

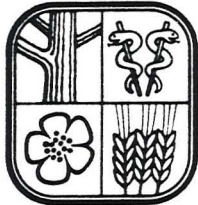


**SVERIGES  
LANTBRUKSUNIVERSITET**

# **TUBULERING – EN METOD ATT FÖRBÄTTRA DRÄNERINGEN PÅ JORDAR MED LÅG GENOMSLÄPPLIGHET**

**Ingmar Olovsson**

**Examensarbete i hydroteknik**



**SVERIGES  
LANTBRUKSUNIVERSITET**

# **TUBULERING – EN METOD ATT FÖRBÄTTRA DRÄNERINGEN PÅ JORDAR MED LÅG GENOMSLÄPPLIGHET**

**Ingmar Olovsson**

**Examensarbete i hydroteknik**



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INLEDNING	1
TUBULERINGSMETODEN	2
Redskap	2
Utlopp	3
LÄMPLIGA JORDAR	4
Mycket styva leror	4
Lerjordar	4
Organogena jordar	4
JORDENS PÅVERKAN VID TUBULERING	5
DRAGKRAFTSBEHOV	7
Motståndet i svärd respektive torped	7
Arbetsdjup	7
Vattenhalt	8
Körhastighet	9
Angreppsvinkel	9
Tubulatorns understödsyta	9
TUBULERINGENS INFLYTANDE PÅ VATTENRÖRELSER	10
Infiltration	10
Grundvattenrörelser	11
HÅLLBARHET	12
Jordart och strukturstabilitet	13
Jordens vattenhalt vid tubuleringstillfället	13
Markfallet	14
Tubuleringens utformning och utförande	15
FÖRSTÄRKNING AV TUBERNA	15
Plastförstärkning	16
Grusfyllda tuber	16
TUBULERINGSFÖRSÖK 1982-84	17
Försöksuppläggning	17
Limsta Säteri	17
Nederby	18
Vrams Gunnarstorp	18
Moholms Säteri	18
TUBULERINGENS TEKNISKA UTFÖRANDE	19
RESULTAT	20
Limsta Säteri	20
Nederby	21
Moholms Säteri	22
Vrams Gunnarstorp	23
DISKUSSION	23
SAMMANFATTNING	26
LITTERATURFÖRTECKNING	27

## INLEDNING

En god dränering är avgörande för en tillfredsställande utveckling av grödorna. På de mycket styva lerjordarna har det dock under nederbördsrika år varit svårt att uppnå en fullgod dräneringseffekt till en rimlig kostnad. I vissa fall krävs ett dikesavstånd på mindre än 10 m. Vid så korta avstånd mellan grendikena blir kostnaden för dräneringen hög. Den låga genomsläppligheten på dessa jordar medför att dräneringseffekten ofta begränsas till ett smalt område över täckdikena.

Det är inte heller ovanligt att en dränering på de mycket styva lerjordarna nästan helt slutar fungera efter några år. Genomsläppligheten i återfyllningen över dikena försämras snabbt och dräneringsvattnet får svårt att nå rören.

Ensidig stråsådesodling och allt tyngre maskiner har bidragit till att genomsläppligheten på de mycket styva lerorna försämrats. Risker att hamna i en ond cirkel är uppenbar. Den låga genomsläppligheten innebär att upp-torkningen försenas och att jorden blir fuktigare och mera packningskänslig vid bearbetningar. Detta medför att strukturen försämras ytterligare. Ett ökat behov av dragkraft uppstår och man skaffar större och större traktorer.

Under åren 1948 - 56 utfördes försök med tubulering vid lantbrukshögskolans avdelning för hydroteknik, varvid metodens möjligheter på olika jordtyper klarlades. Sommaren 1982 påbörjades åter försök med tubulering begränsade till de mycket styva lerjordarna. Försöken utformades som en kombinerad dränering med tubulering och vanlig täckdikning.

Syftet med försöken var att prova möjligheten att genom tubulering förbättra dräneringseffekten och nedbringa kostnaden vid dränering av de mycket styva lerjordarna. Genom tubulering kan avståndet mellan grendikena ökas och därmed kostnaden för dräneringen sänkas. Tubuleringen förbättrar även ytavvattningen och infiltrationen genom den luckrande effekten som tubulering har på jorden. Dessutom ges en möjlighet att tubulera om fältet för att återställa en dåligt fungerande dränering.

I detta examensarbete ges dels en litteraturöversikt om problematiken kring tubulering, dels redovisas erfarenheterna från fyra försök som anlades under sommaren 1982.



## TUBULERINGSMETODEN

Vid tubulering formas gångar (tuber) direkt i jorden för borttransport av vatten utan att något dike grävs eller dräneringsrör läggs ner. Med tubulering ges en möjlighet att sänka anläggningskostnaden för en täckdikning. På vissa jordar kan tubuleringen även innebära en effektivare dränering. Den luckrande effekt på jorden som tubuleringen för med sig kan, speciellt på svårgenomsläppliga jordar, ha stor betydelse för infiltrationskapaciteten (LeedsHarrison m fl 1982) och därmed för dräneringseffektiviteten. Tubdiametern är vanligen omkring 10 cm och vid en vanlig tubulering är tuberna dragna parallellt med 2 m avstånd på ett djup av ca 50 cm (Rycroft och Thouburn, 1974).

Tubuleringens hållbarhet varierar beroende på rådande förutsättningar och kan enligt Walpole (1971) under goda förhållanden vara 10 år eller mer. Tubulering kan vara ekonomiskt försvarbar även när omtubulering krävs var tredje år. I England används tubulering allmänt vid dränering på lerjordar, speciellt i de östra regionerna där årsnederbörden är ca 700 mm.

Svenska försök med tubulering utfördes under åren 1948 - 56 vid institutionen för hydroteknik på lantbrukshögskolan, där metodens möjligheter och begränsningar klarlades (Berglund, 1956). Tubulering visade sig användbar på de styvare lerorna, men metoden har inte fått någon större spridning i praktiken. En orsak till detta kan ha varit att tillräcklig dragkraft ej fanns på gårdarna. Idag finns däremot på flertalet gårdar någon traktor på minst 75 kW, vilket i de flesta fall är tillräckligt vid tubulering.

### Redskap

Vid tubulering används ett redskap (tubulator) vars arbetande organ består av ett lodrätt svärd med en horisontellt gående torped (fig. 1). Torpeden följs av en expander för att ytterligare bearbeta och stabilisera tubväggen. Tubuleringen utförs vanligen till ett djup mellan 45 - 60 cm.

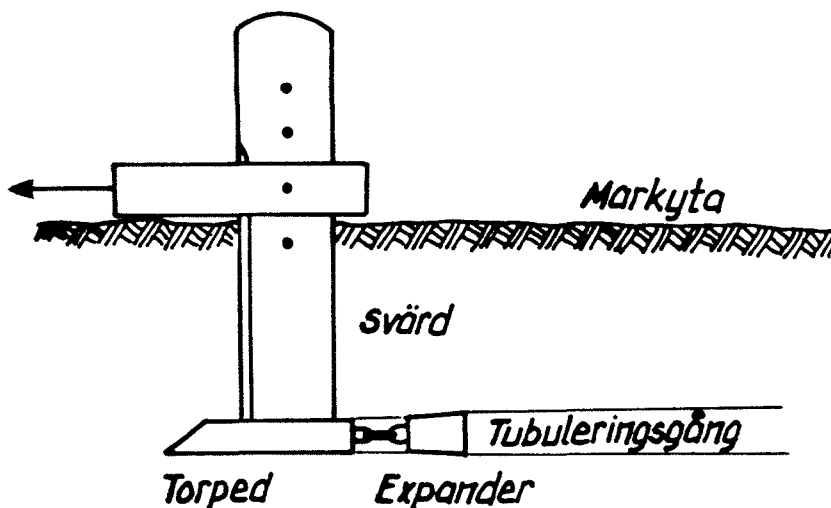


Fig. 1. Principskiss över en tubulators arbetsätt.

Möjlighet att reglera fallet i tuberna finns som regel inte på de tubulatorer som används i praktiken. Fallet i tuberna kommer således att följa markfallet. Vid planeringen av dräneringen väljs därför tubuleringsriktningen så att fallförhållandena blir lämpliga.

### Utlopp

Utloppet från tuberna kan ske direkt i ett öppet dike eller via ett grusfilter ner till en täckt dräneringsledning (fig. 2 och 3). Mynnar tuben i ett öppet dike är det lämpligt att förstärka utloppet med ett 1 - 2 m långt rör av något slag (Berglund, 1956). Utloppet faller annars lätt igen under inverkan av frost och torka eller genom direkt mekanisk åverkan.

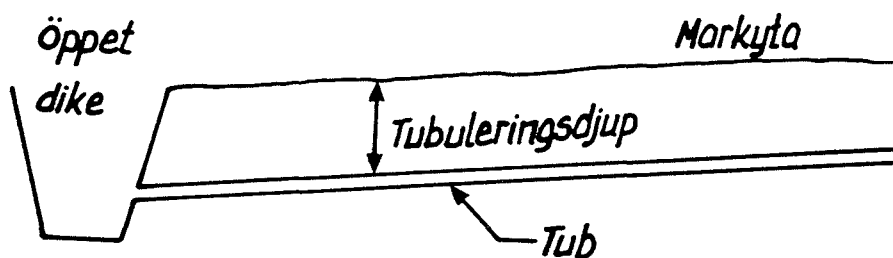


Fig. 2. Tubulering där tuberna mynnar i öppet dike (efter Berglund, 1956).

Vid en kombination av täckdikning och tubulering, grusas täckdikena upp till ca 10 cm över tubuleringsdjupet. Tubuleringen sker sedan vinkelrätt mot täckdikena och vattnet i tuberna rinner ner genom gruset till dräneringsledningen (fig. 3).

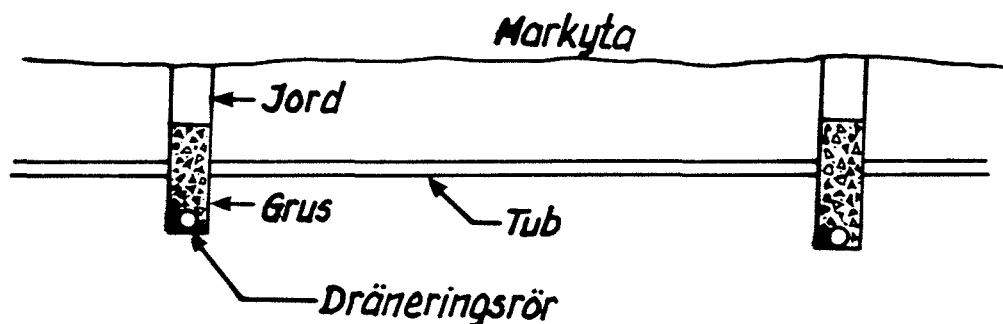


Fig. 3. Kombination av täckdikning och tubulering (efter Berglund, 1956).

Det är viktigt att tuberna inte får stå vattenfyllda under någon längre period, eftersom detta kan leda till att de kollapsar. Därför måste gruset i återfyllningen till täckdikena ha en hög genomsläpplighet, så att tuberna hinner tömmas även vid stora flöden. Enligt engelska undersökningar (Dennis och Croote, 1977) bör genomsläppligheten vara 2500 m/dag vid en tublängd av 40 m, ett avstånd mellan tuberna på 2,5 m och en dimensionerande nederbörd på 60 mm/dag. Detta innebär att ett grusmaterial med en kornstorleksfördelning mellan 3 - 6 mm bör användas. Vid ett normalt di-

kesdjup på ca en meter och ett tubuleringsdjup på exempelvis 50 cm blir grusåtgången stor och därmed kostnaden för grusningen hög. Åtgången av grus kan minskas genom att modifiera tubuleringsdjupet i intervallet 40 - 60 cm och dikesdjupet i intervallet 100 - 70 cm.

## LÄMPLIGA JORDAR

### Mycket styva leror

I mycket styva lerjordar, med låg genomsläpplighet, sker vattenrörelserna huvudsakligen via sprickor och maskgångar. När dessa kanaler inte finns, blir vattenrörelserna nästan försumbara (Unhanad och Kadir, 1975). För att uppnå en fullgod dränering på dessa jordar krävs en mycket intensiv dränering med dikesavstånd ner mot 10 m. Effekten av dräneringen kan dessutom bli kortvarig och en omdikning efter 15 - 30 år kan bli nödvändig (Berglund, 1956). Att dräneringen slutat fungera beror inte på själva dräneringssystemet, utan på att jorden över dikena blivit så ogenomsläpplig att vattnet inte tar sig ner till rören. På de mycket styva lerorna utgör tubuleringen också en möjlighet att minska dikningskostnaden. En kombination av grusade täckdiken och tubulering vinkelrätt mot dessa innebär att dikesavståndet kan ökas. Om dräneringen efter några år försämras, beroende på raserade tuber eller låg genomsläpplighet, är det vidare en relativt enkel och billig åtgärd att tubulera om fältet och därmed återfå fullgod dräneringseffekt.

### Lerjordar

Även på lerjordar, som det normalt inte innebär några större problem att dränera med ett konventionellt täckdikessystem, kan tubulering bli aktuell. Då förutsättningarna är gynnsamma för tubulering, kan täckdikesavståndet ökas och därmed anläggningskostnaden minskas, vilket skulle medföra en billigare dränering. Tubulering kan också användas som ett komplement på ur dräneringssynpunkt speciellt besvärliga delar av ett fält.

### Organogena jordar

På organogena jordar begränsas ofta funktionstiden för en rördränering av att sättningar och bortodling leder till att rören med åren kommer allt ytligare och till slut plöjs upp. De mulljordar som är i behov av dränering är därför intressanta för tubulering. Tubuleringen utförs då lämpligen med utlopp i öppna diken, eftersom grusade rördiken måste ligga djupt med tanke på sättning och bortodling. Även om grusning och vattenavledning kan ordnas, kan stabiliteten var så dålig att rördikena snart är satta ur funktion. Mulljorden bör ha en humifieringsgrad av minst H5 enligt L. von Posts humifieringsskala och ha en relativt hög packningsgrad för att vara lämplig för tubulering (Eggelsmann, 1978). På de organogena jordar, som vid uttorkning bildar ett stabilt spricksystem och blir självdrenerande, kan tubulering vara en metod att avvattna markprofilen för att påskynda att detta spricksystem uppstår.



