



**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

OPTIMERING AV STÖRRE LEDNINGSSYSTEM FÖR BEVATTNING

OPTIMISATION OF PIPE SYSTEMS FOR IRRIGATION

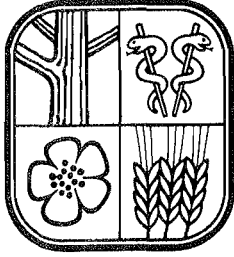
Anders Valegård
Ragnar Persson

**Institutionen för markvetenskap
Avd. för lantbrukets hydroteknik**

**The Swedish University of Agricultural Sciences
Dept. of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydrotechnics**

**Rapport 119
Report**

Uppsala 1980
ISSN 0348-1816
ISBN 91-576-0408-8



**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

OPTIMERING AV STÖRRE LEDNINGSSYSTEM FÖR BEVATTNING

OPTIMISATION OF PIPE SYSTEMS FOR IRRIGATION

Anders Valegård
Ragnar Persson

**Institutionen för markvetenskap
Avd. för lantbrukets hydroteknik**

**The Swedish University of Agricultural Sciences
Dept. of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydrotechnics**

**Rapport 119
Report**

Uppsala 1980
ISSN 0348-1816
ISBN 91-576-0408-8

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid.
FÖRORD	5
BETECKNINGAR	6
INLEDNING	7
OLIKA TYPER AV LEDNINGSSYSTEM VID GEMENSAM LEDNINGSDRAGNING	7
VANLIGEN ANVÄND DIMENSIONERINGSMETOD	8
KOSTNADSSAMBAND VID OPTIMERING AV LEDNINGSSYSTEM	10
GRAFISK METOD FÖR OPTIMERING AV LEDNINGSSYSTEM	15
DATAPROGRAM FÖR OPTIMERING AV LEDNINGSSYSTEM	19
Indata	19
Hur programmet arbetar	22
Hur programmet kan utnyttjas	32
SAMMANFATTNING	32
SUMMARY	33
LITTERATURFÖRTECKNING	33
Bilaga 1: Exempel på optimal dimensionering av ett gemensamt bevattningsföretag	11 s.
Bilaga 2: Nomogram över friktionsförluster i PVC-rör	
Bilaga 3: Nomogram för bestämning av optimal rör- dimension, PVC-rör, Tryckklass NT -6	
Bilaga 4: Nomogram för bestämning av optimal rör- dimension, PVC-rör, Tryckklass NT -10	
Bilaga 5: Nomogram för bestämning av optimal rör- dimension, PVC-bevattningsrör 10 atö	

FÖRORD

Det ökade intresset för bevattning och de därmed förbundna problemen med vattenanskaffning aktualiserar i vissa fall större och mera komplicerade lednings- och pumpsystem för vattenförsörjningen. I här föreliggande skrift av agronomerna Anders Valegård och Ragnar Persson behandlas tillvägagångssätt vid optimering av sådana ledningssystem.

Anders Valegård har utarbetat metoderna för optimeringsarbetets utförande och sammanfattat detta i ett första manuskript. Sedan Valegård övergått till annan verksamhet har Ragnar Persson fullföljt publiceringsarbetet och därvid gjort erforderlig justering och komplettering av text, diagram och tabellmaterial. Docent John Sandsborg har lämnat viss medverkan vid detta arbete och ingenjör Gösta Ljung har utfört delar av programmeringsarbetet för det i uppsatsen redovisade datamaskinprogrammet.

Arbetet har utförts med medel från Lantbrukets fond.

Uppsala den 2 mars 1981

August Håkansson

BETECKNINGAR

a	Koefficient för beräkning av friktionsförlust (jfr sid. 14)
A	Pumpkostnad per tryckhöjdsenhet (kr/m vp·år)
b	Koefficient för beräkning av friktionsförlust (jfr sid. 14)
B	Energikostnad per tryckhöjdsenhet (kr/m vp·år)
d_i	Inre rördiameter (mm)
d_y	Yttre rördiameter (mm)
f	Friktionskoefficient i Colebrooks formel
g	Tyngdkraftsacceleration ($9,81 \text{ m/s}^2$)
h_f	Friktionsförlust (m vp el m vp/1000 m ledning, o/oo)
h_{fM}	Marginell friktionsförlust (m vp/1000 m ledning, o/oo)
H	Total tryckhöjd (m vp)
k	Ekvivalent sandskrovlighet (mm)
k_e	Energipris (kr/kWh)
K_{IP}	Pumpanläggningens investeringskostnad (kr)
K_{IPE}	Pumpanläggningens genomsnittliga investeringskostnad per effektenhet (kr/kW)
K_{IR}	Rörledningens investeringskostnad (inkl. kostnader för grävning och läggning (kr/m)
K_{PE}	Årlig pump- och energikostnad (kr/år)
K_R	Rörledningens årliga kostnad (kr/m·år)
K_{RM}	Marginell årskostnad för rörledningen vid byte till närmast grövre rördimension (kr/m·år)
K_T	Total årskostnad per meter ledning (kr/m·år) ¹⁾
K_{TM}	Marginell total årskostnad vid byte till närmast grövre dimension (kr/m·år)
L	Rörledningens längd (m)
N	Pumpens verkningsgrad (%)
p_1	Summan av ränte-, avskrivnings- och underhållskostnad för rörledningen i procentenheter per år
p_2	Summan av ränte-, avskrivnings- och underhållskostnad för pumpanläggningen i procentenheter per år
q	Maximalt (= dimensionerande) flöde (l/s)
Q	Volymström (m^3/tim)
R_e	Reynolds tal
t	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
T	Driftstid (tim/år)

1) Den "totala årskostnaden" innefattar investeringskostnaden för pumpanläggning och rörledning samt energikostnaden. Investeringskostnaden för pumphus, vattenposter m.m. samt övriga driftskostnader ingår således inte.

INLEDNING

Det kan ibland vara ekonomiskt fördelaktigt att lantbrukare går samman om gemensam längre ledningsdragning från sjö eller vattendrag för att möjliggöra bevattning inom jordbruksområden med begränsade vattentillgångar. Sådana gemensamma ledningsföretag kräver ofta stora investeringar både i rör och pumpar. Man måste därför noggrant dimensionera anläggningarna, så att kostnaderna kan hållas så låga som möjligt. Ledningssystemen kan bli ganska komplicerade, och det erfordras mycket räknearbete, om man verkligen vill förvissa sig om att man avvägt pumpar och ledningsdimensioner riktigt.

Syftet med detta arbete är att ge anvisningar om vilka faktorer, som bör beaktas vid dimensioneringen. Vidare redovisas ett utarbetat dataprogram för beräkningsarbetena. Man kan med hjälp av detta lätt pröva olika alternativ och finna en tekniskt och ekonomiskt optimal lösning.

OLIKA TYPER AV LEDNINGSSYSTEM VID GEMENSAM LEDNINGSDRAGNING

Ledningssystem för här aktuellt ändamål kan utformas efter olika principer. Med hänsyn till pumparrangemang och tryckförhållanden kan man tala om tre olika typer av ledningssystem. Detta åskådliggöres närmare i figur 1.

Högtryckssystem. Förbrukarna har en gemensam pumpanläggning vid vattentäkten. Anläggningen ger den önskade vattenmängden vid ett så högt tryck, att varje förbrukare i ledningssystemet kan utnyttja vattnet utan egen tryckstegringsanläggning.

Lågtryckssystem. I detta ledningssystem transporteras och distribueras bevattningsvattnet under jämförelsevis lågt tryck till de enskilda förbrukarna. För att erhålla ett lämpligt arbetstryck för spridarbevattning har varje förbrukare en egen tryckstegringsanläggning. Detta system är ofta ekonomiskt mer fördelaktigt än högtryckssystemet. Orsaken är att man kan välja rör av en lägre tryckklass i lågtryckssystemet, vilket avsevärt sänker kostnaderna, om det är fråga om långa ledningssträckor.

Kombinerat låg- och högtryckssystem. Detta är som namnet anger en kombination av de två tidigare beskrivna ledningssystemen. Transporten av bevattningsvattnet till det aktuella jordbruksområdet sker under "lågtryck", medan distributionen sker under "högtryck" efter tryckstegring i en gemensam tryckstegringsanläggning.

LÅG- ELLER HÖGTRYCKSSYSTEM

KOMBINERAT LÅG- OCH HÖGTRYCKSSYSTEM

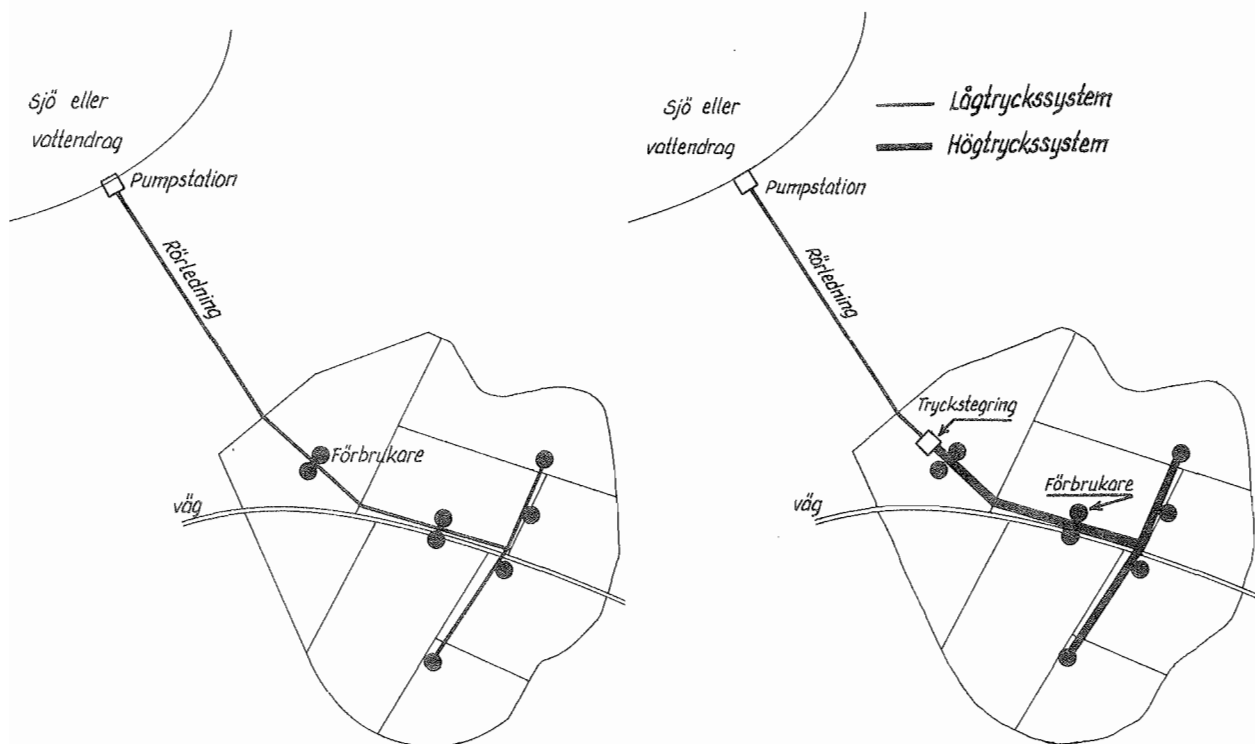
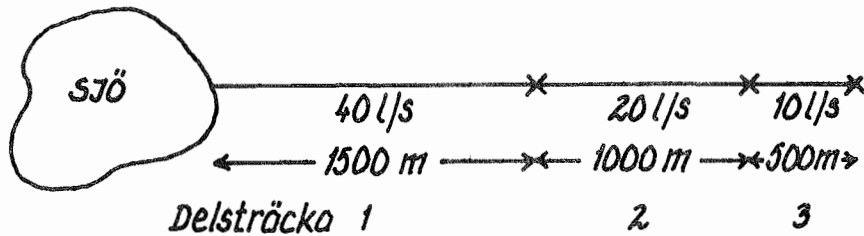


Fig. 1. Olika typer av ledningssystem.

