



**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

ORGANISKA OCH SYNTETISKA FIBERMATERIAL SOM DRÄNERINGSFILTER

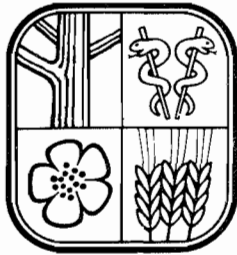
**ORGANIC AND SYNTHETIC FIBRES AS
DRAINAGE FILTERS**

Bengt Jonsson



**Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik
Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydrotechnics**

**Rapport 145
Report
Uppsala 1985
ISSN 0348-1816
ISBN 91-576-2280-9**

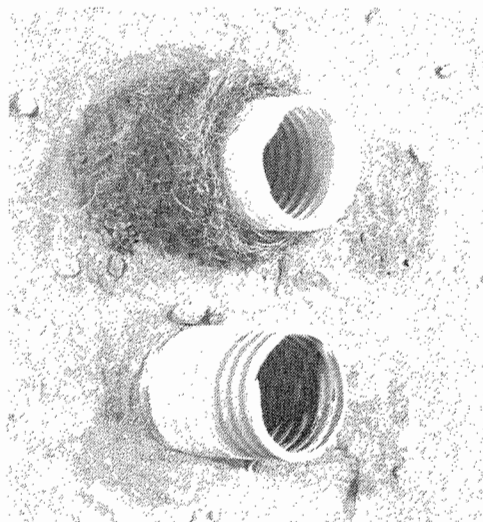


**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

ORGANISKA OCH SYNTETISKA FIBERMATERIAL SOM DRÄNERINGSFILTER

**ORGANIC AND SYNTHETIC FIBRES AS
DRAINAGE FILTERS**

Bengt Jonsson



**Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik
Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydrotechnics**

**Rapport 145
Report**

Uppsala 1985

ISSN 0348-1816

ISBN 91-576-2280-9

FÖRORD

Under 60-talet kom plaströr till allmän användning inom jordbruksdräneringen i Sverige. Avdelningen för lantbrukets hydroteknik har under den gångna tiden i en serie undersökningar och försök granskat såväl rörens egenskaper och utformning som behovet av och egenskaper hos filter och täckningsmaterial. Dessa studier leddes av August Håkansson, Gösta Berglund och undertecknad Janne Eriksson. Ytterligare filterundersökningar i fältförsök och på laboratorium gjordes av agronom Arne Ericson vid avdelningen vilka senare har fullföljts och kompletterats av civ.ing. Bengt Jonsson. Denna kontinuerliga granskning av rör och filtermaterial har utgjort ett viktigt led i utvecklingen av dräneringstekniken.

I denna rapport redovisar Bengt Jonsson studier och fälterfarenheter av fiber-material som dräneringsfilter. Vid fältundersökningarna har ingenjör Jan Lindström och försökstekniker Sven-Erik Karlsson biträtt. Agr.lic. Anders Bjerketorp har ingående granskat manuskriptets sakliga innehåll och den redaktionella utformningen. Figurerna har framställts av ingenjör Hans Johansson. M.Sc. Mary McAfee har översatt sammanfattningen till engelska. Margit Zetterberg har som sekreterare nedlagt ett omsorgsfullt arbete med den slutgiltiga utskriften.

Uppsala den 21 mars 1985

Janne Eriksson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid.
1. INLEDNING	1
2. DRÄNERINGSLEDNINGARS BEHOV AV FILTER	1
2.1 Dräneringsfiltrets uppgifter	1
2.2 Olika typer av dräneringsfilter	2
2.3 Filteranvändning i olika länder	3
3. VÄSENTLIGA FILTEREGENSKAPER	4
3.1 Fysikaliska, hydrauliska och mekaniska egenskaper	4
3.2 Beständighet hos filtermaterialen	7
4. UNDERSÖKNINGSMETODER	7
4.1 Laboratoriemetoder	8
4.2 Modellförsök	11
4.3 Fältförsök	13
5. FIBERMATERIAL SOM DRÄNERINGSFILTER	14
5.1 Organiska material	14
5.2 Syntetiska material	15
6. STUDIER AV OLIKA FIBERMATERIAL SOM DRÄNERINGSFILTER	18
6.1 Litteraturgenomgång	18
6.1.1 Fysikaliska, hydrauliska och mekaniska egenskaper	18
6.1.2 Fiberfilters funktion	22
6.1.3 Fiberfilters beständighet	25
Organiska materials beständighet	25
Syntetiska materials beständighet	27
6.2 Egna undersökningar rörande omlindningsfilter	29
6.2.1 Modellförsök	29
Beskrivning av försöksutrustningen	29
Material och metoder	30
Resultat och diskussion av de egna modellförsöken	32
6.2.2 Fältförsök	33
Försök med dräneringsfilter vid Larberg, Värmlands län	34
Försök med dräneringsfilter vid Täcktö, Östergötlands län	35
6.2.3 Sammanfattning av de egna försökens resultat	36
7. SYNPKUNKTER PÅ VALET AV FILTER FÖR DRÄNERINGSLEDNINGAR	36
8. SAMMANFATTNING	39
9. SUMMARY	41
10. LITTERATURFÖRTECKNING	43

1. INLEDNING

Under de senaste trettio åren har täckdikningsarbetet utvecklats från ett manuellt till ett högmekaniserat och delvis automatiserat arbete. Denna utveckling har ett klart samband med introduktionen av de korrugerade plaströren. Dessa lätthanterliga dräneringsrör har gjort det möjligt att i stort sett helt mekanisera dikningsarbetet. Nedläggningen av rören utförs numera med metoder som är mycket effektiva och arbetsbesparande. Däremot krävs det fortfarande mycket arbete för att transportera fram och påföra det grus eller sågspån som sedan länge används som kringfyllningsfilter. För att dikningsarbetet ytterligare skall kunna effektiviseras har därför rör introducerats vilka redan på fabriken lindats med olika typer av filtermaterial. Därigenom försvinner momentet med transport och anordnande av kringfyllningsfilter vid dikningsarbetet. De fabrikslindade rören har alltså många arbetstekniska fördelar. Kunskapen om hur de olika filtermaterialen kring dessa rör fungerar på plats i marken är emellertid ofullständig.

Föreliggande rapport behandlar de vanligaste materialen som används som filter kring fabrikslindade dräneringsrör. Rapporten inleds med en beskrivning av filterbehovet vid dränering och om de funktioner ett dräneringsfilter har. Därefter görs en bedömning av vilka egenskaper hos filtret som är väsentliga. Några olika metoder för att undersöka filtermaterial beskrivs kortfattat.

Efter denna allmänna del behandlas de olika organiska och syntetiska fibermaterial vilka används som omlindningsfilter. De vanligaste framställningsmetoderna beskrivs översiktligt. Därefter följer en sammanställning av dokumenterad erfarenhet från försöksverksamhet och praktisk användning. Med utgångspunkt från denna sammanställning och från några egna undersökningar ges slutligen några synpunkter på valet av filter för dräneringsledningar.

2. DRÄNERINGSLEDNINGARS BEHOV AV FILTER

2.1. Dräneringsfiltrets uppgifter

På de allra flesta jordar används någon typ av filter närmast dräneringsrören. Täckdikningens funktion och varaktighet avgörs till stor del av hur väl detta filter fungerar.

Ett dräneringsfilter har till uppgift att skydda röret mot skador, att under-

lätta intaget av vatten i röret och att minska inslamningen av sedimenteringsbenägna partiklar i röret.

Under vissa speciella omständigheter kan det vara tillräckligt om ett av de angivna kraven tillgodoses. Oftast måste dock filtret uppfylla två eller tre funktionskrav samtidigt.

Det första kravet - att skydda röret mot skador - var av stor betydelse då plaströren började användas för drygt 20 år sedan. Plaströren hade då låg tryck- och slaghållfasthet.

Hållfastheten på de rör som nu finns på marknaden är dock väsentligt högre. Det beror på rörväggarnas korrugerade form samt på att plastmaterialets hållfasthetsegenskaper förbättrats. Kravet att filtret skall skydda mot slag och tryck har därför minskat i betydelse men kvarstår dock på steniga och kokiga jordar samt vid grund dränering, då risk föreligger för skador av tunga transporter.

Det andra kravet - att underlätta vattenintaget - är framför allt viktigt på jordar som har låg vattengenomsläpplighet, t.ex. på mjälajordar och mycket styva leror samt på lerjordar med svagt utbildad struktur.

Filtrets tredje uppgift - att minska inslamningen av sedimenteringsbenägna partiklar - innebär att filtret skall sila bort jordpartiklar som är av den storleken att de lätt slammar in i röret och avsätts. De farligaste partiklarna ligger i storleksintervallet 0,05 - 0,15 mm. Risken för inslamning sammanhänger till stor del med jordarten, men även markförhållandena vid dikningsarbetets utförande är av stor betydelse. Problemet med inslamning är oftast störst under den första tiden efter att dikningen utförts. Jorden stabiliseras efter en tid och inslamningen avtar. Det finns dock vissa mo- och sandjordar som förblir instabila med ständig risk för slamavsättning i rören.

2.2. Olika typer av dräneringsfilter

I Sverige finns för närvarande i huvudsak tre olika filterkategorier att välja emellan:

- grus
- sågspån
- organiska och syntetiska fibermaterial, vanligen lindade omkring rören.

Grus har länge varit det vanligaste materialet. Det skyddar röret effektivt mot slag- och tryckskador, under förutsättning att gruset är stenfritt. Om gruset är stritt har det god vattengenomsläpplighet, Håkansson (1971).

Den långa erfarenheten av dräneringsgrus visar att det även ger ett bra skydd mot inslamning av sedimenteringsbenägna partiklar. Gruset har en praktiskt taget obegränsad beständighet.

Sågspån har liksom gruset använts som dräneringsfilter under många år. Det har en bra förmåga att dämpa slag mot röret då diket fylls igen. Däremot ger sågspån sämre skydd mot tryckskador. Dess filtreringsverkan är mycket god, men spånet har en genomsläpplighet som är avsevärt mindre än vad stritt grus har. Sågspånet bör därför inte innehålla för mycket fint material (Håkansson, 1971). Beständigheten varierar alltefter jordart. Man brukar dock räkna med att sågspånet brutits ned till hälften efter cirka 20 år (se kapitel 6).

Grus och sågspån har många funktionsmässiga fördelar. De kräver dock en stor arbetsinsats vid hanteringen. Ofta är en man ur arbetslaget eller lantbrukaren själv helt upptagen med att transportera fram och påföra grus eller sågspån.

Om s.k. filterlindade (fabrikslindade) dräneringsrör används kan arbetsinsatsen minskas betydligt. Dessa rör förses redan på fabriken med någon typ av filter, tillverkat av organiskt eller syntetiskt material. Exempel på organiska material som lindas kring dräneringsrör är kokosfibrer, torv och halm av olika slag. De syntetiska filtermaterialen omfattar många olika produkter. Det kan vara alltifrån för dräneringsändamålet specialtillverkade produkter till avfallsmaterial från plastindustrin. Oftast är dock polypropenfibrer basmaterialen.

Kunskaperna om de filterlindade dräneringsrörens funktion är begränsad, men forsknings- och försöksverksamheten om denna har under senare år intensifierats.

2.3. Filteranvändningen i olika länder

Många länder har ont om lämpligt dräneringsgrus. En mängd organiska och syntetiska material har därför kommit till användning som dräneringsfilter. I Europa föredrar man tjocka, voluminösa filter, medan man i Förenta Staterna och Kanada ofta använder tunna syntetiska material. Denna skillnad förklaras främst av att filtren i Förenta Staterna och Kanada företrädesvis användes vid dränering av slammingsbenägna, men genomsläppliga jordar. En bidragande förklaring kan möjligen också vara att man i dessa länder vanligen använder grövre rör i grenledningarna än vad man gör i Europa. Minsta rördiameter är ofta 100 mm i Förenta Staterna och Kanada, medan den i Europa i allmänhet är 50 mm. Fördubblas rördiameter, så fördubblas även rörets intagningsyta.

Vid stora rördimensioner blir därför kravet att filtret skall öka vattenintagningsförmågan av mindre betydelse.

De svenska jordarna är ofta täta och har låg vattengenomsläpplighet. Därför används i mycket stor omfattning tjocka, voluminösa filter som förbättrar vattenintaget. Grus har länge varit det vanligaste filtermaterialet. Användningen av de filterlindade rören har dock på senare år ökat. För närvarande är cirka 25 % av alla dräneringsrör (50 mm) fabrikslindade med kokosfibrer (Thorstenson, 1983).

Även i Holland prioriteras tjocka filter. Enligt Stuyt (1981) utgjordes där 62 % av dräneringsfiltren av kokosfibrer, 30 % var en blandning av kokos och torv och 8 % var ett tjockt filter av polypropenfibrer.

I Europa används filtren oftast för att få bättre vatteninflöde, medan man i Förenta Staterna och Kanada är mer intresserad av filtren som skydd mot inslamning.

3. VÄSENTLIGA FILTEREGENSKAPER

3.1. Fysikaliska, hydrauliska och mekaniska egenskaper

Vilka filteregenskaper som är väsentliga avgörs i princip av vilken funktion filtret skall ha. Ett filter som skall skydda röret mot slag och tryckskador bör ha en stor volym. Röret inlagras då effektivt. Porösa filter dämpar slag relativt bra, men förmågan att skydda mot tryckskador är sämre.

Det effektivaste skyddet mot tryckskador ger ett filter av grus, eftersom grus- och sandpartiklarna tar upp och fördelar belastningen.

Ett filter som skall förbättra rörets vattenintagningsförmåga måste minska de strömningsförluster som uppstår när vattenströmmen koncentreras in mot röret och genom rörets slitsar. Det effektivaste sättet att minska dessa förluster erhålls om ett material med hög genomsläpplighet placeras närmast röret. Tjockleken på materialet bestämmer då i huvudsak hur stora strömningsförlusterna blir (Håkansson, 1968).

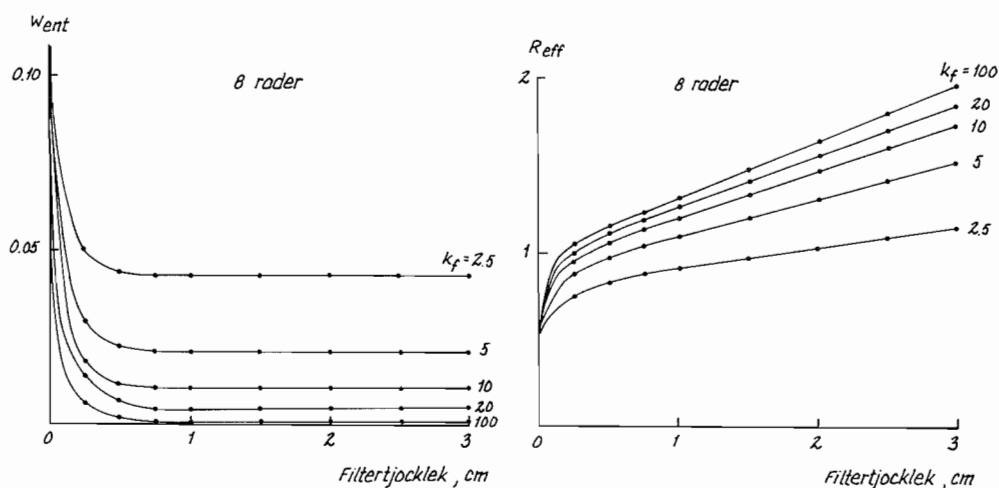
Storleken av de förluster som beror av att vattenströmmen koncentreras mot slitsarna och genom dessa, bestäms av slitsarnas utformning och storlek samt av antalet slitsar och deras fördelning på röret. Många undersökningar har gjorts för att finna lämpligaste slits- och rörutformning, se t.ex. Nieuwenhuis & Wesseling (1979) och Dierickx & van der Molen (1981).

Det har emellertid visat sig att om röret omges av ett voluminöst och genomsläppligt filter, så minskar betydelsen av slitsarnas antal och fördelning. Även tunna, genomsläppliga filter reducerar inströmningsmotståndet under förutsättning att filtret har en sådan draghållfasthet att det inte sjunker ner i korrugeringsdalarna (Knops & Dierickx, 1979).

Genomsläppligheten i filtret måste vara större än genomsläppligheten i omgivande jord. Nieuwenhuis & Wesseling (1979) anger att det är tillräckligt om genomsläppligheten i filtret är omkring 20 gånger större än genomsläppligheten i jorden. Eggelsmann (1973; 1978) har kommit fram till att om filtret har mer än 10 gånger större genomsläpplighet än omkringliggande jord, så erhålls en tillräcklig förbättring av vattenflödet mot röret.