## JORDENS PÅVERKAN VID TUBULERING

Vid djupbearbetning med smala arbetsorgan kan jorden deformeras på två olika sätt, luckrande och kompakterande. På grunt djup, pressas jorden uppåt genom hela arbetsdjupet och resultatet blir en uppsprucken och lucker struktur. Vid större arbetsdjup blir effekten i det övre jordlagret liknande, men på djupet rör sig jorden endast framåt och åt sidan, vilket innebär att jorden kompakteras runt arbetsorganet (fig. 4). Det djup där övergången mellan olika jorddeformationer sker, kallas för kritiskt djup (Spoor, 1979).

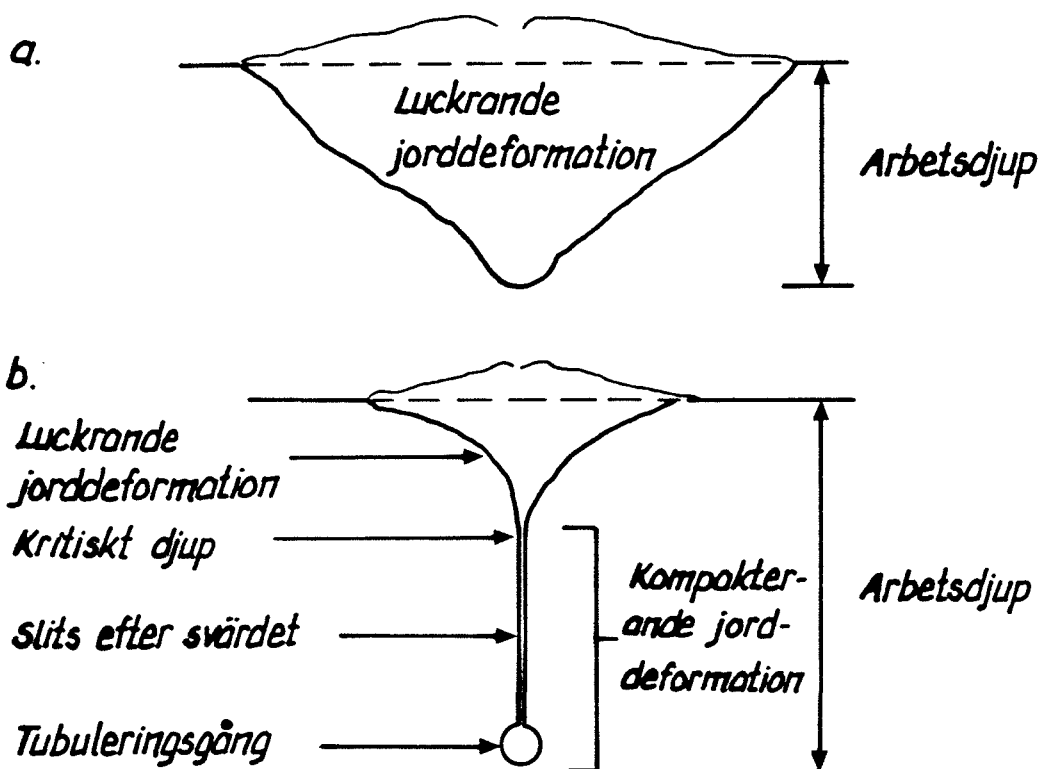


Fig. 4. a, Grund bearbetning med luckrande jorddeformation genom hela arbetsdjupet.

b, Djup bearbetning med luckrande jorddeformation i den övre delen och kompakterande i den undre delen av arbetsdjupet (efter Godwin m fl, 1981).

På vilket djup övergången mellan luckrande och kompakterande jordrörelser sker, beror både på jordens egenskaper och arbetsorganets utformning. De viktigaste jordfaktorerna som påverkar det kritiska djupet är enligt Spoor (1979) följande:

- Vertikala sammanhållande krafter, som motverkar uppåtriktade jordrörelser
- Densitet
- Vattenhalt
- Textur och struktur

De vertikala krafterna, som motverkar jordens uppbyggnad, kan påverkas både av sammanhållande krafter i jorden och laster på markytan. De samman-

hållande krafterna i jorden är beroende av jordens skjuvhållfasthet, vilken ökar med minskad vattenhalt.

Vid stark uttorkning av matjorden, utan att alven på bearbetningsdjup torakat ut i motsvarande grad, kan det kritiska djupet minska betydligt. De ökade sammanhållande krafterna i matjorden motverkar då jordens uppsprickning. Belastningar från maskiner och hjul på markytan av den jord som bearbetas ger en liknande effekt. Vid en given vattenhalt, minskar det kritiska djupet med minskad densitet och ökade vertikala sammanhållande krafter. En ökad vattenhalt, tenderar också att minska det kritiska djupet (Spoor, 1979).

Hur arbetsredskapets utformning påverkar det kritiska djupet, beror i huvudsak på angreppsvinkeln (fig. 5) och på förhållandet mellan arbetsdjup och arbetsorganets bredd. Minskad angreppsvinkel innebär att jorden får en mera uppåtriktad rörelse, vilket innebär att det kritiska djupet ökar. Vid ett givet arbetsdjup ökar det kritiska djupet med en ökad bredd på arbetsorganet (Spoor, 1979).

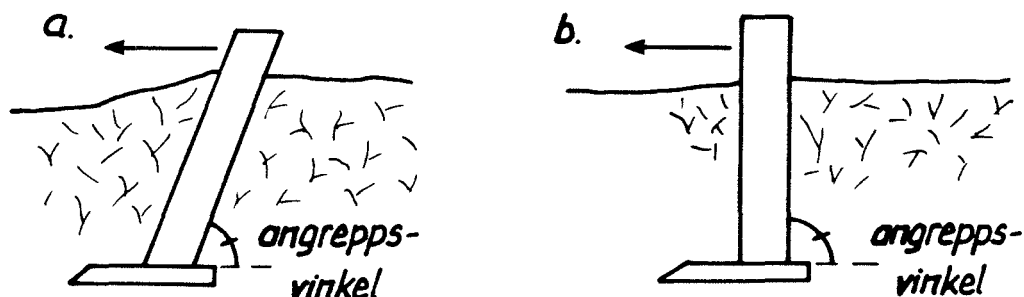


Fig. 5. Angreppsvinkelns betydelse för sprickbildningen  
 a, Minskad angreppsvinkel medför ökad sprickbildning  
 b, Ökad angreppsvinkel medför minskad sprickbildning

Vid tubulering måste torpeden arbeta så långt under det kritiska djupet, att en stabil gång bildas vid torpedens och expanderns bearbetning. Pressas tuben för nära det kritiska djupet, får den en dålig hållfasthet, eftersom den luckra och uppspruckna strukturen når ända ned till tuben (Godwin m fl, 1981).

Luckringen och sprickbildningen över det kritiska djupet, som tubuleringen åstadkommer tillsammans med slitsen efter svärdet ned till tuben, är viktiga effekter vid tubulering. Infiltrationen och vattentransporten från markytan och de övre jordlagren förbättras. Detta har stor betydelse speciellt på de täta lerjordarna. För att erhålla en god infiltration brukar ett tubuleringsavstånd av 2 - 5 m användas i praktiken. På jordar med dålig genomsläpplighet är det lämpligt att välja det kortare avståndet.

Det är viktigt att jorden är lagom fuktig när tubuleringen utförs. Är det för fuktigt, formas tuberna utan att tillräcklig sprickbildning och uppluckring sker som förbättrar genomsläppligheten. Om jorden däremot är för torr, blir sprickbildningen i närheten av tuben så kraftig att hållbarheten försämras. Några absoluta värden på önskvärd vattenhalt går inte att ange, utan erfarenheten får avgöra vid vilken vattenhalt tubuleringen bör utföras (Cavelaars, 1974).

## DRAGKRAFTSBEHOV

En av de mest avgörande faktorerna för kostnaden vid tubulering jämte tubavståndet är dragkraftsbehovet. De faktorer som framför allt påverkar dragkraftsbehovet är jordens vattenhalt, arbetsdjup, svärdets och torpedens storlek, körhastighet, angreppsvinkel och tubulatorns understödsyta.

Motståndet i svärd respektive torped

Mätningar av de horisontella krafterna som påverkar svärdet respektive torpeden (ingen expander användes), redovisade av Godwin m fl (1981), visar att svärdet svarar för den största andelen av krafterna i körriktningen (fig. 6). Vid mätningar av de horisontella krafterna med olika expandrar efter torpeden, 90 resp 100 mm, konstaterades att dragkraftsbehovet ökade något, när den större expandern användes. Ökningen var bara signifikant i ett fall och var då 10,4 %.

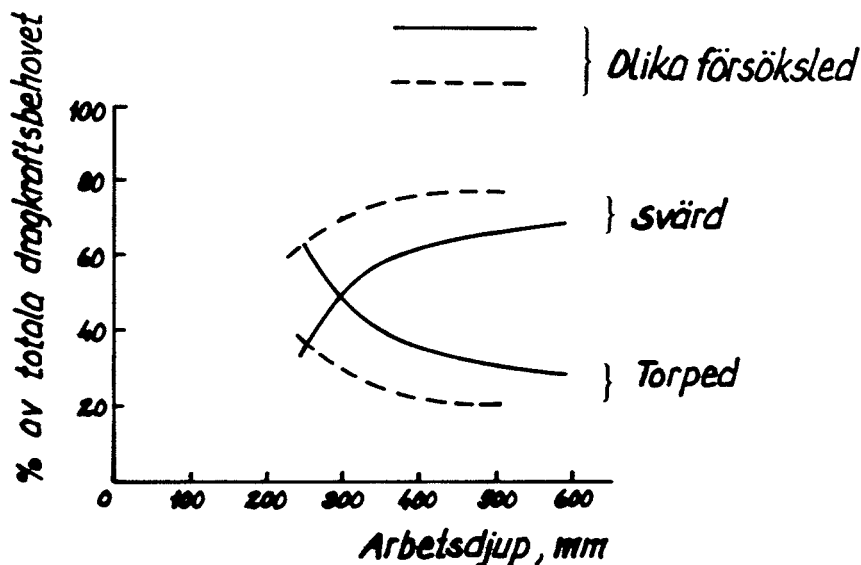


Fig. 6. Arbetsdjupets betydelse för fördelningen av dragkraften på svärdet resp torpeden (efter Godwin m fl, 1981).

Att svärdet påverkas av större horisontella krafter än torpeden, beror huvudsakligen på att dess friktionsyta, som är i kontakt med jorden, är större än torpedens cylindriska yta (El-Schafei, 1980). När det övre jordlagret har högre skjuvhållfasthet, exempelvis beroende på en högre uttorkning än jorden på tubuleringsdjupet, är krafterna betydligt större på svärdet än på torpeden (Godwin m fl, 1981).

Arbetsdjup

Arbetsdjupet har naturligtvis stor betydelse för dragkraftsbehovet och ökar kraftigt med ökat djup. Fig. 7 visar att det framför allt är krafterna på svärdet som orsakar det större dragkraftsbehovet vid ökat arbetsdjup (Godwin m fl, 1981). El-Schafei och Al-Herr (1980) fann i en modellstudie att kraften ökade med 12 % för varje centimeters ökning av tubuleringsdjupet. Ur fig. 7 kan även utläsas att de vertikala krafternas storlek nästan helt åstadkommes av torpeden.

### Vattenhalt

Dragkraftsbehovet minskar i genomsnitt med 5 % för varje procents ökning av vattenhalten, inom den vattenhaltsvidd som ger jorden en plastisk konsistens, enligt modellförsök redovisade av El-Schafei och Al-Herr (1980).

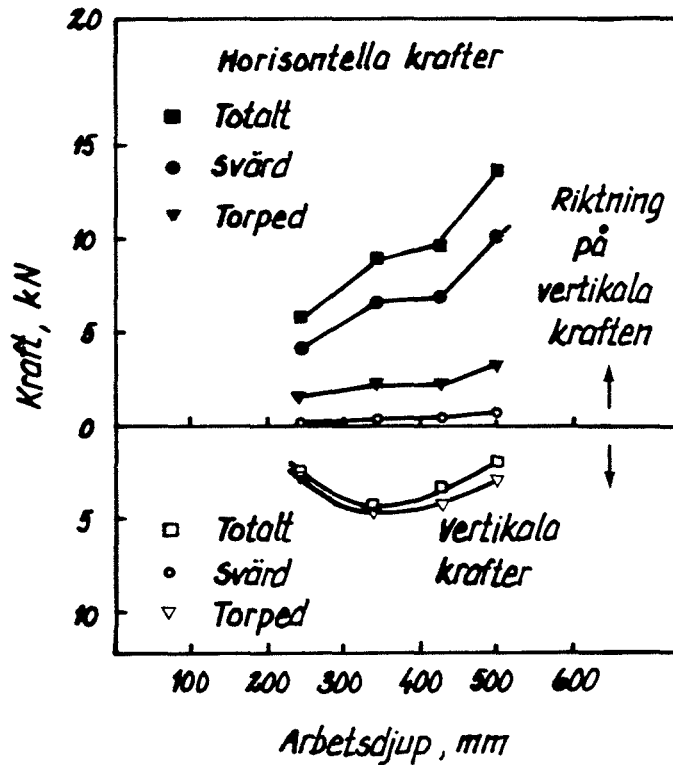


Fig. 7. Dragkraftsökningen vid ökat arbetsdjup (efter Godwin, 1981).