VANLIGEN ANVÄND DIMENSIONERINGSMETOD

Det vanligen tillämpade tillvägagångssättet vid dimensionering av gemensamma ledningssystem belyses här med ett exempel.

Exempel 1. Tre lantbrukare har bestämt sig för att transportera bevattningsvatten i en gemensam rörledning från en närbelägen sjö. Deras bevattningsuttag beräknas bli 20 l/s, 10 l/s respektive 10 l/s. De har tänkt sig ett lågtryckssystem med ett maximalt pumptryck av 60 m vp (meter vattenpelare) och ett lägsta hydranttryck av 10 m vp. Den siste förbrukarens vattenpost ligger 20 m över sjöns yta. Ledningssystemet består enligt nedanstående skiss av tre delsträckor med en längd av 1500 m, 1000 m och 500 m respektive. Motsvarande flöden är 40 l/s, 20 l/s och 10 l/s.



Lösning: I förutsättningarna anges ett pumptryck av 60 m vp. Höjdskillnaden mellan sjöns yta och den längst bort belägna förbrukarens vattenpost är 20 m. Vidare förutsättes ett lägsta hydranttryck av 10 m vp. Den största friktionsförlust i ledningssystemet som kan godtas blir sålunda $60-20-10 = 30$ m vp. Eftersom rörledningen är 3000 m blir den genomsnittliga tillåtna friktionsförlusten, h_f , $30/3000 = 10$ m vp per 1000 m ledning eller 10 promille. Varje delsträcka dimensioneras så att h_f får ett värde så nära 10 promille som möjligt. I nomogrammet (fig. 2) kan således, med utgångspunkt från delsträckans flöde och en friktionsförlust, h_f , i närheten av 10 promille, utläsas lämplig rördimension i aktuell tryckklass (här NT-6). Resultatet framgår av följande tabell.

Delsträcka nr	Längd m	Flöde l/s	Dimension ^{a)} d_y/d_i mm	Frikt.förlust o/oo	Frikt.förlust m vp
1	1500	40	225/211,8	5,5	8,3
2	1000	20	160/150,6	7,5	7,5
3	500	10	110/103,4	13,0	6,5
				Summa	22,3

a) d_y = yttre diameter, d_i = inre diameter.

Eftersom summa friktionsförluster (22,3 m vp) inte uppgår till 30 m vp kan erforderligt pumptryck sänkas till 52 m vp ($20+10+22,3 = 52,3$).



SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
 INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP
 LANTBRUKETS HYDROTEKNIK
 H.J./A.V. -79

NOMOGRAM ÖVER FRIKTIONSFÖRLUSTER I PVC-RÖR $t = 10^\circ\text{C}$
 Enl. Colebrook $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3.71 d_i} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$
 För $d_i < 200 \text{ mm}$ är $k = 0.01$
 För $d_i > 200 \text{ mm}$ är $k = 0.05$

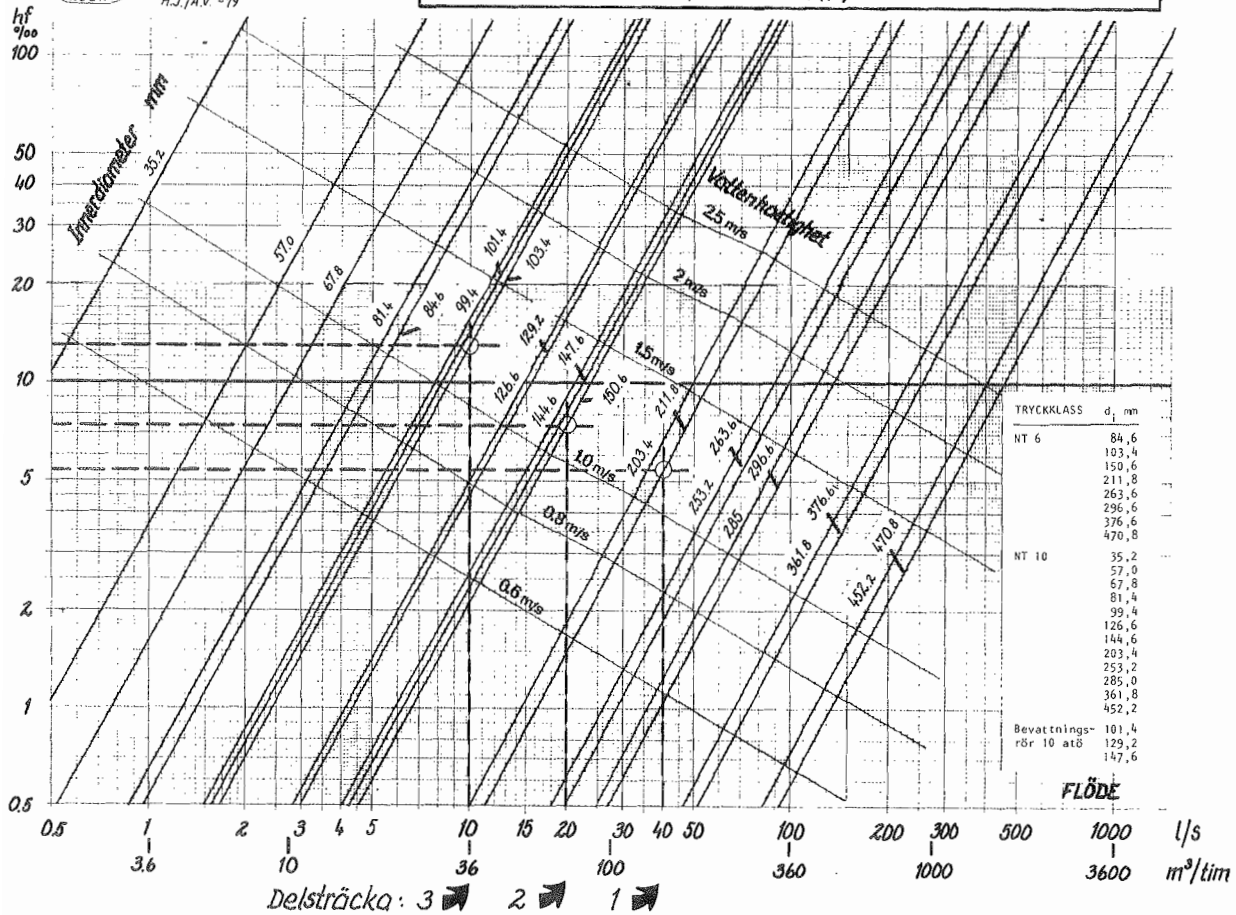


Fig. 2. Friktionsförlustnomogram för PVC-rör enligt Colebrook. I nomogrammet är linjer inlagda för PVC-rör i tryckklass NT-6 och NT-10 samt därjämte de s.k. bevattningsrören 10 atö. Samma nomogram återfinnes i större format i bilaga 2.

KOSTNADSSAMBAND VID OPTIMERING AV LEDNINGSSYSTEM

Optimeringen innebär en avvägning mellan rörkostnad och pumpningskostnad. En större rördimension ger högre kostnader för denna del av anläggningen men i gengäld lägre friktionsförluster och därmed lägre pumpningskostnader. Förhållandet belyses i fig. 3. Det framgår där, att den sammanlagda årskostnaden för rörsystem och pumpning först sjunker och sedan åter stiger med ökad rördimension. Den rördimension, som visar lägst total årskostnad är den optimala.

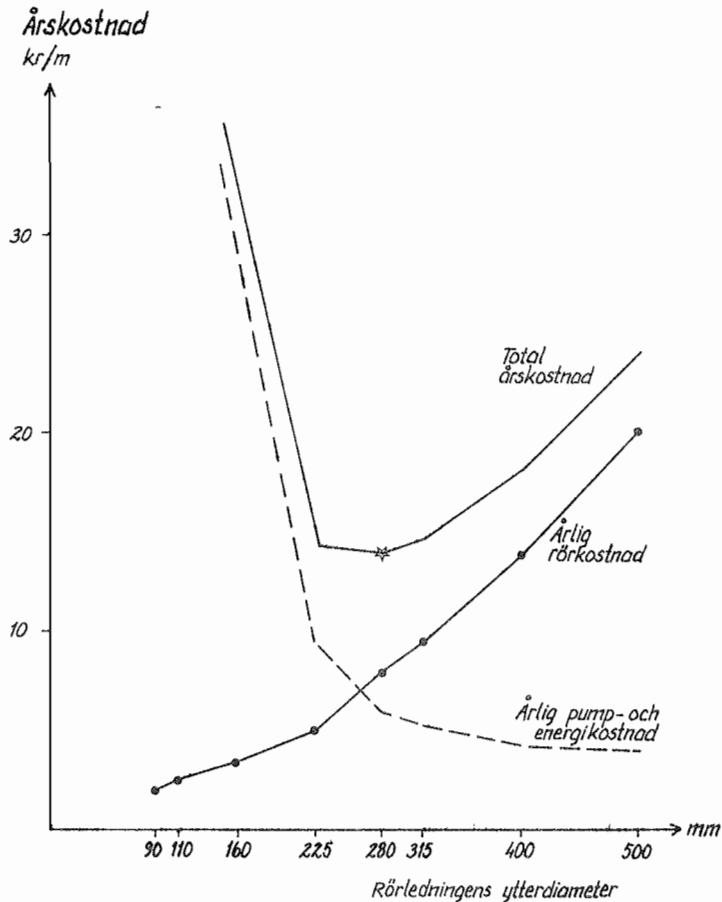


Fig. 3. I figuren åskådliggöres hur årlig rörkostnad, årlig pump- och energikostnad och total årskostnad påverkas av dimensionsvalet vid given volymsström och i övrigt oförändrade förutsättningar i exemplet. Den totala årskostnaden vid optimal rördimension är markerad med en stjärna. Kostnaderna uttrycks per meter ledning.

