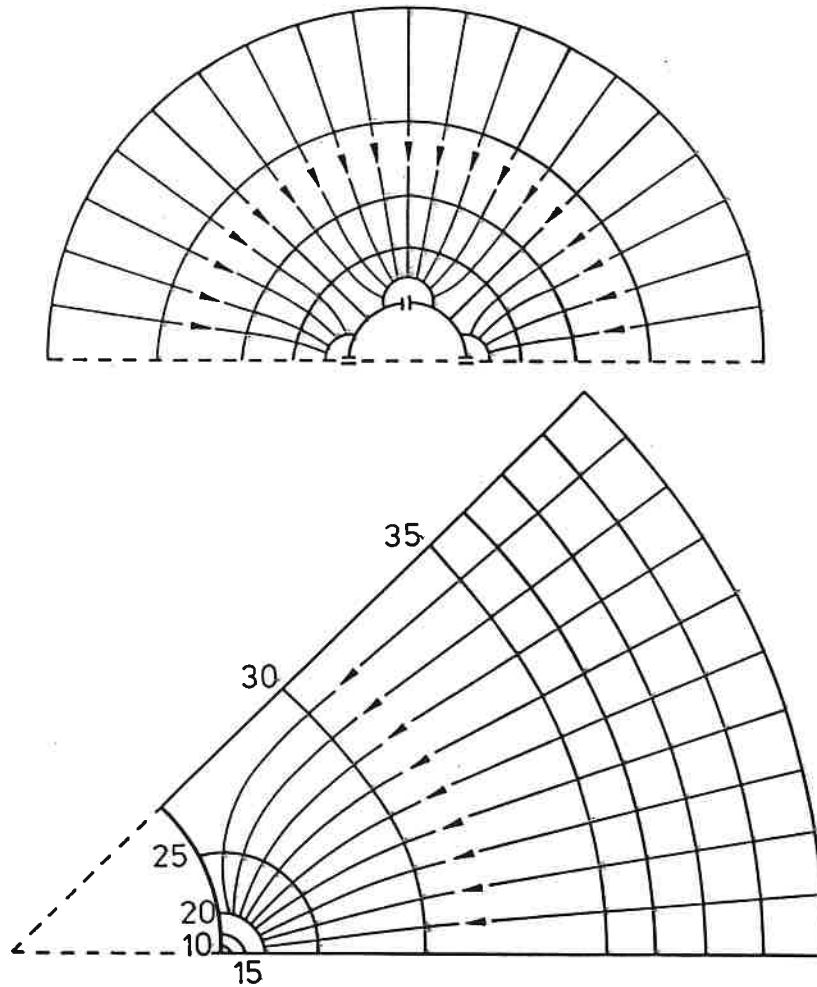
$$\begin{aligned}
 R_0 &= 20\text{mm} \\
 i &= 8 q/k \\
 q/k &= 0.188 \text{ (ojaväli } E=12\text{m, hydraulinen johtavuus} \\
 &\quad k=0.45\text{m/d, sademäärä } 7\text{mm/d )}
 \end{aligned}$$

saadaan hydrauliseksi gradientiksi putken ympärillä 1.5 (kuva 1).



KUVA 1. Painehäviö  $\Delta h$  ja hydraulinen gradientti radiaalisessa virtauksessa ideaaliputkeen, kun  $R_0 = 20\text{mm}$  ja  $q/k = 0.188 \text{ m}$ .

Käytännössä salaojaputket eivät toimi ideaaliputken tavoin, vaan vesi pääsee putkiin ainoastaan tiiliputkien välisistä raoista tai muoviputkien rei'istä. Virtausviivojen täytyy siis taipua voimakkaasti näitä aukkoja kohden (kuva 2.).



KUVA 2. Virtaus- ja potentiaaliviivat muoviputkeen, jossa reiät ovat 4:ssä rivissä. Alemmassa kuvassa veden virtaus yhteen reikään.

Kokonaisuudessaan radiaalisen virtauksen painehäviöt todellisen putken tapauksessa voidaan esittää seuraavasti :

$$\Delta h_t = \Delta h_r + \Delta h_e \quad (5)$$

$\Delta h_t$  = radiaalisen virtauksen kokonaispainehäviö todellisen putken tapauksessa, m

$\Delta h_e$  = sisäänvirtauksen painehäviö, m

$\Delta h_r$  = radiaalisen virtauksen painehäviö, m

Kokonaispainehäviö voidaan myös kirjoittaa muotoon :

$$\Delta h_t = q W_t = q ( W_r + W_e ) \quad (6)$$

tai

$$\Delta h_t = (q/k) * \alpha_t = (q/k) ( \alpha_r + \alpha_e ) \quad (7)$$

$W_t$  = kokonaisvirtausvastus radiaalisessa virtauksessa kohti todellista putkea , d/m  
 $W_r$  = radiaalinen vastus, d/m  
 $W_e$  = sisääntulovastus, d/m  
 $\alpha_r$ ,  $\alpha_r$  ja  $\alpha_e$  ovat dimensiottomia virtausvastuksia

Yhtälön (3) perusteella saadaan :

$$\alpha_r = (1/2\pi) * \ln (R/R_0) \quad (8)$$

eli voidaan siis kirjoittaa :

$$\alpha_t = (1/2\pi) * \ln (R/R_0) + \alpha_e \quad (9)$$

Tehollisella säteellä tarkoitetaan sellaisen ideaaliputken sädettä, jonka kokonaishäviöt ovat samat kuin todellisella, suurempisäteisellä putkella. Sen avulla voidaan dimensioton kokonaisvirtausvastus kirjoittaa muotoon :

$$\alpha_t = (1/2\pi) * \ln (R/R_{ef}) \quad (10)$$

$R_{ef}$  = tehollinen säde

Teholliselle säteelle saadaan lauseke :

$$R_{ef} = R \exp (-2\pi \alpha_t) \quad (11)$$

tai

$$R_{ef} = R_0 \exp (-2\pi \alpha_e) \quad (12)$$

Yhtälöstä (12) huomataan, että todellinen putki, jonka säde on  $R_0$ , voidaan korvata kuvitteellisella pienempisäteisellä ideaaliputkella. Ideaaliputken säde pienenee  $\alpha_e$  arvon kasvaessa.  $R_{ef} = R_0$  , kun  $\alpha_e$  saa arvon 0.

Sisääntulovastus salaojaputkelle, jonka raot ovat pitkittäissuuntaisia ja jatkuvia ja jonka rajapinta ympäröivään maahan on tasainen, voidaan laskea Englundin painehäviökaavasta johdetun kaavan avulla :

$$\alpha_e = (1/\pi N) \ln (4R_0/N\beta_p) \quad (13)$$

Putkelle, jonka

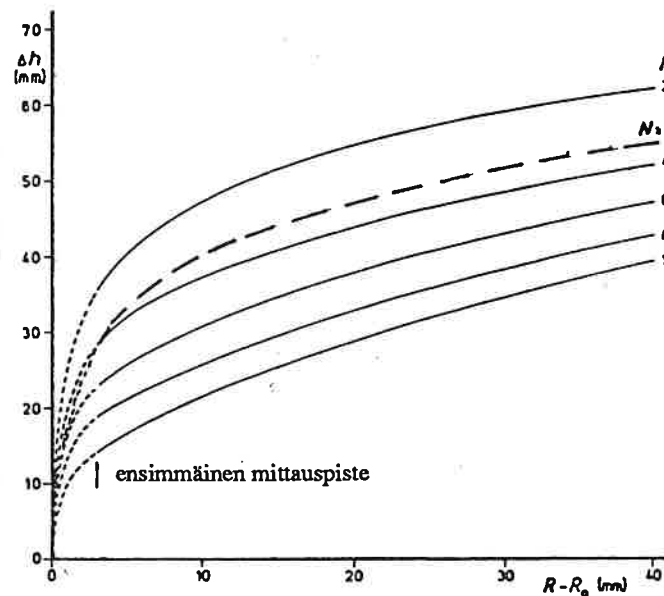
$N$  = pitkittäisten, jatkuvien rakojen lukumäärä  
 $\beta_p$  = rakojen leveys

$R_0$  = 20mm  
 $N$  = 4  
 $\beta_p$  = 1mm

saadaan sisääntuloresistanssin  $\alpha_e$  arvoksi 0.238 ja tehollisen säteen  $R_{ef}$  arvoksi 4.5mm. Kun  $q/k=0.188$ , saavuttaa hydraulinen gradientti arvon 6.6 ja eroosioriski on suuri. Putken halkaisian kasvattaminen ei aiheuta suurta hydraulisen gradientin piene-  
nemää. Esim. säteen arvolla  $R_0 = 50\text{mm}$  hydraulinen gradientti saa arvon 4.2, kun olosuhteet ovat samat kuin aiemmin.

Teoreettisesti lasketut hydraulisen gradientin arvot ovat kuitenkin todellisia arvoja pienempiä, koska teorian on laadittu ideaaliputkelle olettaen, että virtaus on täysin radiaalista. Kuten aiemmin jo mainittiin, joutuvat virtausviivat todellisuudessa taipumaan kohti putkien rei'itystä tai putkirakoja (ks. kuva 2.).

Kuvassa 3. on yhtenäisellä viivalla esitetty painehäviöt putken kehältä mitatun etäisyyden funktiona eri rakomäärillä (2,4,6,8,10), kun putken säde  $R_0$  on 20mm. Ensimmäisestä mittauspisteestä saadaan lineaarisella ekstrapoloinnilla neljän raon tapauksessa hydraulisen gradientin arvoksi 10.2. Samalla tavoin arvioitu hydraulinen gradientti kymmenen raon tapauksessa on 5.2. Putken säteen suurentaminen ei aiheuta merkittävää muutosta hydrauliseen gradienttiin : ensimmäisestä mittauspisteestä lineaarisella ekstrapoloinnilla saadaan arvoksi 7.4, kun  $R_0$  on 50mm ja putken rakomäärä neljä (kuva 3, katkoviiva).