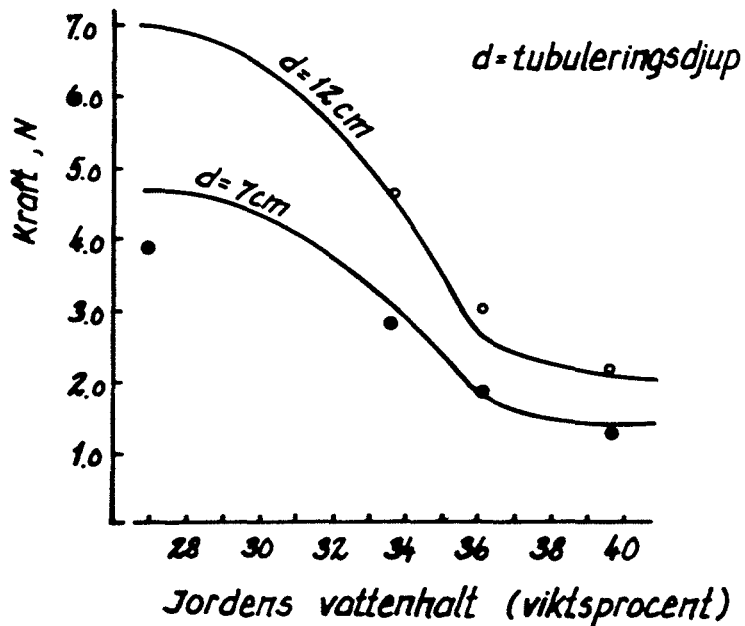


Fig. 8. Dragkraftens beroende av vattenhalten belyst i modellförsök (efter El-Schafei och Al-Herr, 1980).

När vattenhalten var i närheten av antingen övre eller undre plasticitetsgränsen, varierade däremot dragkraftsbehovet beroende av vattenhaltsförändringar litet. Detta visas i fig. 8, där kurvorna för dragkraftsbehovet planar ut både vid de lägre och högre vattenhalterna.

### Körhastighet

Det totala dragkraftsbehovet ökar linjärt med ökad körhastighet. Effekten av hastighetsökningen är större på svärdet än på torpeden, vilket innebär att svärdets andel av den totala dragkraften blir större vid ökad körhastighet (Godwin m fl, 1981) (fig. 9).

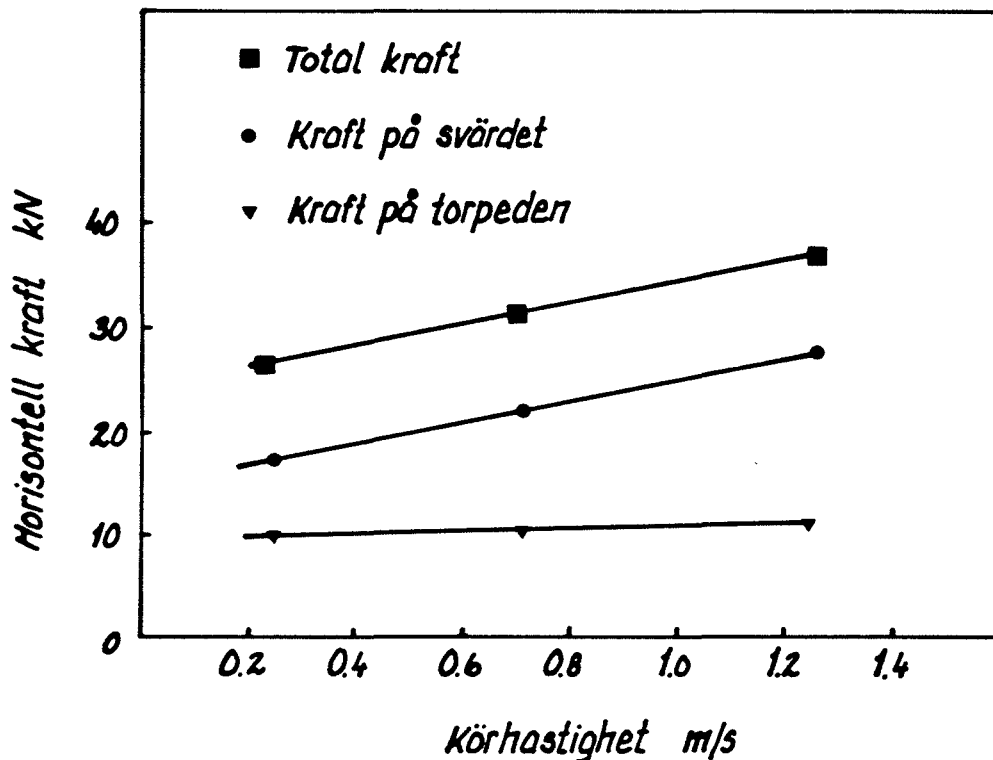


Fig. 9. Körhastighetens inverkan på dragkraftsbehovet (efter Godwin m fl, 1981)

### Angreppsvinkel

Vid minskning av angreppsvinkeln vid djupbearbetning minskar dragkraftsbehovet beroende på att jorden spricker sönder och luckras mera (Spoor, 1979). Försök med minskad angreppsvinkel vid tubulering har däremot inte medfört minskat dragkraftsbehov, eftersom jorddeformationen här i huvudsak domineras av kompakterande jordrörelser (Godwin m fl, 1981).

### Tubulatorns understödsyta

På tubulatorer som dras fram på markytan, kan understödsytan svara för en stor del av dragkraften om t ex jordsökning eller tubulatorns tyngd gör att kraften mot jordytan blir stor. Dragkraftsbehovet kan i vissa fall öka med 85 % jämfört med när understödsytan inte är i kontakt med markytan.

Detta beror dels på friktionskrafter och dels på att den nedåtriktade kraften från tubulatorens ökar motståndet för jordens deformation (Godwin m fl, 1981).

#### TUBULERINGENS INFLYTANDE PÅ VATTENRÖRELSER

Det primära vid tubulering är inte att reglera grundvattnets nivå, utan att förbättra borttransporten av ytvatten och fritt vatten i de övre jordlagren (Cavelaars, 1974). Speciellt på svår genomsläppliga jordar är detta värdefullt, eftersom den låga genomsläppligheten kan medföra att matjorden står vattenmättad under långa perioder trots att den egentliga grundvattennivån ligger betydligt djupare.

#### Infiltration

Betydelsen för vattentransporten till tuberna, dels av slitsen efter svärdet och dels av den uppsprickning som sker i de övre jordlagren vid tubulering har Leeds-Harrisson m fl (1982) visat i ett fältförsök. I försöket mättes flödet i tuber som var utförda med en väl utvecklad spricka efter svärdet (försöksled 1) och gångar som utfördes genom att pressa torpeden genom jorden med en domkraft (försöksled 2), utan att någon sprickbildning uppstod, upp till markytan. För att bestämma sprickbildningens betydelse för infiltrationen, gjordes infiltrationsmätningar i de olika försökslederna. Mätningarna utfördes dels rakt över tuben och dels 0,5 m och 1 m från tubuleringsgången. Tubuleringen var utförd med 2 m avstånd mellan tuberna. Tubuleringsdjupet var 55 cm i samtliga försöksled. Tabell 1 visar att sprickbildningen i försöksled 1 har medfört en kraftig ökning av infiltrationen i jämförelse med mätningar på 0,5 m och 1 m avstånd från tuben.

Tabell 1. Infiltrationskapacitet (i mm/h) på olika avstånd från tuberna (Leeds-Harrisson m fl, 1982)

Försöksled 1				
(med slits)	Ruta 1	Ruta 4	Ruta 5	Medel
Över tuberna	527	3 885	3 131	2 514
50 cm från tuberna	21	49	23	31
100 cm från tuberna	32	21	36	30
Försöksled 2				
(utan slits)	Ruta 2	Ruta 3	Ruta 6	Medel
Över tuberna	6	10	62	26
50 cm från tuberna	45	3	18	26
100 cm från tuberna	5	3	16	8



Den obetydliga skillnaden mellan infiltration på 0,5 m avstånd och 1 m avstånd från tuben, tyder också på att sprickbildningen är ganska begränsad till området över tuben. I försöksled 2, där tuben pressats med hjälp av domkraft, har infiltrationskapaciteten inte ökat i någon större utsträckning beroende på avsaknaden av sprickbildningen efter svärdet. I försöksruta 6 uppstod dock en svag sprickbildning, eftersom jorden var ganska uttorkad. Jämförande mätningar mellan försöksleden med avseende på flödestoppar, totalt vattenflöde och hur länge flödet varade efter regnväder utfördes också. Fig. 10 visar att flödestoppen i försöksled 1 uppstår direkt vid nederbördstillfället, medan flödesmaximum i försöksled 2 är fördröjd med 6 - 8 timmar. Flödet i tuberna efter regnets upphörande varade dubbelt så länge i försöksled 2 jämfört med försöksled 1 (48 resp 24 timmar). Fig. 10 visar också att ca 50 % av det totala vattenflödet efter ett regn har erhållits efter ca 6 timmar i försöksled 1, medan motsvarande tid i försöksled 2 är 12 - 15 timmar.

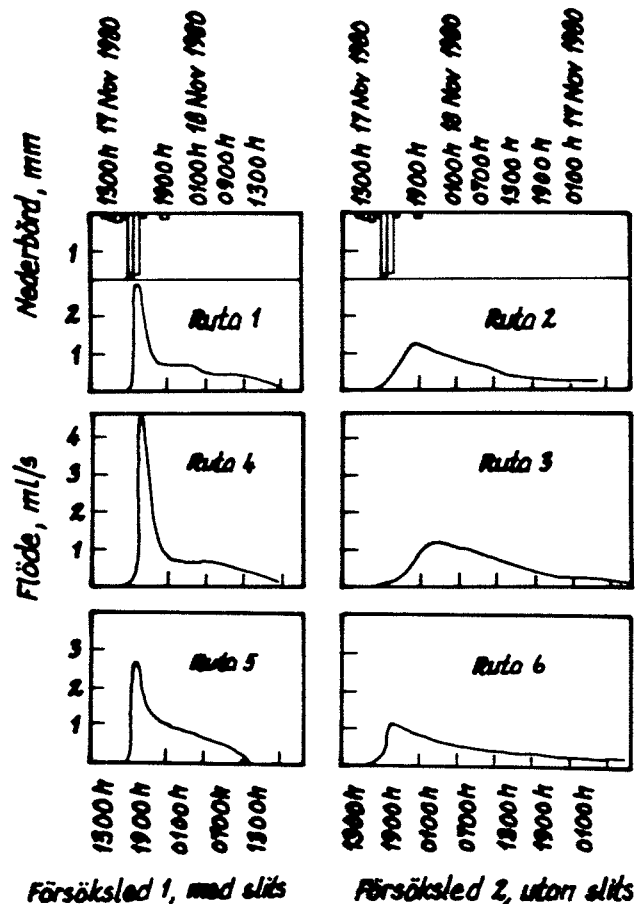


Fig. 10. Vattenflödet i tuber utförda med eller utan slits (efter Leeds-Harrisson m fl, 1982).

### Grundvattenrörelser

När grundvattenytan står i nivå med markytan, sker vattenrörelsen i ett kombinerat dräneringssystem med tubulering och grusade grendiken dels mot tuberna och dels mot grenledningarna. Detta leder till att grundvattennivån ganska snabbt sjunker ned mot dessa och antar en bågform som ses i fig. 11.

Kurvan b a c representerar grundvattenbågen mellan grendikena och kurvan d a e grundvattenbågen mellan tuberna.

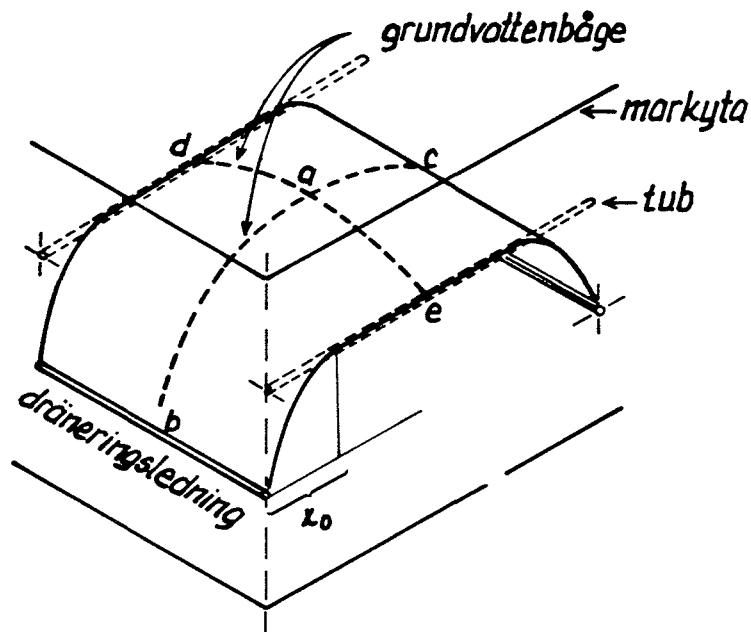


Fig. 11. Grundvattennivån i ett kombinerat tubulerings- och täckdikessystem (efter Unhanand och Kadir, 1975).

Försök har visat att flödet vid tubernas utlopp ganska snart avtar när grundvattennivån börjar sjunka, även om grundvattennivån fortfarande ligger över tubuleringsdjupet. Detta tyder på att mycket av det vatten som rinner in i tuberna, sipprar ut igen innan det når grendikena.

Den del av tuben ( $X_0$  i fig. 11) där vattnet kan sippra ut, är inte konstant utan ökar efter hand som grundvattennivån sjunker. När grundvattennivån fortsätter att sjunka, minskar gradienten mot tuberna, så att flödet mot täckdikena dominerar allt mer. Till slut nås det stadium när grundvattennivån har sjunkit ner under tubuleringsdjupet, och vattenrörelsen är då densamma som vid ett ordinärt dräneringssystem (Unhanad och Kadir, 1975).