Årlig rörkostnad. Den årliga rörkostnaden omfattar ränta, avskrivning och underhåll av rörledningen. Vi kan skriva

$$K_R = \frac{p_1}{100} \cdot K_{IR}$$

där K_R = rörkostnad, kr/m · år

K_{IR} = rörledningens investeringskostnad, kr/m

p_1 = ränta, avskrivning och underhåll av rörledningen, procent

Årlig pump- och energikostnad. Den årliga pumpkostnaden omfattar ränta, avskrivning och underhåll av pumpanläggningen. Den uttrycks på motsvarande sätt som för röranläggningen. Anläggningens årliga energikostnad är beroende av den årligen pumpade vattenmängden, pumptrycket, pumpens verkningsgrad och energipriset och kan beräknas med effektformeln. Den sammanlagda årliga pump- och energikostnaden blir då

$$K_{PE} = \frac{p_2}{100} \cdot K_{IP} + \frac{Q \cdot T \cdot H}{3,67 \cdot N} \cdot k_e$$

årlig
 energi-
 förbruk-
 ning

där

K_{PE} = årlig pump- och energikostnad, kr/år

K_{IP} = pumpanläggningens investeringskostnad, kr

p_2 = ränta, avskrivning och underhåll av pumpanläggningen, procent

Q = volymström, m³/tim

T = årlig driftstid, tim

H = total tryckhöjd, m vp

N = pumpanläggningens verkningsgrad, procent

k_e = energipris, kr/kWh

För pumpar som kräver en större motoreffekt än 20 kW gäller, att investeringskostnaden per effektenhet håller sig relativt konstant (fig. 4).

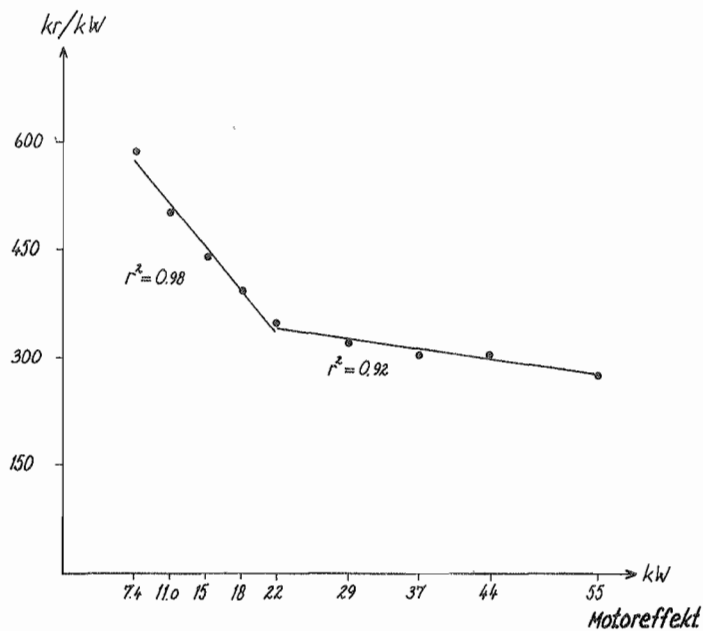


Fig. 4. Investeringskostnaden per effektenhet för pump med drivkälla. Riktprisuppgifter våren 1977.

För medelstora och stora pumpar kan man då också uttrycka pumpanläggningens investeringskostnad, K_{IP} , med hjälp av effektformeln. Man kan sålunda skriva

$$K_{IP} = \frac{g \cdot q \cdot H}{10 \cdot N} \cdot K_{IPE}$$

där

q = maximalt (dimensionerande) flöde, l/s

K_{IPE} = pumpanläggningens genomsnittliga investeringskostnad per kilowatt, kr/kW

g = tyngdkraftsaccelerationen, m/s²

Vid beräkning av pumpanläggningens genomsnittliga investeringskostnad per kilowatt bör hänsyn även tas till drivkällans säkerhetsfaktor. För eldrift är denna 1,1 till 1,2 ggr effektbehovet.

Man kan nu uttrycka den årliga pump- och energikostnaden, K_{PE} , som funktion av totala tryckhöjden, H.

$$K_{PE} = (A + B) \cdot H$$

$$\text{där } A = \frac{p_2 \cdot g \cdot q \cdot K_{IPE}}{100 \cdot 10 \cdot N} \quad \text{och} \quad B = \frac{Q \cdot T \cdot k_e}{3,67 \cdot N}$$

A är pumpkostnaden och B energikostnaden per tryckhöjdsenhet (kr/m vp · år).

Total årskostnad. Anläggningens totala årskostnad är summan av rörkostnaden, K_R , och pump- och energikostnaden, K_{PE} . Totala årskostnaden per meter ledning inom en delsträcka blir då

$$K_T = \frac{P_1}{100} \cdot K_{IR} + (A + B) \frac{H}{L}$$

där

K_T = totala årskostnaden, kr/m · år

L = delsträckans längd, m

Eftersom den totala årskostnaden bl.a. är en funktion av flödet, så förändras den om flödet ändras, vilket framgår av fig. 5. I denna figur liksom i fig. 3 är den totala årskostnaden uttryckt per meter ledning. Vid lägre flöde förskjuts kostnadsfunktionens optimum mot mindre rördimensioner.

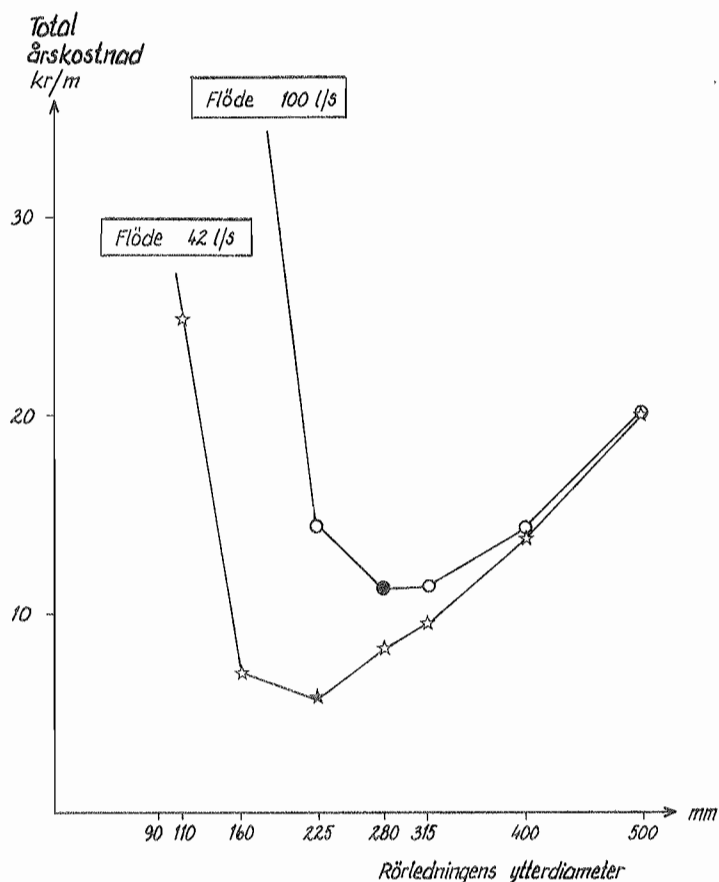


Fig. 5. Totala årskostnaden per meter ledning vid olika rördimensioner och vid två olika flöden. De optimala rördimensionerna har i båda fallen fylld markering.

Marginell total årskostnad. Marginella totala årskostnaden, K_{TM} , definieras som den totala årskostnadens förändring vid byte till närmast grövre rördimension. Matematiskt kan den uttryckas på följande sätt, om 2 indicerar närmast större dimension och 1 utgångsdimensionen.

$$K_{TM} = K_{T2} - K_{T1} = \frac{P_1}{100} \cdot (K_{IR2} - K_{IR1}) + (A + B) \frac{H_2 - H_1}{L}$$

där

$$K_{TM} = \text{marginell total årskostnad, kr/m} \cdot \text{år}$$

Eftersom skillnaden i total tryckhöjd helt beror på minskade friktionsförluster kan man skriva

$$K_{TM} = K_{RM} - h_{fM}(A + B)$$

där

K_{RM} = marginell årskostnad för rörledningen vid byte till närmast större rördimension, kr/m · år

h_{fM} = marginell friktionsförlust - ändringen i friktionsförlust vid byte till närmast större rördimension, m vp/1000 m ledning (o/oo).

Om den marginella totala årskostnaden, K_{TM} , är negativ, skall man byta till grövre dimension. Då uppvägs nämligen den högre rörkostnaden av minskad pump- och energikostnad. Marginalkostnaden är negativ upp till den optimala rördimensionen, varefter den blir positiv.

Marginell total årskostnad per marginell friktionsförlustenheter. I de fall där den optimala rördimensioneringen ger för höga friktionsförluster måste en större rördimension införas på en eller flera delsträckor för att sänka friktionsförlusterna. Grövre rördimension införas i första hand på den delsträcka där man till minsta möjliga kostnad kan nedbringa friktionsförlusterna, dvs. den delsträcka som uppvisar den lägsta marginella totala årskostnaden per marginell friktionsförlustenheter, K_{TM}/h_{fM} .

GRAFISK METOD FÖR OPTIMERING AV LEDNINGSSYSTEM

Vid en ekonomiskt optimal dimensionering väljes på varje delsträcka den rördimension, som ger lägst total årskostnad. Därefter undersökes om denna dimensionering ger godtagbara friktionsförluster. Om så inte är fallet dimensioneras med grövre rör på de ur ekonomisk synpunkt mest fördelaktiga delsträckorna, så att förutsättningarna uppfylls.

Den grafiska metod, som utvecklats för att underlätta valet av ledningsdimensioner i gemensamma bevattningsanläggningar, kan indelas i följande moment:

- Beräkning av marginell årskostnad för rörledningen vid byte till större rördimension
- Beräkning av pump- och energikostnaden per meter vattenpelare för varje delsträcka.
- Med hjälp av det speciellt utformade nomogrammet (bilaga, 3, 4 eller 5) fastställs den optimala rördimensionen för varje delsträcka.
- Beräkning av friktionsförluster och hydranttryck, om den optimala dimensioneringen genomförs.
- Om friktionsförlusterna är högre än vad som kan tillåtas, väljs en grövre rördimension på någon eller några delsträckor.

Marginell årskostnad för rörledningen vid byte till större dimension. Beräknas för samtliga rördimensioner på sätt som tidigare beskrivits.

$$K_{RM} = \frac{P_1}{100} \cdot (K_{IR2} - K_{IR1})$$

där 2 indicerar närmast grövre rördimension.