KUVA 3. Painehäviö putken kehältä lasketun etäisyyden funktiona. Putken säde  $R_0 = 20\text{mm}$  (jatkua viiva) ja  $R_0 = 50\text{mm}$  (katkoviiva).  $N$  tarkoittaa pitkittäisten putkirakojen lukumäärää.



Teoreettisesti ja kokeellisesti saadut hydraulisen gradientin arvot on esitetty yhteenvetona sisääntulovastuksen ja todellisen putken tehollisen säteen funktiona taulukossa 1.

*TAULUKKO 1. Hydrauliset gradientit eri putkikoilla putken ympärillä, kun putkena on sileä muoviputki, jonka aukot ovat 1mm levyisiä, jatkuvia pitkittäissuuntaisia rakoja*

putken säde mm	rakojen lkm.	sisääntulo vastus	tehollinen säde mm	hydraulinen gradientti	
				teoreettinen	mitattu
20	4	0.238	4.5	6.6	10.2
50	4	0.311	7.1	4.2	7.4
20	10	0.066	13.2	2.3	5.2

### 2.3 Hydraulinen gradientti ympärysaineella ympäröidyn idealiputken tapauksessa

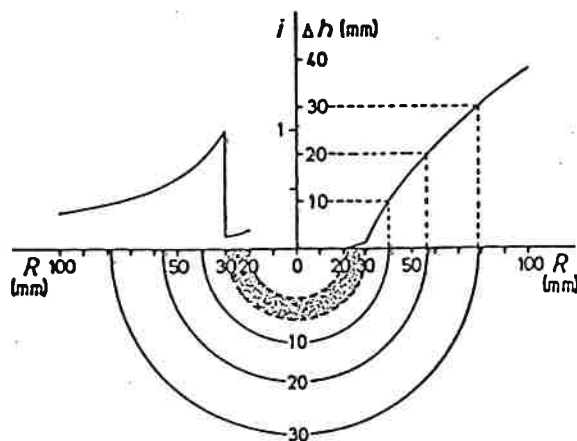
Kun ideaaliputki on ympäröity 10mm paksuisella ympärysaineella, jonka suhteellinen johtavuus ympäröivään maahan nähden on 10, voidaan kaavan (4) avulla laskea hydraulisen gradientin arvo maan ja ympärysaineen rajapinnassa (kuva 4.):

$$i = q / 2\pi k R \quad (4)$$

$$R = R_0 + 10\text{mm} = 20\text{mm} + 10\text{mm} = 30\text{mm}$$

$$q/k = 0.188$$

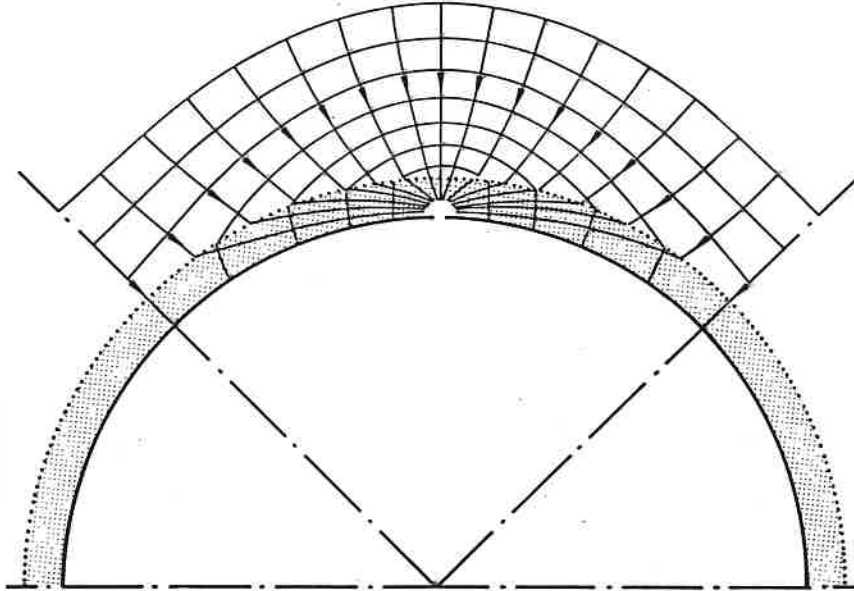
$$i = 1$$



KUVA 4. Ympärysaineen vaikutus painehäviöön  $\Delta h$  ja hydrauliseen gradienttiin, kun putkena on ideaaliputki, jonka säde  $R_0 = 20\text{mm}$  ja  $q/k = 0.188$  m. Ympärysaineen paksuus  $d_e = 10\text{mm}$ .

2.4 Hydraulinen gradientti ympärysaineella ympäröidyn todellisen putken tapauksessa

Kuten aiemmin jo osoitettiin, riippu salaojaputkea ympäröivän maan hydraulinen gradientti putken sisäänvirtausvastuksesta. Putken säteestä riippumatta voidaan em. virtausvastusta vähentää johtavan ympärysaineen avulla. Vähentämistä tapahtuu aina 10mm ympärysainepaksuuteen saakka, jonka jälkeen vastus vakiintuu minimiarvonsa, eikä pienene vaikka paksuutta vielä lisättäisiin. Kuvassa 5. on esitetty ympärysaineen vaikutus virtausviivoihin.



KUVA 5. Ympärysaineen vaikutus virtausviivoihin.

Sisäänvirtausvastus putkelle, joka on ympäröity johtavalla ympärysaineella, voidaan esittää seuraavasti :

$$\alpha'_e = \alpha_e / \kappa_e \quad (14)$$

$\kappa_e$  = ympärysaineeja ympäröivän maan vedenjohtavuuk-  
sien suhde, suositeltavat ohjeelliset arvot vaihtelevat  
eri lähteissä 10 - 20.

Dimensioton kokonaisvirtausvastus, joka muodostuu maan ja ympärysaineen vir-  
tausvastusten ja sisäänvirtausvastuksen summasta, voidaan esittää seuraavasti :

$$\alpha_t = (1/2\pi) * \ln (R/R_e) + (1/2\pi \kappa_e) \ln (R_e/R_0) + \alpha'_e \quad (15)$$

$R_e$  = maan ja ympärysaineen rajapintaan ulottuva säde, m

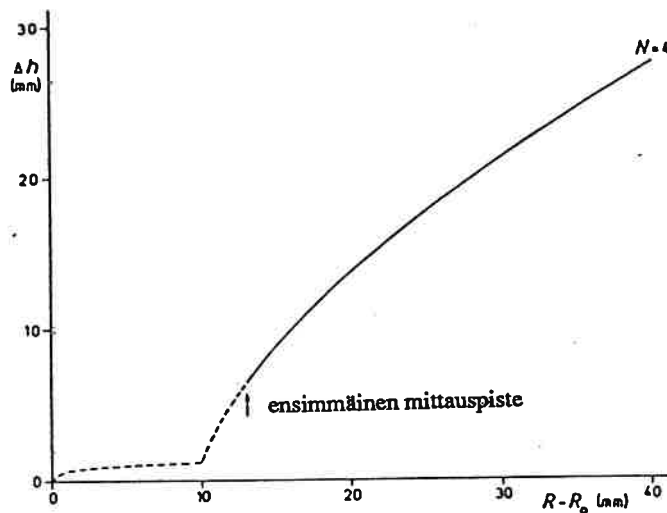
Yhtälöiden (10) ja (15) perusteella voidaan kirjoittaa :

$$R_{ef} = R_0^{1/\kappa_e} * R_e^{(1-1/\kappa_e)} \exp(-2\pi \alpha'_e) \quad (16)$$

Tehollisen säteen käsitettä käyttäen voidaan laskea hydraulinen gradientti maan ja ympärysaineen rajapinnassa. Jos esim.

putkessa 4 yhtenäistä, pitkittäistä rakoa  
 $R_0 = 20\text{mm}$   
 $d_e = 10\text{mm}$  (ympärysaineen paksuus)  
 $R_e = 30\text{mm}$  ( $= R_0 + d_e$ )  
 $\kappa_e = 10$

saadaan teholliseksi säteeksi 25mm ja hydrauliseksi gradientiksi maan ja ympärysaineen rajapinnassa 1.2. Taulukossa 2. on laskettu hydraulinen gradientti eri  $R_0$ :n arvoilla olosuhteiden pysyessä muuten samana. (kuva 6.).



KUVA 6. Painehäviö putken kehältä lasketun etäisyyden funktiona. Putken säde  $R_0 = 20\text{mm}$ , pitkittäisrakojen lukumäärä  $N = 4$ , ympärysaineen paksuus  $d_e = 10\text{mm}$  ja suhteellinen johtavuus  $\kappa_e = 10$ .

Taulukko 2. Hydraulinen gradientti ympärysaineen ja maan välisessä rajapinnassa. Putkityyppi sama kuin taulukon 1. tapauksessa. Ympärysaineen paksuus 10mm ja suhteellinen johtavuus  $\kappa_e = 10$ .

putken säde mm	rakojen lkm.	sisääntulovastus	tehollinen säde mm	hydraulinen gradientti
20	4	0.0238	25	1.2
25	4	0.0256	29	1.0
30	4	0.0271	33	0.9

### 2.5 Epäsymmetrinen radiaalivirtaus kohti putkea

Suoritetussa tarkastelussa on oletettu symmetrisen radiaalivirtauksen tapahtuvan kohti täytenä virtaavaa salaojaputkea. Todellisuudessa putki ei kuitenkaan ole täynnä eikä virtaus symmetristä. Ekvipotentialit saavuttavat pyöreän muotonsa jollakin etäisyydellä putkesta, mutta niiden keskipisteet sijaitsevat epäkeskisesti putken keskipisteen suhteen. Tällaisessa tilanteessa putkeen tulevan virtauksen vastus muuttuu. Kuitenkin suurinpiirtein sama määrä vettä virtaa putkeen sen alapuolelta. Tällöin hydraulinen gradientti putken alapuolella on paljon suurempi kuin symmetrisen radiaalivirtauksen tapauksessa. Maapartikkelien kulkeutuminen putkeen alkaa putken alapuolelta ja siirtyy ylöspäin, kun vedenpinnan korkeus putkessa nousee. Suoritetut kokeelliset tutkimukset tukevat tätä teoriaa (Kowald, 1960).