#### HÅLLBARHET

Hållbarheten är en avgörande faktor för tubulerings effektivitet och lönsamhet. Funktionstiden för en tubulering utförd under goda förutsättningar är normalt högst 5 - 12 år (Cavelaars, 1974). När tubuleringen utförs under förhållanden som inte är idealiska är det inte ovanligt att tubernas hållbarhet blir kortare än ett år. Funktionstiden för en tubulering påverkas av en rad faktorer, där de viktigaste är följande:

- Jordart och strukturstabilitet
- Jordens vattenhalt vid tubuleringstillfället
- Markfall
- Tubulerings utformning och utförande

### Jordart och strukturstabilitet

Vid tubulering måste jorden ha en viss plasticitet, för att tuben skall kunna formas och vara stabil nog att få en lång livslängd. På fastmarksjordar är förutsättningen för att få hållbara tuber större ju högre lerhalten är. Det är svårt att ange någon lägsta lerhalt för att tubulering skall kunna lyckas. Theobald (1963) anger en lägst lerhalt på mellan 25 - 50 % och ett sandinnehåll som inte överstiger 20 %. Eggelsmann (1978) anser att lerhalten skall vara minst 30 % och att kvoten mellan lerhalten och silthalten (silt = mjäla + finmo) bör vara större än 0,5. Lerjordar med högt inslag av sand eller silt har ofta en låg stabilitet. Det grövre materialet eroderar lätt och följer med vattenströmmen (Walpole, 1971). Det är också viktigt att jordarten är jämn på tubuleringsdjupet. Sandfickor eller sandlager bildar partier där tuberna kollapsar.

På struktursvaga jordar, där aggregat och porsystem lätt bryts ned och jorden slammar igen vid uppfuktning, är förutsättningarna sämre för en hållbar tubulering, än på en strukturstabil jord med samma lerhalt (Rycroft och Thorburn, 1974). För att i praktiken få en uppfattning om en jordslämplighet för tubulering föreslår Theobald (1963) följande metod. En boll med ungefär 20 cm diameter, bakas ihop och placeras under vatten. Om bollen efter några dagar fortfarande inte fallit sönder, är det en indikation på att tubuleringen kan bli lyckad. Om däremot bollen är upplöst, är det inte troligt att en tubulering skulle få en tillräcklig livslängd.

### Jordens vattenhalt vid tubuleringstillfället

Det är av stor vikt att leran har en för tubulering gynnsam vattenhalt när tubuleringen utföres.

Vid för hög vattenhalt bildas inte det för infiltrationen nödvändiga spricksystemet (Cavelaars, 1974). För kraftig bearbetning av expandern kan också medföra att slitsen efter svärdet sluts och att tubväggarna blir så täta att ett vattentryck byggs upp runt tuben. Detta vattentryck kan leda till att tubväggen brister och kollapsar direkt eller att jorden sväller och tubväggen försvagas (Spoor m fl, 1982).

Är däremot vattenhalten för låg blir sprickbildningen så kraftig ända ned till tubuleringsdjupet, att stabiliteten i närheten av tuben försämras med en förkortad livslängd som följd.

Vid idealiska förhållanden för tubulering är markytan torr och fast. Då får traktorhjulen ett bra fäste och en god sprickbildning uppkommer i det övre jordlagret. Samtidigt skall jorden vara lagom fuktig och plastisk på tubuleringsdjupet, så att en stabil tub kan bildas. Detta innebär att senvåren och försommaren ofta är en lämplig tidpunkt, men även senhösten kan erbjuda lämpliga tillfällen för tubulering. Det är svårt att ange vid vilken vattenhalt jorden på tubuleringsdjupet är lagom plastisk. Kendall (1946) rekommenderar ett enkelt prov enligt följande, för att avgöra om vattenhalten är lämplig. Om en lerklump modelleras till ungefär ett hönsäggs storlek och sedan kläms ihop mellan tumme och pekfinger tills de möts i lerklumpen, utan att den spricker är vattenhalten tillräckligt hög. Leran

får å andra sidan inte innehålla fritt vatten. Detta kan ses om ett lerstycke hålls upp mot solljuset. Lerytan ser blank ut när solljuset reflekteras mot vattnet.

Den bearbetning som torped och expander åstadkommer, innebär att struktur-stabiliteten i tubväggen försvagas. Därför är det viktigt att tuberna får stå torra under den första veckan efter tubuleringen, så att jorden i tubväggarna hinner stabiliseras (Sporer m fl, 1982).

Om det vid tubuleringstillfället förekommer torksprickor på tubuleringsdjupet, kommer jord att pressas ut i dessa och porositeten minskar. När sedan jorden sväller vid ökad vattenhalt, kan detta ske endast genom att jorden som pressats ut i sprickorna pressas tillbaka i tuben. Ju lägre vattenhalten är när tubuleringen sker, desto större risk är det att tubernas diameter kommer att reduceras, när markprofilen åter uppfuktas. En liknande situation kan uppstå under perioder då djupa torksprickor bildas som fylls med jord ovan ifrån. När sedan jorden sväller och torksprickorna går igen, kan den lösa jorden pressas ut i tuberna (Sporer m fl, 1982).

#### Markfallet

Eftersom tubväggarna löses upp och tuberna raseras, om de står vattenfyllda under en längre tid, är det viktigt att utloppet från tuberna fungerar och att vattnet snabbt kan avrinna och inte blir stående i tuberna (Berglund, 1956).

Det är därför nödvändigt att de dräneringsledningar som skall tjäna som avlopp för tubuleringen, läggs genom svackor och lägre partier på fältet. För att mindre ojämnheter på markytan inte skall medföra svackor på tuben, där vatten kan bli stående är det viktigt att fältet är så jämnt som möjligt vid tubuleringstillfället och att tubulatorn har en lång understödsyta, som gör att känsligheten för ojämnheter minskar.

På de tubulatorer som används i praktiken, finns i regel ingen möjlighet att reglera djupinställningen under arbetets gång. Detta innebär att fallet i tuberna bestäms av marklutningen. Som minsta gradient för att tubuleringen kan anses lämplig, anges av Smedema och Rycroft (1983) 2 o/oo och av Cavelaars (1974) 5 - 10 o/oo.

I försök som redovisas av Harris (1984), har undersökningar gjorts hur tubernas hållfasthet påverkas av att de står vattendränkta, under olika långa tidsperioder. Försöken som är utförda i en jord som var väl lämpad för tubulering, visade att vatten stående i tuberna mindre än 3 timmar, inte tydde på någon förkortning av livslängden. Tuber som stått vattenfyllda under längre perioder, upp till 20 dygn, visade sig däremot få en förkortad livslängd, dock ej mer än till 3 eller 4 år, mot 5 år som var normal livslängd för en tubulering på försöksplatsen.

Vid för stora gradienter i tuberna blir vattenhastigheten så stor, att risk för erosion uppstår. Detta kan leda till att tuberna kollapsar eller att slam avsätts i grusmaterialet över dräneringsledningarna, så att tubernas utlopp med tiden därmed blockeras (Berglund, 1956). Som största rekommenderade gradient, anger Walpole (1981) 30 o/oo, medan Berglund (1956)

anser att den övre gränsen kan sättas till 100 o/oo. Vid stora marklutningar måste därför körriktningen vid tubuleringen väljas snett mot markfallet, så att för stora gradienter i tuberna undviks.

#### Tubuleringens utformning och utförande

Under för övrigt likartade förhållanden har det visat sig att en djupare tubulering har en längre varaktighet än en grundare (Berglund, 1956). Förklaringen till detta är enligt Godwin m fl (1981), att torpeden har arbetat nära eller över det kritiska djupet så att stabila tuber inte kunnat formas. Vid för grund tubulering är det även risk för att tuberna skadas mekaniskt vid arbeten på fältet, speciellt vid plöjning när traktorhjulena går i fåran eller vid arbeten med djupkultivatorer.

Kostnaden för tubuleringen ökar snabbt med större tubuleringsdjup, eftersom dragkraftsbehovet stiger drastiskt när djupet ökas. Därför är tubuleringsdjupet ofta en kompromiss mellan hållbarheten och kostnaden. Ett tubuleringsdjup på 55 - 65 cm anser Berglund (1956) vara önskvärt ur hållbarhetssynpunkt.

Tubdiametern inverkar också på hållfastheten. En liten tubdiameter innebär, att även en liten defekt på tuben räcker för att den skall sättas igen. Vid stor diameter på torped och expander är det risk för att den bildade tuben får låg hållfasthet. Den större lyftande kraften på jorden, kan göra att sprickbildningen på tubuleringsdjupet blir för stor. I lerjordar rekommenderas därför en expanderdiameter på 80 - 100 mm och i organogena jordar 120 - 200 mm (Eggelsmann, 1978).

Sannolikheten att en tub skall rasera på något ställe, ökar med ökad längd på tuben. Vid goda förutsättningar för tubulering är det möjligt att anlägga relativt långa tuber. Tubernas längd vid tubulering över ett system med grusade diken måste därför anpassas efter rådande förhållanden, men ett dikesavstånd mellan 20 - 80 m brukar vara lämpligt (Smedema och Rycroft, 1983).

Vid korta avstånd mellan tuberna betyder det naturligtvis mindre, om en eller annan tub slutar att fungera. Avståndet mellan tuberna bör dock inte understiga 1,5 m, eftersom risk föreligger att sprickbildning i sidled, gör att tubernas hållfasthet försämras (Berglund, 1956).

#### FÖRSTÄRKNING AV TUBERNA

För att förlänga funktionstiden för en tubulering har olika försök gjorts med att förstärka tuberna. Den vanligaste anledningen till att en tubulering kollapsar, är att jord rasar ner från tubens tak, vilket gör att den sätts igen och vattenflödet stoppas. Därför är den huvudsakliga uppgiften vid förstärkning av tuberna, att motverka de krafter som orsakar nedfall av jord från tubens tak. Av de försök som gjorts, verkar olika typer av plastförstärkning eller grusfyllnad av tuberna mest lovande.

### Plastförstärkning

När plast utnyttjas som förstärkning av tuberna, kan antingen en perforerad plastslang eller plastremсор som viks ner på olika sätt i tuberna användas. För detta krävs att tubulatorens, efter svärdet, är utrustad med någon typ av mataranordning som styr ner plasten i tuben. I fig. 12 visas några exempel på hur olika typer av nedvikta plastremсор kan vara utformade (Fouss och Donnan, 1962). I varianten till vänster, formas remsan till ett rör, och skarven låses genom att olika hack i remsans kanter griper tag i varandra på ett sätt som påminner om ett blixtlås. I den enklaste typen (I) är remsan endast formad till ett tak i tuben, som i II har kompletterats med ytterligare en plastremsa som golv för att minska jorderosion och flödesmotstånd i tuben. III visar ett rör som är format med ett överlapp, och i IV har en extra remsa lagts över överlappet, för att minska inslamningen i röret. Försök redovisade av Fouss och Donnan (1962) där "blixtlåsmodellen" och överlappsmodellerna provats, visade att funktionstiden blev längre för dessa, jämfört med vanlig tubulering.

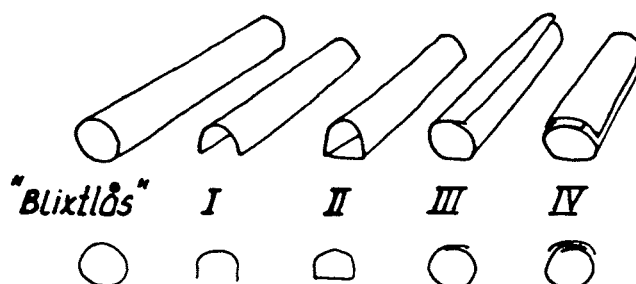


Fig. 12. Olika typer av nedvikta plastremсор för förstärkning vid tubulering (efter Fouss och Donnan, 1962).

### Grusfyllda tuber

Försök med att fylla tuberna med grus vid tubuleringen för att förlänga funktionstiden har bl a utförts på Nord Irland. Tubulatorens utrustas då med

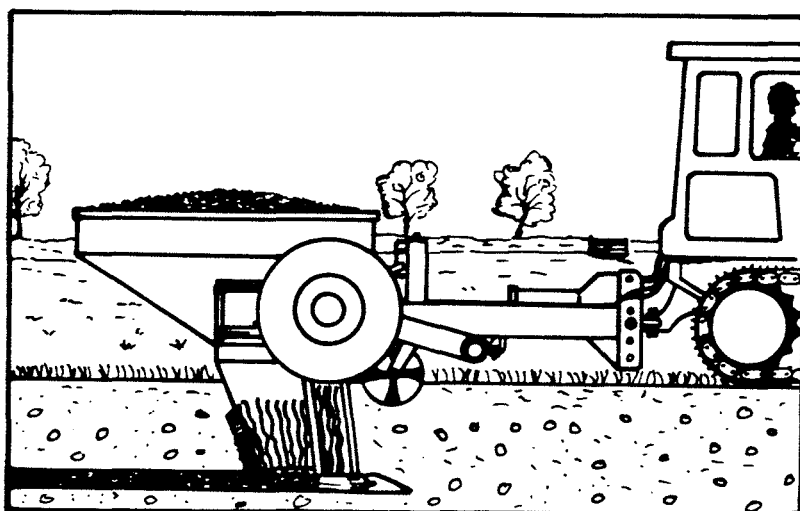


Fig. 13. Grusfyllning vid tubulering (efter O'Neill, 1982).



en behållare för gruset, som via ett rör matas ner i tuben (fig. 13). Gruset måste ha en god genomsläpplighet, för att kunna transportera tillräckliga vattenmängder. Därför bör sorterat grus användas, där de finare fraktionerna ej finns med. Försöksresultaten visar att grusfyllda tuber är mycket effektiva, både när det gäller att sänka grundvattennivån och att förbättra ytavvattningen. Vid jämförelse med vanlig tubulering var skillnaden liten i dräneringseffektivitet de första fem åren. Efter fem år kollapsade dock den vanliga tubuleringen, medan de grusade tuberna inte visade någon större tendens till försämrad funktion (O'Neill, 1982).

#### TUBULERINGSFÖRSÖK 1982 - 84

De områden i Sverige med större arealer mycket styv lera är framför allt Ängelholms-området i nordvästra Skåne, Vadsbro-området i Västergötland, dungjordarna i Östergötland, Fellingsbro-trakten i Örebro län och ett område söder om Sala i Västmanland. Tubuleringsförsök lades ut i fyra av dessa områden. I samtliga fall lades försöken ut i samband med en omdränering av fälten.