Årlig pump- och energikostnad per meter vattenpelare. Beräknas för de olika sträckor-
na, eftersom dessa har tillagts olika maximala flöden och årliga vattmängder. Se
närmare sid. 8.

$$A + B = \frac{p_2 \cdot g \cdot q \cdot K_{IPE}}{100 \cdot 10 \cdot N} + \frac{Q \cdot T \cdot k_e}{3,67 \cdot N}$$

Optimal rördimension. Med hjälp av de speciella nomogram som utarbetats, kan man
fastställa optimal rördimension för PVC-rör i tryckklasserna NT-6 (bilaga 3) och
NT-10 (bilaga 4) samt för de s.k. "bevattningsrören" (bilaga 5). Med kännedom om
flöde och årlig pump- och energikostnad per m vp, (A + B), avläses minskningen i
friktionsförlust vid byte till närmast större rördimension, benämnd marginell frik-
tionsförlust, h_{fM} , samt produkten $h_{fM}(A + B)$, som utgör årlig marginell pump- och
energi kostnad.

Vid dimensioneringen utgår man från den minsta rördimension som kan vara aktuell.
Byte sker sedan successivt till större rördimension så länge minskningen i pump-
och energikostnad kompenserar kostnadsökningen för rören. Man väljer slutligen den
största rördimension, som uppvisar negativ marginell total årskostnad.

Lösning av exempel 1 genom grafisk optimering av ledningssystemet. För att exempli-
fiera metoden löses nu uppgiften i Exempel 1 (sid. 4) med hjälp av nomogrammet i
fig. 6. Den årliga pump- och energikostnaden per m vp, (A + B), för de ingående del-
sträckorna 1-3 kan anges till 400, 200 och 100 kr/m vp · år. Den marginella årskost-
naden för rören, K_{RM} , beräknas för nedan angivna dimensionsövergångar till följande
belopp:

Dimensionsövergång d_i (mm)	K_{RM} kr/m år
84,6/103,4	0,50
103,4/150,6	0,90
150,6/211,8	1,60
211,8/263,6	3,00
263,6/296,6	3,50

I figur 6 demonstreras med inlagda hjälplinjer hur h_{fM} och $h_{fM}(A + B)$ för delsträcka
1 i exemplet kan avläsas ur nomogrammet. De erhållna värdena för samtliga delsträc-
kor i exemplet har införts i nedanstående tabell.

Delsträcka nr	Flöde l/s	Dimensionsövergång d_i (mm)	K_{RM} kr/m · år	$h_{fM}(A+B)$ kr/m · år	K_{TM} kr/m · år	h_{fM} o/oo	K_{TM}/h_{fM} kr/m vp · år
1	40	150,6/211,8	1,60	8,4	-6,8	21	
		211,8/263,6	3,00	1,5	1,5	3,6	420
		263,6/296,6	3,50	0,3	3,2	0,8	4000
2	20	103,4/150,6	0,90	7,9	-6,8	38,6	
		150,6/211,8	1,60	1,2	0,4	6,0	67
		211,8/263,6	3,00	0,2	2,8	1,0	2800
3	10	84,6/103,4	0,50	2,2	-1,7	22	
		103,4/150,6	0,90	1,1	-0,2	11	
		150,6/211,8	1,60	0,2	1,4	1,7	830

För varje delsträcka väljes nu den största rördimension, som ger negativ marginell total årskostnad, K_{TM} . Man får då följande dimensioner:

Delsträcka nr	Längd m	Flöde l/s	Dimension ^{a)} d_v/d_i mm	Frikt.förlust o/oo	Frikt.förlust m vp
1	1500	40	225/211,8	5,5	8,3
2	1000	20	160/150,6	7,5	7,5
3	500	10	160/150,6	2,1	1,1
Summa					16,9

a) Ur figur 2.

En jämförelse med den förra lösningen (se sid. 5) visar, att man här erhållit en grövre dimension (160/150,6) på delsträcka tre. Detta medför lägre friktionsförluster och pumstrycket kan sänkas till 47 m vp ($20+10+16,9 = 46,9$).

Hade man nu inte godtagit 17 m vp i friktionsförlust skulle man först ha valt en större dimension på delsträcka två (150,6 mm byts till 211,8 mm), då denna delsträcka har lägst merkostnad per marginell friktionsförlustenheter (67 kr per m vp). Därefter skulle proceduren ha upprepats för delsträcka ett och slutligen för delsträcka tre.



SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP
LANTBRUKETS HYDROTEKNIK
H. J. JAV. - 79

NOMOGRAM FÖR BESTÄMNING AV OPTIMAL RÖRDIMENSION
PVC-RÖR TRYCKKLASS NT-6

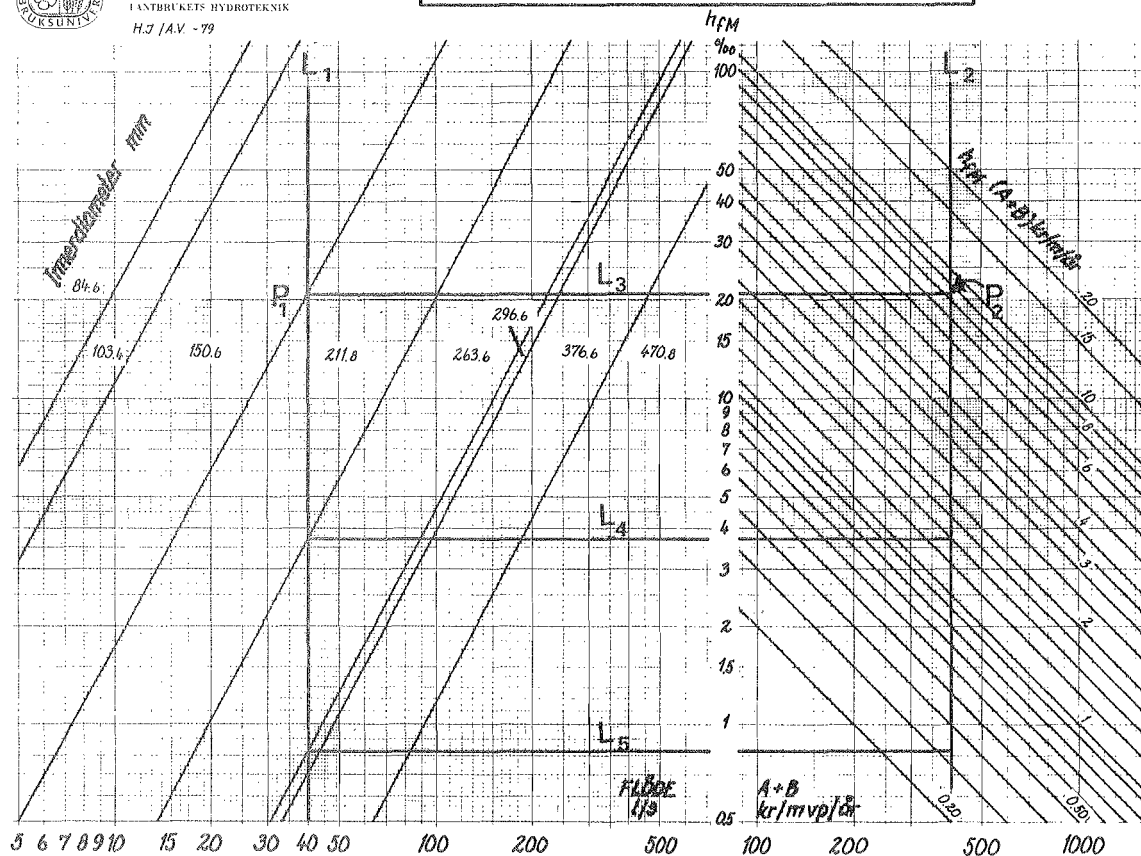


Fig. 6. Grafisk lösning av Exempel 1, delsträcka 1, där flödet är 40 l/s och den årliga pump- och energikostnaden 400 kr/m vp.

Ledning: Nomogrammet består av två delar med en däremellan inlagd vertikal skala (axel), som anger marginell friktionsförlust, h_{fM} . I den vänstra delen kan man avläsa marginell friktionsförlust vid byte till närmast större rördimension. I den högra delen erhålles produkten marginell friktionsförlust x årlig pump- och energikostnad per m vp, $h_{fM}(A+B)$, dvs. den marginella pump- och energikostnaden. Nedre axeln anger i vänstra delen flöde och i högra delen årlig pump- och energikostnad per m vp, $(A+B)$. Dessa båda storheter utgör erforderliga utgångsvärden.

Användningen demonstreras med Exempel 1, delsträcka 1 (sid. 4 och 5), där flödet är 40 l/s och den årliga pump- och energikostnaden 400 kr/m vp. Dessa utgångsvärden har markerats med två vertikala hjälplinjer L_1 och L_2 . För avläsning av den marginella friktionsförlusten sökes skärningspunkterna mellan linje L_1 och de snedställda linjerna i nomogrammets högra del. Från skärningspunkten, P_1 , dras en vågrät hjälplinje, L_3 , till h_{fM} -axeln. På denna avläses den marginella friktionsförlusten, dvs. minskningen i friktionsförlust vid övergång från d_i 150,6 till d_i 211,8. Det avlästa värdet utgör 21 o/oo (m vp per 1000 m ledning). Utdrages hjälplinje L_3 ytterligare åt höger kan man i skärningspunkten med linje L_2 , betecknad P_2 , avläsa produkten $h_{fM}(A+B)$ i detta fall 8,4 kr/m \cdot år. Motsvarande värden för dimensionsövergångarna d_i 211,8 till d_i 263,6 (hjelplinje L_4) och d_i 263,6 till d_i 296,6 (hjelplinje L_5) har avlästs och införts i tabellen på sid. 13.

DATAPROGRAM FÖR OPTIMERING AV LEDNINGSSYSTEM

Den grafiska dimensioneringsmetoden, som beskrivits blir ganska omständlig att använda, när man skall dimensionera större gemensamma bevattningsföretag. Därför har ett dataprogram utarbetats för rördimensioneringen samt för beräkningen av erforderlig motoreffekt vid gemensamma pumpanläggningar och enskilda tryckstegringsstationer.

Dataprogrammet (benämnt ULTDIM) är uppbyggt så, att man med hjälp av detta kan dimensionera såväl lågtrycks- som högtryckssystem liksom kombinerade ledningssystem. Uppgifter måste ges om var i ledningssystemet bevattningsuttagen sker och hur stora dessa är. Beräkning av maximalt flöde och årlig transporterad vattenmängd samt marginell friktionsförlust för varje delsträcka utföres, innan själva rördimensioneringen påbörjas.

Indata

Följande uppgifter behövs som indata för rördimensioneringen:

- Hur stora förbrukarnas bevattningsuttag beräknas bli och vilka delsträckor som berörs av uttagen
- Delsträckornas längd
- Vilken av de två tryckklasserna, som man avser att använda på delsträckorna (endast två tryckklasser kan samtidigt användas i programmet)
- Pumptryck och eventuella tryckstegringsanläggningar
- Nivåskillnader
- Minsta tillåtna hydranttryck
- Högsta tillåtna tryck i rörledningen
- Årlig driftstid
- Pumpens genomsnittliga verkningsgrad
- Koefficienter för beräkning av friktionsförluster
- Ränta, avskrivning och underhåll av röranläggningen
- Ränta, avskrivning och underhåll av pumpanläggningen
- Kostnader för rör inklusive grävning och läggning
- Genomsnittlig investeringskostnad för pump med drivkälla per effektenhet
- Energipris

Bevattningsuttagens storlek och läge. Uttagens storlek anges i liter per sekund. De delsträckor som berörs bildar tillsammans en s.k. rörslinga till varje uttagpunkt.