Genomsläppligheten i filtret kan försämrats om materialet sväller i kontakt med vatten eller om porsystemet i filtret sätts igen av jordpartiklar. Genomsläppligheten kan också försämrats om filtermaterialet successivt sammanpressas på grund av trycket från ovanförliggande jordmassor.

Filtrets förmåga att reducera strömningsförlusterna bestäms även av filtertjockleken. Detta har Nieuwenhuis & Wesseling (1979) samt Dierickx (1980) visat med hjälp av numeriska beräkningar respektive genom en elektrolytisk analogimodell. I figur 1 visas några av resultaten från Nieuwenhuis & Wesselings (1979) analyser.



Figur 1. Inströmningsmotstånd (w_{ent}) och rörets effektiva radie (R_{eff}) som funktioner av filtertjocklek och vattengenomsläpplighet för rör med 8 rader av 1 mm slitsar (efter Nieuwenhuis & Wesseling, 1979).

Figure 1. Relationship between entrance resistance (w_{ent}), effective radius (R_{eff}) and thickness of the filter for pipes with 8 rows of 1 mm slits and different hydraulic conductivities of the filter (after Nieuwenhuis & Wesseling, 1979).

Vänstra diagrammet visar hur filtertjockleken och genomsläppligheten i filtret påverkar inströmningsförlusten (w_{ent}). Om filtret är mellan 0,50 och 0,75 cm tjockt och dess genomsläpplighet är cirka 20 gånger större än jordens genomsläpplighet, är förlusterna minimerade. En ytterligare ökning av tjockleken eller genomsläppligheten har mycket liten inverkan. I diagrammet anger k_f förhållandet mellan genomsläppligheten i filtret och jordens genomsläpplighet. Samma tendens kan märkas i högra diagrammet, som visar hur rörets effektiva radie (R_{eff}) påverkas av filtrets tjocklek och relativa genomsläpplighet. Den effektiva radien ökar med filtrets tjocklek.

I Nederländerna har man, bl.a. med dessa kunskaper som grund, definierat begreppen tjocka respektive tunna filter. Filter som har en minimitjocklek av 7 mm kallas tjocka filter.

Ett filter som utan att självt bli igensatt skall skydda mot slamavsättning i dräneringsledningarna måste ha en selektiv verkan. Filtret skall hålla tillbaka jordpartiklar som på grund av sin tyngd lätt avsätts i röret men släppa igenom jordpartiklar som är så små att de följer med dräneringsvattnet ut ur ledningen. Denna selektiva filtreringsförmåga kan åstadkommas på två olika sätt. Det ena är att använda ett voluminöst filter som håller den slamningsbenägna jorden på avstånd från röret. Strömningshastigheten i gränsskiktet mellan jord och filter blir då låg, vilket minskar risken för att jordpartiklar skall ryckas med in mot röret. Det andra sättet är att använda ett tunt filter. Strömningshastigheten i gränsskiktet filter-jord sänks då inte lika mycket som när ett tjockt filter används, men de "farliga" jordpartiklarna hejdas genom att de inte förmår tränga igenom poröppningarna i filtret.

De viktigaste filteregenskaperna för den selektiva filterfunktionen är genomsläppligheten, porstorleksfördelningen, porositeten och tjockleken. Stuyt (1983) anger att även fibrernas form och råhet (ytstruktur) är mycket väsentlig, eftersom dessa egenskaper påverkar poröppningarnas utseende. Det är vidare av stor vikt att porsystemet i filtret är väl anpassat till omgivande jordart. Detta gäller särskilt då tunna filtermaterial används.

Filtermaterialet på omlindade dräneringsrör utsätts för mekaniska påkänningar då det lindas på rören men även då rören transporteras och läggs ner i jorden. Det är rimligt att förutsätta att de rör och filter som skadas vid fabriken eller under transporten till arbetsplatsen sorteras ut och kasseras.

Krav bör också ställas på filtrens riv- och draghållfasthet samt motstånd mot nötning och penetration (Willardson, 1979; Knops & Dierickx, 1979).

Vissa filtermaterial är vattenabsorberande. Dräneringsrör med ett sådant filtermaterial bör förvaras torrt. En blöt rörrulle är tung och svårhanterlig. Om dräneringsarbetet utförs då det är minusgrader kan dessutom de olika lagren i rörrullen frysa fast i varandra och filtret skadas vid utrullningen.

3.2. Beständighet hos filtermaterialen

Vid lagringen och användningen kan filtermaterialen utsättas för olika former av nedbrytning. Vissa filtermaterial är känsliga för ultraviolett strålning (solljus), medan andra material angrips av mikroorganismer som finns i marken. Nedbrytningen av ett filtermaterial kan ske långsamt eller snabbt beroende på typ av material, filtrets struktur och sammansättning samt i vilken miljö filtret befinner sig. Material och materialkombinationer som i en miljö kan ha mycket lång livslängd kan i en annan miljö nedbrytas mycket snabbt och förstöras. Att ange materialens beständighet mot olika former av angrepp är dock ofta svårt. En anledning är att provningen av olika material skett under mycket kort tid, kanske några månader, medan avsedd livslängd är 30 à 50 år. Vidare saknas möjligheter att siffermässigt ange materialens beständighet. Målsättningen får då i stället bli att ge en allmän karakteristik av typen "god", "mindre god" och "dålig".

Kravet på filtermaterialens beständighet varierar alltefter jordarten. I vissa jordar kan filtrets beständighet vara av mindre betydelse. Detta gäller för jordar som får en stabil struktur relativt kort tid efter att dikningsarbete utförts. I andra jordar kan filtrets beständighet vara av utomordentlig betydelse. Det gäller särskilt sand- och mojordar där ingen stabil struktur närmast röret utbildas.

4. UNDERSÖKNINGSMETODER

Det räcker naturligtvis inte att enbart veta vilka egenskaper som är väsentliga för ett filters funktion. Man måste också ta reda på vilka filtermaterial som har dessa egenskaper för att kunskapen skall få praktisk betydelse. Därför har stora ansträngningar gjorts för att finna metoder som snabbt och till rimlig kostnad ger besked om huruvida ett material är lämpligt som filter eller inte.

Undersökningsmetoderna kan delas in i tre grupper:

- Laboratoriemetoder, rena materialegenskaper bestäms
- Modellförsök, under kontrollerade betingelser och relativt kort tid

provas filtrets funktion

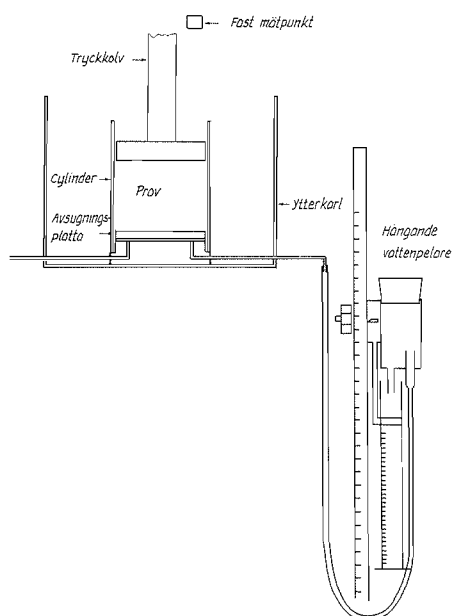
- Fältförsök, filtrets totalfunktion följs under ett flertal år.

4.1. Laboratoriemetoder

Poröppningarnas storlek och fördelning kan bestämmas med torrsiktning, vattenavsugning eller med hjälp av ett optiskt instrument (Knops & Dierickx, 1979).

Vid torrsiktning monteras filtermaterialet i en standardsikt och används som en vanlig sikt. Genom att sikta standardmängder av väl definierade jordpartiklar eller glaskulor vars dimensioner är lika med standardsiktens maskvidd kan porstorleksfördelningen bestämmas.

Vattenavsugningsmetoden innebär att porstorleksfördelningen bestäms genom undersökning av filtermaterialets vattenhållande egenskaper. Filtermaterialet placeras i en stålcyllinder och avsugs med olika vattenavförande tryck. Under antagande att vattnet i materialets porsystem helt och hållet binds av kapillära krafter kan porsammansättningen beräknas utifrån uttrycket $h_t = 0,3/d_v$, där h_t är vattenavförande tryck i cmvp och d_v är pordiametern i cm (Andersson, 1962; Ericson, 1981).



Figur 2. Apparat för vattenavsugning (Ericson, 1981).

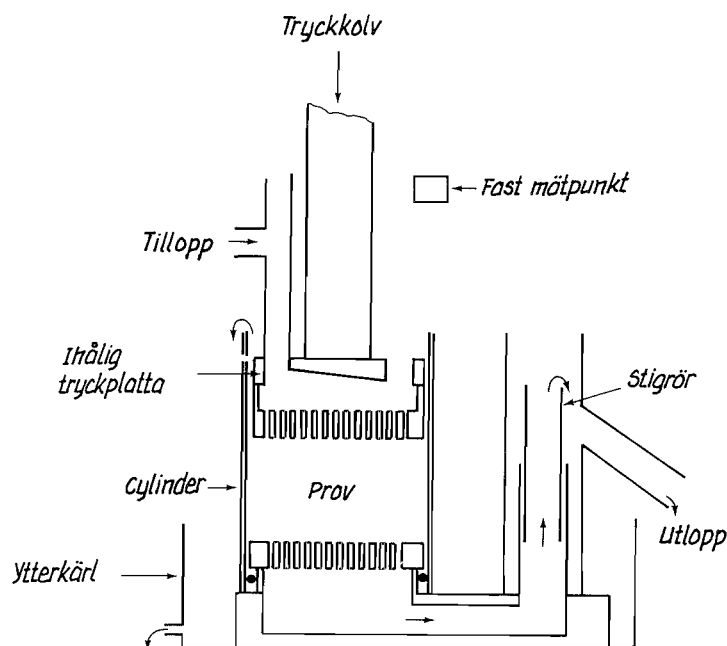
Figure 2. Apparatus for moisture retention measurement (Ericson, 1981).

Vid optisk bestämning av porstorleksfördelningen kan en morfometrisk teknik användas. Tekniken används vanligtvis för att mäta antalet och arean, av porer i tunna skikt av jordmaterial och annat geologiskt material (Is-

mail, 1975; Murphy m.fl., 1977).

Vilken av dessa tre metoder som bör väljas beror på materialets tjocklek och struktur. Torrsiktningen och den optiska metoden är lämpliga för tunna material med ett regelbundet porsystem (Irwin & Hore, 1979). Vattenavsugningsmetoden är att föredra på tjocka material, men den kan också användas på tunna material. En fördel med denna metod är att provmaterialet kan belastas, vilket gör det möjligt att studera hur porsammansättningen varierar vid olika belastning.

Många olika metoder har utvecklats för att mäta ett jordmaterials vattengenomsläpplighet. Några av dessa metoder har modifierats så att även vattengenomsläppligheten i olika organiska och syntetiska material kan mätas. En sådan metod har utvecklats vid Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges lantbruksuniversitet (Ericson, 1981). Denna metod gör det möjligt att mäta genomsläppligheten vid olika belastning på provmaterialet.



Figur 3. Apparat för mätning av vattengenomsläpplighet (Ericson, 1981).

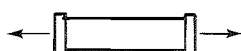
Figure 3. Apparatus for hydraulic conductivity measurement (Ericson, 1981)

En annan metod är baserad på luftgenomsläppligheten istället för på vattengenomsläppligheten. Denna metod innebär att det antal liter luft bestäms som under en viss tid passerar genom ett skikt av det studerade materialet vid en bestämd tryckdifferens mellan skiktets båda sidor (NVF, 1980). Vattengenomsläppligheten beräknas sedan ur ett samband mellan luftgenomsläpplig-

heten och vattengenomsläppligheten. Metoden anses ge bra reproducerbarhet med relativt enkel apparatur. Den först nämnda metoden är användbar för provning av både tunna och tjocka material, medan metoden baserad på luftgenomsläppligheten bedöms vara lämpligast för tunna material.

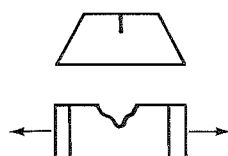
Många olika standardiserade metoder finns för att prova de mekaniska egenskaperna hos framför allt tunna syntetiska material. I Nordiska Vägtekniska Förbundets rapport 17/1980 lämnas förslag till några laborietester. I figur 4 visas några av de föreslagna metoderna.

Draghållfasthet



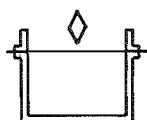
En smal remsa (20 × 5 cm) utsätts för dragning. Metoden är lämplig på vävda material. (DIN 53 857, SNV 198461, ISO DIS 5081).

Rivhållfasthet



Fiberdukens förmåga att motstå utvidgning av en uppkommen skada. (DIN 53 363, ASTM D 2263-68).

Penetrationsmotstånd



En metallkon släpps ned på fiberduken från fallhöjden 500 mm. Det uppkomna hålet mäts m.h.a. en mätton.

Figur 4. Några metoder för provning av mekaniska egenskaper hos syntetiska fibermaterial.

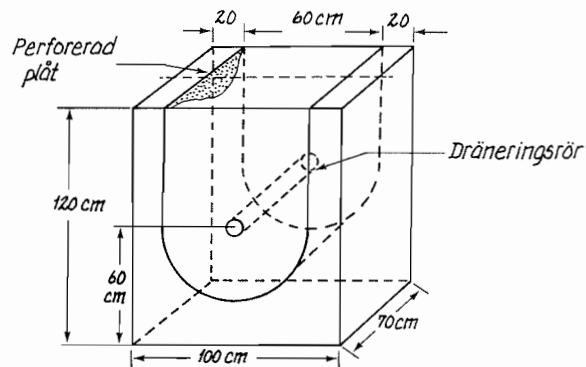
Figure 4. Some methods for testing mechanical properties of fabric

I NVF (1980) ges även förslag till tester av beständigheten. Förmågan att motstå biologiska angrepp kan provas genom att en aerob bakterie får påverka filtermaterialet i 16 veckor varefter draghållfasthetsminskningen bestäms. Metoden som är standardiserad kallas ISO DIS 846, 2.

Förmågan att motstå ultraviolett strålning kan enligt NVF (1980) prövas med s.k. Xenontest 450. Materialet belyses då under 20 timmar under vissa bestämda betingelser. Minskningen i draghållfasthet bestäms därefter.

4.2. Modellförsök

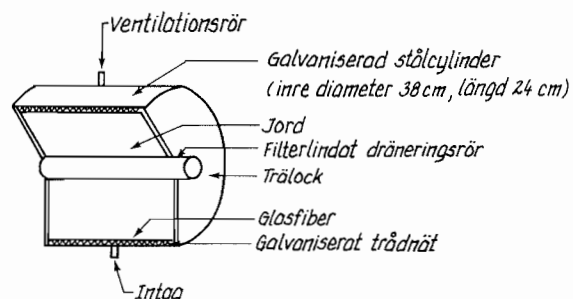
Vid modellförsök är målsättningen att under noggrant definierade och kontrollerade betingelser, så nära som möjligt efterlikna förhållandena i fält. Vanligtvis är det olika typer av s.k. sandtankar som används.



Figur 5. Sandtank i vilken dräneringsröret appliceras horisontellt (Sekendar, 1984).

Figure 5. Horizontal sand tank (Sekendar, 1984)

I figur 5 visas en sandtank som används i Holland (Sekendar, 1984). Dräneringsröret är placerat horisontellt och vattnet strömmar radiellt mot röret till följd av att innertanken är U-formad. Innertanken är fylld med jordmaterial. De parametrar som bestäms är flödet av vatten ur dräneringsröret och grundvattenytans läge på olika avstånd från röret. Dessa två parametrar ger tillsammans ett mått på hur stora strömningsförlusterna är. Är exempelvis flödet lågt samtidigt som grundvattenytans läge är högt i omedelbar närhet av röret, så är inströmningsförlusterna stora. Utöver strömningsförlusterna bestäms hur stor mängd jordmaterial som slammat in i röret. Denna sandtank är en relativt arbetskrävande anordning, framförallt vid fyllning och tömning

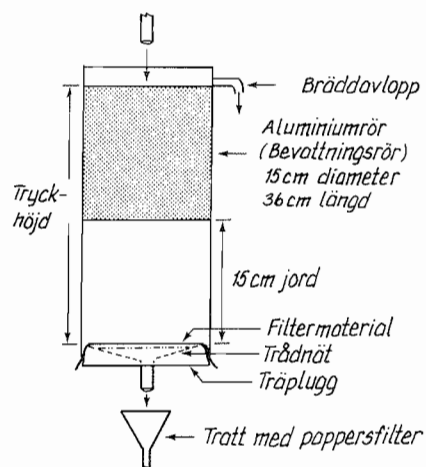


Figur 6. Cylinderformad sandtank (Broughton m.fl., 1977).