#### Försöksuppläggning

Tubuleringen utfördes vinkelrätt mot grendikena, med ca 2 m avstånd mellan tuberna. Avståndet mellan täckdikena var i två försök ca 10 m och i de båda andra ca 20 m.

Återfyllningen av dikena utfördes dels med grusning upp till matjordslagret och dels med inblandning av bränd kalk i återfyllnadsjorden. Det senare för att prova om den förbättrade strukturen vid kalkinblandningen möjligen kan ge en tillräcklig genomsläpplighet för att klara vattentransporten från tuberna till rören.

I områden med mycket styv lera i Sverige är ofta fallförhållandena dåliga. Detta innebär att risken för att en tubulering skall få en kort varaktighet ökar. Genom att göra tuberna korta, kan enligt litteraturen detta i viss mån kompenseras. Ett täckdikensavstånd på 20 m på dessa jordar skulle innebära att dräneringskostnaden skulle bli rimlig, samtidigt som tubuleringen förhoppningsvis får en tillräcklig funktionstid.

#### Limsta Säteri

Limsta Säteri är beläget ca 1,5 mil söder om Sala. Det gamla dräneringsystemet var intakt men fungerade inte tillfredsställande, beroende på att genomsläppligheten, framför allt i plogsulan var för dålig.

Försöksfältet dikades om i början av juni under torra och perfekta förhållanden. De nya dikena lades mellan de gamla, vilka inte skadades eftersom den nya dräneringen lades något grundare. Dikesavståndet var ca 20 m. Återfyllningen av diken gjordes dels med grusning upp till matjorden och dels med inblandning av kalk i återfyllnadsjorden. Övriga fakta om försöksuppläggningen framgår av bilaga 1.

Fältet som låg i träda sommaren 1982 tubulerades under andra veckan i juni. Jorden i markytan var då väl uttorkad men på tubuleringsdjupet, som endast var 35 - 40 cm, var fuktigheten tillräcklig för att tuberna skulle bli väl utformade. Mekanisk analys av jorden är utförd. Denna visar att lerhalten i alven är omkring 75 %. Beräkningar av marklutningen efter höjdangivelserna på täckdikesplanen visade att fallet i tubuleringsriktningen varierade från 0 upp till 4 o/oo. På något håll var fallet dock så mycket som omkring 10 o/oo.

#### Nederby

Nederby ligger 5 km väster om Fellingsbro i Örebro län. Fältet där försöket lades ut, täckdikades under försommaren i växande gröda. Dikningen utfördes med ett avstånd av ca 18 m mellan grendikena. Det befintliga dräneringssystemet grävdes av vid omdikningen. I bilaga 2 redovisas hur återfyllningen utfördes samt övriga fakta om försöksupplägningen. De diken där återfyllningen inte är redovisad, grusades med 10 cm grus och återfylldes sedan på vanligt sätt.

Tubuleringen utfördes på stubben, efter skörden, den 9 september. Jorden var ganska torr i ytan, men i den fuktigare alven verkade tuberna utformas väl. Den mekaniska analys av jorden på försöksfältet, visade att lerhalten i alven var ungefär 60 %. Marklutningen i tubuleringsriktningen varierar enligt täckdikesplanen mellan 0,5 och 8,5 o/oo.

#### Vrams Gunnarstorp

Vid Vrams Gunnarstorp, som ligger ca 3 km söder om Åstorp i nordvästra Skåne, utfördes täckdikningen i mitten av juni. Förhållandena var torra och dikningen utfördes i växande gröda. Den befintliga dräneringen, som var utförd i slutet av 1950-talet, var igensatt av lerpluggar vid rörskarvarna. Mellan skarvarna var rören nästan rena.

De nya diken lades ut mellan de gamla på ett avstånd av 10 m och anslöts till den befintliga stammen, som var spolrensad. Hur återfyllningen utfördes framgår av bilaga 3. Enligt utförd mekanisk analys varierar lerhalten i alven mellan 60 och 75 %.

Tubuleringen utfördes i mitten av september. Markytan var då relativt torr och tuberna verkade utformas väl i den fuktigare alven. Vid beräkning av marklutningen, enligt täckdikesplanen, visade sig fallet i tubuleringsriktningen variera från ca 1 o/oo upp till ca 8 o/oo.

#### Moholms Säteri

Moholms Säteri ligger ca 1,5 mil sydost om Mariestad. Försöksfältet, som var i träda, dikades under torra förhållanden under sommaren 1982. Dikningen utfördes med ett dikesavstånd på 10 m mellan diken i ett äldre system (bilaga 4). Grusning utfördes upp till matjorden i samtliga diken. Någon mekanisk analys är inte genomförd på jorden, men enligt jordartsbedömning är jorden en mycket styv lera.

Tubuleringen utfördes därefter i början av juli. Matjordslagret var mycket hårt och torrt, vilket gjorde att tubulatorens gick mycket tungt. På tubuleringsdjupet var dock jorden så pass fuktig att tuberna kunde formas. Enligt täckdikensplanen är markytan i tubuleringsriktningen på försöket, i det närmaste helt plan.

#### TUBULERINGENS TEKNISKA UTFÖRANDE

Försöket på Limsta Säteri tubulerades med en äldre tubulator. Denna var kopplad direkt i traktorns trepunktslyft (fig. 17), vilket gjorde att tubuleringen blev känslig för ojämnheter på markytan. Dessutom var det svårigheter med att utföra tubuleringen till ett tillräckligt djup. Därför byggdes en ny tubulator (Bilaga 5 a - c) som visserligen också var kopplad i trepunktslyften, men som i arbetsläge vilade på en bottenplatta för att minska känsligheten för ojämnheter på markytan. En större och framför allt längre understödsyta gör att tubulatorens går jämnare över mindre ojämnheter på markytan, vilket minskar risken för att det skall bli svackor på tuberna där vatten kan bli stående vilket kan leda till en kortare livslängd på tubuleringen.

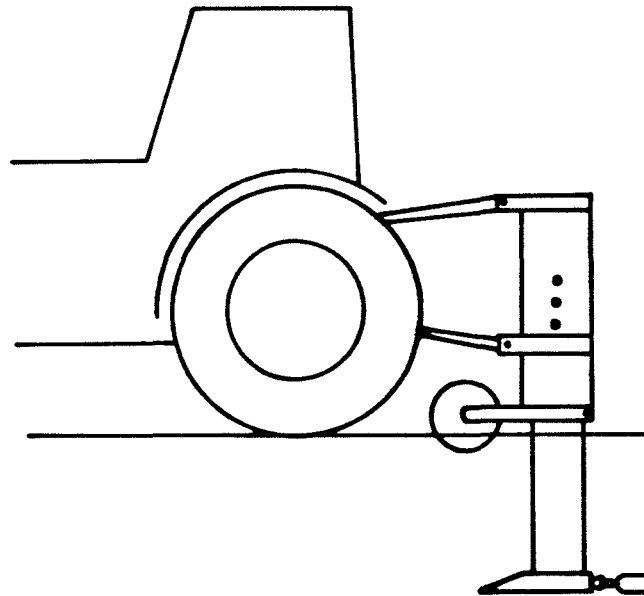


Fig. 14. Den äldre tubulatorns koppling till traktorn.

Svärdet placerades även längre bakom traktorn, vilket gjorde att det inte uppstod något problem med djuphållningen. För att tubulatorens inte skall skadas vid stenpåkörning är det nödvändigt att någon typ av stentlösning finns på svärdet. Detta ordnas lämpligen genom att svärdets nedre infästning sker med hjälp av brytpinnar, som går av vid stenpåkörning, så att svärdet tillåts svänga upp bakåt. Av bilaga 5 framgår hur stentlösningen utfördes på den tubulator som byggdes för försöken.

Vid de tubuleringar som genomförts har den nybyggda tubulatore i stort sett fungerat bra. Konstruktionen visade sig dock vara för klen. Detta innebar att dragbommen och de sidoplåtar som den var fästad vid fick förstärkas. Vid stenpåkörning eller om man svänger med tubulatore i arbetsläge, kan påkänningen på svärdet i sidled bli så kraftig att svärdet krökes. Därför kan det vara motiverat att tillverka själva svärdet av ett härdat stål, så att det får en bättre hållfasthet. Att ytterligare öka dimensionen på svärdet är mindre lämpligt, eftersom dragkraftsbehovet då ökas och den större sprickan efter svärdet innebär en större risk för att lös jord rasar ner i tubulatoregången.

Tubuleringen utförs bäst när markytan är tillräckligt torr för att ge ett bra fäste för traktorhjulena, samtidigt som alven är så fuktig att jorden deformeras lätt. Under sådana förhållanden var en traktor på omkring 75 kW tillräcklig för att dra tubulatore. Vid ökad uttorkningsgrad av jorden ökade dragkraftsbehovet kraftigt, vilket även innebar att påfrestningarna på tubulatore blev stora.

När tubuleringen utfördes på Moholms Säteri var marken så uttorkad att två traktorer fick kopplas efter varandra för att tillräcklig dragkraft skulle erhållas.

Konstruktionen med en bottenplatta gjordes främst med tanke på att öka tubulatorns bärighet vid tubulering på mulljord, men bottenplattan bidrar också till att öka tubulatorns hållfasthet. Vid tubulering på lerjord är bottenplattan inte nödvändig ur bärighetssynpunkt och kan då slopas om tubulatore förstärks på annat sätt. De balkar som går på marken bör då göras parallella för att jord inte skall försas med vid tubuleringen. En anledning till att slopa bottenplattan är att den i vissa fall kan öka dragkraftsbehovet betydligt, speciellt om tubulatore exempelvis p g a jordsökningen trycks hårt mot markytan.

## RESULTAT

Någon mera ingående studie och utvärdering av försöken har inte utförts ännu. De studier som gjorts har i huvudsak grundat sig på observationer av upptorkning på våren, grödans utveckling samt tubernas hållbarhet. Observationerna av upptorkning på våren och grödans utveckling, har till största delen gjorts av respektive försöksvärd.

### Limsta Säteri

Upptorkningen under våren 1983 var jämnare på den tubulerade delen av försöket. På den del som inte var tubulerad var det däremot betydligt fuktigare mellan diken än rakt över dessa. Höstvetet utvecklades sedan jämnare på den tubulerade försöksleden. På den del av fältet som inte var tubulerat, var grödan kraftigare över de nylagda diken. Någon depression mellan diken, där det var tubulerat kunde inte iakttagas. Denna skillnad i utveckling kvarstod sedan under sommaren och kunde tydligt konstateras. Någon skillnad mellan de olika typerna av återfyllning kunde inte iakttagas.

I slutet av juli grävdes några tuber fram och inspekterades. Dessa visade sig vara mer eller mindre igenfyllda av lera, från drygt halvfyllda till nästan helt igenfyllda (fig. 15). Den spetsiga profilen på det som var kvar av tuben, tyder på att det är lera från tubens tak som rasat ned, men material kan även ha kommit ned via sprickan efter tubulatorns svärd. En torkspricka, ungefär 2 - 4 mm bred, gick från tubes tak och upp till matjordslagret, vilket tyder på att svärdets framfart ger en brottanvisning vid uppkomsten av torksprickor.

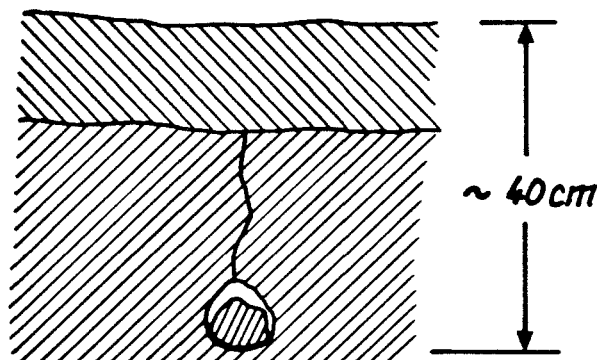


Fig. 15. Tubens utseende på Limsta Säteri, ett år efter tubuleringen.

På våren 1984, strax före vårbrukets början, kunde ingen skillnad i upptorkning mellan de båda försöksleden märkas. Vid uppgrävning för att kontrollera tubernas utseende visade det sig att dessa var helt igenrasade och inte gick att upptäcka.

För att prova lerans lämplighet för tubulering enligt tidigare beskriven metod, togs lera från alven upp och en boll av ca 20 cm diameter bakades samman och lades under vatten. Leran var ganska torr. Efter någon dag hade dock lerbollen fallit isär vilket skulle tyda på att leran var mindre lämplig för tubulering. När provet sedan gjordes om efter att leran fuktats upp visade dock bollen ingen tendens att falla sönder utan var fortfarande intakt efter en dryg vecka. Detta tyder på att leran är lämplig för tubulering men att vattenhalten vid tubuleringstillfället har stor betydelse för resultatet.

#### Nederby

Tidigt på våren 1983 kunde ingen skillnad i bärighet eller upptorkning konstateras mellan det tubulerade och det ej tubulerade försöksledet. Vid tiden för vårbrukets början var dock upptorkningen ca 4 dagar tidigare på den tubulerade delen av fältet.

I slutet av juli gjordes grävningar för att kontrollera tuberna. Av själva tuben fanns nästan inget kvar, men sprickan efter svärdet syntes tydligt (0,5 - 1,5 cm bred). Sprickan gick från markytan ned till 50 - 60 cm djup och tuben kunde möjligen ses som en mindre utvidgning av sprickan (fig. 16).

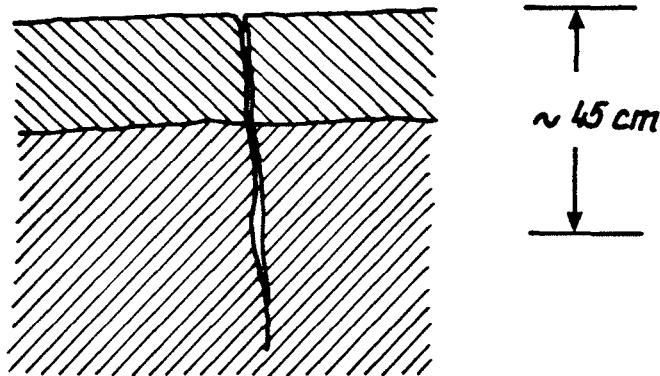


Fig. 16. Utseendet på sprickbildningen efter svärdet, ett år efter tubuleringen på Nederby.