## 3. MAAHIUKKASTEN PIDÄTTYMINEN YMPÄRYSAINEESEEN

### 3.1 Pidätyismekanismi

RIL 93 (1973) mukaan voidaan rakeisessa suodatinaineessa tapahtuvaan maahiukkasten pidätymiseen vaikuttavat tekijät jakaa kuuteen ryhmään. Kuituisessa materiaalissa pidätyminen noudattanee samoja periaatteita.

1. Siivilöityminen, joka on samanlaista kuin siivilöitäessä vettä sihdin läpi.
2. Sieppaus, joka tapahtuu hiukkasen joutuessa virtauksen vaikutuksesta riittävän lähelle rakeen pintaa, johon se tarttuu adheesiovoimien vaikutuksesta. Sieppauksen vaikutusetäisyys on hyvin pieni.
3. Diffuusio, jolloin hiukkasen lämpöliike voi tuoda hiukkasen niin lähelle suodatinraetta, että hiukkanen pidättyy pintavoimien vaikutuksesta samaan tapaan kuin sieppauksessa.
4. Jatkuvuus voi tuoda maahiukkasen riittävän lähelle suodatinraetta, jolloin pidätyminen tapahtuu. Jatkuvuuden merkitys hiukkasten pidättäjänä suodatinaineeseen on varsin vähäinen.
5. Laskeutumista tapahtuu suodatinrakeiden välissä, jolloin kiintoainesta siirtyy virtausviivalta toiselle ja laskeutuu lopuksi rakeen yläpinnalle.
6. Hydrodynaamiset syyt vaikuttavat hiukkasten liikerataan tehden sen virtausviivasta pokkeavaksi silloin, kun laminarivirtaus muuttaa suuntaansa tai nopeuttaan, ja hiukkanen joutuu suodatinrakeen pidätyiskyvyn piiriin.

### 3.2 Suodatusteho

(Fisher, L. S., Jarret, A. R.; *Transactions of the ASAE* ; vol. 27, 1984, no.2)

Alan kirjallisuus jakaa erilaisten partikkelien keräytymisen ympärysaineeseen kahteen osaan :

1. Ympärysaineen ja maan rajapinnassa tapahtuva, ympärysaineen aukot tukkiva, virtausvastusta lisäävä maahiukkasten keräytyminen (blocking). Sen vaikutus huomataan välittömästi.
2. Ajan myötä tapahtuva pienten maapartikkeleiden, orgaanisen pölyn ja kemiallisten saostumien keräytyminen ympärysaineeseen (clogging).

Blocking-riskiä ei ole, jos

$$i_g \leq i_s$$

$i_s$  = ympäröivän maan hydraulinen gradientti  
 $i_g$  = hydraulinen gradientti putken välittömässä läheisyydessä

Clogging-riskiä voidaan arvioida ympärysaineen ja maan hydraulisten johtavuuksien suhteen avulla. Arvon lisääntyminen osoittaa muutosta parempaan, kun taas pieneminen merkitsee ympärysaineen tukkeutumista.

Ympärysaineen suodatuskyky (SRA=sediment retention ability) voidaan määrittellä seuraavasti :

$$SRA = \{(C_{inflow} - C_{outflow}) / C_{inflow}\} * 100\% \quad (17)$$

$C_{inflow}$  = maahiukkaskonsentraatio ympärysaineeseen tulevassa vedessä

$C_{outflow}$  = maahiukkaskonsentraatio ympärysaineen läpässeessä vedessä

Maahiukkasten pidäytyminen ympärysaineeseen alentaa sen vedenläpäisevyyttä, joten käytännössä on löydettävä kompromissi suodatustehon ja vedenläpäisevyyden välillä. Ympärysaineen vedenläpäisevyys (UFR, unit flow rate) määritellään vesimääränä, joka aikayksikössä läpäisee tietyn pinta-alayksikön. Jotta eri ympärysaineita voitaisiin vertailla keskenään, olisi pystyttävä yhdistämään vedenläpäisevyyden ja suodatuskyvyn arvot. Tämä onnistuu määrittelemällä suodatustehon (SRE, sediment retention efficiency) arvo :

$$SRE = SRA_m * (UFR_{fw}/100) (UFR_m / UFR_{fw}) \quad (18)$$

$$\Rightarrow SRE = SRA_m * (UFR_m/100) \quad (19)$$

$SRA_m$  = mitattujen SRA-arvojen keskiarvo  
 $UFR_{fw}$  = UFR-arvo puhtaalla vedellä  
 $UFR_m$  = mitattujen UFR-arvojen keskiarvo

Yleisesti voidaan sanoa, että korkeat SRE-arvot tarkoittavat hyvää suodatuskykyä ja vedenläpäisevyyttä ja pienet arvot vastaavasti huonoa suodatuskykyä ja/tai huonoa vedenläpäisevyyttä.

#### 4. SALAOJAPUTKIEN SUOJAUS MEKAANISTA RASITUSTA VASTAAN

Ympärysaineen suojausvaikutuksella on merkitystä lähinnä putken asennusvaiheessa. Ennen ojan lopullista täyttöä olisi putki suojattava riittävän paksulla (massiivisella) ympärysainekerroksella, esim. soralla, mikäli putken vahingoittumisvaara on olemassa. Tiiliputkia käytettäessä on myös tärkeää, että ojan pohjalla on sellaista materiaalia, joka estää putkien keskinäisen liikkumisen.

#### 5. RUOSTESAOSTUMIEN EHKÄISY

Rauta esiintyy pohjavedessä liukoisena, kaksiarvoisena rautana. Hapettuessaan kolmiarvoiseksi se muuttuu vakeahiukoiseksi ja syntyy saostuma, jota kutsutaan ruosteeksi. Ruoste aiheuttaa ongelmia salaojitukselle tukkimalla ympärysaineen hukosia, putkien rakoja ja reikiä sekä itse putkia. Ympärysaineen tukketumisherkkyyteen vaikuttaa niiden huokoskoko: pienet huokokset tukkeutuvat nopeasti, mutta toisaalta suurhuukoiset aineet edesauttavat hapen saantia, jolloin ruosteen muodostuminen on mahdollista.

Eräs keino ruosteongelman ratkaisemiseksi on koettaa hidastaa tai kokonaan ehkäistä ruostesaostumien synty orgaanisen ympärysaineen avulla. Tämä perustuu siihen, että eräät orgaaniset ympärysaineet (esim. turve ja sahajauho) sisältävät parkkiainetta, joka muodostaa raudan kanssa suhteellisen pysyviä yhdisteitä ja vähentää liukenemattomassa muodossa olevan raudan määrää. Näin rauta pystyy virtaamaan saostumaatta salaojaputkiston läpi.

#### 6. YMPÄRYSAINEMATERIAALIT

##### 6.1 Ympärysaineiden luokittelu

(Knops, J. A. C., Dierickx, W.; *Proceedings of the International Drainage Workshop* ; 1978, publication 25.)

Ympärysaineet voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan :

1. Rakeiset materiaalit, esim. karkea hiekka tai hieno sora
2. Orgaaniset materiaalit, esim. kookoskuitu, olki, sahajauho tai turve

3. Synteettiset materiaalit, esim. lasikuitu-, plypropeeni-  
polyeteeni- tai akryylikankaat

Jako voitaisiin tehdä myös massiivisiin ja levymäisiin aineisiin. Massiivisia ovat esim. sahajauho ja turve. Levymäiset aineet voidaan vielä jakaa paksuihin ja ohuihin aineisiin. Paksuja ovat esim. kookoskuitu, plystyreenigranulaatti ja lasivilla. Ohuita taas ovat erilaiset synteettiset kankaat.

6.2 Rakeiset materiaalit

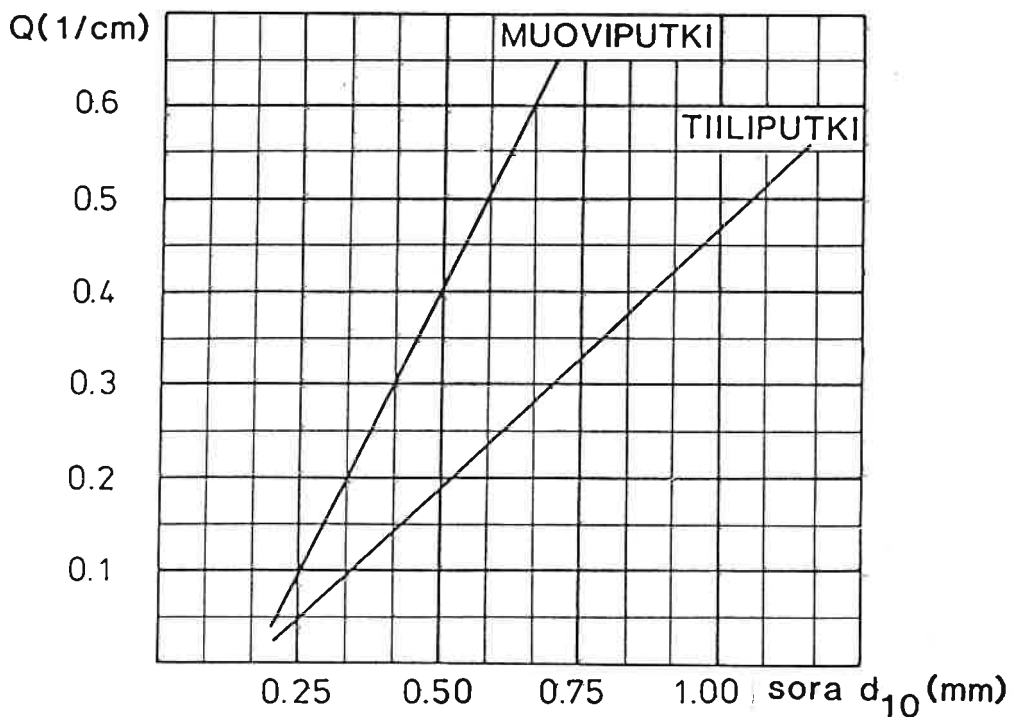
6.2.1 Sora

( Strandman, A. ; Vesitalouden seminaari , HTKK, 1978 )