I programmet finns utrymme för upp till tre förbrukare vid varje uttagpunkt. Antalet rörslingor (= uttagpunkter) är maximerat till trettio stycken. Maximalt kan i programmet upptas femtio delsträckor. För varje delsträcka anges dess längd samt den tryckklass man avser använda. I de fall det är aktuellt måste dessutom

anges var gemensamma tryckstegringsanläggningar skall placeras samt deras maximala tryckstegring i m vp.

Uppgifter om rördimensionerna. Man kan välja mellan maximalt nio rördimensioner i varje tryckklass. Som indata måste alltid uppgifter ges för lika många rördimensioner i båda tryckklasserna. Det är lämpligt att benämna de olika rördimensionerna med deras ytterdiamter i millimeter. Rörkostnaden skall inkludera kostnader för grävning och läggning och uttryckas i kronor per meter.

Friktionsförlusten, h_f , beräknas i programmet för givna flöden med stöd av ekvationen

$$h_f = 10^{a \log(q) - b}$$

där q är flödet (vattenuttaget, l/s) samt a och b koefficienter, som för aktuella dimensioner och tryckklasser anges i tabell 1. Dessa koefficienter kan mycket väl ingå i programmet, men genom att ha dem som indata kan rörsortimentet ändras och nya koefficienter tas fram utan att man behöver göra justeringar i själva dataprogrammet.

Tabell 1. Koefficienter för beräkning av friktionsförlustens storlek med formeln $h_f = 10^{a \log(q) - b}$.

Tryckklass	d_y/d_i	a	b
NT 6	90/84,6	1,8087	0,2687
	110/103,4	1,8119	0,6934
	160/150,6	1,8178	1,4908
	225/211,8	1,8718	2,2607
	280/263,6	1,8735	2,7347
	315/296,6	1,8744	2,9903
	400/376,6	1,8761	3,5079
	500/470,8	1,8777	3,9868
NT 10	40/ 35,2	1,7930	-1,5785
	63/ 57,0	1,8019	-0,5650
	75/ 67,8	1,8049	-0,1990
	90/ 81,4	1,8082	0,1873
	110/ 99,4	1,8113	0,6098
	140/126,6	1,8151	1,1224
	160/144,6	1,8172	1,4045
	225/203,4	1,8714	2,1731
	280/253,2	1,8731	2,6475
	315/285,0	1,8741	2,9039
	400/361,8	1,8758	3,4210
	500/452,2	1,8774	3,8929
Bevattnings- rör 10 atö	110/101,4	1,8116	0,6520
	140/129,2	1,8155	1,1655
	160/147,6	1,8175	1,4481

Underlaget till ovanstående ekvation med tillhörande koefficienter liksom till friktionsförlustnomogrammet i fig. 2 har erhållits ur Darcy-Weisbachs ekvation

$$h_f = f \frac{L}{d_i} \frac{\bar{v}^2}{2g} \quad \text{där } \bar{v} = \frac{4q}{\pi \cdot d_i^2}$$

Friktionskoefficienten, f , har beräknats med Colebrooks ekvation (se nomogramhuvudet i fig. 2).

I ett dubbellogaritmiskt nomogram kan det här sökta sambandet mellan h_f och q för de olika rördimensionerna beskrivas med rätta linjer, vilket utgör grunden för det ovan inledningsvis angivna exponentiella sambandet mellan h_f och q , $h_f = 10^{a \log(q) - b}$. Detta kan erhållas ur den allmänna ekvationen för en rät linje i ett dubbellogaritmiskt diagram. Därvid anger a linjens riktningskoefficient.

Övriga indata. Nivåskillnaden mellan vattentäktens vattenyta och varje uttagspunkt uttrycks i decimeter. Vidare anges lägsta tillåtna hydranttryck och maximalt ledningstryck i meter vattenpelare för de båda tryckklasserna. Den beräknade årliga drifttiden anges i timmar. Ränta, avskrivning och underhåll av pumpanläggning samt röranläggning uttrycks i procent av respektive investeringskostnad.

Pumpens genomsnittliga investeringskostnad anges i kronor per kilowatt. För att inte drivkällan skall bli överlastad måste alltid denna dimensioneras med en viss säkerhetsmarginal. Detta måste beaktas när man beräknar genomsnittliga investeringskostnaden. För eldrift är säkerhetsfaktorn 1,1-1,2 gånger effektbehovet och för traktordrift 1,5 gånger effektbehovet. Om man exempelvis köper en pump med elmotor 37 kW för 11.000,-, så är den genomsnittliga investeringskostnaden per kilowatt när säkerhetsfaktorn sätts till 1,2

$$K_{IPE} = 11000 / (37 / 1,2) = 360 \text{ kr/kW}$$

Pumpens genomsnittliga verkningsgrad anges i procent och energipriset i öre per kilowattimme. Om man vill beräkna effektbehov och erforderlig motoreffekt vid enskilda tryckstegringsanläggningar så markeras detta i indata.

Indatablankettens utformning och hur den ifylls kan studeras i bilaga 1. Där presenteras en fullständig "datadimensionering" av ett bevattningsföretag med åtta delägare, som valt ett kombinerat låg- och högtryckssystem.

Hur programmet arbetar

Det tidigare beskrivna Exempel 1 kommer att användas för att åskådliggöra de olika momenten vid dimensionering med hjälp av dataprogrammet.

Beräkning av marginell årskostnad för olika rördimensioner. Beräkningarna utförs för samtliga rördimensioner på sätt som tidigare beskrivits. Datautskriften framgår av tabell 2. Där kan förutom den marginella årskostnaden per meter ledning av en viss dimension utläsas ledningens investeringskostnad inkl. kostnad för grävning och läggning samt ledningens årskostnad.

Tabell 2.

RÖRKOSTNADER FÖR OLIKA DIMENSIONER

TRYCKKLASS	DIM MM	INVEST. KOSTN KR/M	ÅRSKOSTN KR/M/ÅR	MARG. ÅRSKOSTN KR/M/ÅR
NT 6				
	90.	20.00	2.00	0.50
	110.	25.00	2.50	0.90
	160.	34.00	3.40	1.60
	225.	50.00	5.00	3.00
	280.	80.00	8.00	3.50
	315.	115.00	11.50	
NT10				
	90.	23.00	2.30	0.70
	110.	30.00	3.00	0.80
	140.	38.00	3.80	0.50
	160.	43.00	4.30	2.70
	225.	70.00	7.00	2.50
	280.	95.00	9.50	

Beräkning av maximalt flöde och årlig transporterad vattenmängd för varje delsträcka. Med hänsyn till vilka delsträckor som berörs av de olika vattenuttagen beräknas maximalt flöde och årlig transporterad vattenmängd för varje delsträcka, tabell 3. I tabell 3 anges också den årliga driftstid som givits i förutsättningarna.

Tabell 3.

MAXIMALT FLÖDE OCH ÅRLIG TRANSPORTERAD VATTENMÄNGD
FÖR RESPEKTIVE DELSTRÄCKA SAMT ÅRLIG DRIFTSTID

DELSTRÄCKA NR	MAX. FLÖDE L/S	TRANSP. VATTENMÄNGD 1000-TALS M ³ /ÅR
1	40.0	144.0
2	20.0	72.0
3	10.0	36.0

ÅRLIG DRIFTSTID: 1000. TIMMAR

Beräkning av pump- och energikostnaden per tryckhöjdsenhet. Med hjälp av de förut-
sättningar som givits som indata samt erhållna maximala flöden och årligen transpor-
terade vattenmängder enligt tabell 3 beräknas den årliga pump- och energikostnaden
per tryckhöjdsenhet för varje delsträcka, tabell 4. Anläggningens årliga energikost-
nad för den gemensamma pumpstationen kan man erhålla genom att multiplicera energi-
kostnaden per tryckhöjdsenhet för delsträcka 1 med pumptrycket. Om exempelvis pump-
trycket är 50 m vp så blir energikostnaden 50 m vp x 294 kr/m vp · år = 1700 kr/år.

Tabell 4.

PUMP- OCH ENERGIKOSTNAD PER TRYCKHÖJDSENHET FÖR RESP. DELSTRÄCKA

DELSTR NR	PUMPKOSTNAD KR/MVP/ÅR	ENERGIKOSTNAD KR/MVP/ÅR	SUMMA KR/MVP/ÅR
1	106.	294.	400.
2	53.	147.	200.
3	26.	74.	100.

Beräkning av friktionsförlusten. Friktionsförlusten uttryckt i promille beräknas
för olika rördimensioner på respektive delsträcka, tabell 5. I tabellhuvudet anges
alltid rördimensioner för två tryckklasser även om endast en tryckklass används.
Den tryckklass som är aktuell för en viss delsträcka anges till höger om delsträc-
kans nummer. I exemplet har som synes uteslutande använts rör av tryckklass NT 6.

Beräkning av marginell friktionsförlust. I tabell 6 redovisas för varje delsträcka
skillnaden i friktionsförlust vid byte från större till mindre rördimension (där-
för negativt tecken).

Tabell 5.

FRIKTIONSFÖRLUST I PROMILLE FÖR OLIKA RÖRDIMENSIONER
PÅ RESPEKTIVE DELSTRÄCKA

		DIMENSIONER					
DEL STR	NR NT	90.	110.	160.	225.	280.	315.
		10	90.	110.	140.	160.	225.
1	6	425.55	155.62	26.39	5.47	1.85	1.03
2	6	121.47	44.66	7.49	1.49	0.50	0.28
3	6	34.67	12.81	2.12	0.41	0.14	0.08

Tabell 6.

MARGINELL FRIKTIONSFÖRLUST I PROMILLE FÖR OLIKA RÖRDIMENSIONER
PÅ RESPEKTIVE DELSTRÄCKA

		DIMENSIONER					
DEL STR	NR NT	90.	110.	160.	225.	280.	315.
		10	90.	110.	140.	160.	225.
1	6	*****	*****	-20.92	-3.62	-0.82	
2	6	-76.81	-37.17	-5.99	-0.99	-0.22	
3	6	-21.86	-10.69	-1.71	-0.27	-0.06	

Beräkning av marginell total årskostnad. Den marginella totala årskostnaden för olika rördimensioner på respektive delsträcka framräknas ur sambandet $K_{TM} = K_{RM} - h_{fM}(A + B)$ (jfr sid. 10) och redovisas i tabell 7. Tabellen utnyttjas vid val av bästa möjliga rördimension. För exemplets delsträcka 1 är d_y 225 bäst eftersom den marginella totala årskostnaden vid byte från d_y 225 till d_y 280 övergår från negativt till positivt värde.

Tabell 7.