Grödan var höstvetete. Ingen skillnad i utvecklingen mellan tubulerat och ej tubulerat försöksled kunde konstateras, utan vetet såg bra ut över hela fältet.

På våren 1984 gick det inte att observera några effekter av tubuleringen.

Av en lerklump upptagen från tubuleringsdjupet sammanbakades en boll, med en diameter av ca 20 cm, som sedan lades under vatten. Efter en dryg vecka visade bollen inga tendenser på att falla sönder, vilket tyder på att leran har en beskaffenhet som gör den lämplig för tubulering.

#### Moholms Säteri

Det nydikade försöksfältet var på våren 1983 körbart ca 2 veckor tidigare än ett motsvarande fält med en äldre dränering. Någon skillnad mellan tubulerat och ej tubulerat försöksled kunde inte konstateras. Vid besök i

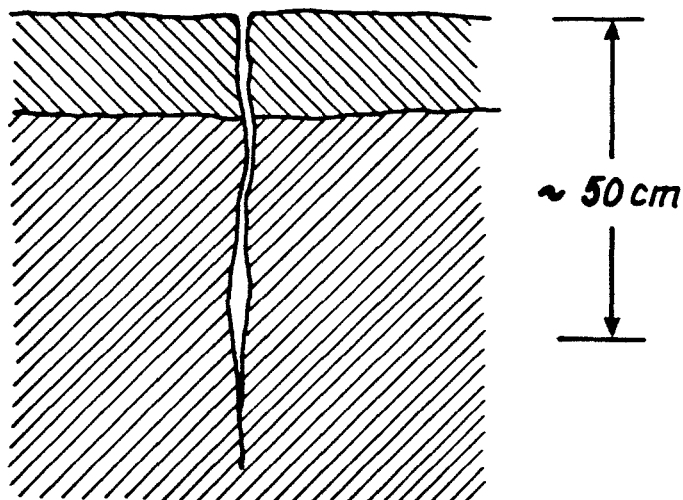


Fig. 17. Utseendet på sprickbildningen efter svärdet, ett år efter tubuleringen på Moholms Säteri.



mitten av juli syntes ingen skillnad på grödan mellan de två försöksleden. Höstvetet såg bra ut och tycktes inte ha tagit någon större skada av den nedebördsrika våren. På ett intilliggande fält som inte var nydränerat, men i övrigt jämförbart, var vetet märkbart sämre.

Vid uppgrävning av några tuber, märktes sprickan efter svärdet tydligt (1 - 3 cm bred) genom profilen och den kompakterade plogsulan. Den egentliga tuben var inte intakt utan såg mera ut som en vidgning av sprickan till 3 - 5 cm (fig. 17).

#### Vrams Gunnarstorp

Den vårsådda grödan var mycket dålig på försöksfältet våren 1983, beroende på den höga nederbördsmängden under våren. Alldeles över de nya grendikena var dock grödan klart bättre. Någon skillnad mellan tubulerat och ej tubulerat försöksled kunde inte observeras, inte heller hade någon skillnad i upptorkning under våren kunnat konstateras.

Vid uppgrävning och kontroll av tuberna visade det sig att dessa var helt igenfyllda av jord. Dock kunde en klar gräns mellan lösare jord i tuberna och fastare jord i alven runt tuberna konstateras.

#### DISKUSSION

De jordar där tubulering i första hand kommer ifråga är de mycket styva lerjordarna, där den låga genomsläppligheten leder till att det kan vara svårt att uppnå en god dräneringseffekt med ett konventionellt täckdiksystem. Även om grendikesavståndet är så litet som 10 m är det inte ovanligt att matjorden och framför allt plogsulan är så tät på dessa jordar, att överskottsvattnet har svårt att nå dräneringsledningarna.

På lerjordar där en konventionell täckdikning ger en tillfredsställande dräneringseffekt är tubulering i regel inte så intressant, om inte täckdikkesavståndet kan ökas eller andra speciella skäl finns som kan motivera en tubulering.

På mulljordar där sättningar och bortodling gör att en rördränering ofta blir kortvarig, kan tubulering under vissa förutsättningar erbjuda ett effektivt och billigt sätt att dränera. Avsikten med tubulering på de mycket styva lerjordarna är att åstadkomma en tvåskikts dränering. Meningen är att tubuleringen skall underlätta och påskynda infiltrationen av ytvatten och borttransporten av överskottsvatten i den övre delen av markprofilen. Den underliggande täckdikningen svarar då för den egentliga grundvattensänkningen.

Möjligheten att erhålla en effektivare dränering på de mycket styva lerorna, genom att komplettera täckdikningen med tubulering, beror främst på tubernas hållbarhet och om genomsläppligheten i de övre jordlagren och framför allt plogsulan kan förbättras.

På de mycket styva lerjordarna kan det vara möjligt att erhålla en fullgod dränering med större dikesavstånd än vad som är normalt, om täckdikningen

kompletteras med en fungerande tubulering. Detta skulle ge en möjlighet att minska kostnaderna vid en dränering. För att kunna öka täckdikessavståndet krävs dock att tubuleringen får avsedd effekt och att den får en tillräcklig livslängd så att den inte behöver göras om så ofta att kostnaden för omtubulering blir för hög.

Försöket på Limsta Säteri visade under det första året att tubulering hade en klart positiv effekt på grödans utveckling. Ett täckdikessavstånd på ca 20 m tillsammans med tubulering gav här en fullgod dräneringseffekt, vilket inte var fallet på det ej tubulerade försöksledet.

Vid Nederby där täckdikessavståndet också var ca 20 m var effekten av tubuleringen inte så stor, men en något tidigare upptorkning kunde dock konstateras.

Även om täckdikessavståndet inte minskas kan en tubulering vara lönsam, speciellt på besvärliga jordar med låg genomsläpplighet där det är möjligt att erhålla en bättre dräneringseffekt med högre skörd och minskade brukningskostnader som följd.

En stor kostnad vid en tubulering utgör den ökade grusmängden över täckdikena, i vilka tuberna skall mynna ut. Vid exempelvis ett dikesdjup av 90 cm och en dikesbredd av 15 cm innebär det en ökad grusåtgång mot normal grusning av ca 35 kubikmeter per hektar, om dikesavståndet är 20 m och dikena grusas upp till 35 cm under markytan. Vid en gruskostnad av 60 kr per kubikmeter skulle det innebära en ökad kostnad för grusning av ca 2 500 kr per hektar.

På de mycket styva lerjordarna är det inte ovanligt att dräneringseffekten avtar betydligt, inom några år efter en nydikning. Detta beror främst på att jorden i återfyllningen över dikena åter packas samman så att genomsläppligheten minskas och vattnet får svårt att nå dräneringsrören. Om dikena då är grusade upp till matjorden och jorden är lämpad för tubulering är det möjligt att återfå en fullgod dräneringseffekt genom att tubulera fältet. Själva tubuleringen är enkel att utföra och kan därför göras om när så erfordras, till en kostnad som ungefär motsvaras av en höstplöjning.

För att bedöma en jords lämplighet för tubulering är det framför allt viktigt att försöka få en uppfattning om tubuleringens hållbarhet. Många faktorer inverkar dock på tubernas hållbarhet vilket gör det svårt att förut säga hur lång funktionstid en tubulering kommer att få. De viktigaste faktorerna vid bedömningen av hållbarheten av en tubulering är jordarten, tubuleringsdjupet, vattenhalten vid tubuleringstillfället, jordens struktur och i vad mån vattnet kan avrinna från tuberna så att de inte står vattendränkta under längre perioder.

I litteraturen förekommer uppgifter om en minsta lerhalt på mellan 25 % - 50 % för att en stabil tub skall kunna erhållas. På de mycket styva lerrorna där problemet med att uppnå en god dränering är den låga genomsläppligheten, bör således jordens mekaniska sammansättning inte innebära något problem för att erhålla hållbara tuber.

Vid för grund tubulering är det risk att tuberna skadas mekaniskt vid körningar och bearbetningar på fältet. En annan orsak till kollaps av tuberna vid grund tubulering är om torpeden inte arbetar tillräckligt djupt under det kritiska djupet, vilket leder till att det uppstår sprickbildning i tubernas tak. Detta var troligen den mest avgörande orsaken till att tuberna föll ihop på försöket vid Limsta Säteri, där tubuleringsdjupet endast var 35 - 40 cm. På vilket djup under markytan övergången mellan luckrande och kompakterande jordrörelser sker, beror dels på svärdets och torpedens utformning och dels på jordens vattenhalt vid tubuleringstillfället. Tubuleringen bör utföras till ett djup av minst 50 cm och vid en så hög vattenhalt att jorden på tubuleringsdjupet är plastisk och lätt formbar.

Jordens vattenhalt vid tubuleringstillfället påverkar även tubernas hållbarhet på flera sätt än genom inverkan på det kritiska djupet. Enligt Spoor m fl (1982) sker ingen större kompression av själva aggregatet när torpeden går fram vid tubuleringen, utan hålligheten efter torpeden bildas främst beroende på att porvolymen mellan aggregaten minskas runt tuben. Om tubuleringen utförs när aggregaten har krympt beroende på uttorkning, medför detta att tubens diameter minskar när aggregaten sväller vid uppfuktning. Den enda riktningen svällningen kan ske är nämligen mot tuben.

Förekommer torksprickor på tubuleringsdjupet pressas jorden ut i dessa vid tubuleringen. När sedan jorden sväller vid uppfuktning och torksprickorna går igen är det stor riska att jorden åter pressas tillbaka i tuben (Spoor m fl, 1982). Vid tubuleringen på jordar med en lucker struktur i alven, är det möjligt att en liknande situation kan inträffa vilket reducerar tubernas hållbarhet på sådana jordar.

En strukturstabil jord ökar förutsättningarna för att hållbara tuber skall erhållas, eftersom de sammanhållande krafterna mellan jordpartiklarna är starkare än på struktursvaga jordar. Det är dock viktigt att jorden verkligen är plastisk på tubuleringsdjupet så att en ordentlig ältning av jorden sker, annars uppstår det bristningar mellan aggregaten vilket också innebär att tubväggarna blir skrovliga vid tubuleringen (Walpole, 1971). Dessa bristningar och skrovligheter kan leda till att jorden lossnar och rasar in i tuben.

När en boll av jord upptagen från tubuleringsdjupet på Limsta Säteri bakades samman och sedan lades under vatten, visade det sig att den föll sönder när jorden var för torr vid sammanbakningen. När provet gjordes om, efter att jorden fuktats upp så att den blev mera plastisk, höll däremot jordbollen ihop även när den legat under vatten i en dryg vecka. Detta visar vikten av att jorden är tillräckligt fuktig och plastisk när tubuleringen utförs, så att en ordentlig ältning sker vid torpedens och expanderns bearbetning, för att en god hållbarhet ska kunna erhållas på tuberna.

För att undvika att vatten blir stående i tuberna är det nödvändigt att de har ett tillräckligt och jämnt fall, samt att avloppet från tuberna har erforderlig kapacitet. Anledningen till att tuberna inte får stå vattenfyllda är enligt litteraturen att tubväggarna löses upp, men naturligtvis är det även viktigt för dräneringsfunktionen att en transport av vatten från markprofilen verkligen sker.

I litteraturen varierar uppgiften om minsta nödvändiga fall från 2 o/oo upp till 10 o/oo. I de försök som redovisas av Harris (1984) har undersökningar gjorts hur tubernas hållbarhet har påverkats av att de stått vattendränkta under kortare och längre perioder. Försöken visade att tubernas hållbarhet inte påverkats av att de stått vattendränkta under kortare perioder. När tuberna stått vattenfyllda under längre perioder, upp till 20 dygn, hade livslängden endast förkortats från normalt 5 år till 3 eller 4 år. Dessa försök motsäger i viss mån uppgifter i annan litteratur, men de försök som Harris genomfört tyder på att risken med att tuberna står vattendränkta under vissa perioder inte behöver vara förödande på tubernas hållbarhet. Detta skulle i så fall innebära att det lägre markfallet på 2 o/oo borde vara tillräckligt och att kraven på utloppskapaciteten eventuellt kan minskas.

På de fyra försök som genomförts har inte någon skillnad i dräneringseffekt eller på tubernas hållbarhet, beroende på olika återfyllningar över dikena eller olika fall kunnat observeras. Eftersom försöken haft en praktisk karaktär är det dock svårt att särskilja de många faktorer som inverkar på resultatet. Detta tillsammans med de ringa antalet försök gör det således svårt att dra några säkra slutsatser av försöken.

En värdefull effekt av tubulering på de svårgenomsläppliga jordarna är den ökning av genomsläppligheten som åstadkommes av slitsen efter svärdet och den luckrande verkan tubuleringen har på jorden. Att detta har stor betydelse för vattentransporten från markytan ned till tuben, visas av försök redovisade av Leeds-Harrisson m fl (1982). Av försöken framgår också att det nästan uteslutande är svärdet som åstadkommer den förbättrade infiltrationskapaciteten. Den luckrande effekten ökar med ökad uttorkningsgrad av jorden. Detta innebär att den lämpligaste tidpunkten för tubulering är när marken är upptorkad i markytan, så att en god sprickbildning genom matjorden erhålls, samtidigt som jorden i alven är fuktig och plastisk så att stabila tuber kan formos.

Hur lång tid effekten med den ökade genomsläppligheten kvarstår efter en tubulering är svårt att ange, men beror naturligtvis på den aktuella jordens egenskaper och hur stor packning den utsätts för. På försöken vid Nederby, Limsta Säteri och Moholms Säteri var det dock en tydlig spricka efter svärdet ned till tubuleringsdjupet, ett år efter tubuleringen. Slitsen efter svärdet fungerar tydligen också som en brottanvisning, vilket gör att när jorden börjar torka och därmed krympa, börjar sprickbildningen där svärdet gått fram och en djupgående torkspricka utvecklas.