Ympärysainetta käsittelevä kirjallisuus on täysin yhdenmukaisesti sitä mieltä, että sora on toiminnalliseseti paras ympäräysaine. Nykyisin Suomessa on käytäntönä suojatata kaikki kivennäismaille asennettavat tiiliputket soralla ja myös muoviputkien yhteydesä sora on yleisin ympäräysaine. Soran erinomaisten ominaisuuksien, helpon saatavuuden ja edullisuuden vuoksi ei Suomessa ole ilman riittäviä perusteluja syytä käyttää muita ympäräysaineita. Samoista syistä johtuen on ympäräysainetutkimus Suomessa jäänyt olemattomaksi.

6.2.1.1 Ympärysainesoran rakeisuuden vaikutus salaojaputken vedenottokykyyn

Tehtyjen tutkimusten perusteella voidaan sanoa, että salaojaputken vedenottokyky pienenee voimakkaasti ympäräysainesoran raekoon pienentyessä. Ero suurimman ja pienimmän virtaaman välillä on tiiliputkilla noin 10-kertainen, kun soran  $d_{10}$ -koko vaihtelee välillä 0.25mm - 1.1mm. Muoviputkella virtaama-ero on vieläkin suurempi. Kuvassa 7. on esitetty virtaaman riippuvuus ympäräysainesoran raekoosta  $d_{10}$ .



KUVA 7. Salaojaputken tulovirtaaman riippuvuus ympäräysainesoran  $d_{10}$ -raekoosta.  
T = tiiliputki, M = muoviputki.

Soran raekoon ja vedenläpäisevyyden välistä yhteyttä kuvaa Hazenin kaava :

$$k = c * (d_{10})^2 \quad (20)$$

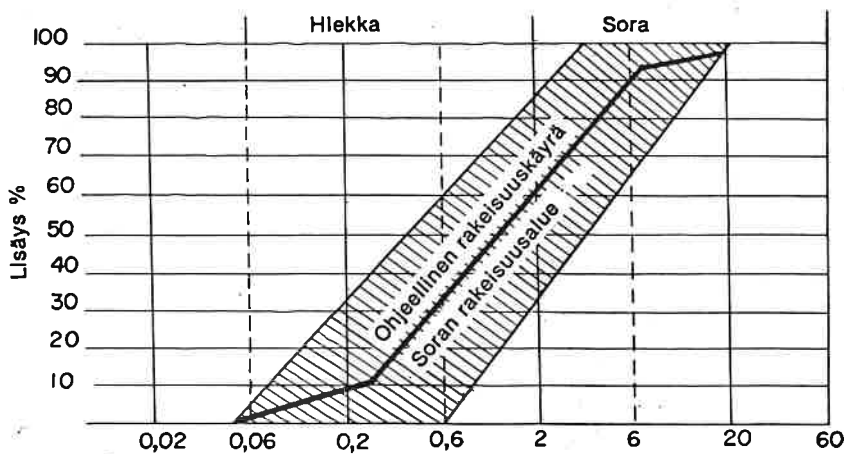
k = vedenläpäisevyys, cm/s  
 d<sub>10</sub> = maan tehokas raekoko  
 c = maan raekokomuodosta, raemuodosta ja huokoisuudesta riippuva kerroin, arvo vaihtelee välillä 60 -150.

Kaavassa oletetaan maan olevan luonnollisesti kerrostunutta ja luonnollisessa tiiveydessään. Maan tiivistäminen pienentää hieman sen k-arvoa : muoviputken ollessa kyseessä suodatinsoran suhteellisen tiiveyden kasvaminen 85%:sta 90%:iin vähentää virtaamaa n.15%. Tiiliputkella vastaava tiivistyminen pienentää virtaamaa n. 30%.

Ympärysainesorassa tapahtuu sen läpi virtaavan veden vaikutuksesta lajitteiden huuhtoutumista ja kasautumista. Tästä on seurauksena putkirakojen tai reikien päällä olevan sorakerroksen vedenläpäisevyyden pieneneminen ja suodatuskyvyn paraneminen.

6.2.1.2 Ympärysainesoralle asetettavat vaatimukset peltosalaojituksessa

Ympärysainesoran tulee olla hyvin vettä läpäisevää ja sen raekoostumuksen on oltava 0.2mm - 20mm. Kuvassa 8. on esitetty soran ohjeellinen rakeisuuskäyrä ja rakeisuusalue. Oikean raekoostumuksen lisäksi on soran oltava riittävän puhdasta, eli se ei saa sisältää ruostetta eikä muitakaan vieraita aineita.



KUVA 8. Ympärysainesoran ohjeellinen rakeisuuskäyrä ja rakeisuusalue.

Sorakerroksen paksuus putken päällä on yleensä n.10cm. Hiesu- ja hietamaissa, pohjavetisimmillä kohdilla sekä milloin jossakin ojassa putous on ylempänä suurempi kuin alempana eikä lietekaivoa ole käytetty, on putket peitettävä vahvemmillä suoja-kerroksella siltä osalta, missä putous on suurin. Tarvittavan soran määrään vaikuttavat myös putkikoko, ojan leveys ja pohjan muoto sekä ojittettavan maan laatu. Putkien alla käytetään soraa vain silloin, kun alueella esiintyy paineellista pohjavettä.



Vedenalaisessa salaojituksessa on soran tarve huomattavasti normaalia suurempi ; alkuvaiheessa kerrospaksuuden tulisi olla vähintään 10cm - 15cm. Jotta tiivistymisalttiit savi ja hiesuainekset eivät estäisi veden valumista putkiin, on soraa lisättävä niin paljon, että vettä läpäisevä kerros ulottuu ainakin 50mm vedenpinnan yläpuolelle.

### 6.2.1.3 Rakennuspaikan salaojituksessa käytettävät ympärysainesorat

Rakennuspaikan salaojituksen tarpeellisuuteen vaikuttavat rakennuspohjan maalaji, sen vedenläpäisevyys, pohjavedenpinnan korkeus ja veden kapillaarinen nousukorkeus maalajissa. Näiden ominaisuuksien perusteella jaetaan maalajit eri kuivatusryhmiin, joiden avulla voidaan arvioida tarvittavien sorakerrosten ominaisuudet. Vaikeissa olosuhteissa tarvitaan kolme erilaista sorakerrosta : salaojitus- , suojus- ja suodatinkerros.

Salaojituskerroksen tehtävänä on ehkäistä veden kapillaarinen nousu pohjaveden pinnasta, sekä koota ja johtaa kerrokseen tulevat vedet salaojaputkistoon. Kerroksen paksuuden tulee olla vähintään 15cm ja korkeintaan 5% aineksesta saa olla rakeisuudeltaan alle 2mm. Suurin sallittu raekoko on 32mm.

Suojuskerros on materiaaliltaan samankaltainen kuin salaojituskerros. Sen rakeisuusalue on kuitenkin laajempi nimenomaan pienemmällä raekokoalueella. Suojuskerroksen tehtävät ovat samat kuin salaojituskerroksella.

Suodatinkerroksen tarkoituksena on estää hienojakoisissa, juoksevissa maalajeissa irtaantuvien aineiden kulkeutuminen veden mukana putkiin. Sen on kyettävä pidättämään itseensä erilaatuiset, etupäässä kuitenkin hienojakoiset tukkeumavaaran aiheuttavat hiukkaset.

### 6.2.2 Kevytsora

Kevytsoran käyttö ympärysaineena on perusteltua silloin kun sitä voidaan helposti ja edullisesti valmistaa eikä soraa ole saatavilla . Se valmistetaan sintraamalla maa-ainesta riittävän korkeassa lämpötilassa. Kevytsoran ominaisuuksiin vaikuttavat siis valmistusmenetelmä ja lähtöaineen ominaisuudet. Menfee ja Hautala (Hautala, E. ; Menefee, E. 1981) tutkivat eri sintrauslämpötilolla savesta (Imperial Silty Clay) valmistettujen kevytsorien ominaisuuksia. Tutkimustulokset osoittivat kevytsoran olevan rakenteellisesti riittävän lujaa ja vettäjohtavaa materiaalia ympärysaineeksi. Veden ei havaittu aiheuttavan muutoksia rakeiden ominaisuuksiin.

### 6.2.3 Masuunikuona

Masuunikuonaa ei ole yleisesti käytetty ympärysaineena, joten kokemuksia tai tutkimustietoa sen ominaisuuksista ei ole saatavilla. Syynä vähäiseen käyttöön lienee sen huono saatavuus.

## 6.3 Orgaaniset materiaalit

Keski- ja Pohjois-Euroopassa on orgaanisten ympärysaineiden käytön yleisyyteen ollut syynä soran puute. Salaojitekniikan kehittyminen ja muoviputken käyttöönotto

ovat myös osaltaan lisänneet etenkin putken ympärille valmiiksi käärittyjen orgaanisten materiaalien käyttöä. On todennäköistä, että myös Suomessa orgaanisten materiaalien käyttö lisääntyy niiden ruostesaostumia ehkäisevän ominaisuuden vuoksi.