MARGINELL TOTAL ÅRSKOSTNAD (KR/M/ÅR) FÖR OLIKA RÖRDIMENSIONER
PÅ RESPEKTIVE DELSTRÄCKA

		DIMENSIONER					
DEL STR	NR NT	90.	110.	160.	225.	280.	315.
		10	90.	110.	140.	160.	225.
1	6	*****	-30.79	-6.77	1.55	3.17	
2	6	-14.86	-6.53	0.40	2.80	3.46	
3	6	-1.69	-0.17	1.43	2.97	3.49	

Beräkning av marginell total årskostnad per marginell friktionsförlustenhet (tabell 8). Denna kvot används, som tidigare framhållits, sid. 11, för att fastställa på vilka delsträckor som det är mest fördelaktigt att välja större rördimension, om så erfordras med hänsyn till den summerade friktionsförlusten.

Tabell 8.

MARGINELL TOTAL ÅRSKOSTNAD PER MARGINELL FRIKTIONSFÖRLUSTENHET
(KR/MVP/ÅR) FÖR OLIKA RÖRDIMENSIONER PÅ RESPEKTIVE DELSTRÄCKA

		DIMENSIONER					
		90.	110.	160.	225.	280.	315.
NT	6	90.	110.	160.	225.	280.	315.
	10	90.	110.	140.	160.	225.	280.
DEL STR NR NT							
1	6	0.	0.	0.	-428.	-3875.	
2	6	0.	0.	-67.	-2829.	*****	
3	6	0.	0.	-833.	*****	*****	

Dimensionering. Tabell 9 anger den ekonomiskt bäst anpassade rördimensioneringen med utgångspunkt från den marginella totala årskostnaden för olika dimensioner på respektive delsträckor. Hänsyn har ej tagits till önskat tryck vid den sista hydranten varför tabellen kommer att justeras om erforderligt hydranttryck ej uppnås. Tabellen anger förutom utvalda rördimensioner i den aktuella tryckklassen uppgifter om flöde, längd, friktionsförlust och rörkostnad för varje delsträcka samt den total rörkostnaden för hela anläggningen.

Tabell 9.

DIMENSIONERING

DELSTR. NR	NT	DIM MM	FLÖDE L/S	HF 0/00	LÄNGD METER	HF MVP	RÖRKOSTN. KR
1	6	225.	40.	5.5	1500.	8.2	75000.
2	6	160.	20.	7.5	1000.	7.5	34000.
3	6	160.	10.	2.1	500.	1.1	17000.
TOTAL RÖRKOSTNAD;							126000.

Beräkning av hydranttryck. Trycket vid uttagpunkterna framgår av tabell 10. I tabellens vänstra del ges upplysning om vilka delsträckor som ingår i respektive rörslinga. I rörslingan ingående delsträckor markeras med en etta eller tvåa på respektive del-

sträckas position (jämför tabellhuvudet). En nolla markerar att delsträckan ej ingår i rörslingan. Mer om dessa markeringar längre fram. Hydranttrycket beräknas genom att subtrahera friktionsförlust och höjdskillnad från pumpptrycket. Från hydranttrycket subtraheras sedan det lägsta tillåtna hydranttrycket. Är denna differens positiv för samtliga rörslingar är den gjorda dimensioneringen användbar, vilket är fallet i exempel 1. En negativ differens innebär att friktionsförlusterna är högre än vad som kan accepteras. Beräkningarna fortsätter i så fall med byte till grövre dimensioner på någon eller några delsträckor. Dessa beräkningar exemplifieras längre fram.

Tabell 10.

INGÅENDE DELSTRÄCKOR OCH TRYCKFÖRHÅLLANDEN I OLIKA RÖRSLINGOR

RÖR- SLINGA NR	DELSTRÄCKA NR: 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10 11. 0. S. V	PUMP- TRYCK MVP	FRIKT. FÖRL MVP	HÖJD DIFF. M	HYDRANT TRYCK MVP	LAGSTA HYDR. TR MVP	DIFF MVP
1	1.0.0.	60.	8.2	5,0	46.8	10.	36.8
2	1.1.0.	60.	15.7	10,0	34.3	10.	24.3
3	1.1.1.	60.	16.8	20,0	23.2	10.	13.2

Om det i förutsättningarna angivna pumpptrycket (60 m vp) bibehålls blir hydranttrycket lägst 23,2 m vp i exemplet. Man kan därför sänka pumpptrycket till 47 m vp (20+10+16,8 = 46,8 m vp). I tabell 11 anges hydranttrycken med hänsyn till det nya pumpptrycket.

Tabell 11.

JUSTERAT HYDRANTTRYCK

RÖRSLINGA	MVP
1	33.5
2	21.1
3	10.0

Beräkning av effektbehov och erforderlig motoreffekt (eldrift) för de gemensamma pumpanläggningarna. Effektbehovet och den erforderliga motoreffekten beräknas enligt effektformeln för fyra olika verkningsgrader (N = 50, 60, 70 och 80 procent).

$$\text{Effektbehovet} = \frac{g \cdot q \cdot H}{10 \cdot N} \text{ kW}$$

Beräkningen kan utföras för flera gemensamma pumpstationer. Vilken av pumpstationerna som avses, utläser man i tabellens rubrik (tabell 12). Pumpstationerna numreras med hänsyn till den delsträcka som följer omedelbart efter pumpstationen. I de fall då pumptrycket justerats till en lägre nivå än det man utgått från i indata, beräknas effektbehovet efter det justerade pumptrycket. Säkerhetsfaktorn för drivkällan har satts till 1,2 gånger effektbehovet.

Tabell 12.

EFFEKTBEHOV OCH ERFORÐERLIG MOTOREFFEKT VID PUMPSTATION NR 1
 MAXIMALT FLODE: 40.0 L/S PUMPTRYCK: 47. MVP

	VID VERKNINGSGRADEN			
	50 %	60 %	70 %	80 %
EFFEKTBEHOV I KW	36.7	30.6	26.2	22.9
ERF. MOTOREFF. I KW	44.0	36.7	31.4	27.5

Effektbehov och erforderlig motoreffekt (eldrift) för de enskilda tryckstegringsanläggningarna. Eftersom man i detta läge inte vet vilket arbetstryck den enskilda lantbrukaren vill ha i sin bevattningsanläggning och vilka nivåskillnader som förekommer på gården, så beräknas effektbehovet och den erforderliga motoreffekten (eldrift) vid de enskilda tryckstegringsanläggningarna för tre alternativa utgångstryck (80, 100 och 120 m vp). I underrubriken ges information om vilken förbrukare på rørslingen beräkningen avser (maximalt tre förbrukare per rørslinga). Tryckstegringsbehovet anges i den vänstra kolumnen (tabell 13).

Byte till större rördimension. I de fall friktionsförlusterna överskrider vad som kan accepteras med hänsyn till erforderligt hydranttryck måste, på någon eller några delsträckor, ett byte ske till en större rördimension. Detta skall göras på någon av de delsträckor, som ingår i den mest "begränsande" slingan. För att få lägsta merkostnaden görs bytet på den delsträcka som har lägst marginell total årskostnad per marginell friktionsförlustenheter (jfr tabell 8).

I det bevattningsföretag, som dimensionerats i bilaga 1 överskrider friktionsförlusterna på rørslingorna 3 och 7. Eftersom lägsta tillåtna hydranttryck underskrives mest på rørslinga 7, så görs först byte till en större dimension på någon av delsträckorna i denna rørslinga. I rørslingen ingår delsträckorna 1 t.o.m. 6 vilket framgår av tabell 14.

Tabell 13.

EFFEKTBEHOV OCH ERFÖRDERLIG MOTOREFFEKT VID TRYCKSTEGRINGSANLÄGGNINGAR

RÖRSLINGA NR: 1 FÖRBRUKARE NR: 1
 HYDRANTTRYCK: 33.5 MVP FLÖDE: 20.0 L/S

TRYCKSTEGRING MVP	EFF. BEHOV/ERF. MOTOREFF. I KW VID VERKNINGSGRADEN			
	50 %	60 %	70 %	80 %
46.5	18.2/21.9	15.2/18.2	13.0/15.6	11.4/13.7
66.5	26.1/31.3	21.7/26.1	18.6/22.4	16.3/19.6
86.5	33.9/40.7	28.3/33.9	24.2/29.1	21.2/25.4

RÖRSLINGA NR: 2 FÖRBRUKARE NR: 1
 HYDRANTTRYCK: 21.1 MVP FLÖDE: 10.0 L/S

TRYCKSTEGRING MVP	EFF. BEHOV/ERF. MOTOREFF. I KW VID VERKNINGSGRADEN			
	50 %	60 %	70 %	80 %
58.9	11.6/13.9	9.6/11.6	8.3/ 9.9	7.2/ 8.7
78.9	15.5/18.6	12.9/15.5	11.1/13.3	9.7/11.6
98.9	19.4/23.3	16.2/19.4	13.9/16.6	12.1/14.6

RÖRSLINGA NR: 3 FÖRBRUKARE NR: 1
 HYDRANTTRYCK: 10.0 MVP FLÖDE: 10.0 L/S

TRYCKSTEGRING MVP	EFF. BEHOV/ERF. MOTOREFF. I KW VID VERKNINGSGRADEN			
	50 %	60 %	70 %	80 %
70.0	13.7/16.5	11.4/13.7	9.8/11.8	8.6/10.3
90.0	17.7/21.2	14.7/17.7	12.6/15.1	11.0/13.2
110.0	21.6/25.9	18.0/21.6	15.4/18.5	13.5/16.2

Tabell 14.

INGÅENDE DELSTRÄCKOR OCH TRYCKFÖRHÅLLANDEN I OLIKA RÖRSLINGOR

RÖR- SLINGA NR	DELSTRÄCKA NR: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 11, 0, S, V	PUMP- TRYCK MVP	FRIKT. FÖRL MVP	HÖJD DIFF. M	HYDRANT TRYCK MVP	LÄGSTA HYDR. TR MVP	DIFF MVP
1	1.0.0.0.0.0.0.0.0.	70.	26.1	16.0	27.9	10.	17.9
2	2.2.0.0.0.0.0.0.0.	162.	26.1	16.0	120.0	100.	20.0
3	2.2.1.1.0.0.1.1.	162.	50.1	18.0	94.0	100.	-6.0
4	2.2.1.0.0.0.0.0.0.	162.	33.9	19.0	109.2	100.	9.2
5	2.2.1.1.0.0.1.0.	162.	42.0	19.0	101.1	100.	1.1
6	2.2.1.1.1.0.0.0.	162.	38.5	19.0	104.6	100.	4.6
7	2.2.1.1.1.1.0.0.	162.	53.5	18.0	90.7	100.	-9.3

Delsträcka 1 och 2 har markerats med tvåor. Detta har skett därför att inget byte får ske på dessa delsträckor. Orsaken är att rörledningens högsta tillåtna tryck redan uppnåtts i dessa delsträckor. Om ett byte till större dimension sker på delsträcka 1 och 2 måste pumptrycket sänkas och hydranttrycket förblir därigenom oförändrat.

Tabell 15.