Speciellt på jordar med en tät plogsula som hindrar infiltrationen kan denna sprickbildning ha stor betydelse för dräneringsfunktionen även om själva tuben rasat.

#### SAMMANFATTNING

Tubulering kan vara ett sätt att öka dräneringseffektiviteten till en rimlig kostnad, speciellt på de mycket styva lerjordarna som p g a låg genomsläpplighet är svårdränerade. Funktionstiden för en tubulering som utförs under goda förutsättningar är svår att förutsäga, men omkring 5 år kan anses normalt.

De faktorer som påverkar hållbarheten är i första hand lerhalten, markfallet, tubuleringsdjupet och jordens vattenhalt vid tubuleringstillfället.

Lerhalten bör helst överstiga 30 % och markfallet vara mellan 5 och 100 o/oo för att tuberna ska få en tillräcklig hållbarhet.

Ett tubuleringsdjup på 55 till 65 cm är önskvärt ur hållbarhetssynpunkt, för att stabila tuber ska kunna formas och för att de inte ska skadas mekaniskt vid körningar på fältet.

Jordens vattenhalt vid tubuleringen ska vara så hög på tubuleringsdjupet att leran är plastisk och formbar, så att en ordentlig ältning sker runt tuben vid tubuleringen. I markytan är det däremot en fördel om jorden är torrare, så att traktorn vid tubuleringen ska få ett bra fäste och så att en bättre luckring av matjorden sker.

I de fyra försök som redovisas har tubernas hållbarhet varit dålig, troligen beroende på för grunt tubuleringsdjup eller att jorden varit för uttorkad när tubuleringen utfördes. I ett av försöken gav dock tubuleringen en klart förbättrad dräneringsfunktion med en bättre och jämnare utveckling av gröda som följd.

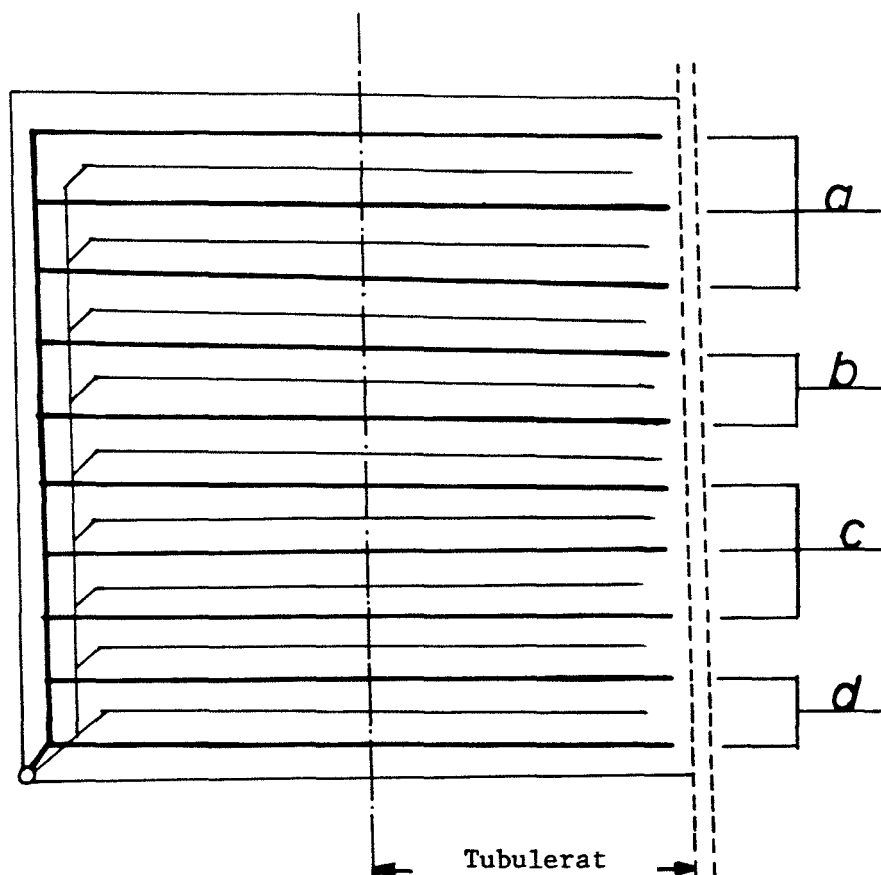
#### LITTERATURFÖRTECKNING

- Berglund, G. 1956. Tubulering. Resultat av svenska tubuleringsförsök utförda under åren 1948 - 56. Särtryck ur: Grundförbättring 1956: 3 och 4.
- Cavelaars, J. C. 1974. Drainage Principles and Application vol. IV: ILRI Publication vol. IV
- Dennis, C. W. och Croote, S. G. 1977. The minimum size of permeable fill used with mole drainage. Agricultural Water Management. 1, sid 143 - 153.
- Eggelsmann, R. 1978. Subsurface drainage instructions. Hamburg och Berlin: Verlag Paul Parey.
- El-Shafei, Y. Z. 1980. A study of bearing and frictional resistance of the mole drainer. Egypt. J. Soil Sci. 20 (1), sid 19 - 28.
- El-Shafei, Y. Z. och Al-Herr, M. H. 1980. Effect of some major factors on the construction and durability of the mole drain. Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung. 21, sid 154 - 166.
- Fouss, J. L. och Donnan, W. W. 1962. Plastic-lined mole drains. Agricultural Engineering. 43, sid 512 - 515.
- Godwin, R. J., Spoor, G. och Leeds-Harrison, P. 1981. An experimental investigation into the force mechanics and resulting soil disturbance of mole ploughs. J. Agric. Engng. Res. 26, sid 477 - 497.

- Harris, G. L. 1984. Effect of mole submergence of the life of mole channels. *Agricultural Water Management*. 8, sid 361 - 374.
- Kendall, R. G. 1946. *Practical field drainage*. Tunbridge Wells: Clements & Son.
- Leeds-Harrison, P., Spoor, G. och Godwin, R. J. 1982. Water flow to mole drains. *J. Agric. Engng. Res.* 27, sid 81 - 91.
- O'Neill, D. G. 1982. Enniskillen Agriculture College. Annual Report on Research and Technical Work of the Department of Agriculture for Northern Ireland.
- Rycroft, D. W. och Thorburn, A. A. 1974. Water stability tests on clay soils in relation to mole drainage. *Soil Science*. 117, sid 306 - 310.
- Smedema, L. K. och Rycroft, D. W. 1983. *Land Drainage*. London: Batsford Academic and Education Ltd.
- Spoor, G. 1979. Soil disturbance with deep working tined implements in field drainage situations. *Drainage Workshop Proceedings*.
- Spoor, G., Leeds-Harrison, P. och Godwin, R. J. 1982. Some fundamental aspects of formation, stability and failure of mole channels. *Journal of Soil Science*. 33, sid 411 - 425.
- Theobald, G. H. 1963. Methods and machines for tile and other tube drainage. Rom: FAO Agric. Development Paper 78, 104 s.
- Unhanad, K. och Kadir, T. N. 1975. A theory of the combined mole-tile drain system. *Water Resources Research*. 11, sid 111 - 119.
- Walpole, R. A. 1971. Mole drainage and subsoiling. *Agriculture*. 78, sid 432 - 439.



# LIMSTA SÄTERI



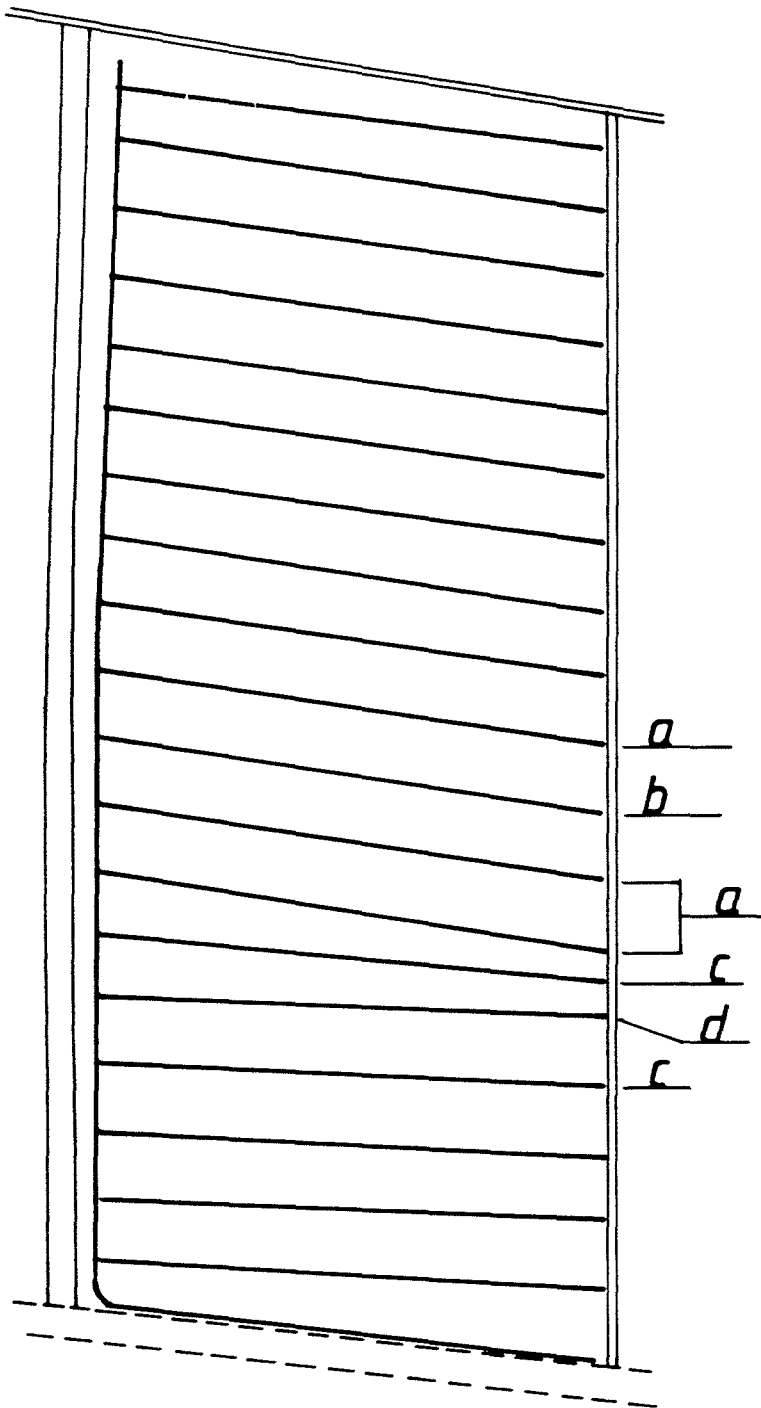
Gamla dikningen

Djup: 35 - 40 cm

Nya dikningen

Avstånd: ca 2 m

- a. ca 70 cm dikesdjup, grusat till ca 40 cm under markytan
- b. ca 70 cm dikesdjup, grusat till ca 40 cm under markytan, inblandning med 5 % bränd kalk i återfyllningen
- c. ca 90 cm dikesdjup, vanlig grustäckning, inblandning med 1 % bränd kalk i återfyllningen
- d. ca 90 cm dikesdjup, vanlig grustäckning, inblandning med 5 % bränd kalk i återfyllningen



a. Inblandning med 1 % kalk i återfyllningen

b. Inblandning med 5 % kalk i återfyllningen

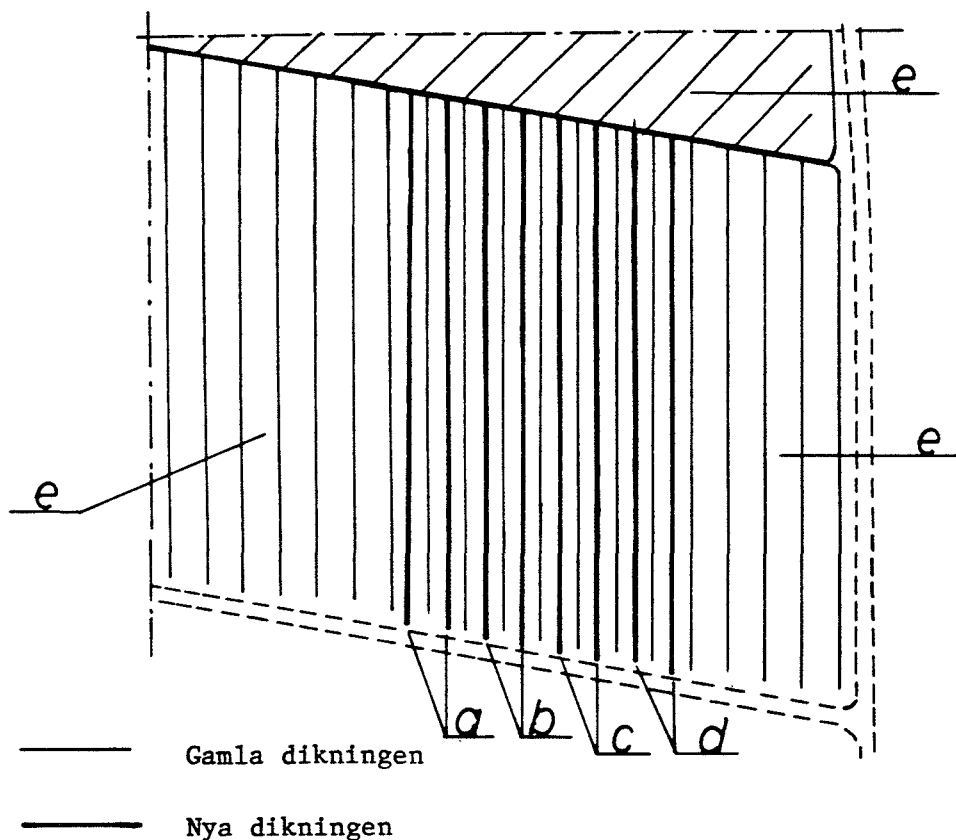
c. Grusat upp till ca 40 cm under markytan

d. Grusat upp till ca 40 cm under markytan, inblandning med 5 % kalk i återfyllningen