Figure 6. Cylindrical sand tank (Broughton et al., 1977)

av jordmaterial. En fördel är dock att provet utsätts för ett jordtryck som motsvarar det som förekommer i fält. Stuyt (1983) anser att metoden ger en god uppfattning om olika filtermaterials funktion. Han hävdar att ett filter som i sandtanken har en dålig funktion vanligtvis också är olämpligt för fältbruk.

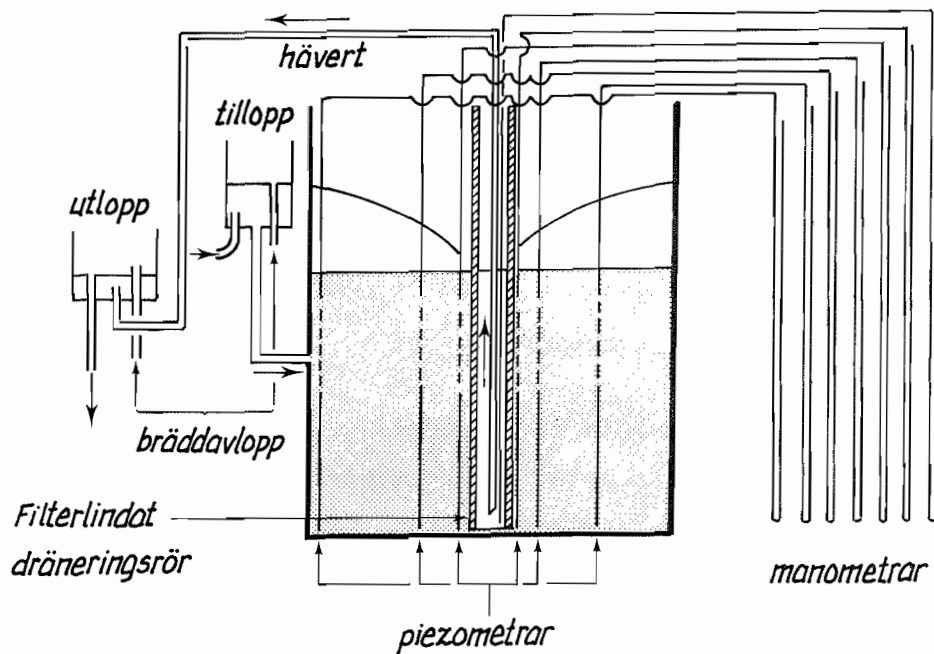
Broughton och medarbetare (1977) har utvecklat en modell i form av en cylinder, se figur 6. Med denna utformning efterliknas den radiella vattenström som under fältförhållanden utbildas när hela markprofilen är vattenmättad. Tack vare cylinderns små dimensioner och tämligen enkla konstruktion är det utrymmesmässigt och ekonomiskt tänkbart att tillverka flera exemplar av modellen, vilket gör det möjligt att arbeta effektivt. Vid en viss tryckgradient bestämdes storleken på flödet från det filterlindade dräneringsröret samt mängden inslammat material.



Figur 7. Apparat för provning av filtermaterial (Broughton m.fl., 1977).

Figure 7. Apparatus for testing filter materials (Broughton et al., 1977)

För att kunna göra snabbare jämförelser mellan nya filtermaterial har Broughton och hans medarbetare utvecklat en ännu enklare försöksutrustning, figur 7. Bevattningsrör med en diameter på 15 cm användes som behållare för jordmaterialet. Filtermaterialet placeras på ett galler i behållarens botten. Dessa cylindrar används för en första kontroll av materialens egenskaper innan de placeras i de större cylindrar som nämnts ovan.



Figur 8. Sandtank i vilken dräneringsröret appliceras vertikalt (Knops, 1979).

Figure 8. Vertical sand tank (Knops, 1979)

I figur 8 visas en sandtankstyp där det filterlindade dräneringsröret monterar vertikalt och i mitten av cylindern (Knops, 1979). Vattnet strömmar radiellt mot dräneringsröret. Med hjälp av en hävert töms röret i sin nedre ände. Genom mätning av vattennivån i dräneringsröret, det hydrauliska trycket omedelbart utanför filtret samt korresponderande flöde kan inströmningsmotståndet bestämmas. Denna sandtank är relativt lätt att arbeta med. En nackdel är dock att filtermaterialen inte utsätts för den sammanpressning som sker i fält.

4.3. Fältförsök

Fältförsök ger möjlighet att under en lång tid följa ett dräneringssystemens funktion. Resultaten från sådana försök är därför av mycket stort värde. En nackdel är dock att det oftast tar minst tre år innan något resultat kan värderas. Vanligtvis krävs ännu längre perioder för att långtidseffekter, såsom inslamning, rostutfällning och filternedbrytning, skall kunna observeras. Kostnaderna för att år efter år följa försöken är också höga. Det är därför av stor betydelse att en detaljerad planläggning göres. Endast de filtermaterial som provats i olika laborieförsök, exempelvis i sandtankar, och därvid visat sig ha en bra funktion, bör komma ifråga för vidare provning i fält. Följande punkter av betydelse för planläggning av fältförsök kan uppställas:

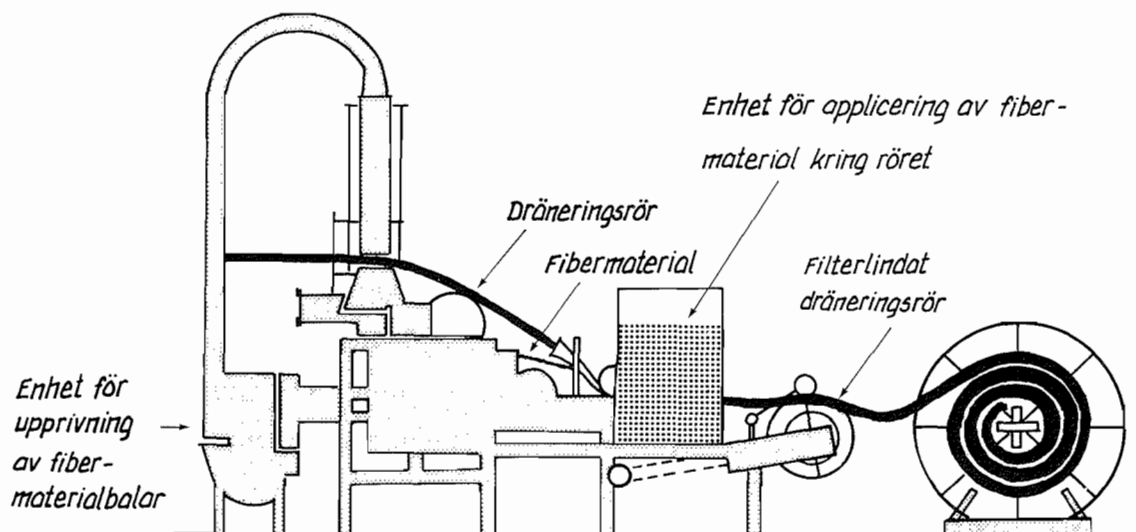
- Jämna fält
- Enhetlig jordart
- Intressant jordart från dräneringssynpunkt
- Lätt tillgängligt försöksfält
- Möjlighet till mätning av grundvattennivåer och vattenflöde
- Noggrann och detaljerad karta över försöksområdet.

5. FIBERMATERIAL SOM DRÄNERINGSFILTER

De fibermaterial som används till dräneringsfilter kan indelas i organiska material och i syntetiska material. De syntetiska materialen kan i sin tur delas in i tre grupper alltefter materialens framställningssätt. I det följande ges en översikt över de vanligaste materialen och metoderna för deras framställning.

5.1. Organiska material

Filter av olika organiska material är ingen ny företeelse inom dräneringstekniken. Torv, sågspån, flis, bark och halm av olika slag är några av de material som kommit till användning. Till fabrikslindade dräneringsrör är det i allmänhet kokosfibrer som används. I mindre omfattning används torv och halm. Organiska material bildar oftast tjocka filter.



Figur 9. Framställning av fabrikslindade dräneringsrör.

Figure 9. Diagrammatic representation of the manufacture of plastic drainage pipe with envelope material

Tillvägagångssättet då fibrer av olika organiska material appliceras på dräneringsrören visas schematiskt i figur 9.

Materialet som ofta är pressat i balar (ibland levereras kokosfibrerna tvinnade till långa rep), rivs upp i en speciell maskin. Fibrerna fördelas sedan runt om dräneringsröret så att önskad filtertjocklek erhålles. Trådar av ett nylonmaterial lindas därefter över filtret för att hålla detta på plats.

En viss tveksamhet rörande de organiska filtermaterialens beständighet i marken, liksom rörande tillgången på råmaterial till dem i framtiden, har lett till ett ökat intresse för syntetiska alternativ.

5.2. Syntetiska material

De syntetiska filtermaterialen utgörs av många olika produkter med mycket varierande egenskaper. Terminologin är ofta förvirrande, och idag förekommer en mängd olika benämningar på de syntetiska material som används som dräneringsfilter. Som exempel kan nämnas: filterduk, plastduk, filtermatta, fibermatta och fiberduk. Ibland kan också ett varumärke på en särskild produkt användas som en generell beteckning. I engelskspråkig litteratur rörande geoteknik förekommer ofta termen "fabric", vilken är en allmän benämning på de syntetiska material som kan användas som filter, erosionskydd m.m. I Sverige kallas dessa material ofta för fiberdukar. Många av dessa fiberdukar används även som omlindningsfilter till dräneringsrör.

De flesta syntetiska material bildar ett tunt filter, ofta under 1 mm. Det finns dock några som är betydligt tjockare, upp till 15 à 20 mm.

Fibrerna i de syntetiska filtermaterialen är vanligtvis av följande plastmaterial (polymerer).

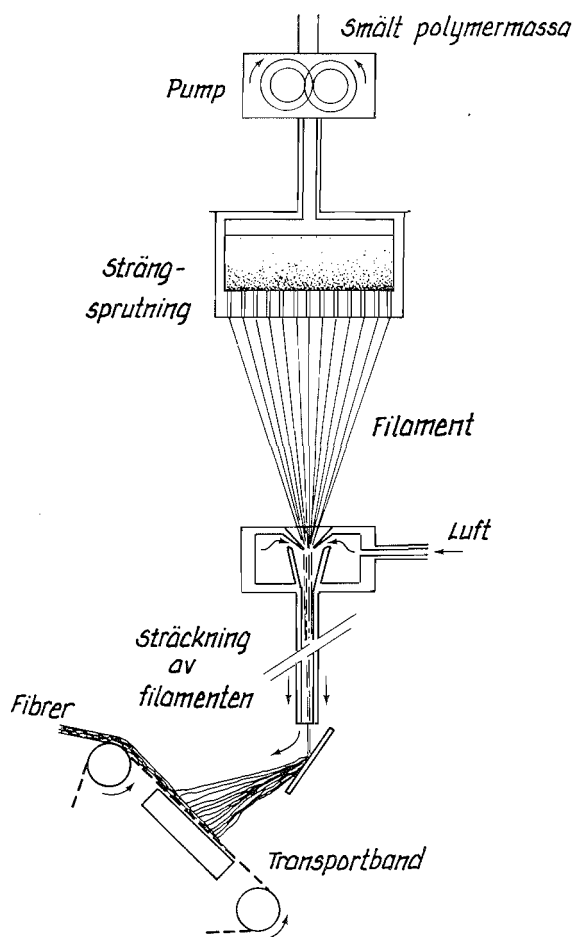
- polypropen (polypropylen)
- polyamid (nylon)
- polyester (terylen)
- polyeten (polyetylen)

Det finns många olika metoder för att av fibrerna framställa syntetiska filter. De vanligaste är vävning, stickning och några metoder med det gemensamt att ge upphov till "icke-vävd" material (efter engelskans non-woven). Då filtren framställs genom vävning används ofta bandfibrer (platta fibrer). Dessa material har ännu inte begagnats i någon större omfattning som dräneringsfilter. Materialen är ofta kraftiga och används mest inom geotekniken,

exempelvis för jordarmering och erosionskydd.

Stickade material framställs i specialkonstruerade maskiner. Filtren brukar i dagligt tal kallas "strumpor". De begagnas i relativt stor omfattning som omlindningsfilter i Förenta Staterna och Kanada. I Sverige används de i viss mån kring dräneringsledningar av större dimensioner, exempelvis stamledningar. De stickade omlindningarna är tunna och elastiska.

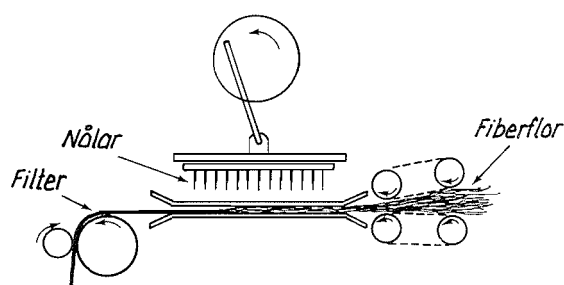
De flesta syntetiska filtermaterial är så kallade icke-vävda. Fibrerna i de icke-vävda materialen är antingen filament eller stapelfibrer. Filament framställs genom att smält fibermassa pressas genom små hål i en metallplatta (se figur 10). Filamenten är nästan ändlösa och har ett cirkulärt tvärsnitt. Om filamenten klippts ner till korta fibrer benämns de stapelfibrer.



Figur 10. Framställning av filament (efter Rhône-Poulenc-Textile, 1975).

Figure 10. Diagrammatic representation of the manufacture of filament (after Rhône-Poulenc-Textile, 1975)

Det finns en rad metoder att binda eller rättare, bonda ihop fibrerna förutom vävning och stickning. Termen bondning bör enligt Tekniska Nomenklaturcentralen i detta sammanhang användas och inte bindning (Textilordlista, 1981). Bondning betyder att: "mekaniskt eller fysikaliskt-kemiskt ge sammanhållning åt en struktur med element av fibrer eller av trådar som inte är självlåsande. Bondning görs ofta på en i huvudsak färdigbildad produkt". Man kan särskilja två olika bondningsprinciper; mekanisk bondning och adhesivbondning (Textilordlista, 1981).



Figur 11. Nålfiltning (efter Rhône-Poulenc-Textile, 1975).

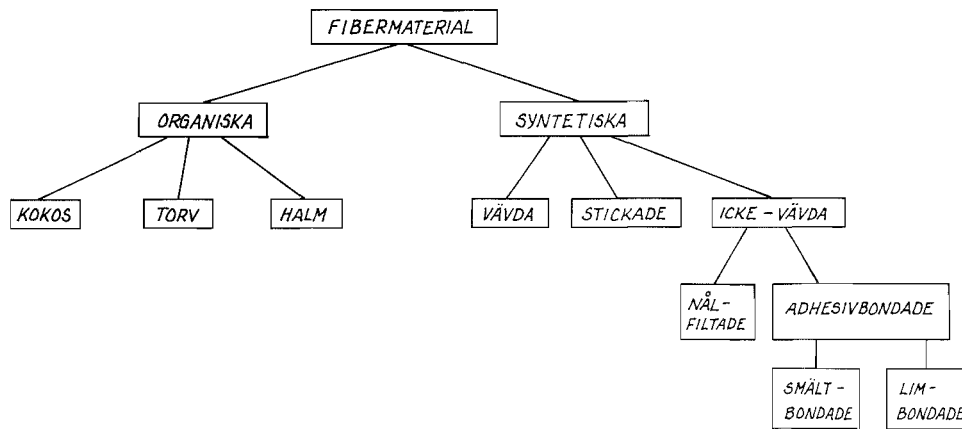
Figure 11. Diagrammatic representation of needling (after Rhône-Poulenc-Textile, 1975)

Den vanligaste mekaniska bondningsmetoden är nålfiltning (figur 11).

Filamenten eller stapelfibrerna bondas samman genom att nålar med hullingar förs upp och ner genom en fibermassa. En del fibrer fastnar i hullingarna och dras med nålarna, vilket ger fibermassan en inre sammanhållning. Nålfiltning används vanligen för att framställa tjocka filtermaterial. En fördel med metoden är att olika typer av fibrer lätt kan blandas. Fibrerna kan även ha mycket varierande längd och diameter, vilket underlättar användningen av restprodukter från exempelvis plastindustrin.

Adhesivbondning kan utföras på olika sätt. En metod är s.k. smältbondning. Sammanhållning mellan fibrerna erhålls genom hopsmältning, t.ex. med hjälp av tillsatt smältlim eller smältfibrer. Smältfibrer är fibrer med relativt låg smältpunkt. Dessa blandas med fibrer av annat slag och utgör bindemedlet vid bondningen. Sammanhållning kan även erhållas genom att använda fibrer som har ett hölje med lägre smältpunkt än kärnan, s.k. höljesfibrer. En annan metod att framställa adhesivbondat material är att tillsätta flytande lim (limbondning). Adhesivbondning används oftast för att framställa tunna filtermaterial (fiberdukar).