MARGINELL TOTAL ÅRSKOSTNAD PER MARGINELL FRIKTIONSFÖRLUSTENHET (KR/MVP/ÅR) FÖR OLIKA RÖRDIMENSIONER PÅ RESPEKTIVE DELSTRÄCKA

		DIMENSIONER						
NT	6	90.	110.	160.	225.	280.	315.	400.
	10	90.	110.	140.	160.	225.	280.	315.
DEL								
STR								
NR	NT							
1	6	0.	0.	0.	0.	-21.	-775.	
2	10	0.	0.	0.	0.	0.	-323.	
3	10	0.	0.	0.	0.	0.	-665.	
4	10	0.	0.	0.	0.	-396.	-3128.	
5	10	0.	0.	-99.	-467.	-2874.	*****	
6	10	-31.	-109.	-716.	-2505.	*****	*****	
7	10	0.	0.	0.	-170.	-1283.	-8372.	
8	10	0.	-6.	-212.	-826.	-4935.	*****	

I tabellen över marginella totala årskostnaden per marginell friktionsförlustenhet (tabell 15) finner man att delsträcka 1 har minst negativt värde (-21) av de delsträckor, som ingår i rørslinga 7. Delsträcka 1 är dock "spärrad" för byte (se tabell 14) och bytet sker därför först på delsträcka 6 från d_y 90 mm till d_y 110 mm (tabell 16).

Tabell 16.

BYTE TILL GROVRE DIMENSION

DELSTR.	NT	DIM	FLÖDE	HF	LANGD	HF	RÖRKOSTN.
NR		MM	L/S	0/00	METER	MVP	KR
6	10	110.	7.	8.1	700.	5.7	21000.
TOTAL RÖRKOSTNAD:							375095.

Efter varje dimensionsbyte redovisas en korrigerad uppställning över tryckförhållanden för de olika rørslingorna (tabell 17).

Som framgår av tabell 17 var bytet av rördimension på delsträcka 6 inte tillräckligt. Hydranttrycket på rörslinga 7 är fortfarande 0,1 m vp för lågt. Nästa dimensionsbyte kommer dock att göras på rörslinga 3, eftersom lägsta tillåtna hydranttryck underskrider mera på denna. I rörslinga 3 kan dimensionsbyte ske på delsträckorna 3, 4, 7 eller 8. Den minst negativa marginella totala årskostnaden per friktionsförlustenheter (se tabell 15) uppvisar delsträcka 8. Nästa byte sker alltså på delsträcka 8 från d_y 110 mm till d_y 140 mm (tabell 18).

Tabell 17.

INGÅENDE DELSTRÄCKOR OCH TRYCKFÖRHÅLLANDEN I OLIKA RÖRSLINGOR

RÖR- SLINGA NR	DELSTRÄCKA NR: 1.2.3.4.5.6.7.8.9.10 11. 0.S.V	PUMP- TRYCK MVP	FRIKT. FÖRL MVP	HÖJD DIFF. M	HYDRANT TRYCK MVP	LÄGSTA HYDR.TR MVP	DIFF MVP
1	2.0.0.0.0.0.0.0.0.	70.	26.1	16.0	27.9	10.	17.9
2	2.2.0.0.0.0.0.0.0.	162.	26.1	16.0	120.0	100.	20.0
3	2.2.1.1.0.0.1.1.	162.	50.1	18.0	94.0	100.	-6.0
4	2.2.1.0.0.0.0.0.0.	162.	33.9	19.0	109.2	100.	9.2
5	2.2.1.1.0.0.1.0.	162.	42.0	19.0	101.1	100.	1.1
6	2.2.1.1.1.0.0.0.	162.	38.5	19.0	104.6	100.	4.6
7	2.2.1.1.1.1.0.0.	162.	44.2	18.0	99.9	100.	-0.1

Tabell 18.

BYTE TILL GRÖVRE DIMENSION

DELSTR. NR	NT	DIM MM	FLÖDE L/S	HF 0/00	LÄNGD METER	HF MVP	RÖRKOSTN. KR
8	10	140.	13.	5.9	340.	2.0	12920.
TOTAL RÖRKOSTNAD:							377815.

Inte heller detta dimensionsbyte visar sig vara tillräckligt utan byte måste även ske på delsträcka 5 för att inte minsta tillåtna hydranttryck skall underskridas. Tabellmaterialet för detta byte redovisas ej här, men återfinns i bilaga 1.

Erforderliga dimensioner. Dimensioneringen framgår av tabell 19.

Tabell 19.

DIMENSIONERING

DELSTR. NR	NT	DIM MM	FLÖDE L/S	HF 0/00	LÄNGD METER	HF MVP	RÖRKOSTN. KR
1	6	280.	100.	10.2	2549.	26.1	203920.
2	10	280.	100.	12.5	1.	0.0	95.
3	10	280.	82.	8.6	900.	7.8	85500.
4	10	225.	42.	7.2	560.	4.0	39200.
5	10	160.	17.	6.5	60.	0.4	2580.
6	10	110.	7.	8.1	700.	5.7	21000.
7	10	160.	25.	13.7	300.	4.1	12900.
8	10	140.	13.	5.9	340.	2.0	12920.
TOTAL RÖRKOSTNAD:							378115.

Som anförts tidigare sker byte av dimension på hela delsträckor, vilket inte alltid är nödvändigt. Dessutom kan ett dimensionsbyte på en rörslinga göra en tidigare dimensionsändring på en annan rörslinga onödig. Därför justeras dimensioneringen på vissa delsträckor och man återgår till den mindre dimensionen på så lång sträcka, som är möjligt utan att minsta tillåtna hydranttryck underskrids.

Justeringen i detta fall berör delsträckorna 5 och 8. Av tabell 20 framgår för hur stor del av respektive delsträcka som justeringarna gäller och hur tryckförluster och rörkostnader förändras.

Tabell 20.

JUSTERING TILL MINDRE DIMENSION PÅ DELAR AV DELSTRÄCKOR

DELSTR. NR	NT	DIM MM	FLÖDE L/S	HF 0/00	LÄNGD METER	HF MVP	RÖRKOSTN. KR
8	10	110.	13.	23.8	6	0.1	180.
	10	140.	13.	5.9	334	2.0	12692.
TOTAL RÖRKOSTNAD:							378067.
5	10	140.	17.	9.8	40	0.4	1520.
	10	160.	17.	6.5	20	0.1	860.
TOTAL RÖRKOSTNAD:							377867.

Hur dataprogrammet kan utnyttjas

I det föregående har dataprogrammets användbarhet för dimensionering demonstrerats. Det ger emellertid också möjlighet att studera hur dimensioneringen påverkas av olika faktorer som energipris, driftstid, verkningsgrad etc.

Genom att utföra dimensioneringen för olika energipris kan dimensioneringens känslighet vid ett ändrat energipris fastställas. Det kan även vara intressant att se hur driftstiden påverkar dimensioneringen.

Ett alternativ till en gemensam tryckstegringsstation är att dimensionera med större rör. Är detta möjligt och hur ställer sig detta kostnadsmässigt i det aktuella fallet? Denna fråga kan man få svar på genom att dimensionera båda alternativen och ställa skillnaden i rörkostnad mot kostnaden för tryckstegringsstationen.

Andra frågor, som kan bli aktuella är, om det finns utrymme för ytterligare anslutning av bevattningsintressenter eller om de redan anslutna intressenterna kan öka sina uttag. Det är väsentliga frågor, som bör beaktas redan vid anläggningens dimensionering. Genom att dimensionera för ett större vattenuttag än beräknat, kan man få svar på var i ledningssystemet förändringar i så fall behöver göras och vad denna överkapacitet kostar. Ledningssystemet kanske redan är fullt utnyttjat.

Genom att utnyttja dataprogrammet kan alltså en rad faktorer belysas. Många fler än som nämnts ovan. Och det är väsentligt att dessa frågor utreds vid dimensioneringen, så att de framtida kostnaderna kan begränsas.

Ett exempel på en optimal dimensionering av ett gemensamt bevattningsföretag redovisas i bilaga 1.

SAMMANFATTNING

Vid projektering av bevattningsföretag har man att ta hänsyn till en rad tekniska och ekonomiska faktorer. Det gäller avvägningen av investeringskostnaden för lednings- och pumpsystem mot energikostnaden men också att mera i detalj anpassa dimensionsvalet för olika ledningssträckor så att tekniskt och ekonomiskt optimala lösningar uppnås.

Uppsatsen belyser dessa frågor och inledes med en genomgång av olika kostnadssamband, som aktualiseras vid optimering av ledningssystem. Därefter redovisas en grafisk metod för optimeringsarbetets utförande lämpad för användning vid projektering av

mindre omfattande anläggningar. För större komplicerade företag med många uttagspunkter kan ett dataprogram vara till värdefull hjälp. Ett sådant program har utarbetats och dess användning demonstreras med ett exempel (bilaga 1). Dataprogrammet underlättar i hög grad prövningen av alternativa lösningar och bidrar därför verksamt att ta fram tekniskt och ekonomiskt fördelaktiga lösningar.

SUMMARY

When planning irrigation schemes it is necessary to consider a number of technical and economic factors. Factors primarily concern adjustment of the investment costs of the pipe and pump system to the energy cost, but also involve more detailed adjustment of the pipe dimensions in different parts of the pipe system in order to achieve solutions that are both technically and economically optimal.

The report discusses these questions and opens with a survey of different cost relationships of interest in optimisation of the irrigation system. This is followed by the description of a graphical method of conducting optimisation work that can be suitably used when planning smaller schemes. In more complicated irrigation schemes with numerous outlets, a computer program may be of valuable assistance. A program of this kind has been prepared and an example of its use is illustrated in App. 1. The computer program greatly facilitates the testing of alternative solutions and thus contributes actively to obtaining solutions that are technically and economically optimal.

LITTERATUR

- Bergius m.fl. 1975. Pumpteknik, Pumpning av vätskor. Ingenjörslitteratur. Stockholm.
- Chu, S.T. 1974. Pipe Size Selection for Community Irrigation Systems. Transactions of the ASAE. Vol. 17, 1029-1032, 1037.
- Deb, A.K. 1973. Least Cost Design of Water Main System in Series. Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE. Vol. 99. No EE3, Proc. Paper 9764, 405-409.
- Downs, G.F. & Tait, G.R. 1953. Formulas for Selecting Pipe-Line Diameter for Minimum Investment. American Petroleum Institute Proceedings. Vol. 33(V).
- Johansson, W. & Linnér, H. 1977. Bevattning, behov - effekter - teknik, LT:s förlag. Borås.
- Karmeli, D., Gadish, Y. & Meyers, S. 1968. Design of Optimal Water Distribution Networks. Journal of the Pipeline Division, ASCE. Vol. 94, No P1 1, Proc.

Paper 6130, 1-10.

Liang, T. 1971. Design of Conduit System by Dynamic Programming. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. Vol. 97, No. HY3, Proc. Paper 7988, 383-393.

Pair, C.H. (ed.) 1975. Sprinkler Irrigation. 4:e uppl. Silver Spring.