Orgaanisten ympärysaineiden käyttöä rajoittaa niiden suhteellisen nopea hajoaminen, esim. kookoskuitumateriaalin on todettu hajoavan jopa parissa vuodessa. Tästä syystä niitä voidaan suositella käytettäväksi vain sellaisissa olosuhteissa, joissa hienoaineksen kulkeutuminen putkeen loppuu mahdollisimman aikaisessa vaiheessa maan stabiloituessa. Hajoamista nopeuttavat aerobiset, neutraalit ja alkaaliset olosuhteet sekä humuspitoisen maan pudottaminen ympärysaineen päälle. Kestävyyttä voidaan yrittää parantaa erilaisilla suoja-aineilla tai käyttämällä orgaanisen ja synteettisen aineen yhdistelmiä. Myös ympärysainekerroksen paksuudella voidaan pidentää sen toimintaikää.

Eräiden orgaanisten materiaalien (esim. tammen kaarna ja kuusen puru) on todettu vapauttavan kuivatusveteen haitallisia fenoleita ja muita orgaanisia yhdisteitä. Tästä syystä pitäisi välttää näiden materiaalien käyttöä sellaisilla alueilla, joilta kuivatusvesi saattaa joutua juomaveden yhteyteen. (Svobodova, V. 1981).

Yleisin orgaaninen ympärysaine on kookoskuitu, joten kokemuksia ja tutkimuksia sen ominaisuuksista on julkaistu suuri määrä. Muita käytettyjä materiaaleja ovat mm. sahajauho, erilaiset turpeet ja kanervat, eri kasvien oljet, puiden lastut, risut ja kaarna sekä maissin tähkä. Suoritettujen tutkimusten ja saatujen kokemusten perusteella ei eri materiaaleja voida asettaa paremuusjärjestykseen eikä antaa yleispäteviä ohjeita niiden käytöstä, vaan jokainen tapaus on harkittava erikseen omana kokonaisuutenaan. Muista Pohjoismaista saatujen kokemusten perusteella on sahajauho sopivin orgaaninen ympärysaine myös Suomessa, jostain syystä sen ominaisuuksista ei meillä kuitenkaan ole tehty yhtään perusteellista tutkimusta.

### 6.3.1 Kookoskuitu

(*Suortti-Suominen, T. ; Vesitalous, vol. 23, 1982, no. 6. )*

Suurin osa ympärysaineena käytettävästä kookoskuidusta on jo tehtaalla valmiiksi sidottu putken ympärille, joten putken asennus on helppoa ja nopeaa. Kookoskuitujen karkeuden vuoksi niistä tehdyn kankaan huokosuus on hyvin suuri, n. 90% tilavuudesta. Huokosten koko vaihtelee 0.3mm -1.0mm ja on siten suurimpia tunnetuista ympärysaineista. Näistä syistä johtuen kookoskuitukangas putken ympärillä lisää huomattavasti sen vedenottokykyä. Kuitenkin kenttäkokeissa on havaittu sahajauhon toimivan yhtä hyvin ja säilyttävän toimintakykynsä pidempään kuin kookoskuitukangas.

Ympärysaineen suodatustehtävän kannalta on karkea huokosrakenne epäedullinen. Hietapitoisissa maissa tehdyt kenttäkokeet osoittavat, että kookoskuitukangas ei suodata hietarakeita ; putkiin kertyi enemmän lietettä kuin esim. sahajauhoa käytettäessä.

Suomessa ei ennen lisäselvityksiä ole syytä ryhtyä kookosmateriaalin laajempaan käyttöön. Tapauksissa, joissa orgaanista materiaalia tarvitaan, olisi ensin selvitettävä mahdollisen kotimaisen materiaalin, esim. sahajauhon ominaisuudet ja soveltuvuus ko. olosuhteisiin.

#### 6.4 Synteettiset materiaalit

Synteettiset ympäräysaineet tulivat markkinoille osittain samoista syistä kuin orgaanisetkin. Samoin kuin putken ympärille valmiiksi asennetut orgaaniset ympäräysaineet, mahdollistavat myös vastaavat synteettiset kankaat erittäin nopean ja helpon ojituksen. Synteettisten materiaalien suurimpana etuna orgaanisiin materiaaleihin verrattuna on se, etteivät ne maassa ollessaan yleensä hajoa.

Ensimmäinen laajemmin käytetty synteettinen ympäräysainemateriaali oli lasikuitu. Myöhemmin tulivat mm. nailon-, polyesteri-, polyetylenei- ja polypropyleenikuidut ja erilaiset rakeet. Valmistusmenetelmänsä vuoksi voidaan synteettisten kuitujen ja rakeiden kokoa sekä niistä valmistettavan kankaan tai massan ominaisuuksia helposti vaihdella, joten erilaatuisten synteettisten ympäräysaineiden lukumäärä on erittäin suuri.

Synteettisten ympäräysaineiden tärkeimmät ominaisuudet ovat veto- ja hankauslujuus, kemiallinen kestävyys, veden johtavuus ja suodatuskyky. Materiaalin vetolujuuden on oltava niin suuri, ettei se painu aallotetun putken syvennyksiin tai tuki putken reikiä. Sen on myös kestävä varastoinnin ja asennuksen aikaiset rasitukset.

Suuri hankauslujuus on tärkeää putken asennuksen aikana. Tällöin ympäräysainekerros saattaa rikkoutua hankautuessaan toiseen putkeen, maahan tai ojituskoneeseen. Jo pienikin reikä ympäräysainekerroksessa voi johtaa putken tukkeutumiseen.

Vaikka synteettiset materiaalit eivät kovinkaan helposti hajoa maaperässä biologisten tai kemiallisten tekijöiden vaikutuksesta, olisi silti otettava huomioon se, että kaikkein hienoimmat kuidut tarjoavat suuren pinta-alan mahdollisille haitallisille kemiallisille reaktioille. Maan pH saattaa joissain oloissa olla haitallisen korkea tai se saattaa laskea liian alas, jos putkesta huuhdellaan rauta- ja mangaanisaostumia suolahapolla. Myös ultraviolettivalon on havaittu olevan vahingollista hienoimmille kuiduille. Tämä on ongelmana luonnollisesti vain varastoinnin aikana.

Kuten kaikilla muillakin ympäräysaineilla, on myös synteettisillä ongelmana löytää paras mahdollinen tasapaino suodatuskyvyn ja vedenjohtavuuden välillä. Paksut synteettiset materiaalit yleensä painuvat ja tiivistyvät maamassojen painosta, ja putken vedenottoa alenee. Ohuet synteettiset materiaalit toimivat vain suodattimena eivätkä paranna putken vedenottoa lainkaan. Lisäksi niillä on taipumus tukkeutua hyvin nopeasti.

Suomessa synteettisistä ympäräysaineista saadut tiedot perustuvat lähinnä valmistajien tekemiin kenttäkokeisiin (Koneviesti, 1980, no.11; Suodatinkankainen salaojaputki. Enckell, P. & Maasilta, A. 1968). Saatujen tulosten perusteella todettiin mineeraalivillan korvaavan soran, varsinkin kun lopputäytön yhteydessä mineeraalivillan päälle pudotettiin ruokamultaa. Polyesterikuitukankaan todettiin sopivan etenkin turve- ja liejualueilla soran korvikkeeksi. Hiekka- ja hietamailla em. kangas toimi hyvin, kun se peitettiin riittävän paksulla ruokamultakerroksella.

Ruotsissa saadut kokemukset osoittavat, että synteettisen ympäräysaineen tulisi olla ainakin 5mm-10mm paksu, sen hydraulisen johtavuuden tulisi olla vähintään kymmenkertainen ympäröivään maahan nähden ja sen hikoskokojakauman tulisi olla mahdollisimman laaja. Ohuita kankaita ei suositella käytettäväksi, koska ne eivät paranna putkien vedenottoa (Jonsson, B. 1986). Norjassa ollaan synteettisistä materiaaleista luopumassa niistä saatujen huonojen kokemusten vuoksi.

Suomessa ei ainakaan vielä ole syytä käyttää synteettisiä ympäräysaineita, eivätkä muis-

ta Pohjoismaista saadut kokemukset ole kovinkaan rohkaisevia. Puolueetonta tutkimustietoa niiden soveltuvuudesta Suomeen ei ole ollut olemassa.

## 7. YMPÄRYSAINIEN KÄYTTÖ ULKOMAILLA

Euroopassa käytetään eniten massiivisia ( paksuus >7mm) ympärysaineita, kun taas USA:ssa ja Kanadassa käytetyimpiä ovat ohuet, synteettiset kankaat. Erot johtuvat siitä, että USA:ssa ja Kanadassa käytetään suurempia putkikokoja kuin Euroopassa. Veden sisäänvirtausvastus pienenee putkikokoa suurennettaessa, joten ympärysaineen ainoaksi tehtäväksi suurta putkea käytettäessä jää suodatus. Ohuiden materiaalien käyttöä Euroopassa onkin vähentänyt niiden nopea, vaikeasti ennustettava tukkeutuminen.

Ruotsissa yleisin materiaali on ollut sora, mutta myöskin sahajauhoa käytetään jonkin verran. Norjassa selvästi yleisin ja suositelluin ympärysaine on sahajauho. Tanskassa yleisin ympärysaine on kookoskuitu, mutta ruosteongelmaisilla alueilla suositellaan käytettäväksi sahajauhoa. Muissa Pohjoismaissa on Suomeen verrattuna huomattavasti yleisempää tehdä salaojitus kokonaan ilman ympärysainetta.