I figur 12 ges en översikt av hur dräneringsfilter av fibermaterial kan indelas.



Figur 12. Översikt av de vanligaste fibermaterialen som används till omlindningsfilter.

Figure 12. Summary of the most important fibre materials which are used for envelope around drainpipes

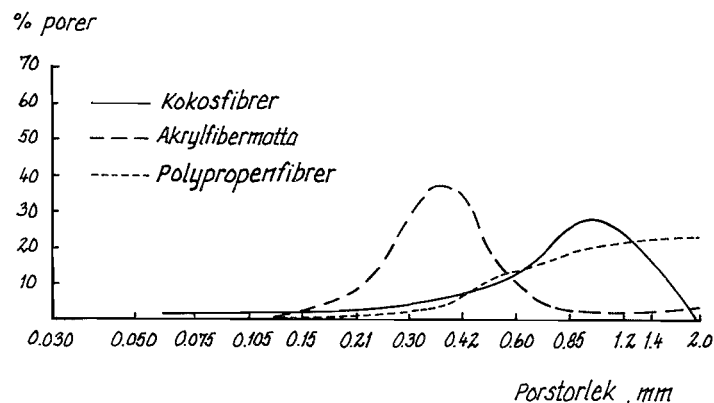
6. STUDIER AV OLIKA FIBERMATERIAL SOM DRÄNERINGSFILTER

6.1. Litteraturgenomgång

6.1.1. Fysikaliska, hydrauliska och mekaniska egenskaper

Porsammansättningen hos olika filtermaterial har undersökts av bland andra Eskes (1977), Ericson (1981) och McGown (1976).

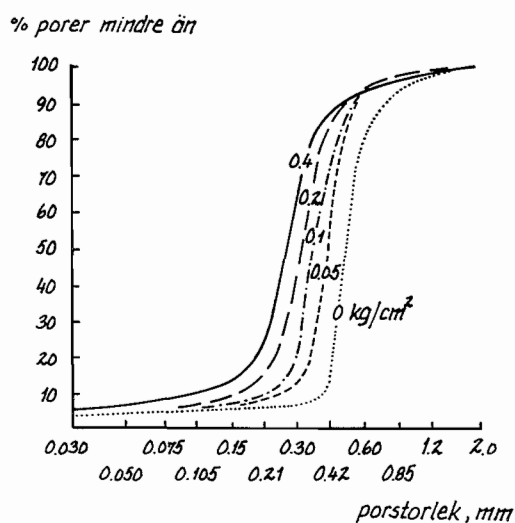
Eskes (1977) bestämde porstorleksfördelningen, dels då materialen var obelastade, dels då de utsattes för olika jordtryck. Porstorleksfördelningen då materialen inte utsattes för något tryck framgår av figur 13. Kokosfibrerna ger ett relativt grovt porsystem. Ungefär 70 procent av porerna är av stor-



Figur 13. Porstorleksfördelningen hos några olika filtermaterial (Eskes, 1977).

Figure 13. Pore size distribution of different envelope materials (Eskes, 1977)

leken 0,5 - 1,3 mm. Ett finare porsystem har det tjocka materialet av akrylfibrer. 70 procent av porerna ligger inom storleksintervallet 0,21 - 0,50 mm.

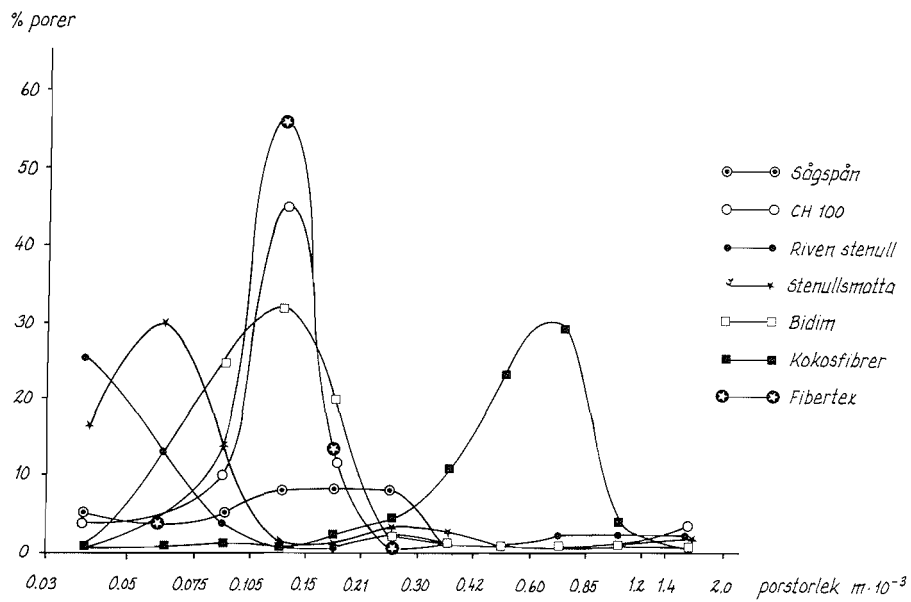


Figur 14. Relationen mellan olika belastning och porstorleksfördelningen hos ett material av akrylfibrer (Eskes, 1977).

Figure 14. The influence of different pressures on pore size distribution of acrylic fiber mat (Eskes, 1977)

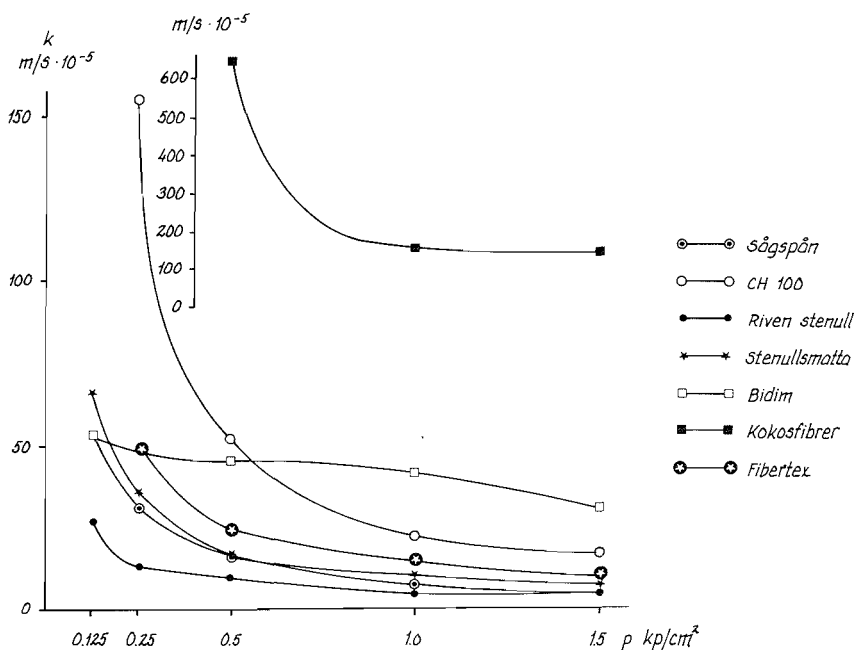
Relationen mellan jordtryck och porstorleksfördelningen undersöktes endast för det tjocka akrylmaterialet. Resultatet visas i figur 14. Då trycket ökar blir variationen i storleken på porerna större, vilket förklaras av att materialets inre struktur deformeras. Med ökat jordtryck minskar dock andelen större porer. Då materialet är obelastat är cirka 90 procent av porerna mindre än 0,75 mm. Vid belastning av materialet med 0,4 kg/cm² är cirka 90 procent av porerna mindre än 0,50 mm.

Ericson (1981) har studerat olika material med avseende på deras porsammansättning och vattengenomsläpplighet. I figur 15 visas de undersökta materialets porstorleksfördelning då de belastas med 1,5 kp/cm². Belastningen är omkring 10 gånger större än de tryck som materialet utsätts för i fält. Denna stora belastning har valts för att kompensera den krypning som normalt sker i materialen då de belastas under lång tid. Det framgår av frekvenskurvorna att materialet av kokosfibrer har ett betydligt grövre porsystem än de övriga undersökta materialen. Störst variation i storlekarna på porerna har dock sågspån. De övriga materialen, som är icke-vävda fiberdukar, har en betydligt mer begränsad porstorleksfördelning.



Figur 15. Porsammansättningen hos olika filtermaterial då de utsätts för belastningen 147,2 kPa (1,5 kp/cm²) (Ericson, 1981).

Figure 15. Pore size distribution of different envelope materials and filter materials when the pressure is 147.2 kPa (1.5 kp/cm²) (Ericson, 1981)



Figur 16. Vattengenomsläppligheten hos några olika filtermaterial såsom funktion av pålagd belastning (Ericson, 1981).

Figure 16. The influence of different pressures on hydraulic conductivity of different filter materials (Ericson, 1981)

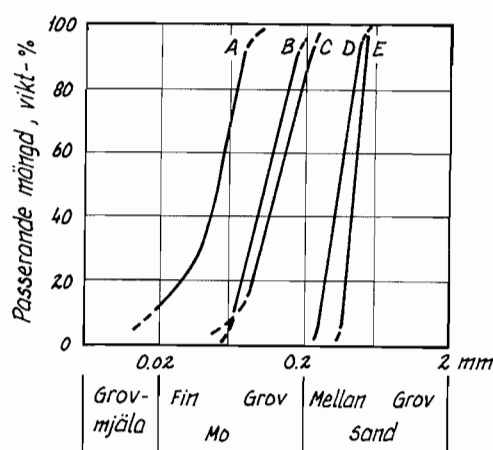
I figur 16 visas materialens vattengenomsläpplighet som funktion av pålagd belastning. Ericson (1981) ger följande kommentarer till figuren. "Kokos-fibermattan har med sitt grova porsystem cirka fem gånger större vattengenomsläpplighet än övriga material. Det tunna och mycket porösa filtret CH 100 förlorar mycket snabbt sin goda genomsläpplighet med ökande belastning, medan genomsläppligheten hos Bidim nästan inte alls påverkas av ändrad belastning. Fibertex har lägst vattengenomsläpplighet av de syntetiska filtermattorna. De finare porsystemen hos stenuil och sågspån medför också lägre vattengenomsläpplighet än hos övriga material".

McGown (1981) har angett några karakteristiska värden på genomsläppligheten, porstorleksfördelningen och draghållfastheten för vävda och icke-vävda syntetiska fibermaterial.

Tabell 1. Karakteristiska genomsläpplighetsvärden hos syntetiska filtermaterial (McGown, 1976)

Table 1. Typical values of fabric permeability (McGown, 1976)

Material	k (m/s)
Vävda	stor variation
Nålfiltad	10^{-3} - 10^{-4}
Smältbondad	10^{-2} - 10^{-4}
Limbondad	10^{-4} - 10^{-5}

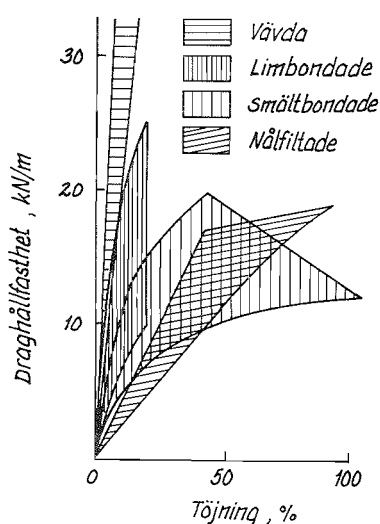


- A. Limbondad 250 g/m²
- B. Nålfiltad 300 g/m²
- C. Smältbondad 140 g/m²
- D. Vävvd jute 380 g/m²
- E. Vävvd polyester 185 g/m²

Figur 17. Typiska porstorleksfördelningar hos syntetiska filtermaterial (McGown, 1976).

Figure 17. Typical fabric pore size distributions (McGown, 1976)

I fråga om genomsläppligheten framgår det av tabell 1 att limbondade material har lägre genomsläpplighet än nålfiltade och smältbondade. De två sistnämnda materialgrupperna har alltså ett något grövre porsystem än den förstnämnda. Detta framgår även av figur 17, som visar några karakteristiska porstorleksfördelningar. Vävda material har ofta ett grovt porsystem med liten variationsvidd. Figur 18 belyser typiska skillnader i draghållfasthet. Vävda material har den största draghållfastheten, men samtidigt den minsta töjningen före brott. Icke-vävda material (nålfiltade och smältbondade) har mycket större töjning före brott.



Figur 18. Typiska draghållfasthetsvärden för olika syntetiska fibermaterial. Värdena är normaliserade till materialvikten 300 g/m^2 (McGown, 1976).

Figure 18. Typical plane strain data for various generic fabric types (normalised to 300 g/m^2 fabric weight) (McGown, 1976)

6.1.2. Fiberfilters funktion

I modellförsök undersökte Burghardt (1976) olika fibermaterials funktion som dräneringsfilter. Resultaten visade att i ett kokosfibermaterial är porstorlekarna större än 0,6 mm dominerande. Trots detta relativt grova porsystem begränsades inslamningen av sedimenteringsbenägna partiklar. Burghardt förklarar detta med att det, förutom den mekaniska filtreringen, förekommer en hydrauliskt betingad filtrering.

Genom att inströmningsmotståndet minskar, minskar också strömningshastigheten in mot röret och därmed transporten av jordpartiklar. Även träull och polyestermaterial (Trevira) hade denna hydrauliskt betingade filtrering. Kokosfiltret hade en tjocklek på 9 mm medan materialen av träull och polyester var 12 respektive 5 mm tjocka.

Ett gynnsamt vattenintag i rören erhöjls då omlindningsmaterialen hade stor andel porer större än 0,6 mm. Omlindningar med stor andel porer större än 2 mm gav dock ett sämre vattenintag. Detta gällde också material med stor andel porer mindre än 0,6 mm. Slutligen anges att dräneringsfiltrens funktion vad gäller filtrering och påverkan på vattenintaget inte bara är beroende av materialstrukturen. Stor betydelse har även det jordmaterial som omger filtret samt hur sättningsförloppet i jorden förlöper.

Penkava & Singh (1983) har undersökt hur ett antal olika omlindningsfilter påverkar intaget av vatten till dräneringsrör. Undersökningen gjordes i en sandtank fylld med ett jordmaterial bestående av partiklar från 0,05 till 1,0 mm. De material som undersöktes var halm och en icke-vävd glasfiberduk (PG-90 Tile Guard). Halmfiltrets tjocklek varierade från 2,5 till 10 cm. De undersökte även hur vattenintaget påverkas när halmen omges av glasfiberduk och omvänt. Resultaten visade att rörets vattenintag var störst då halmen hade en tjocklek av 7,5 cm och skyddades mot omgivande jord av glasfiberduk.

Johnston m.fl. (1983) har jämfört tre olika syntetiska omlindningsmaterial med en kringfyllning av grus. Undersökningen gjordes i fält. Av de tre syntetiska materialen var två icke-vävd och ett stickat. Mätningar gjordes bl.a. av grundvattnets läge mellan ledningarna och flödet ut ur varje ledning. Resultaten visade att grusfiltret fungerade betydligt bättre än de syntetiska filtren. Dräneringsledningarna med gruskringfyllning hade cirka 10 gånger större flöde än ledningar med omlindningsfiltren. Martin (1983) kommenterar resultaten med att den stora skillnaden i flöde kan bero på att en s.k. filterkaka som försämrar genomsläppligheten har bildats kring omlindningsfiltren. Han framhåller även att flödesskillnaderna förmodligen skulle ha blivit betydligt mindre i flera andra typer av jordar än den vid försöket använda jordtypen. Även Broughton (1983) ifrågasätter de slutsatser Johnston och medarbetare (1983) drar av försöksresultaten.

Broughton och medarbetare (1977) har i en sandtank undersökt olika organiska och syntetiska filtermaterial. Man studerade hur filtren skyddade mot inslamning av sedimentationsbenägna partiklar samt hur vattenintaget i rören påverkades. De två första månaderna hölls vattennivån konstant. Därefter följde alternativa perioder med och utan flöde. Sju olika syntetiska omlindningsmaterial, varav fem icke-vävd och två stickade, testades. Dessutom provades omlindningar av kokosfibrer och halm. I undersökningen användes ett jordmaterial som till största delen bestod av grovmopartiklar. De icke-vävd syntetiska filtren samt ett mycket finmaskigt stickat nylonfilter gav ett bra inslamningsskydd. Ett grovmaskigt stickat nylonfilter gav, liksom de organiska

filtren av kokosfibrer och halm, ett dåligt inslamningskydd. Vattenintaget i de filterlindade dräneringsrören avtog med tiden. Detta förklaras med att bildas ett tätare skikt av jordpartiklar, en s.k. filterkaka, strax utanför filtermaterialet. Vattenintaget förbättrades dock något efter perioder utan vattenflöde men avtog på nytt då dräneringen igångsattes.