Dikesdjup ca 80 cm

Gamla dikessystemet avgrävt

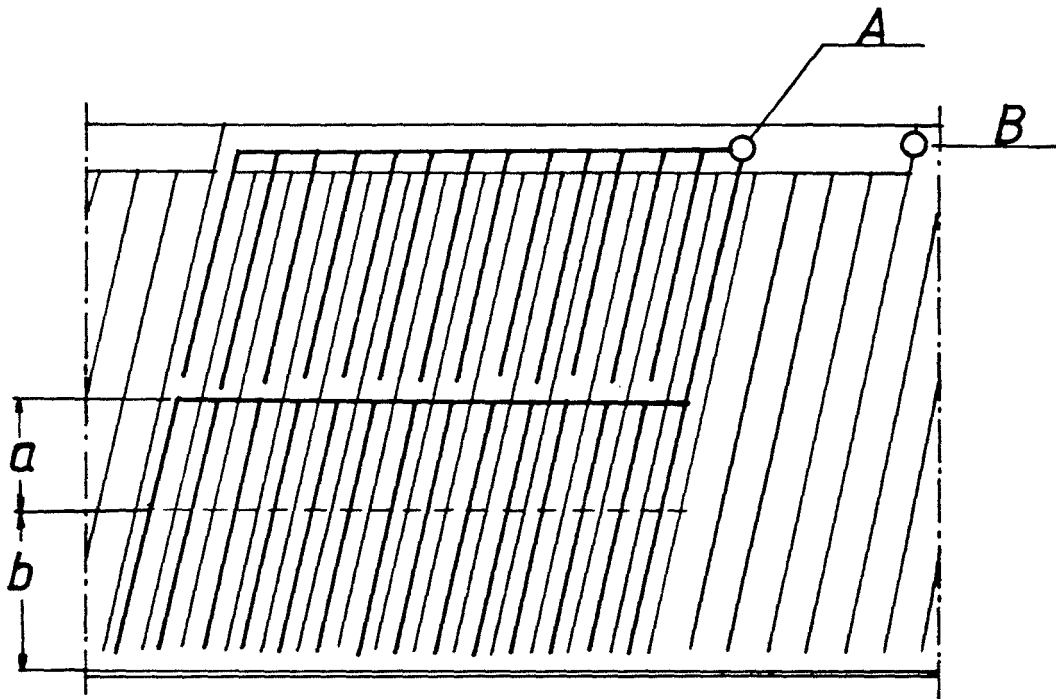
# VRAMS GUNNARSTORP



- a. Vanlig grustäckning, inblandning med 1 % bränd kalk i återfyllningen
- b. Vanlig grustäckning, inblandning med 5 % bränd kalk i återfyllningen
- c. Grusning upp till ca 40 cm under markytan, inblandning med 5 % bränd kalk i återfyllningen
- d. Grusning upp till ca 40 cm under markytan
- e. Gamla sugledningarna runt försöket är spolrensade

# HOLMENS EGENDOM

Bilaga 4



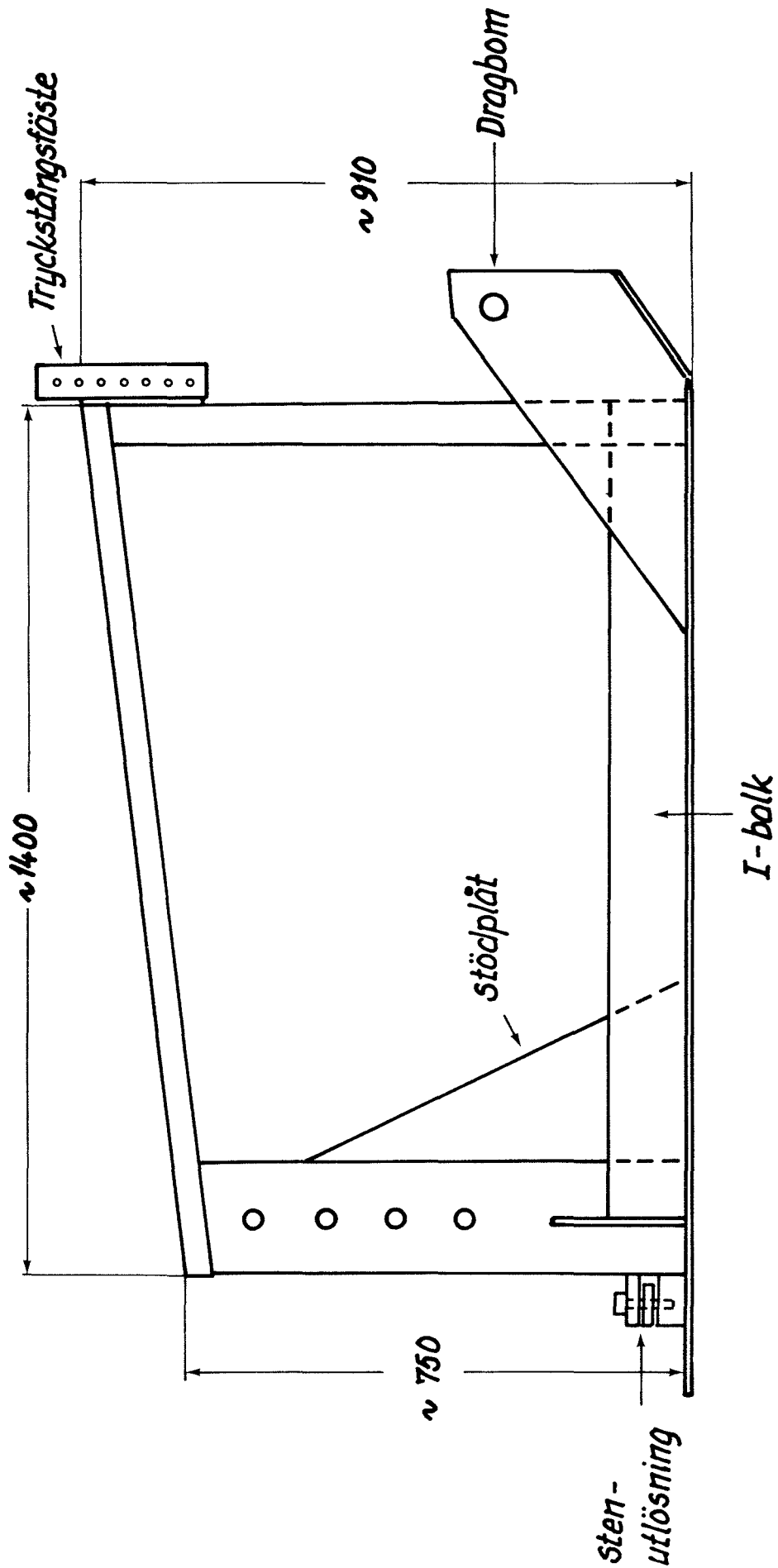
- Gamla dikessystemet
- Nya dikessystemet

- A. Koplingsbrunn för mätning av vattenflödena från nya systemet
- B. Koplingsbrunn för mätning av vattenflödena från gamla systemet
- a. Tubulerat 45 - 50 cm djupt, ca 1 m avstånd
- b. Tubulerat 45 - 50 cm djupt, ca 2 m avstånd

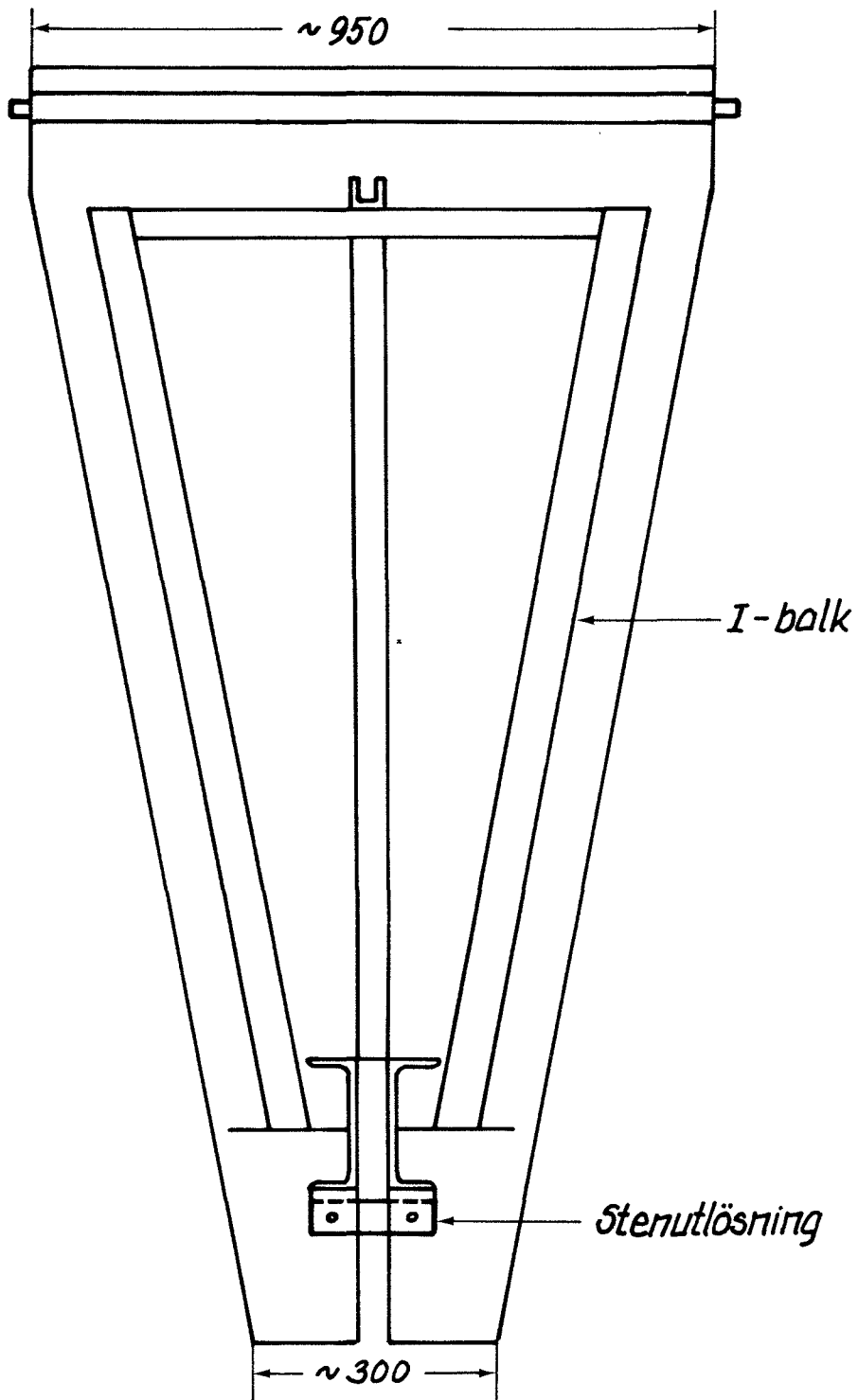
Skala 1:2000

*Tubulator: från sidan*

Bilaga 5 a

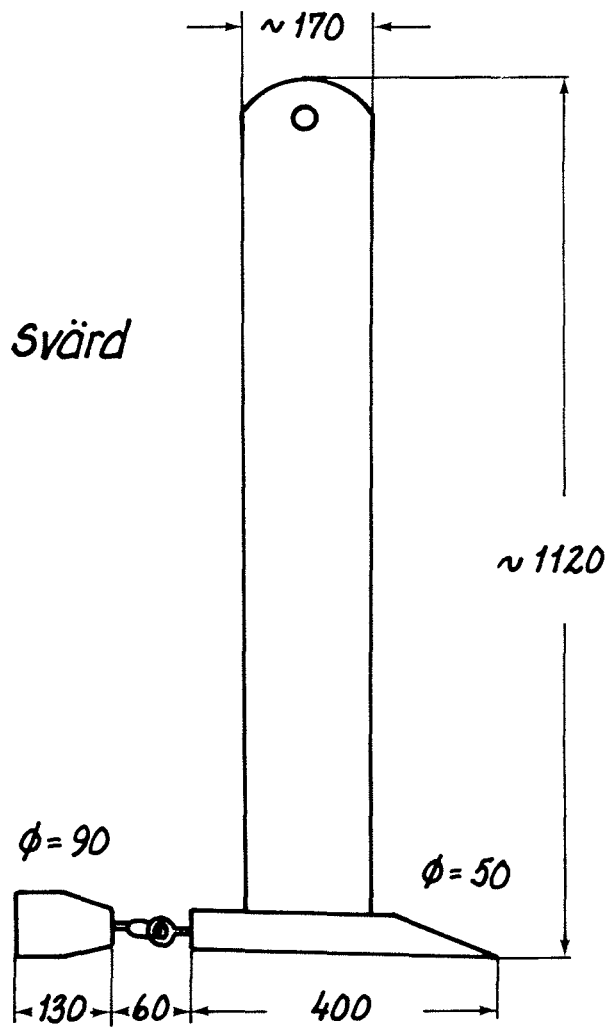


*Tubulator: uppifrån*

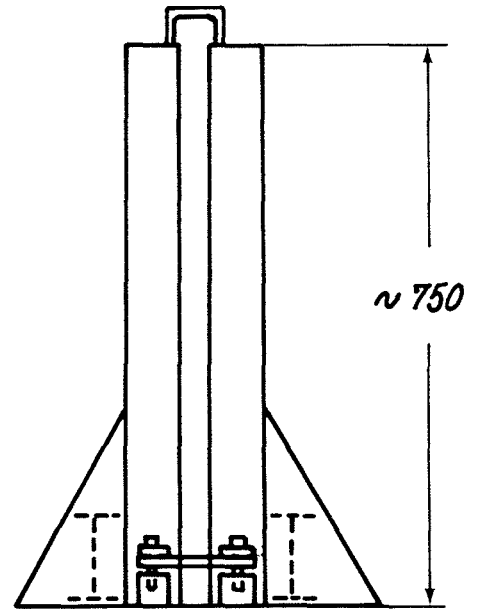


# Tubulator: detaljer

Bilaga 5 c



## *Svärdets infästning*



## *Koppling till traktor*