## 8. YMPÄRYSAINETUTKIMUS

Kuten aiemmin jo todettiin, on ympärysainetutkimus Suomessa ollut hyvin vähäistä. Ensimmäiset kenttäkokeet tehtiin Salaojitusyhdistyksen toimesta v. 1926 Jokioisissa ja Porvoossa ( Kivisaari, S. 1984 ). Näissä tutkimuksissa selvitettiin oljen, turpeen, soran ja ruokamullan ominaisuuksia ympärysaineena. Kokeiden tuloksia on seikkaeräisesti käsitelty erityisesti monissa prof. Keson julkaisuissa. Vuonna 1949 perustettiin Juuselan ja Puustjärven toimesta Utajärvelle rahkasaraturvesuolle koalue. Tutkimuksen yhtenä päämääränä oli löytää keinoja ruostetukkeutumien estämiseksi. Tukkeutumista pyrittiin torjumaan mm. lisäämällä ympärysainesoraan erisuuruisia määriä kalkkikivijauhoa.

1950-luvun jälkeen salaojituskoekenttien rakentaminen ja salaojatutkimus yleensä tyrehtyi miltei kokonaan. Yhtenä syynä tähän on ollut kasvinravinteiden luontainen vähyys maaperässämme. Ravinteiden vähyys on perinteisesti koettu kasvintuotantoa rajoittavana ongelmana ja tämä on aiheuttanut sen, että tutkimuspaine ja siten myös tutkijoiden lukumääräinen paine on luonnollisesti kohdistunut tälle sektorille. Sijoituslannoituksen läpimurto 60-luvulla aiheutti satotason selvää yleistä nousua ja lisäsi entisestään mielenkiintoa kasvinravitsemukseen ja ravinteiden hyväksikäyttöön. Voimakas sitoutuminen perinteisiin ongelmiin johti siihen, että maan fysikaalisia kysymyksiä ei koettu tärkeänä. Tällöin niiden arvostus myös maatalouspiireissä väheni. Tämän asenteen vaikutukset näkyvät, ei ainoastaan 1960- ja 70-lukujen salaojatutkimuksen vähäisyydessä, vaan myös laajemmin maaperäfysikaalisen tutkimuksen ja opetuksen vähäisyytenä sekä tutkijoiden määrän pienuutena.

Viimeisin Suomessa tehty ja raportoitu kenttäkoe nimenomaan ympärysaineiden ominaisuuksien selvittämiseksi aloitettiin v. 1968 Lappeenrannassa Paraisten Kalkkivuori Oy:n toimesta. Materiaaleina olivat sora, sepeli, vuorivilla ja lasivilla.

Laboratoriotutkimuksia pelkästään ympärysaineista ei meillä ole tehty yhtään. Teknillisessä Korkeakoulussa tehtiin v. 77 - 78 tutkimus salaojaputken vedenottokyvystä, ja

samalla selvitettiin putkia ympäröivän soran rakeisuuden ja tiiveyden vaikutusta vedenottokykyyn. Tämä onkin toistaiseksi jäänyt viimeiseksi ympärysainetutkimukseksi Suomessa.

Ulkomailla ympärysainetutkimusta on tehty huomattavasti enemmän kuin Suomessa. Valmiiksi putken ympärille käärityt erilaiset synteettiset ja orgaaniset materiaalit ovat tällä hetkellä kaikkein yleisimpiä ympärysaineita, joten on luonnollista, että tutkimustoiminta keskittyy näihin materiaaleihin. Mullistavia uusia ideoita tai materiaaleja ei varmaankaan ole odotettavissa, ja tutkimustoiminnan tarkoituksena on lähinnä selvittää kunkin materiaalin ominaisuudet ja ne olosuhteet, joissa sitä voidaan käyttää.

Tällä hetkellä ympärysainetutkimuksen suurin ongelma on se, että markkinoille ilmestyy jatkuvasti uusia, lähinnä synteettisiä materiaaleja, jotka otetaan käyttöön ennen niiden ominaisuuksien ja soveltuvuuden selvittämistä.

Lähdeluettelossa on esitetty mahdollisimman kattavasti Suomessa ja muissa maissa julkaistut ympärysaineisiin liittyvät tutkimuselostukset ja artikkelit. Tutkimukset on jaettu kenttä-, laboratorio- ja kirjallisuustutkimuksiin. Yleiset artikkelit on esitetty kirjallisuustutkimusten luokassa. Osa julkaisuista sisältää useampia eri tutkimuksia, esim. laboratorio- ja kirjallisuustutkimuksen, joten ne on sijoitettu kahteen tai kolmeen eri luokkaan.

## 9. YHTEENVETO

Salaojaputken ympärysaineen tärkeimpinä tehtävinä ovat veden virtausvastuksen alentaminen ja hienoaineksen suodattaminen. Sillä voidaan myös suojata putkea ja estää putkien liikkuminen ojitustyön aikana. Eräiden orgaanisten ympärysaineiden on todettu ehkäisevän ruostesaostumien syntymistä itse ympärysaineeseen, putkirakoihin ja putkeen.

Maapartikkeleiden kulkeutumista salaojaputkeen tapahtuu, kun hydraulinen gradientti putkea ympäröivässä massa saavuttaa kriittisen arvonsa. Hydraulinen gradientti on riippuvainen veden sisäänvirtausvastuksesta salaojaputkeen, joten alentamalla sisäänvirtausvastusta ympärysaineen avulla alennetaan samalla hydraulista gradienttia, eikä maapartikkelien kulkeutumista tapahdu. Virtausvastuksen alentaminen lisää myös putken kuivatustehoa. Käytännössä ongelmana on ympärysaineen hyvän vedenjohtavuuden ja suodatuskyvyn ristiriita : mitä parempi suodatuskyky sitä huonompi vedenjohtavuus, ja päinvastoin.

Ympärysaineet voidaan jakaa rakeisiin, synteettisiin ja orgaanisiin aineisiin. Parhaimpana ympärysainemateriaalina pidetään soraa. Ongelmana on se, että soraa ei kaikkialla ole saatavissa, ja ojitus sitä käytettäessä ei ole yhtä tehokasta kuin valmiiksi putken ympärille käärittyjä orgaanisia tai synteettisiä ympärysaineita käytettäessä. Suomessa soraa on käytetty miltei kaikissa ojituksissa, eikä syitä sen käytöstä luopumiseen aivan lähiaikoina ole näkyvissä.

Ruosteongelman lisääntymisen myötä maassamme on tarpeen selvittää erilaisten orgaanisten materiaalien sopivuus olosuhteisiimme. Lisäksi pidemmällä tähtäimellä soravaramme ehtyvät ja joudutaan käyttämään muita materiaaleja. Tällä hetkellä myös tarve lisätä ojituksen tehoa vähentää soran käyttöä ja lisää muiden materiaalien suosiota.

Suomessa on siis tarvetta ympärysainetutkimukseen. Olisi kuitenkin tarkkaan harkittava tutkimusten päämäärä. Tärkeintä lienee selvittää synteettisten ja orgaanisten materiaalien soveltuvuus Suomen oloihin ja laatia suositukset niiden käytöstä. Tutkimuksissa tulisi mahdollisuuksien mukaan käyttää hyväksi ulkomailla saatuja tuloksia ja kokemuksia, jotta turhilta päällekkäisyyksiltä vältyttäisiin.

---

## 10. LÄHDELUETTELO

### *SUOMI*

#### *Kenttätutkimukset*

Enckell, P., Maasilta, A. ; Salaojien suojausaineista. *Vesitalous* ; vol. 9, 1968, no.6, s. 29-30, 34.

Silfverberg, P. ; Jäteveden hyötykäyttö ja puhdistuminen maaperässä sovellettuna jäteveden maahan imeyttämiseen, energiaviljelyyn ja jätevesien sadetukseen. HTKK, diplomityö v. 81-82.

#### *Laboratoriotutkimukset*

Hooli, J. ; Salaojaputkien vedenotto- ja vedenjohtokyky suoritettujen laboratoriotutkimusten valossa. *Vesitalous* ; vol. 20, 1979, no. 1, s. 3-11.

Hooli, J., Hepojoki, A., Maunula, M., Silfverberg, P., Suortti, T. ; Salaojaputkien toiminnalliset kokeet. *Vesitalous* ; vol. 22, 1981 , no. 1, s.24-28.

Maunula, M.; Kokeellinen tutkimus salaojaputkien vedenottokyvystä. HTKK, diplomityö v.79-80.

Suortti, T. ; Kokeellinen tutkimus salaojaputkien vedenottokyvystä. HTKK, diplomityö v.79-80.

#### *Artikkelit ja kirjallisuustutkimukset*

Halonen, R. ; Salaojaputkien suojauksesta. *Oma Maa* ; vol.15, 1969, no. 33, s. 4.

Juusela, T. ; Salaojaputkiston suojaamisesta. *Koneviesti* ; vol. 12, 1964, no. 12, s.6-7.

Juusela, T. ; Salaojitusputkiston suojaustavoista ja soran käytöstä suojausaineena. *Maa- ja vesirakentaja* ; 1958, no.3, s.34-55.

Kanervisto, O. ; Salaojaputkien ympärysaineet. *Käytännön Maamies* ; vol. 34, 1985, no. 6, s. 59-62.

Kivisaari, S. ; Salaojatutkimuksen järjestäminen Suomessa. Maatalouden tutkimuskeskus, Maanviljelyskemian ja -fysiikan osasto, Jokioinen ; 1984, 60 s.

Muotka, J. ; Muut suodatinaineet salaojituksessa. *Vesitalouden seminaari*, HTKK ; 1978, 28 s.