Ett relativt stort antal fältförsök med omlindningsfilter har genomförts i Holland. Följande slutsatser kan dras av dessa försök (Knops, 1979). Voluminösa material med ett grovt porsystem som exempelvis torvfibrer och linhalm ökar vattenintaget betydligt bättre än tätare material, som exempelvis torvfibrer blandat med fibrer av akryl och glasull. Det är ofta svårt att utifrån fältförsök fastslå skillnader i funktionen mellan olika material. Skillnaderna kan istället ofta bero på att jordarten varierar mellan försöksfälten och även inom samma försöksfält. Markförhållandena då dikningsarbetet utförs har mycket större inverkan på hur filtermaterialen fungerar än de små skillnaderna mellan olika materialtyper.

Eskes (1977) har studerat hur två olika material - dels ett av akrylfibrer, dels ett av kokosfibrer - fungerar i kombination med olika jordartfraktioner. Man bestämde storleken på och mängden av de jordpartiklar som dels passerat igenom filtren, dels fastnat i filtren. Den förstnämnda bestämningen ger en uppfattning om materialens förmåga att skydda mot inslamning, medan den sistnämnda ger en uppfattning om materialens inverkan på vattenintaget. Följande preliminära slutsatser dras av resultaten: Jordpartiklar som var mindre än $1/2 - 1/3$ av materialens medelporstorlek kan transporteras i filtret. Partiklar som var mindre än $1/8$ av medelporstorleken passerade med lätthet igenom filtren, medan de flesta partiklar som var $1/4 - 1/8$ av medelporstorleken fastnade i filtren. De partiklar som fastnade hade dock en mycket varierande storlek. I fråga om filtermaterialens vattengenomsläpplighet fann Eskes att om de partiklar som fastnade i filtren var större än halva medelpordiametern, så sänktes genomsläppligheten, medan denna ökade om jordpartiklarna var mindre än halva medelporstorleken. Den resulterande vattengenomsläppligheten hos jordartsfraktionerna i kombination med filtren minskade när kornstorleksfördelningen i jordmaterialet liknade porstorleksfördelningen i filtren. I gränsskiktet mellan filter och jordmaterial bildades i allmänhet ett tätare skikt då jordmaterialet bestod av partiklar som var minst dubbelt så stora som medelpordiametern. Det påpekas att de redovisade resultaten är preliminära och att betydligt fler försök måste utföras. Eskes anser dock att hittills nådda resultat ger en viss indikation på filtrens funktion.

Burghardt (1979) undersökte olika omlindningsfilters inverkan på inströmningsmotståndet, liksom deras funktion som inslamningskydd. Laboratorieundersökningen omfattade fibermaterial av polypropen samt kokos. Provningsen utfördes både som korttidsförsök och som långtidsförsök. Dräneringsrör lindade med fibrer av kokos eller av relativt grova polypropenfibrer fungerade på likartat sätt. De bästa resultaten erhöles då filtret var sammansatt av fibrer av olika dimension. Burghardt understryker vikten av att inte bara beakta materialet som filtret består av utan även dess tjocklek.

Sekendar (1984) testade i en sandtank sex olika omlindningsfilter, fyra tunna syntetiska och två tjocka filter av kokosfibrer respektive syntetiska fibrer. Undersökningen visade att samtliga omlindningar sänkte inströmningsmotståndet. Denna effekt var särskilt tydlig då de tjocka materialen användes. Dessa ökade även dräneringsledningens effektiva radie högst avsevärt. De gav emellertid ett sämre skydd mot inslamning. Sekendar framhåller att resultaten måste verifieras under fältförhållanden.

6.1.3. Fiberfilters beständighet

Orsakerna till filternedbrytning kan indelas i tre olika grupper: biologiska angrepp, UV-strålningangrepp samt kemiska angrepp. Gränsdragningen mellan grupperna kan emellertid ofta vara oklar eftersom nedbrytningen av ett material ofta sker genom kombinerade effekter.

Organiska materials beständighet

Från Holland har rapporterats (Meyer & Knops, 1977) att dräneringsfilter av kokosfibrer nedbrutits mycket hastigt. På vissa platser var kokosen fullständigt nedbruten redan efter två år. En omfattande undersökning gjordes där dräneringsledningarna grävdes upp och data på jordens egenskaper o.dyl. insamlades. Slutsatsen från undersökningen var att ingen speciell faktor utan en kombination av omständigheter kunde sättas i samband med den snabba nedbrytningen av kokosen. Det konstaterades att det oväntade snabba sönderfallet uppträdde då jordens pH-värde var 6 eller högre och då aeroba förhållanden förelåg samtidigt som ett humusrikt jordlager låg i direkt kontakt med kokosfiberfiltret.

Burghardt (1976) har undersökt den biologiska nedbrytningen av organiska material. Graden av nedbrytning bestämdes genom mätning av filtrets volymminskning och viktförändring. Bestämningen gjordes i sandjord. Filtren låg i jorden mellan 2 och 7 månader. Burghardt konstaterar att nedbrytningen inte bara är beroende av det material som filtret består av. Stor betydelse har också fuktigheten och ventileringen kring filtret. Detta visade sig bl.a. genom att

filter av råghalm hade brutits ner mera över än under dräneringsrören. Den undre hälften av ett filterlindat dräneringsrör står ofta under vatten, vilket försämrar ventileringen och fördröjer nedbrytningen. Bland de material som ingick i undersökningen betecknar Burghardt kokosfibrer som svårnedbrytbara. Träull av tall bröts ned mycket snabbt, medan råghalm var något stabilare. Halm av havre placeras i nedbrytningsavseende in mellan råghalm och tallträull. Träullens dåliga förmåga att motstå biologisk nedbrytning beror inte bara på materialet som sådant. Detta filter har ett grovt porsystem, vilket gör att luft tränger in i filtret. Burghardt menar dock att det inte alltid behöver vara en nackdel att ett filtermaterial bryts ner. Om nedbrytningen är måttlig kan nya porer bildas som motverkar en eventuell igensättning av porer.

Burghardt fortsatte tillsammans med medarbetare (1978) att studera nedbrytningen av filter av kokosfibrer. Fyra år gamla dräneringsrör som var lindade med kokosfibrer grävdes upp, och kokosen analyserades med avseende på sin ligninhalt. Ligninhalten anses nämligen stå i direkt förhållande till nedbrytningen. Resultaten visade att nedbrytningen var obetydlig i sandiga jordar. Däremot hade kokosen varit utsatt för nedbrytning i leriga jordar i marsklandet (torrlagd gammal havsbotten). Nedbrytningen hade också varit kraftigare då lufttillförseln till jorden var stor, d.v.s. när grundvattenytan stod under dräneringsledningarna, vilket den gjort större delen av året.

Burghardt och medarbetare (1979) fullföljde sina undersökningar av hur kokosfibrer fungerar som omlindningsfilter. De undersökte om gödslingen, markanvändningen och täckdikningstekniken hade någon inverkan på kokosfiltrets varaktighet. En okulär bedömning gjordes av skadefrekvensen, och nedbrytningen bedömdes utifrån kokosfibrernas ligninhalt. Kokos som legat i marsklandsjordar uppvisade en större skadefrekvens i de fall då marken användes för ständigt vall än i de fall då marken odlades. Varken gödsling med handelsgödsel eller med flytgödsel hade haft någon märkbar effekt på kokosfiltret. Där stallgödsel använts, hade däremot kokosen påverkats. Omkring 10 % av skadorna på kokosfiltret kunde inte förklaras av kemisk eller biologisk nedbrytning. Dessa skador har istället förorsakats av de maskiner som användes vid täckdikningens utförande. Såväl grävmaskiner som maskiner för grävfri dränering skadade kokosfiltret.

En annan undersökning rörande nedbrytning av organiska material gjordes av Svobodová och Vinsová, redovisad 1979. De utförde ett modellförsök och jämförde beständigheten hos halm av höstvetete, gransågspån, granbark och ekbark. Resultaten visade att höstvetehalm hade den snabbaste nedbrytningen. Gran-

sågspån bröts ner något snabbare än granbark, medan ekbark hade störst beständighet. I fråga om jordens påverkan visade det sig att nedbrytningen var större i näringsrika lerjordar än i relativt näringsfattig lerartad jord. Vidare framgick att en hög halt av kväve i jorden och en stor nitratkoncentration i dräneringsvattnet tycktes sammanhånga med ökad nedbrytningshastighet av de organiska materialen.

Som komplettering kan nämnas att praktiska erfarenheter från Norge (Hove, 1982) visar att sågspån och torv, använda som dräneringsfilter, tycks ha brutits ner till hälften efter cirka 20 år.

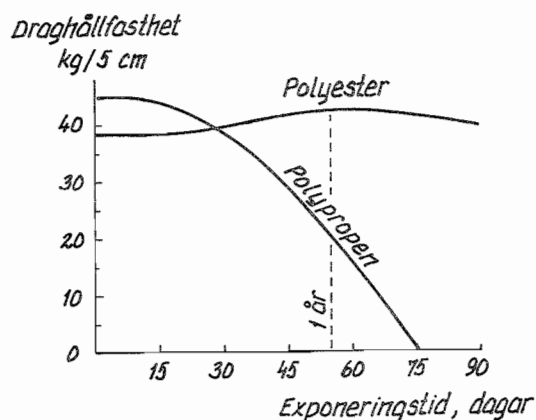
Syntetiska materials beständighet

I fråga om de syntetiska filtermaterialens motståndskraft mot biologiska angrepp har upprepade försök gjorts för att belysa detta, men för närvarande föreligger endast vissa fingervisningar om hur olika syntetiska omlindningsfilter påverkas. De undersökningar som gjorts gäller ofta plastmaterial i största allmänhet.

Svenska Textilforskningsinstitutet (TEF0) lät 1979 utföra en litteraturundersökning som behandlar biologisk nedbrytning av plastmaterial. I TEF0:s rapport om litteraturgenomgången presenteras bl.a. följande undersökningar. Samir (1974) undersökte beständigheten av olika plastfolier som fick ligga nedbäddade 12 månader i jord. Resultaten visade att polyvinylklorid och polypropen förändrades obetydligt. Inga viktförluster kunde märkas hos polyester och polypropen, men däremot minskade draghållfastheten något. Vidare fick polyvinylklorid minskad töjbarhet, vilket berodde på förlust av mjukgörare. Nykvist (1974) undersökte nedbrytningen av polyeten. Resultaten visade att polyeten nedbröts i jorden först efter att ha utsatts för UV-strålning. Nedbrytningen var troligtvis av biologisk natur. Olika förpackningsfoliers beständighet har undersökts av Monk (1972). Bakterieaktiv växthusjord med tillsatser av olika bakteriekulturer användes. Inga förändringar kunde upptäckas hos polypropen och polyvinylklorid. I TEF0:s rapport påpekas slutligen att det i allmänhet inte är syntetfibern utan andra komponenter som t.ex. mjukgörare, stabilisatorer, smörjmedel och färgämnen som fungerar som näringskälla för mikroorganismerna. Framför allt är mjukgörare baserade på azelain-, laurin-, linol-, olje- eller ricinolsyra mycket ömtåliga för mikrobiologisk påverkan. Mjukgörare baserade på malein-, perlagon- eller ftalsyra är däremot påfallande resistent mot mikrobiologisk nedbrytning. Inget av dessa motståndskraftiga ämnen kan dock förväntas förbli opåverkade av alla organismer och under alla förhållanden (Bejuki, 1966).

Normalt ligger dräneringsfiltret nere i marken väl skyddat mot ljus. Däremot kan det under lagring eller under eventuellt stillestånd i dikningsarbetet bli utsatt för skadlig mängd ultraviolett strålning (UV-strålning). Vissa syntetiska material har visat sig vara mycket känsliga för UV-strålning medan andra har relativt bra beständighet. Så är t.ex. polypropen och polyamid mycket känsliga, medan polyester och polyeten är relativt motståndskraftiga (Egbers m.fl., 1974; Wilmers, 1980).

Syntetmaterialens skiftande känslighet för UV-strålning framgår även av försök där solljuset simulerats med en Xenonbåglampa, s.k. Xenontest (McGown, 1976). Resultaten visas i figur 19. Materialet av polypropen får mycket nedsett hållfasthet efter 1 års exponering (den streckade linjen motsvarar cirka 1 års exponering i solljus). Polyester materialet är däremot opåverkat.



Figur 19. Beständigheten mot UV-ljus hos polypropen och polyester. Provningsen har utförts som s.k. Xenontest. Den streckade linjen motsvarar cirka 1 års exponering i solljus (efter Rhône-Poulenc-Textile, 1975).

Figure 19. Resistance to ageing of two nonwoven fabrics, one made from polypropylene, the other from polyester. The dotted line corresponds approximately to the simulation of one year of exposure to sunshine (after Rhône-Poulenc-Textile, 1975)

För att i någon mån komma tillrätta med känsligheten för UV-strålning hos syntetiska material kan en stabilisator tillsättas. Stabilisatorn tillförs vid framställningen av plastmaterialet och gör, beroende på tillsatt mängd, plastmaterialet mer eller mindre beständigt mot UV-ljus. UV-ljus kan också katalysera åldring. Särskilt utsatta är etenplast och propenplast (Palmgren, 1966). De nämnda undersökningarna har endast behandlat syntetiska materials UV-känslighet. Uppgifter angående organiska materials beständighet mot UV-ljus har inte kunnat erhållas vid denna inventering.

Risken är förmodligen liten att de filtermaterial som kommer till användning inom jordbruksdränering skall utsättas för kemiska angrepp. Däremot kan såda-

na angrepp vara aktuella vid dränering i andra sammanhang, t.ex. av läckvatten från avfallsupplag. Beständigheten hos de vanliga syntetiska filtermaterialen sammanfattas i tabell 2.

Tabell 2. Beständigheten hos de vanligaste syntetiska fibermaterialen som används till omlindningsfilter (Egbers m.fl., 1979)

Table 2. Resistance to demolition for the most common synthetic fiber materials used to envelopes (Egbers et al., 1979)

	Polyamid	Polyeten	Polyester	Polypropen
Täthet ton/m ³	1,14	0,96	1,37	0,91
Beständighet mot:				
svaga syror	god	mkt god	god	mkt god
starka syror	medel	medel	medel	medel
svag lut	god	god	god	mkt god
stark lut	medel	medel	dålig	medel
mikroorgan. (förmultn., mögl., rötn.)	god	mkt god	mkt god	mkt god
ljus	god-dålig	mkt god- medel	god	dålig

6.2. Egna undersökningar rörande omlindningsfilter

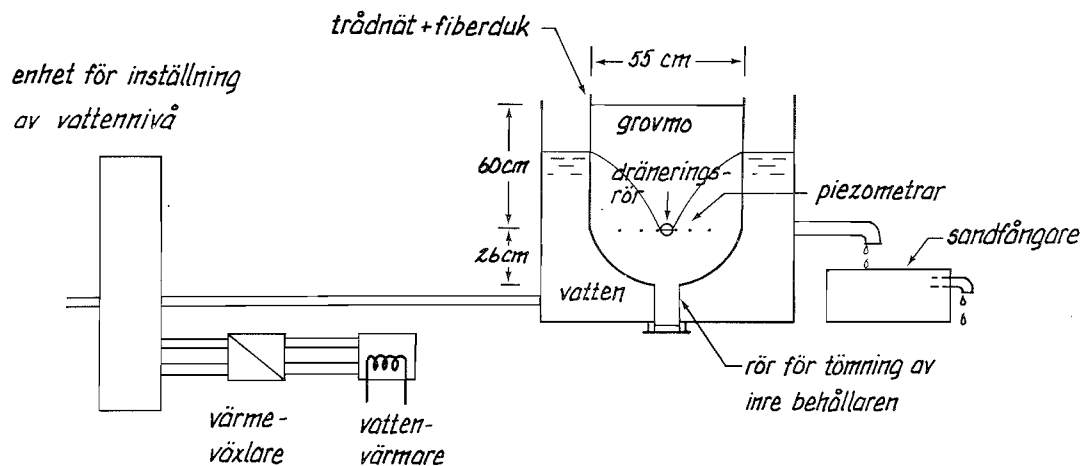
6.2.1. Modellförsök

Beskrivning av försöksutrustningen

Försöksutrustningen utgörs av en sandtank, en anläggning för avluftning av vattnet samt ett antal piezometrar förbundna med vattenståndsrör.

Sandtanken är uppbyggd av en u-formad behållare, innehållande jordmaterial, och av en yttre tank, i vilken vatten kan strömma in. Vattennivån i yttertanken kan kontrolleras med hjälp av ett bräddavlopp. I den u-formade behållaren monteras det filterlindade dräneringsröret horisontellt. Eftersom behållarens långsidor och botten består av ett stålnät klätt med en genomsläpplig fiberduk, erhålls ett grundvattenflöde mot dräneringsröret. Ena änden på röret är tillslutet med en cirkulär plexiglasskiva, genom vilken man okulärt kan följa inströmningen i röret. Andra rörändan har fritt utlopp till en plastbalja, som fungerar som sandfångare. I denna avsätts de jordpartiklar som slammar in i röret men inte avsätts på rörbotten. Innan vattnet får strömma in i sandtanken passerar det avluftningsanläggningen, där vattnet först värms upp och sedan avkyls. Sandtanken töms på jordmaterial

genom ett rör som sitter på tankens undersida. Jordmaterialet spolats ned i en behållare som ställs under sandtanken.



Figur 20. Försöksutrustning för provning av filterlindade dräneringsrör.

Figure 20. Laboratory set up for testing envelope materials and filter materials

Material och metoder

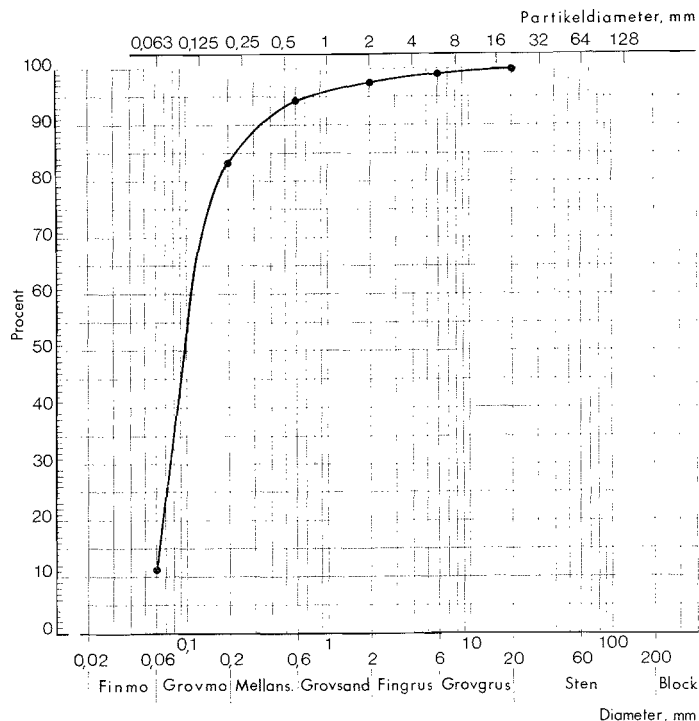
Det jordmaterial som skulle användas vid försöken måste uppfylla kraven att:

- vara lätthanterligt
- ha hög vattengenomsläpplighet
- vara slammingsbenäget
- ha stor reproducerbarhet med avseende på packning, skrymdensitet och vattengenomsläpplighet

Kravet på relativt hög vattengenomsläpplighet är av betydelse dels för att försöken inte skall ta för lång tid, dels för att ett lämpligt och lätt bestämbar grundvattenflöde in mot dräneringsröret skall erhållas.

Det använda materialet består till övervägande del av grovpartiklar. Dess vattengenomsläpplighet uppmättes till 1,7 m/dygn. Kornstorleksfördelningen visas i figur 21.

De filterlindade dräneringsrör som provas är 65 cm långa. Rören monteras i sandtanken och tätas omsorgsfullt vid båda ändar, så att vatten endast kan strömma in genom rörslitsarna. Piezometrarna placeras ut på ömse sidor om röret, varvid två av piezometrarna sätts så nära filtret som möjligt, medan de övriga sätts på 10 respektive 20 cm avstånd från rörcentrum. Därefter påbörjas vattenfyllning av sandtanken. Då den inre behållaren fylls med jord-



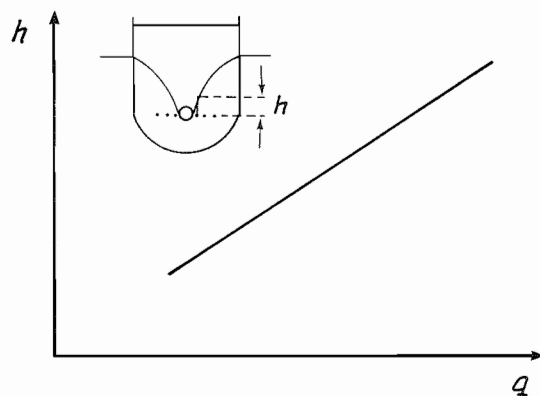
Figur 21. Kornstorleksfördelningen för använt jordmaterial.

Figure 21. Partical size distribution curve for the soil material used in the sand tank

material skall vattenytan hela tiden stå över jordmaterialet. Genom detta tillvägagångssätt avlägsnas en del av den luft i jordmaterialet vilken annars skulle kunna blockera en del av porsystemet och därigenom äventyra försökens reproducerbarhet. Ett grundvattenflöde in mot dräneringsröret åstadkommes genom att det justerbara röret på utloppssidan inställs på en lägre nivå än vattennivån i sandtanken. Flödet regleras så att dräneringsröret är till hälften vattenfyllt. Kontroll av detta kan ske okulärt genom plexiglasfönstret i dräneringsrörets ena ände. Vattennivån i sandtanken hålls konstant under tio dagar. Därefter avläses vattenståndsrören, och flödet mätes med hjälp av mätglas och klocka. Vattennivån sänks sedan genom sänkning av röret på utloppssidan. Vattenståndsrören avläses och flödet mäts när stabila förhållanden uppnåtts, vilket vanligtvis tar några timmar. Ytterligare sänkningar av vattennivån med åtföljande mätningar görs sedan stegvis. Sambandet mellan flöde och tryckhöjd redovisas i ett diagram.

Som framgår av figur 22 är relationen mellan tryckhöjden, h , och flödet, q , i det närmaste rätlinjigt. Lutningen av kurvan är proportionell mot rådande strömningsmotstånd, w . Följande samband kan alltså tecknas: $w = h/q$. Stora värden på strömningsmotståndet innebär att filtrets vattengenomsläpplighet är begränsad. I försöken undersöks även hur mycket jordmaterial som

slammar in och avsätts i dräneringsröret.



Figur 22. Sambandet mellan tryckhöjd och flödet ur dräneringsröret.

Figure 22. The relation between the discharge rate and piezometric head

Resultat och diskussion av de egna modellförsöken

Resultaten av modellförsöken sammanfattas i tabell 3.

Tabell 3. Inströmningsmotstånd och mängd inslammat och avsatt material för korrugerade rör med olika filter.

Table 3. Entrance resistance and the amount of washed-in soil particles for corrugated pipes with different envelopes

Rör med filter	Inslammad mängd material, slamskikt tjocklek (mm)	Inströmningsmotstånd w_e (dygn/m)
Kokos	10	0,024
Polyeten	20	0,025
Polypropen 1	6	0,032
Polypropen 2	6	0,038
"Strumpa"	6	0,036
Naket rör	25	-

De tjocka omlindningsfiltren av kokos och polyetenfibrer hade störst inverkan på inströmningsmotståndet. De gav dock ett mindre bra skydd mot inslamning av sedimenteringsbenägna partiklar. De två tjocka polypropenfiberfiltren gav ett bra skydd mot slamavsättning, men deras fina porsystem ökade inströmningsmotståndet. Detsamma gällde det tunna, syntetiska omlindningsfiltret ("strumpan"). Då röret saknade filter var slamavsättningen så snabb och kraftig att mätning av inströmningsmotståndet omöjliggjordes.

De erhållna resultaten kan jämföras med några publicerade uppgifter från

andra modellförsök (se tabell 4). Genomgående gäller att tjocka material ger mindre inströmningsmotstånd än tunna material.

Tabell 4. Inströmningsmotstånd för korrugerade rör med olika omlindningsfilter

Table 4. Entrance resistance for corrugated pipes with different envelopes

Omlindningsmaterial	Inströmningsmotstånd w_e (dygn/m) vid		Källa
	$k = 22,0$ m/dygn	$k = 1,5$ m/dygn	
<u>Tjocka material</u>			
Kokosfibrer	0,0024	-	Sekendar (1984)
Kokosfibrer	-	0,140	Zuidema & Scholten (1979)
Torvströ	-	0,155	Zuidema & Scholten (1979)
Syntetiska fibrer	0,0025	-	Sekendar (1984)
Syntetiska fibrer	-	0,135	Zuidema & Scholten (1979)
<u>Tunna material</u>			
Fiberduk	0,0136	-	Sekendar (1984)
Fiberduk	0,0055	-	- " -
Fiberduk	0,0036	-	- " -
Fiberduk (polyester)	0,0045	-	- " -
Fiberduk (glasfiber)	-	0,175	Zuidema & Scholten (1979)

Försöken visar att tjocka filter bör väljas då en förbättring av ledningarnas vattenintagning önskas. Som skydd mot inslamning har emellertid dessa filter en sämre funktion. Visserligen skulle de tjocka filtrens inslamningsskyddande verkan kunna förbättras genom att deras porsystem gjordes finare, men priset för detta är att inströmningsmotståndet ökar. Ett under givna betingelser i fråga om jordart etc. idealiskt filter, är ett filter som under just dessa betingelser har den optimala balansen mellan de två motstridiga uppgifterna att dels förbättra ledningarnas vattenintagning, dels skydda rören mot intransport av partiklar av olämplig storlek. Sandtanken används för att jämföra funktionen hos olika filtermaterial. De material som har en god funktion i sandtanken skall sedan provas i fält innan en bedömning kan göras av om de kan användas som dräneringsfilter.

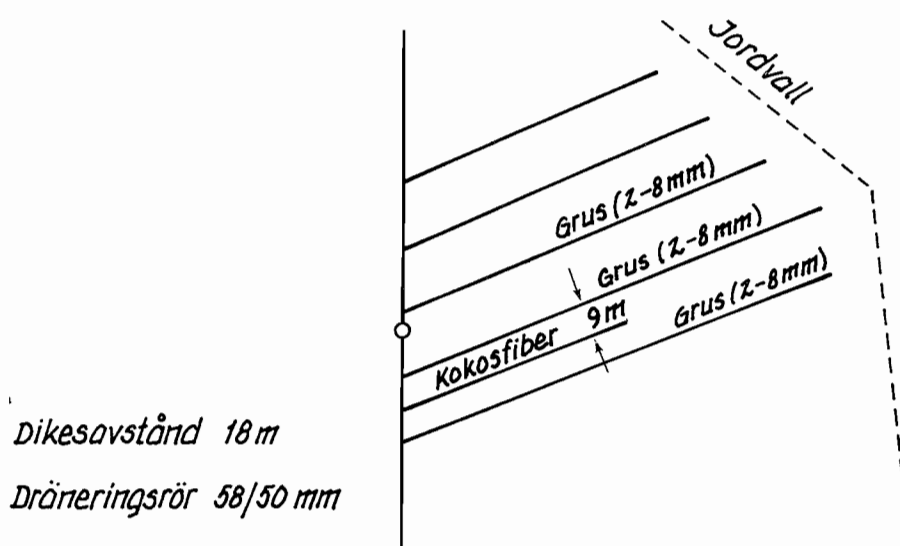
6.2.2. Fältförsök

Under åren 1977 och 1979 lades de första fältförsöken, avseende filterlindade dräneringsrör, ut i Sverige. Försöksfälten är belägna i Värmlands resp. Östergötlands län. Dräneringsledningarnas funktion kommer att följas under

många år, så att eventuella långtidseffekter skall kunna klarläggas. Försöken har pågått alltför kort tid för att några definitiva slutsatser ännu skall kunna dras.

Försök med dräneringsfilter vid Larberg, Värmlands län

Försöksfältet ligger vid Larberg, Hammarön utanför Karlstad. Försöket lades ut 1977 i samband med att ett invallat område systemtäckdikades. I figur 23 visas en skiss över fältet.



Figur 23. Planskiss över försöksfältet vid Larberg, Hammarön i Värmlands län

Figure 23. Field layout of the experimental field at Larberg, Hammarön in Värmlands län

Avståndet mellan dräneringsledningarna är 18 m. Makadam med en kornstorlek varierande mellan 2-8 mm används som dräneringsfilter. En ledning lindad med kokosfibrer lades ner emellan två konventionella dräneringsledningar varför avståndet mellan ledningarna reducerades till 9 m. Dikesdjupet är ungefär 1 m.

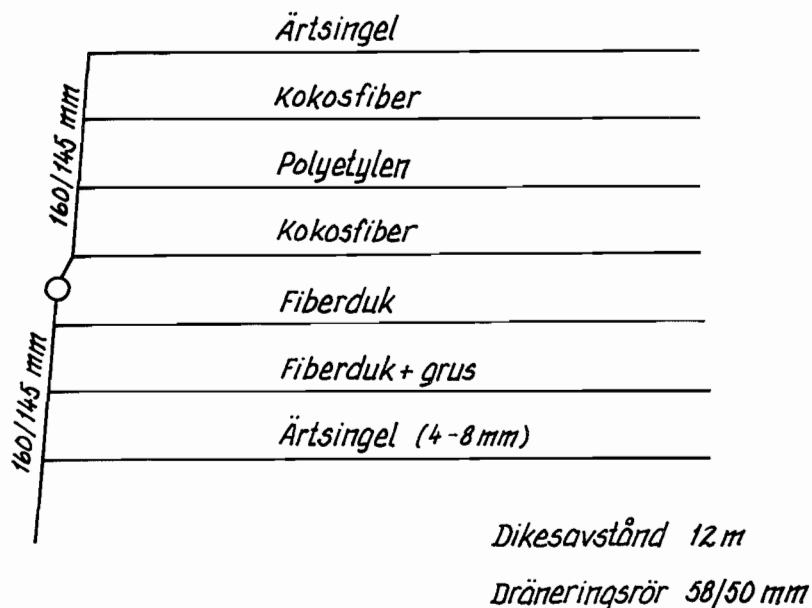
Jordarten på det invallade fältet är en lerig grovmo med omkring 9 % lerhalt i alven. Den har en mäktighet av cirka 1 m och underlagras av såplera.

Den första undersökningen gjordes i juni 1980. Några av ledningarna med kringfyllning av grus samt ledningen med omlindning av kokos grävdes fram på ett par ställen. Det noterades då att grundvattenytan stod strax under rören. Mycket litet slam hade avsatts i ledningarna. Kokosfibrerna föreföll mycket litet påverkade. I augusti 1982 framgrävdes ledningarna ånyo. Grundvattenytan stod även vid detta tillfälle strax under rören. Ett omkring

5 mm tjockt slamskikt hade avsatts både i rören omgivna av grus och i det kokoslindade röret. Filtret av kokosfibrer var intakt. Fibrerna hade dock blivit något sprödare.

Försök med dräneringsfilter vid Täckto, Östergötlands län

Försöksfältet ligger i Täckto utanför Klockrike (figur 24). Dikningen utfördes i juni 1979. Som filter valdes tre olika fibermaterial samt ett dräneringsgrus. Två av materialen är av kokosfibrer resp. polyetenfibrer och bildar tjocka filter. Det tredje materialet är en tunn syntetisk omlindning (fiberduk). Dräneringsgruset utgöres av ärtsingel (4-8 mm).



Figur 24. Planskiss över försöksfältet vid Täckto, Klockrike i Östergötlands län

Figure 24. Field layout of the experimental field at Täckto, Klockrike in Östergötlands län

Ledningarna ligger med ett avstånd av 12 m ifrån varandra. Dikesdjupet är i genomsnitt litet mindre än 1 m. Jordarten i alven på försöksfältet är en svagt lerig grovmo. Lerhalten ökar emellertid inåt fältet och är nära 10 % där rören med det tunna omlindningsfiltret ligger. Större delen av fältet utgöres av av en s.k. flytjord. Vid dikningens utförande orsakade tryckvatten stora problem.

En första undersökning gjordes redan i november 1979. Delar av ledningarna frilades, varefter eventuell vattenföring och eventuella slamskikt i rören noterades. Samtliga ledningar var slamfria utom den som omges av ärtsingel.

Där kunde ett omkring 5 mm tjockt slamskikt iakttagas. Det rann vatten ur fyra av de sju ledningarna. I en av de kokoslindade liksom i en med fiberduk + ärtsingel och en med enbart kringfyllning av ärtsingel märktes ingen vattenföring.

I september 1982 inspekterades ledningarna en andra gång. Ledningen med filter av ärtsingel hade ett 25-40 mm tjockt slamskikt. Slamskiktets tjocklek var 1-4 mm i de kokoslindade rören och 6-10 mm i rör med det tjocka polyetenfiltret. Växtrötter hade trängt in i de kokoslindade och polyetenfiberlindade rören. Dessa rör uppvisade också tydliga rostutfällningar. I de rör som lindats med fiberduk hade ingen nämnvärd inslamning skett. Vattenföring kunde iakttagas i samtliga ledningar med kokosfilter och polyetenfilter. I ledningarna med ärtsingel och fiberduk rann inget vatten, då de framgrävdes. Den tunna syntetiska fiberduken verkade till stor del vara igensatt med slam.