- Saavalainen, J. ; Salaoja ja suodatin. Käytännön Maamies ; vol. 29, 1980, no. 11, s. 28 -29.
- Saavalainen, J. ; Salaojien ympärysaineilla kolme tärkeää tehtävää. Käytännön Maamies ; vol. 34, 1985, no. 8, s.48-50.
- Saavalainen, J., Suortti, T. ; Salaojaputken ympärysaineilla on monta tehtävää. Käytännön Maamies ; vol. 30, 1981, no. 10, s. 59-60.
- Strandman, A. ; Erilaatuiset suodatinsorat salaojituksessa. Vesitalouden seminaari, HTKK ; 1978, 23 s.
- Suodatinkankainen salaojaputki. Koneviesti ; vol. 28, 1980, no. 11, s. 13.
- Suortti-Suominen, T. ; Kookoskuitukangas salaojaputkien ympärysaineena. Käytännön Maamies ; vol. 31, 1982, no.12, s. 50-51.
- Suortti-Suominen, T. ; Kookoskuitukankaan ominaisuudet salaojan ympärysaineena. Vesitalous ; vol. 23, 1982, no. 6, s. 14-22.
- Suortti-Suominen, T. ; Salaojaputken ympärysaineista. Teho ; vol. 34, 1983, no. 4, s. 8-9.

## ULKOMAAT

### *Kenttätutkimukset*

- Andersen, Sv. Aa. ; Versuche und Erfahrungen mit Dränmethoden und Dränmaterialen in Dänemark. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung ; vol. 24, 1983, no. 4, s. 223-227.
- Andersen, Sv. Aa., Waagepetersen, J. ; Organiske pakningsmaterialer ved dræning af okkerholdig sandjord. Hedeselskapet Forsøgsvirksomheden Beretning; 1985, nr. 28, 24 s.
- Bredikhin, NN. ; Selecting Optimum Design of Closed Drainage for Various Water Loads. Soviet Agricultural Sciences ; 1984, no.8, s. 52-55.
- Broughton, R. S., English, B., Damant, C., Ami, S., McKyes, J., Brasseur, J. ; Tests of Filter Materials for Plastic Drain Tubes. Proceedings, Third National Drainage Symposium, Chicago, USA, December 1976, American Society of Agricultural Engineers ; 1976, s. 34-39.
- Broughton, R. S., Gameda, S., Gibson, W. ; Field Tests of Some Drain Tube Envelope Materials. Advances in Drainage, Proceedings of the American Society of Agricultural Engineering, Fourth National Drainage Symposium, December 13 - 14, 1982, s. 69-78.



- Brownscombe, R. H. ; Field Evaluation of Tile Drains Laid with Organic Blinding Materials. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE ; vol. 5, 1962, no. 1, s. 61-63,67.
- Burghardt, W. ; Die Entwicklung von Dränvollfiltern aus Kunststoffasern. Wasser und Boden ; vol. 31, 1979, no. 1, s. 14-17.
- Burghardt, W. Untersuchungen zum Abbau von Kokosfiltern in Marschböden. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung ; vol. 24, 1983, no.1, s.43-49.
- Burghardt, W., Foerster, P., Scheffer, B. ; Die Bedeutung einiger Bodeneigenschaften für den Abbau von Dränfiltern aus Kokosfasern. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung ; vol. 19, 1978, no. 6, s. 363-370.
- Dierickx, W. ; Field Experience and Laboratory Research on Drainage Envelopes. Proceedings of International Seminar on Land Drainage, TKK, Rak. ins. osasto, Vesitekniikka, Otaniemi, 1986/1, s. 51-70.
- Dierickx, W. ; Soil Invasion into Drain Pipes. Proceedings of a Seminar in the EC Programme of Coordination of Research on Land Use and Rural Resources, Arnhem / the Netherlands, 18-25 June, 1985, s. 151-161.
- Dierickx, W., Leyman, N. ; Veldonderzoek naar de drainerende werking van verschillende drainagematerialen. Mededelingen van het Rijksstation voor Landbouwtechniek ; publ. nr. 71, 1978, 105 s.
- Ford, H. W., Beville, B. C. ; Chemical Changes in Tile-drain Filters and Ditch Banks Caused by Anaerobiosis. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE ; vol. 11, 1968, no. 1, s. 41-42.
- Grant, R. O. ; Experiments with Drainage Materials and Submerged Drains on Ochreous Sites. Proceedings of International Seminar on Land Drainage, TKK, Rak. ins. osasto, Vesitekniikka, Otaniemi, 1986/1, s.
- Grant, R. O., Andersen, Sv. Aa. ; Forsøg med dræningsmaterialer og dykkede dræn på okkerholdig jord. Hedeselskapet Forsøgsvirksomheden Beretning nr.29, 1985, 63 s.
- Hallgren, G., Östholm, C-O. ; Om utfällning av järn i dräneringsledningar. Grundförbättring ; vol. 10, 1957, nr.2, s. 87-101.
- Hermsmeier, L. S. ; Economical Envelopes for Subsurface Drains in Irrigated Lands. Proceedings, Third National Drainage Symposium, Chicago, USA, December 1976, American Society of Agricultural Engineers ; 1976, s. 18-21.
- Hove, P. ; Filter Materials for Drains - Experiences in Norway. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung ; vol. 23, 1982, no. 2, s. 104-109.
- Jonsson, B. ; Organic and Synthetic Fibres as Drainage Filters. Proceedings of International Seminar on Land Drainage, TKK, Rak. ins. osasto, Vesitekniikka, Otaniemi, 1986/1, s. 71-79.

- 
- Kellet, A. J., Armstrong, A. C. ; Sedimentation of Drain Pipes ; Results of a National Investigation (DW 14 ), preliminary report. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Land Drainage Service, Research and Development. Report no. 2, 1980, 9 s.
- Knops, J. A. C., Zuidema, F. C., Someren, C. L. van, Scholten, J. ; Guidelines for the Selection of Envelope Materials for Subsurface Drains. International Institute for Land Reclamation and Improvement ; Proceedings of the International Drainage Workshop ; 1978, publication 25, s. 439-450.
- Kowald, R. ; Der Weg des Wassers zum Drän in Grundwasservernässten Böden. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung ; vol. 1, 1960, no. 4, s. 193-201.
- Kowald, R. ; Ein neues Dränrohrfilterverfahren. Wasser und Boden ; vol. 15, 1963, no. 10 , s. 369-372.
- Kuntze, H., Scheffer, B., Eilts, F. ; Organische Dränfilter gegen Verockerung. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung ; vol. 25, 1984, no. 5 s. 308-312.
- Palmer, D. B., Johnson, H. P. ; Field Evaluation of Flow Through Blind Inlets. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE ; vol. 5, 1962, no. 1, s. 58-61.
- Sommerfeld, T. G. ; Outflow from Various Drainage Materials. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE ; vol. 18, 1975, no.1, s. 85-88,94.
- Willardson, L. S., Davis, S., Mulder, D., Spencer, J. R. ; Drain Envelope Response to Field Treatments. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE ; vol. 18, 1975, no.1, s. 134-136.

#### *Laboratoriotutkimukset*

- Benz, L. C., Doering, E. J., Reichman, G. A., Follet, R. F. ; Evaluation of Some Subsurface Drainage Envelopes. Proceedings, Third National Drainage Symposium, Chicago, USA, December 1976, American Society of Agricultural Engineers ; 1976, s. 31-33.
- Broadhead, R. G., Schwab, G. O., Reeve, R. C. ; Synthetic Drain Envelopes and Soil Particle-Size Distribution. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE ; vol. 26, 1983, no.1, s.157-160.
- Broughton, R. S., English, B., Damant, C., Ami, S., McKyes, J., Brasseur, J. ; Tests of Filter Materials for Plastic Drain Tubes. Proceedings, Third National Drainage Symposium, Chicago, USA, December 1976, American Society of Agricultural Engineers ; 1976, s. 34-39.
-

- 
- Buras, N., Pillsbury, A. F. ; Lateral Movement of Water along a Glass Fiber Sheet Used as a Drantile Filter ; American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE ; vol. 6, 1963, no. 2, s. 173,176.
- Burghardt, W. ; Die Entwicklung von Dränvollfiltern aus Kunststofffasern. Wasser und Boden ; vol. 31, 1979, no. 1, s. 14-17.
- Burghardt, W., Foerster, P., Scheffer, B. ; Die Bedeutung einiger Bodeneigenschaften für den Abbau von Dränfiltern aus Kokosfasern. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung ; vol. 19, 1978, no. 6, s. 363-370.
- Dierickx, W. ; Electrolytic Analogue Study of the Effect of Openings and Surrounds of Various Permeabilities on the Performance of Field Drainage Pipes. Mededelingen van het Rijksstation voor Landbouwtechniek, B-9220 Merelbeke, publ. no. 77, 238 s.
- Dierickx, W. ; Field Experience and Laboratory Research on Drainage Envelopes. Proceedings of International Seminar on Land Drainage, TKK, Rak. ins. osasto, Vesiteknikka, Otaniemi, 1986/1, s. 51-70.
- Dierickx, W. ; Structural Stability of Soil and the Need for Drainage Envelopes. Advances in Drainage, Proceedings of the American Society of Agricultural Engineering, Fourth National Drainage Symposium, December 13 - 14, 1982, s. 79-86.
- Dierickx, W., Yüncüoğlu, H. ; Factors Affectin the Peformance of Drainage Envelope Materials in Structurally Unstable Soils. Agricultural Water Management ; vol. 5, 1982, no. 3, s. 215-225.
- Eriksson, J. ; Om behovet av slagskydd vid plaströrsdikens återfyllning. Grundförbättring ; vol. 19, 1966, no. 2, s. 151-157.
- Ford, H. W., Beville, B. C. ; Chemical Changes in Tile-drain Filters and Ditch Banks Caused by Anaerobiosis. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE ; vol. 11, 1968, no. 1, s. 41-42.
- Hallgren, G., Östholm, C-O. ; Om utfällning av järn i dräneringsledningar. Grundförbättring ; vol. 10, 1957, nr.2, s. 87-101.
- Hautala, E., Menefee, E. ; Artificial Gravel Produced by Sintering Soil. Journal of the Science of Food and Agriculture ; vol. 32, 1981, no. 5, s. 508-512.
- Hermesmeier, L. S. ; Economical Envelopes for Subsurface Drains in Irrigated Lands. Proceedings, Third National Drainage Symposium, Chicago, USA, December 1976, American Society of Agricultural Engineers ; 1976, s. 18-21.
- Hove, P. ; Filter Materials for Drains - Experiences in Norway. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung ; vol. 23, 1982, no. 2, 104-109.
- Hove, P. ; Laboratorieforsøk med grøftmaterialer. Meldinger fra Norges Landbruks-høgskole ; vol. 43, 1964, no. 10, s. 1-9.
-