6.2.3. Sammanfattning av de egna försökens resultat

Det filter av kokosfibrer som prövades fungerade relativt bra. I vissa fall hade dock inslamningen av sedimenteringsbenägna partiklar varit ganska avsevärd. Kokoslindningen var i stort sett opåverkad efter fem år i en grovmjord med ringa humushalt i återfyllningsjorden.

Det tjocka, syntetiska filter av polyetenfibrer som studerades hade en mindre god filtreringsförmåga, vilket ledde till betydande slamavsättning i rören.

De tunna, syntetiska filter som testades uppvisade ett stort inströmningsmotstånd. Däremot lämnade de ett bra skydd mot inslamning av sedimenteringsbenägna partiklar i rören. Vissa tecken på igensättning av dessa filter kunde noteras.

En kringfyllning med ärtsingel gav på grund av sin extrema grovporighet ett mycket dåligt inslamningsskydd.

7. SYNPUNKTER PÅ VALET AV FILTER FÖR DRÄNERINGSLEDNINGAR

Då man ställs inför valet att välja filter för dräneringsledningar, måste många olika faktorer beaktas. Några av de viktigaste är:

- Markens egenskaper
- Vilken tid på året som dikningen avses bli utförd
- Kostnadsförhållanden

Markens egenskaper växlar med jordart och fuktighetsgrad. På grund av mark-

egenskapernas stora föränderlighet i såväl tid som rum bör ett dräneringsfilter ha sådana egenskaper att det fungerar under många olika yttre omständigheter. Filtret skall också på ett tillfredsställande sätt uppfylla de motstridiga kraven att dels förhindra inslamning av sedimenteringsbenägna partiklar, dels underlätta rörens vattenintagning. Undersökningar har visat att man hamnar i närheten av optimum för samspelet mellan de två funktionskraven om (1) filtret har en tjocklek av minst storleksordningen 5 à 10 mm, om (2) dess genomsläpplighet är minst 10 à 20 gånger jordens genomsläpplighet och om (3) det har en porstorleksfördelning med stor variationsvidd. Dessa tre villkor kan utan svårighet uppfyllas vid användning av kringfyllningar av grus och sågspån. Den mycket långa erfarenhet som finns av sådan kringfyllningar i praktisk användning under olika förhållanden visar att de fungerar bra. De omlindningsfilter som hittills marknadsförts har inte samma breda användningsområde som kringfyllningar av t.ex. grus har. Man får dock inte glömma att möjligheterna att framställa omlindningsfilter med olika kombinationer av variablerna materialsammansättning, tjocklek och porstorleksfördelning är stora. Ingenting motsäger därför att man framdeles kan komma fram till kombinationer som är betydligt bättre än de hittills prövade.

I dagsläget gäller att omlindningar av kokosfibrer visserligen ökar ledningens vattenintagningsförmåga men inte alltid ger fullgott skydd mot inslamning av sedimenteringsbenägna partiklar i rören. Ett sätt att förbättra filtreringsförmågan är att blanda in riven torv i kokosen. Det relativt grova porsystemet i kokosmaterialet skulle därigenom bli finare. En annan möjlig lösning är att man i stället för torvmaterial blandar in tunna plastfibrer. Undersökningens resultat tyder på att det är fördelaktigt om dessa fibrer är krusade. När det gäller kokoslindningar kan också nämnas att det i Holland uppställts vissa standardkrav på dessa. Man har där bestämt att en omlindning av kokosfibrer skall väga 750 g per m². Den får då en tjocklek av 7-10 mm.

I fråga om kokoslindningens beständighet kan konstateras att den säkerligen varierar mycket med omgivande miljö. Holländska undersökningsresultat visar att kokosen under vissa förhållanden snabbt kan brytas ner. I de fall då snabb nedbrytning iakttagits hade kokosen legat i kontakt med biologiskt aktiv jord. Våra egna undersökningar rörande kokoslindningars varaktighet i marken visar däremot inte på någon anmärkningsvärd nedbrytning. Dessa studier har emellertid företagits i mark med låg biologisk aktivitet i jorden kring ledningarna. En bidragande orsak till skillnaden mellan de holländska och de svenska iakttagelserna kan också det faktum vara att markens medeltemperatur är lägre i Sverige än i Holland.

Av holländska uppgifter framgår att dräneringsledningar ofta fungerar även efter det att kokoslindningen kring dem brutits ner. En förklaring till detta skulle kunna vara att en viss del av lindningens ursprungliga effekt kanske kvarstår även sedan materialet förmultnat. En annan möjlig förklaring kan vara att jorden kring rören stabiliserats en tid efter läggningen, vilket medför att risken för inslamning av partiklar av sedimenteringsbenägen storlek minskar. I de fall som förutsättningar för en sådan stabilisering föreligger, så behövs lindningarna strängt taget endast då dikningen utförs och en relativt kort tid därefter. Det är emellertid i realiteten svårt att avgöra i vilka jordar som enbart denna s.k. primära inslamning kan tänkas förekomma.

I fråga om tjocka, syntetiska omlindningsfilter pågår arbete i bl.a. Nederländerna med att prova olika materialstrukturer. Polypropenfibrer är därvid det vanligaste utgångsmaterialet. För att kunna hålla priset på den färdiga produkten på en konkurrenskraftig nivå, måste ofta tillverkarna anskaffa fibrer i form av restprodukter från plastindustrin. Det kan därför i många fall vara svårt att på förhand ange vilka egenskaper, t.ex. vad gäller porsystemet, som den framställda fiberduken kommer att få. Om man under tillverkningen bättre kunde styra produktens egenskaper efter önskade funktionskriterier, utan att priset därför drevs upp, så skulle tjocka, syntetiska filter kunna bli av större intresse.

De plastmaterial som vanligtvis används till omlindningsfilter har en praktiskt taget obegränsad livslängd, under förutsättning att de skyddas mot alltför lång ljusexponering.

Sett mot nuvarande erfarenhetsbakgrund torde tunna, syntetiska omlindningsfilter endast i speciella fall lämpa sig för svenska förhållanden. De flesta av våra jordar har nämligen låg eller ganska låg genomsläpplighet, varför behovet av ett tjockt, voluminöst filter, som underlättar vattenintagningen är stort. Ett möjligt användningsområde för tunna omlindningsmaterial är filter kring förhållandevis grova dräneringsledningar, exempelvis stammar, som skall läggas ner i utpräglade mojordar. Om problem med rostutfällning förekommer, vilket ofta är fallet just på mojordar, bör dock inte tunna omlindningar användas på grund av igensättningsrisken.

Vid en i 1984 års priser gjord jämförelse mellan kostnaderna för konventionellt utförda dräneringar med gruskringfyllning respektive användning av kokoslindade rör, har några större kostnadsskillnader inte framträtt. Däremot kan, under gynnsamma förhållanden, en grävfri dränering med omlindade rör ställa sig något billigare än de konventionella alternativen.

Från arbetsteknisk synpunkt har fabrikslindade dräneringsrör uppenbara fördelar. Arbetsmomentet med transport och påföring av kringfyllningsmaterial bortfaller, vilket sparar arbetskraft och effektiviserar dikningen. Den arbetstekniska vinsten är oftast särskilt uttalad under svåra dikningsförhållanden. På instabil mark, där rörgraven kan rasa samman omedelbart efter dräneringsmaskinen, ger fabrikslindade dräneringsrör klara fördelar. Vid användning av fabrikslindade rör är det också möjligt att förlänga dikningssäsongen, eftersom en låg markbärighet blir till mindre hinder när man slipper transportera ut kringfyllningsmaterial.

Avslutningsvis skall poängteras att hitintills lanserade omlindningsfilter inte generellt kan ersätta kringfyllningar av traditionellt använda material. En grusfyllnings effektivitet och funktionssäkerhet är i många fall svår att uppnå, och i "rostjordar", liksom vid stor risk för inslamning, är sågspån det material som man av erfarenhet vet fungerar bäst. Till de lindade rörens fördeltalar främst den arbetstekniska förenkling som deras användning medför, särskilt när dikningsarbetet utförs under svåra förhållanden samt när grävfri dränering tillämpas. En fördel är också att omlindningsfilter omger hela röret vilket sällan är fallet då kringfyllningsmaterial används.

Allmänt sett bör filtervalet i första hand vägledas av kraven på funktionell lämplighet. Det finns sällan anledning att vid konventionell dränering använda omlindningsfilter i stället för gruskringfyllning ifall totalkostnaden för grusalternativet är mindre eller lika stor som totalkostnaden för filterrörsalternativet. Det är snarare så att den säkerhet som kan byggas in i dräneringen genom användning av gruskringfyllning, i många fall kan försvara en något högre totalkostnad för dikningen.

8. SAMMANFATTNING

I Sverige har främst naturgrus men även sågspån sedan länge använts som filter kring dräneringsledningar. Dessa kringfyllningsmaterial har många funktionella fördelar. Från arbetsteknisk synpunkt har de däremot uppenbara nackdelar. Stora arbetsinsatser erfordras för att transportera och påföra kringfyllningsmaterialen. För att effektivisera dikningstekniken har olika organiska och syntetiska fibermaterial börjat användas som dräneringsfilter. Dräneringsrören är då redan vid leveransen omlindade med ett fibermaterial. Sådana dräneringsrör brukar benämnas filterlindade eller fabrikslindade dräneringsrör. Den ökade användningen av omlindningsfilter orsakas till en del även av att det på sina håll råder brist på grus och sågspån.

Kokosfibrer är för närvarande det vanligaste organiska omlindningsmaterialet, men även torv och halm används, dock inte i vårt land.

Syntetiska material används för närvarande i begränsad omfattning i Sverige. En tendens finns emellertid till ökad användning. Omlindningsfiltren framställs genom att plastfibrer bondas ihop (ges en sammanhållning). Plastfibrerna är vanligtvis av polypropen eller polyester. Bondningen utförs med olika metoder. De väsentligaste är stickning och några förfaranden som benämns icke-vävning.

Ett dräneringsfilter har i princip tre uppgifter: att minska inslamningen av sedimenteringsbenägna partiklar i röret, att underlätta vatteninströmningen samt att skydda röret mot skador. Den sistnämnda uppgiften är numera av underordnad betydelse, eftersom de korrugerade plaströren har betydligt högre hållfasthet än då de introducerades. De två först nämnda uppgifterna ställer motstridiga krav på dräneringsfiltrets egenskaper. I en slamningsbenägen jord är filtrets funktion som inslamningsskydd det primära. I en tät jord med låg genomsläpplighet spelar filtrets förmåga att underlätta vattenintaget störst roll. Jordarnas egenskaper är emellertid mycket årstidsberoende. Dessutom varierar ofta både jordart och markens egenskaper inom ett och samma fält. Ett dräneringsfilter måste därför fungera under många olika yttre omständigheter.

I många länder pågår arbete med att utveckla lämpliga metoder för provning av omlindningsfilter. Det är dels metoder med vilka rena materialegenskaper provas, dels modellförsök där fältförhållanden efterliknas. Metoderna ger dock endast underlag för en grovsortering av omlindningsmaterialen. Omlindningarnas funktion undersöks därför även genom fältförsök.

Erfarenheter från såväl forsknings- och försöksverksamhet som praktisk användning visar att tre villkor måste vara uppfyllda om man skall hamna i närheten av optimum för samspelet mellan de två funktionskraven att hindra inslamning av sedimenteringsbenägna partiklar respektive att underlätta vatteninströmningen. De tre villkoren är följande: Omlindningens tjocklek skall vara av storleksordningen minst 5 à 10 mm. Omlindningens genomsläpplighet skall vara minst 10 à 20 gånger större än genomsläppligheten i omgivande jord. Omlindningen skall ha en porstorleksfördelning med stor variationsvidd.

Omlindningar av kokosfibrer underlättar vattenintaget men kan i mycket slamningsbenägna jordar, som exempelvis grovmojordar, ge ett otillräckligt skydd mot inslamning. Beständigheten hos kokos varierar mycket med omgivande miljö. Holländska undersökningsresultat visar att kokosen under vissa förhållanden

kan nedbrytas mycket snabbt. I de fall då snabb nedbrytning iakttagits hade kokosen legat i kontakt med biologisk aktiv jord. Egna undersökningar visar däremot inte på någon anmärkningsvärd nedbrytning. Dessa studier har emellertid företagits i mark med låg biologisk aktivitet i jorden kring ledningarna. Av uppgifter från Holland framgår att den snabba nedbrytningen av kokoslindningen inte behöver medföra att dräneringsledningarnas funktion äventyras. Möjliga förklaringar till detta kan vara dels att en viss del av lindningens effekt kvarstår även sedan materialet förmultnat, dels att jorden kring ledningarna en tid efter läggningen stabiliserats.

De syntetiska materialen har en mycket lång livslängd, under förutsättning att de skyddas mot alltför lång ljusexponering. De flesta syntetiska omlindningar är för tunna för vatteninströmningen i dräneringsledningen skall påverkas i någon större grad. De kan däremot användas kring dräneringsrör av större dimensioner, exempelvis stamledningar.

Användning av omlindningsfilter medför betydande arbetstekniska vinster. En kringfyllning av grus eller sågspån har dock många funktionella fördelar. Allmänt sett bör valet av filter i första hand vägledas av kraven på funktionell lämplighet. Det finns sällan anledning att vid konventionell dränering använda omlindningsfilter i stället för kringfyllning av grus, ifall totalkostnaden för grusalternativet är mindre eller lika stor som totalkostnaden för filterrörsalternativet. Det är snarare så att den säkerhet som inbyggs med en gruskringfyllning kan försvara en något högre totalkostnad för dikningen.

9. SUMMARY

In Sweden natural gravel and, to a lesser extent, sawdust have long been the materials used as filters for drainage pipes. These filter materials have many functional advantages but, from a practical point of view, obvious disadvantages. Relatively large labour inputs are required to transport and spread gravel and sawdust. With the intention of reducing labour requirements and increasing efficiency of drain installation, alternatives such as organic or synthetic fibres have been tested. Drainage pipes are pre-wrapped with envelopes made from these materials. To some extent, the increasing use of organic and synthetic envelopes is also a result of unavailability of gravel and sawdust in some parts of Sweden.

Coco-fibre is the most common organic envelope material. Peat and straw are also used in some countries but not in Sweden. At the present time, synthetic materials are used on a limited scale but the trend is towards increasing use. Synthetic envelopes are produced through a process called bonding. The plastic fibres are usually made of polypropylen or polyester. The bonding process is performed by different methods, the most important of which are knitting and non-woven methods. A filter envelope has three principal functions: to prevent the entry of soil particles which would silt up and clog the drains, to improve the rate of water entry and to protect the pipe against damage. The last named function is of minor importance nowadays since corrugated plastic pipes have a much stronger construction than when they were first introduced. The first two requirements are contradictory in their demands on the composition of the envelope.

In a soil with low conductivity, the function of the envelope in improving passage of water to the drain is the most important factor. In a soil with low stability the most essential envelope function is in preventing the entry of soil particles which would silt up and clog the pipe. However, the properties of soils change with the season. Furthermore, soil type and soil properties can vary within the same field. For this reason, an envelope may have to function in many different external circumstances.

In many countries, work is going on to develop testing methods for envelopes. The methods can be divided into two groups: methods for testing the properties of the envelope material and model tests where the conditions in the field are simulated. These methods provide a basis for a preliminary selection of an envelope, the functioning of which must then be investigated in field experiments.

Research, experimental and work experience have shown that three conditions must be fulfilled to achieve the optimum combination of the two functions, preventing pipe clogging by soil particles and improving flow of drainage water towards the pipe.

These three conditions are as follows: 1) envelope thickness must be in order of at least 5-10 mm, 2) envelope conductivity must be at least 10-20 times greater than that of the soil, 3) the envelope should have a pore size distribution with a wide variation.

Envelopes of coco fibre improve the entry of water but provide insufficient protection against silting up in soils with very low stability.

The rate of decomposition of coco fibre depends on the soil type and soil conditions. Results from studies in Holland show that envelopes of coco fibre decompose very quickly under certain circumstances. Decomposition was especially rapid when the cocos envelope was in direct contact with biologically active soil. My own investigations, however, showed that decomposition rate was minimal in soils where the biological activity was low.

Results from research in the Netherlands show that rapid decomposition of the coco fibre filter does not necessarily impair function of drainage pipes. One possible explanation of this is that the filter material retains some of its function despite decomposition, another explanation is that soil around the pipe gradually stabilizes in structure.

Synthetic materials are very durable provided that they are not exposed to light for a prolonged period. Most synthetic envelopes are too thin to influence flow of water towards the drainage pipe. However they can be used around pipes of larger diameter, for example collector drains.

Use of filter envelopes has considerable technical and ergonomic advantages. Use of a gravel or sawdust fill around a pipe is, however, superior functionally.

Thus in general, choice of filter should primarily be based on the functional requirement. In conventional drainage, use of filter envelopes instead of gravel fill is rarely justifiable, especially when there is no cost difference. In fact a higher total cost in installing gravel fill can be justified in view of its superior function.

10. LITTERATURFÖRTECKNING

- Andersson, S. 1962. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord XIII. Några teoretiska synpunkter på vattenhaltskurvor, dräneringsjämvikter och porstorleksfördelningar. - Grundförbättring 15:1/2, s. 51-108.
- Bejuki, W.M. 1966. Microbiological degradation. - Encyclopedia Polymer Science and Technology, s. 716-725.
- Broughton, R.S. 1983. Discussion of "Field evaluation of synthetic envelope materials with plastic drainage tubing" by W.R. Johnston et al. - 2nd International Drainage Workshop, Washington D.C., December 5-11, 1982. Proceedings, s. 158-160.
- Broughton, R.S., English, B., Damant, C., Ami, S., McKyes, E. & Brasseur, J. 1977. Tests of filter materials for plastic drain tubes. - 3rd National Drainage Symposium, 1976. Proceedings. ASAE-Publication 1-77, s. 34-39.

- Burghardt, W. 1976. Porositätsmerkmale und Eigenschaften einiger Dränfilter. - Wasser und Boden 28:2, s. 35-38; 28:4, s. 96.
- Burghardt, W. 1979. Die Entwicklung von Dränfiltern aus Kunststofffasern. - Wasser und Boden 31:1, s. 14-17.
- Burghardt, W., Foerster, P. & Scheffer, B. 1978. Die Bedeutung einiger Bodeneigenschaften für den Aufbau von Dränfiltern aus Kokosfasern. - Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 19:6, s. 363-370.
- Burghardt, W., Foerster, P. & Scheffer, B. 1979. Der Einfluss von Nutzung, Bewirtschaftung und Verlegetechnik von Dränvollfiltern aus Kokosfasern. - Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 20:1, s. 11-19.
- Dierickx, W. 1980. Electrolytic analogue study of the effect of openings and surrounds of various permeabilities on the performance of field drainage pipes. - National Institute for Agricultural Engineering, Mellebeke. Communication 77. 234 s.
- Dierickx, W. & van der Molen, W.H. 1981. Effect of perforation shape and pattern on the performance of drain pipes. - Agricultural Water Management 4:4, s. 429-443.
- Egbers, G., Ehrler, P. & Schauler, W. 1974. Reutlinger Fasertafel. - Institut für Textiltechnik, Reutlingen. Firmenmitteilungen. Referat i Strasse und Autobahn 31(1980):2, s. 70.
- Eggelsmann, R. 1973. Dränanleitung für Landbau, Ingenieurbau und Landschaftsbau, 1:a uppl. Hamburg. 304 s.
- Eggelsmann, R. 1978. Subsurface drainage instructions. - International Commission on Irrigation and Drainage (ICID). National Committee of the Federal Republic of Germany. Bulletin 6. 283 s.
- Ericson, A. 1981. Porsammansättning och vattengenomsläpplighet hos några dräneringsfilter. - Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Stencil. 9 s.
- Eskes, B.T.F. 1977. Laboratorium onderzoek naar de porenverdeling, de filterende en hydrologische eigenschappen van synthetische omhullingsmaterialen voor drainbuizen. Intern. Rapport ILRI/ICW. Referat i ILRI-Publication 25 (1979), s. 386-390.
- Hove, P. 1982. Filter materials for drains. Experiences in Norway. - Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 23:2, s. 104-109.
- Håkansson, A. 1968. Vattenintagningsförmågan hos dräneringsledningar av olika utförande. - Grundförbättring 21:4, s. 157-164.
- Håkansson, A. 1971. Dränering med plaströr. Grundförbättring 24:3/4, s. 131-137.
- Irwin, R.W. & Hore, F.R. 1979. Drain envelope materials in Canada. - 1st International Drainage Workshop, Wageningen, May 16-20, 1978. Proceedings. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen. ILRI-Publication 25, s. 283-296.

- Ismail, S.N.A. 1975. Micromorphometric soil porosity characterization by means of electro-optical image analysis. - Netherlands Soil Survey Institute, Wageningen. Soil Survey Papers 9. 100 s.
- Johnston, W.R., Willardson, L.S., Christopher, J.N. & Ochs, W.J. 1983. Field evaluation of synthetic envelope materials with plastic drainage tubing. - 2nd International Drainage Workshop, Washington, D.C., December 5-11, 1982. Proceedings, s. 145-156.
- Knops, J.A.C. 1979. Research on envelope materials for subsurface drains. - 1st International Drainage Workshop, Wageningen, May 16-20, 1978. Proceedings. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen. ILRI-Publication 25, s. 368-392.
- Knops, J.A.C. & Dierickx, W. 1979. Drainage materials. - 1st International Drainage Workshop, Wageningen, May 16-20, 1978. Proceedings. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen. ILRI-Publication 25, s. 14-38.
- Martin, R. 1983. Comments on "Field evaluation of synthetic envelope materials with plastic drainage tubing" by W.R. Johnston et al. - 2nd International Drainage Workshop, Washington D.C., December 5-11, 1982. Proceedings, s. 157.
- McGown, A. 1976. The properties and uses of permeable fabric membranes. - Research Workshop on Materials and Methods for Low Cost Road Works, Leura, Australia, September 1976. Proceedings, s. 663-709.
- Meyer, H.J. & Knops, J.A.C. 1977. Veldonderzoek naar de bestendigheid van cocosvezels als afdekk- op omhullingsmateriaal voor drainbuizen. - Cultuurtechnisch Tijdschrift 16:6, s. 261-265.
- Monk, D.W. 1972. Biodegradability of packaging films. - Textile Research Journal 42:12, s. 741-743.
- Murphy, C.P., Bullock, P. & Biswell, K.J. 1977. The measurement and characterisation of voids in soil thin sections by image analysis. Part II: Applications. - The Journal of Soil Science 28:3, s. 509-518.
- Nieuwenhuis, G.J.A. & Wesseling, J. 1979. Effect of perforation and filter material on entrance resistance and effective diameter of plastic drain pipes. - Agricultural Water Management 2:1, s. 1-9.
- NVF. 1980. Fiberduk i vägbyggandet. - Nordiska Vägtekniska Förbundet (NVF). Rapport 17:1980. 52 s.
- Nykvist, N.B. 1974. Biodegradation of low-density polyethylene. - Plastics and Polymers 42, s. 195-199.
- Palmgren, H. 1966. Beläggning med plast och gummi. - Korrosion och Ytskydd 1, s. 73-80.
- Penkava, F.F. & Singh, P.N. 1983. Straw envelopes and filters for corrugated plastic subsurface drains. - 2nd International Drainage Workshop, Washington D.C., December 5-11, 1982. Proceedings, s. 140-144.
- Rhône-Poulenc-Textile. 1975. The use of nonwoven fabrics in civil engineering structures. Why Bidim. - Rhône-Poulenc-Textile, France. Firmabroschyr. 35 s.

- Samir, K. 1974. How quickly do packaging films disappear down in the dirt? - *Package Engineering* 19:1, s. 52-55.
- Sekendar, M.A. 1984. Entrance resistance of enveloped drainage pipes. - *Agricultural Water Management* 8:4, s. 351-360.
- Stuyt, L.C.P.M. 1981. Development in research on drainage filter materials in the Netherlands. - *Soil and Water. Journal of the Soil and Water Management Association* 9:2, s. 31-33.
- Stuyt, L.C.P.M. 1983. Laboratoriumonderzoek aan drainageomhullingsmaterialen: een interim-rapportage. - Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen. Nota 1436. 175 s.
- Svobodová, V. & Vinšová, M. 1979. Zersetzung organischer Filterstoffe im Boden. Modellversuch. - *Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung* 20:1, s. 42-50.
- TEFO. 1979. Litteraturundersökning av textildukars motstånd mot nedbrytning. - Svenska Textilforskningsinstitutet (TEFO), Göteborg. Intern rapport. 9 s.
- Textilordlista. 1981. Standardiseringskommissionen i Sverige (SIS) och Tekniska Nomenklaturcentralen (TNC). TNC 76. 272 s.
- Thorstensson, E. 1983. Personligt meddelande. Uponor AB, Fristad.
- Willardson, L.S. 1979. Synthetic drain envelope materials. - 1st International Drainage Workshop, Wageningen, May 16-20, 1978. Proceedings. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen. ILRI-Publication 25, s. 297-305.
- Wilmers, W. 1980. Untersuchungen zur Verwendung von Geotextilien im Erdbau. - *Strasse und Autobahn* 31:2, s. 69-87.
- Zuidema, F.C. & Scholten, J. 1979. Model tests on drainage materials. - 1st International Drainage Workshop, Wageningen, May 16-20, 1978. Proceedings. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen. ILRI-Publication 25, s. 393-401.

Förteckning över utgivna häften i publikationsserien

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. RAPPORTER.

- 104 Andersson, S. & Wiklert, P. 1977. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del II. Norrbottens, Västerbottens, Västernorrlands och Jämtlands län. 98 s.
- 105 Andersson, S. & Wiklert, P. 1977. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del III. Gävleborgs, Kopparbergs och Värmlands län. 89 s.
- 106 Andersson, S. & Wiklert, P. 1977. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del IV. Älvsborgs och Göteborgs- och Bohus län. 72 s.
- 107 Jonsson, E. 1977. Bevattning med förorenat vatten. Hygieniska risker för människor och djur. En litteraturstudie. 30 s.
- 108 Berglund, G., Håkansson, A. & Eriksson, J. 1978. Om dikningsintensiteten vid dränering av åkerjord. Resultat av fältförsök med olika dikesavstånd. IX: Västernorrlands, Jämtlands, Västerbottens och Norrbottens län. 104 s.
- 109 Bjerketorp, A. & Klingspor, P. 1978 (1982). Inventering av avrinningen inom regioner med stor jordbruksbevattning. Faktaredovisning. 1: Kalmar län. 66 s. (109a. Korrigerat nytryck 1982. 66 s.).
- 110 Lundegrén, J. & Nilsson, S. 1978. Bevattningssamverkan. Förutsättningar och olika associationsformer. 27 s.
- 111 Berglund, G. m.fl. 1978. Resultat av 1977 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 98 s.
- 112 Forsling, A. & Borgblad, M. 1978. Konflikten mellan jordbruket och naturvården i markavvattningsfrågor. 58 s.
- 113 Linnér, H. 1978. Vatten- och kvävehushållningen vid bevattning av en sandjord. 16 s.
- 114 Ingvarsson, A. 1978. Bevattningsförsök inom trädgårdsområdet i Norden. Sammanfattning av försöksresultat publicerade t.o.m. 1977/78.
- 115 Ingvarsson, A. 1978. Bevattning i fältmässig trädgårdsodling - Teknik och ekonomi. 45 s.
- 116 Berglund, G. 1978. Frosthävningens inverkan på dräneringsledningar. 59 s.
- 117 Berglund, G. 1979. De odlade jordarna i Uppsala län, deras geografiska fördelning och fördelning på jordarter. 42 s.
- 118 Berglund, G. m.fl. 1979. Resultat av 1978 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 98 s.
- 119 Valegård, A. & Persson, R. 1981. Optimering av större ledningssystem för bevattning. 49 s.
- 120 Berglund, G. m.fl. 1980. Resultat av 1979 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 93 s.
- 121A Bjerketorp, A. 1982. Inventering av avrinningen inom regioner med stor jordbruksbevattning. 2A: Deskriptiv behandling av grunddata från Kristianstads län.
- 121B Bjerketorp, A. 1982. Inventering av avrinningen inom regioner med stor jordbruksbevattning. 2B: Resultat och slutsatser avseende Kristianstads län.

- 122 Berglund, G., Håkansson, A. & Eriksson, J. 1980. Om dikningsintensiteten vid dränering av åkerjord. Resultat av fältförsök med olika dikesavstånd. III. Jönköpings, Kronobergs, Kalmar och Gotlands län. 68 s.
- 123 Johansson, W. 1980. Bevattning och kvävegödsling till gräsvall. 83 s.
- 124 Heiwall, H. 1980. Underbevattning. Studier av grödans tillväxt och vattenförbrukning vid olika djup till grundvattenytan på en sandig grovmo. 17 s.
- 125 Berglund, K. 1982. Beskrivning av fem myrjordsprofiler från Gotland. 55 s.
- 126 Eriksson, J. 1982. Markpackning och rotmiljö. Packningsbenägenheten hos svenska åkerjordar. Förändringar i markens funktion orsakade av packning. 138 s.
- 127 Erpenbeck, J.M. 1982. Irrigation Scheduling. A review of techniques and adaptation of the USDA Irrigation Scheduling Computer Program for Swedish conditions. 135 s.
- 128 Berglund, K. & Björck, R. 1982. Om skördeskadorna i Värmlands län 1981.
Linnér, H. 1982. Växtnäringsbevattning.
Eriksson, J. 1982. A field method to check subsurface-drainage efficiency.
- 129 Karlsson, I. 1982. Soil moisture investigation and classification of seven soils in the Mbeya region, Tanzania. 56 s.
- 130 Wiklert, P.† , Andersson, S. & Weidow, B. Bearbetning och publicering: Karlsson, I. & Håkansson, A. 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del V. Skaraborgs län. 130 s.
- 131 Wiklert, P.† , Andersson, S. & Weidow, B. Bearbetning och publicering: Karlsson, I. & Håkansson, A. 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del VI. Örebro och Västmanlands län. 82 s.
- 132 Wiklert, P.† , Andersson, S. & Weidow, B. Bearbetning och publicering: Karlsson, I. & Håkansson, A. 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del I. Ultuna, Uppsala län. 125 s.
- 133 Wiklert, P.† , Andersson, S. & Weidow, B. Bearbetning och publicering: Karlsson, I. & Håkansson, A. 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del VII. Uppsala län. 140 s.
- 134 Wiklert, P.† , Andersson, S. & Weidow, B. Bearbetning och publicering: Karlsson, I. & Håkansson, A. 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del VIII. Stockholm, Södermanlands och Östergötlands län. 122 s.
- 135 Wiklert, P.† , Andersson, S. & Weidow, B. Bearbetning och publicering: Karlsson, I. & Håkansson, A. 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del IX. Hallands, Jönköpings, Kronobergs, Kalmar och Gotlands län. 104 s.
- 136 Wiklert, P.† , Andersson, S. & Weidow, B. Bearbetning och publicering: Karlsson, I. & Håkansson, A. 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del X. Malmöhus och Kristianstads län. 116 s.
- 137 Wiklert, P.† , Andersson, S. & Weidow, B. Bearbetning och publicering: Karlsson, I. & Håkansson, A. 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del XI. Kristianstads län. 110 s.

- 138 Berglund, G., Huhtasaari, C. & Ingevall, A. 1984. Dränering av jordar med rostproblem. 20 s.
Ingevall, A. 1984. Dränering av tryckvatten. 10 s.
- 139 Persson, R. 1984. Vattenmagasin för bevattning. 57 s.
- 140 Ingevall, A. 1984. Beräkning av lerhalt från vattenhaltsdata. En jämförelse mellan hygroskopicitets- och vissningsgränsdata som underlag för översiktlig jordartsbestämning. 61 s.
- 141 Alinder, S. 1984. Alternativa bevattningsformer. I. Bevattningsramp. 29 s.
- 142 Linnér, H. 1984. Markfuktighetens inflytande på evapotranspiration, tillväxt, näringsupptagning, avkastning och kvalitet hos potatis (*Solanum Tuberosum* L.). 153 s.
- 143 McAfee, M. 1984. Drainage of Peat Soils. A literature review. 38 s.
- 144 Messing, I. 1985. Inverkan av tung körning på mark vid två tidpunkter under vårperioden. En markfysikalisk studie av en lerjord i Revingehedsområdet. 20 s.
- 145 Jonsson, B. 1985. Organiska och syntetiska fibermaterial som dräneringsfilter. 46 s.

I denna serie publiceras forsknings- och försöksresultat vid avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet. Tidigare nummer i serien redovisas längst bak i rapporten och kan i mån av tillgång anskaffas från avdelningen.

This series contains reports of research and field experiments from the Division of Agricultural Hydrotechnics, Department of Soil Sciences. Earlier issues are listed at the end of the report and can be ordered - if still in stock - from the Division of Agricultural Hydrotechnics.

DISTRIBUTION:

Sveriges Lantbruksuniversitet
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik
750 07 UPPSALA, Sweden

Tel. 018-17 11 65, 17 11 81