- 
- Jarret, A. R., Fisher, L. S. ; Sediment Retention Efficiency of Synthetic Filter Fabrics. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE ; vol. 27, 1984, no. 2, s. 429-436.
- Jonsson, B. ; Organic and Synthetic Fibres as Drainage Filters. Proceedings of International Seminar on Land Drainage, TKK, rak. ins. osasto, Vesitekniikka, Otaniemi, 1986/1, s. 71-79.
- Kellet, A. J., Armstrong, A. C. ; Sedimentation of Drain Pipes ; Results of a national investigation (DW 14 ), preliminary report. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Land Drainage Service, Research and Development. Report no. 2, 1980, 9 s.
- Knops, J. A. C., Zuidema, F. C., Someren, C. L. van, Scholten, J. ; Guidelines for the Selection of Envelope Materials for Subsurface Drains. International Institute for Land Reclamation and Improvement ; Proceedings of the International Drainage Workshop ; 1978, publication 25, s. 439-450.
- Kuntze, H., Scheffer, B., Eilts, F. ; Organische Dränfilter gegen Verockerung. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung ; vol. 25, 1984, no. 5 s. 308-312.
- Mosolova, A. I., Utkaeva, V. F. ; Action Time of Polymer Preparations in the Conditioning of Soils as Applied to Drainage-Trench. Moscow University Soil Science Bulletin ; vol 32, 1977, no.2, s. 21-24.
- Muth, E. ; Untersuchungen über die Wirkung von Filterstoffen bei Abflußstörungen in Dränanlagen ; väitöskirja, 1962, 105 s.
- Neuhaus, H., Kuntze, H. ; Untersuchungen über Eigenschaften neuartiger Dränfilterstoffe. Wasser und Boden ; vol.15, 1963, no. 10, s. 362-366.
- Ochs, W. J. ; Testing Synthetic Fabrics for Use with Drainage Conduits. International Institute for Land Reclamation and Improvement ; Proceedings of the International Drainage Workshop ; 1978, publication 25, s. 332-339.
- Petersen, L. ; Ochreous Deposits in Drain-Pipes. Acta Agriculturae Scandinavica ; vol.16, 1966, no. 3/4, s. 120-124.
- Rathmayer, H. G. ; Kiesfilter für Tondränrohre bei Fundamentenwässerungen. Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos, tiedotus ; sarja 3., 1971, rakennus 165.
- Schwab, G. O. , Broadhead, R. G, Loong, S. ; Sediment Inflow into Pipe Drains through Synthetic Envelopes and Pin Holes. Proceedings of International Seminar on Land Drainage, TKK, Rak. ins. osasto, Vesitekniikka, Otaniemi, 1986/1, s. 61-70.
- Shull, H. ; Hydraulic Characteristics of Glass-Fiber Filter Materials. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE ; vol. 7, 1964, no. 2, s. 120-122.
-

- Sisson, D. R., Jones, B. A. Jr ; Filter Materials for Tile Drains in a Medium Sand - a Laboratory Comparison . American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE ; vol. 5, 1962, no. 1, s. 54-58.
- Sommerfeld, T. G. ; Outflow from Various Drainage Materials. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE ; vol. 18, 1975, no.1, s. 85-88,94.
- Stuynt, L. C. P. M. ; A New Approach in Research into Drainage Materials. Institute for Land and Water Management Research, Technical Bulletins ; 1982, no. 16, s. 223-247.
- Svobodová, V. ; Decomposition of Organic Drainfilters in Soils. Scientia Agriculturae Bohemoslovaca ; vol. 13, 1981, no. 2,s. 107-118.
- Svobodová, V., Vinsova, M.; Zersetzung organischer Filterstoffe im Boden - Modellversuch. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung ; vol. 20, 1979, no.1, s. 42-50.
- Watts, D. G., Luthin, J. N. ; Tests of Thick Fiberglass Filters for Subsurface Drains. Hilgardia ; vol. 35, 1963, no. 3, s. 33-46.
- Willardson, L. S., Aguirre, X., Watkins, R. K. ; Plastic Drain Response in Soft Envelope Materials. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE ; vol. 23, 1980, no. 6, s. 1402-1408.
- Willardson, L. S., Arellano, M. T., Becker, E. R.; Comparative Laboratory Tests of New Drainage Conduits. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE ; vol. 9, 1966, no. 3, s. 352 - 354.
- Willardson, L. S., Walker, E. ; Synthetic Drain Envelope-Soil Interactions. Journal of the Irrigation and Drainage Division. IR 4, December 1979, s. 367-373.
- William Nelson, R. ; Fiberglass as a Filter for Closed Tile Drains. Agricultural Engineering ; vol. 41, 1960, no. 10, s. 690-693,700.
- Zaslavsky, D. ; Definition of the Drainage Filter Problem and a Possible Use of Soil Conditioners. International Institute for Land Reclamation and Improvement ; Proceedings of the International Drainage Workshop ; 1978, publication 25, s. 340-353.
- Zuidema, F. C., Scholten, J. ; Model Tests on Drainage Materials. International Institute for Land Reclamation and Improvement ; Proceedings of the International Drainage Workshop ; 1978, publication 25, s. 393-401.

*Artikkelit ja kirjallisuustutkimukset*

- Beken, A. van der ; Filtermateriale in de drainagetechniek. Mededelingen van het Rijksstation voor Boerderijbouwkunde; 1968, no. 30, 15 s.

- Dierickx, W. ; Hydraulic Gradients near Subsurface Drains and Soil Erosion. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE ; vol. 26, 1983, no. 5, s. 1409-1412.
- Dierickx, W. ; The Influence of Envelope Materials in Preventing Silting-up of Drain Pipes. International Institute for Land Reclamation and Improvement ; Proceedings of the International Drainage Workshop ; 1978, publication 25, s. 306-318.
- Ericson, A. ; Egenskaper hos dräneringsrör lindade med filter. Lantmannen ; vol. 102, 1981, no. 8, s. 18-19.
- Filtermaterialer for drenledninger. NJF - seminar nr. 17. Nordisk Jordbrugsforskning ; vol 63, 1981, no.4, s. 719-728.
- Fischer, W. ; Plast - drenrør og nye filtermaterialer. Ny Jord ; vol. 52, 1965, no. 3, s. 102-107.
- Hansmann, J. ; Glasvlies als Umhüllungswerkstoff für die Dränung. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung ; vol. 9, 1968, no. 2, s. 102-115.
- Irwin, R. W., Hore, F. R. ; Drain Envelope Materials in Canada. International Institute for Land Reclamation and Improvement ; Proceedings of the International Drainage Workshop ; 1978, publication 25, s. 283-296.
- Knops, J. A. C. ; Research on Envelope Materials for Subsurface Drains. International Institute for Land Reclamation and Improvement ; Proceedings of the International Drainage Workshop ; 1978, publication 25, s. 368-392.
- Knops, J. A. C., Dierickx, W. ; Drainage Materials. International Institute for Land Reclamation and Improvement ; Proceedings of the International Drainage Workshop ; 1978, publication 25, s. 14-28.
- Mark, F. A., Jeffords, O. D., Walker, C.; A Drain Filter Guide That Works. Soil Conservation ; vol. 23, 1958, no. 6, s. 132-134.
- Nieuwenhuis, G. J. A., Wesseling, J. ; Effect of Perforation and Filter Material on Entrance Resistance and Effective Diameter of Plastic Drain Pipes. Agricultural Water Management ; vol. 2, 1979, s. 1-9.
- Petersen, L. ; Ochreous Deposits in Drain-Pipes. Acta Agriculturæ Scandinavica ; vol.16, 1966, no. 3/4, s. 120-124.
- Sandahlskov, K. ; Finsand og drænledninger. Hedeselskapets Tidsskrift ; vol. 84, 1963, no. 15, s. 363-367.
- Sojak, M., Ivarson, K. C. ; Iron and Manganese Oxide Problems in Tile Drains. Ontario Ministry of Agriculture and Food, Factsheet, Agdex 752, order no.78-045.
- Stuynt, L. C. P. M. ; A New Approach in Research into Drainage Materials. Institute for Land and Water Management Research, Technical Bulletins ; 1982, no. 16, s. 223-247.

- 
- Stuynt, L. C. P. M., Cestre, T. ; Common Lines in Research on Drainage Envelopes in France and in the Netherlands. Institute for Land and Water Management Research, Technical Bulletins ; 1986, no. 41, s. 163-173.
- Wesseling, J. ; The Entrance Resistance of Drains as a Factor in Design. International Institute for Land Reclamation and Improvement ; Proceedings of the International Drainage Workshop ; 1978, publication 25, s. 354-365.
- Willardson, L. S. ; Exit Gradients at Drain Openings. Proceedings of the 2nd International Drainage Workshop, Washington D.C., USA, December 5-11, 1982, s. 198-202.
- Willardson, L. S. ; Synthetic Drain Envelope Materials. International Institute for Land Reclamation and Improvement ; Proceedings of the International Drainage Workshop ; 1978, publication 25, s. 297-305.
-