Steichen, J.M. & Garton. J.E. 1973. Economic Size Selection for PVC Pipelines. Transactions of the ASAE. Vol. 16, 1117-1120.

Stephenson, D. 1976. Pipeline Design for Water Engineers. Amsterdam.

EXEMPEL PÅ OPTIMAL DIMENSIONERING AV ETT GEMENSAMT BEVATTNINGSFÖRETAG

Förutsättningar

Åtta lantbrukare skall dra en gemensam rörledning från en närbelägen sjö för att trygga vattenbehovet under bevattningssäsongen. Förbrukarnas beräknade bevattningsuttag och nivåskillnaden i jämförelse med sjön framgår av nedanstående sammanställning.

Förbrukare	A	B	C	D	E	F	G	H
Uttag, l/s	8,3	9,7	12,5	19,4	20,8	12,5	9,7	6,9
Nivåskillnad, m	16	16	18	19	19	19	19	18

Ledningssystemets utformning och indelning i delsträckor framgår av figur 1:1 där även delsträckornas längd anges. Dataprogrammet tillåter inget uttag i anslutning till tryckstegeringsstationen. Detta problem löses genom att man lägger in en mycket kort delsträcka omedelbart efter tryckstegeringsstationen. I detta fall erhåller man därför 8 delsträckor. Om dimensioneringen gällt ett rent lågtryckssystem hade det räckt med 7 delsträckor. På delsträcka 1 används rör av tryckklass NT-6, på övriga delsträckor tryckklass NT-10. I rör av tryckklass NT-6 sätts högsta tillåtna tryck till 75 m vp och motsvarande för NT-10 är 120 m vp.

Om man önskar upprätthålla ett visst lägsta tryck i någon punkt i ledningssystemet, är detta möjligt genom att man bildar rörslingan till denna punkt men ej anger uttag. I detta fall får inte ingångstrycket vid tryckstegeringsstationen understiga 10 m vp. Därför bildas rörslinga nummer 1, som endast omfattar delsträcka 1. För nummer 1 anges sedan lägsta tillåtna hydranttryck till 10 m vp. Inget uttag görs här. Vid övriga hydranter är lägsta tillåtna tryck 100 m vp.

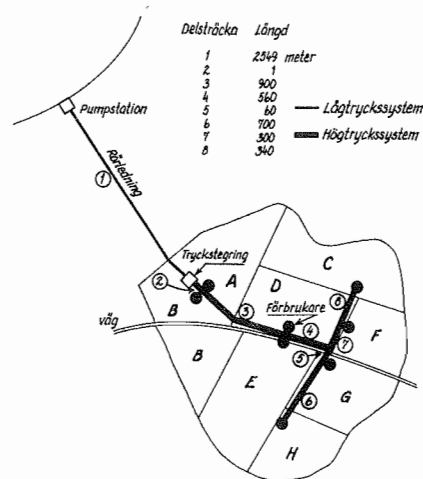


Fig. 1:1. Ledningssystemets utformning och indelning i delsträckor.

Övriga indata:

Årlig driftstid	800 timmar
Pumpens verkningsgrad	60 %
Ränta, avskrivning samt underhåll av pump med drivkälla	20,0 %
Ränta, avskrivning samt underhåll av rör	10,0 %
Koefficienter (a och b)	se tabell 1, sid. 16
Investeringskostnad för pump med drivkälla per effektenhet	350 kr/kW
Energipris	15 öre/kWh

Rörkostnader inklusive kostnader för grävning och läggning:

d _y mm	NT-6 kr/m	NT-10 kr/m
90	20	23
110	25	30
140	-	38
160	34	43
225	50	70
280	80	95
315	95	130
400	138	190
500	200	-

Att observera vid ifyllandet av indatablanketten (sid. 1:3-1:5)

- På rörslingorna 2 och 3 sker två uttag. Tillvägagångssättet är då, att den ene förbrukarens uttag noteras på kort 5 och den andres på kort 7. Det finns möjlighet för ytterligare en förbrukare på samma rörslinga. Hans uttag skall i så fall noteras på kort 9.
- Vid dimensionering av detta exempel skall tryckstegringsbehovet inte beräknas för någon enskild tryckstegringsstation. Därför lämnas kort 11 blankt. I annat fall hade de berörda rörslingorna markerats.
- I detta fall används rör av både tryckklass NT-6 och NT-10. Det är nödvändigt att antalet rördimensioner är lika många i båda tryckklasserna. Även i ett ledningssystem där rör av endast en tryckklass användes, måste av datatekniska skäl ges uppgifter om två tryckklasser.
- Pumptrycket vid gemensamma pumpanläggningar tillägges den delsträcka som följer omedelbart efter pumpstationen. För den gemensamma pumpstationen vid sjön berörs delsträcka 1. Tryckstegringsstationen ligger i omedelbar anslutning till en uttagspunkt, varför en extra delsträcka (nummer 2) måste läggas in mellan tryckstegringsstationen och uttagspunkten.
- För varje delsträcka markeras vilka rörslingor, som delsträckan ingår i.

ULTDIM-INDATA

UTSKRIFTENS TITELSIDA

kort 1	position 1-40	41-60	61-80
rubrik	datum	namn	
KOMBINERAT LÅG- OCH HÖGTRYCKSSYSTEM	15 MARS 1978	ANDERS VALEGÅRD	

kort 2 pos.1-5 RÄNTA, AVSKRIVNING OCH UNDERHÅLL, RÖRANL.	10.0	% (1 decimal)
6-10 RÄNTA, AVSKRIVNING OCH UNDERHÅLL, PUMPANL.	20.0	% (1 decimal)
11-15 PUMPENS GENOMSNITTLIGA VERKNINGSGRAD	60	%
16-20 ENERGIPRIS	15	öre/kWh
21-25 GENOMSNITTLIG INVESTERINGSKOSTNAD, PUMP	350	kr/kWh
26-30 ÅRLIG DRIFTSTID	800	timmar

NIVÅSKILLNAD, decimeter

kort 3	1-5 6-10	76-80														
rörslinga nummer																
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16	160	160	180	190	190	190	180									

kort 4	1-5 6-10	66-70											
rörslinga nummer													
17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30													

FÖRSTE FÖRBRUKARENS UTTAG, dl/sek

kort 5	1-5 6-10	76-80														
rörslinga nummer																
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16		83	125	194	125	97	69									

kort 6	1-5 6-10	66-70											
rörslinga nummer													
17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30													

ANDRE FÖRBRUKARENS UTTAG, dl/s

kort 7	1-5 6-10	76-80														
rörslinga nummer																
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16		97		208												

kort 8	1-5 6-10	66-70											
rörslinga nummer													
17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30													

TREDJE FÖRBRUKARENS UTTAG, dl/s

kort 9	1-5 6-10	76-80														
rörslinga nummer																
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16																

kort 10	1-5 6-10	66-70											
rörslinga nummer													
17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30													

UTTAGSPUNKTER VID VILKA TRYCKSTEGRINGSBEHOVET SKA BERÄKNAS
(markerar med rörslingans nummer i respektive ruta)

kort 11
1-2 3-4

31-32

rörslinga nummer															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

33-34

59-60

rörslinga nummer													
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

LÄGSTA TILLÄTNA HYDRANTTRYCK, m vp

kort 12
1-5

76-80

rörslinga nummer															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10	100	100	100	100	100	100									

kort 13
1-5

66-70

rörslinga nummer													
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

UPPGIFTER OM RÖREN

kort 14 pos. 4-5 TRYCKKLASS

NT

6

6-10 HÖGSTA TILLÄTNA TRYCK

75

 m vp

pos. 1-5	6-15	16-25	26-35	
DIMENSION 1) mm	RÖRKOSTN. 2) öre/m	KOEFFICIENTER FÖR BERÄKNING AV FRIKTIONSFÖRLUSTER		
		a	b	
kort 15	90	2000	18087	2687
kort 16	110	2500	18011	6934
kort 17	160	3400	18178	14908
kort 18	225	5000	18718	22607
kort 19	280	8000	18735	27347
kort 20	315	9500	18744	29903
kort 21	400	13800	18761	35079
kort 22	500	20000	18777	39868
kort 23				

- 1) Maximalt 9 rördimensioner, avsluta med ett tomt kort. Om 9 dimensioner ingår, tomma kortet=kort 24.
- 2) Rörcostnad = investeringskostnad för rören inkl. kostnad för grävning och läggning.

kort 25 pos. 4-5 TRYCKKLASS

NT

10

6-10 HÖGSTA TILLÄTNA TRYCK

120

 m vp

pos. 1-5	6-15	16-25	26-35	
DIMENSION 1) mm	RÖRKOSTN. 2) öre/m	KOEFFICIENTER FÖR BERÄKNING AV FRIKTIONSFÖRLUSTER		
		a	b	
kort 26	90	2300	18082	1873
kort 27	110	3000	18113	6098
kort 28	140	3800	18151	12224
kort 29	160	4300	18172	14045
kort 30	225	7000	18714	21731
kort 31	280	9500	18731	26475
kort 32	315	13000	18741	29039
kort 33	400	19000	18758	34210
kort 34				

- 1) Maximalt 9 rördimensioner, avsluta med ett tomt kort. Om 9 dimensioner ingår, tomma kortet=kort 35.
- 2) Rörcostnad = investeringskostnad för rören inkl. kostnad för grävning och läggning.

TABELL 1:1

MAXIMALT FLÖDE OCH ÅRLIG TRANSPORTERAD VATTENMÄNGD
FÖR RESPEKTIVE DELSTRÄCKA SAMT ÅRLIG DRIFTSTID

DELSTRÄCKA NR	MAX. FLÖDE L/S	TRANSP. VATTENMÄNGD 1000-TALS M ³ /ÅR
1	99,8	287,4
2	99,8	287,4
3	81,8	235,6
4	41,6	119,8
5	16,6	47,8
6	6,9	19,9
7	25,0	72,0
8	12,5	36,0

ÅRLIG DRIFTSTID: 800. TIMMAR

TABELL 1:2

RÖRKOSTNADER FÖR OLIKA DIMENSIONER

TRYCKKLASS	DIM MM	INVEST. KOSTN KR/M	ÅRSKOSTN KR/M/ÅR	MARG. ÅRSKOSTN KR/M/ÅR
NT 6				
	90.	20,00	2,00	0,50
	110.	25,00	2,50	0,90
	160.	34,00	3,40	1,60
	225.	50,00	5,00	3,00
	280.	80,00	8,00	1,50
	315.	95,00	9,50	4,30
	400.	138,00	13,80	6,20
	500.	200,00	20,00	
NT10				
	90.	23,00	2,30	0,70
	110.	30,00	3,00	0,80
	140.	38,00	3,80	0,50
	160.	43,00	4,30	2,70
	225.	70,00	7,00	2,50
	280.	95,00	9,50	3,50
	315.	130,00	13,00	6,00
	400.	190,00	19,00	

TABELL 1:3

PUMP- OCH ENERGIKOSTNAD PER TRYCKHÖJDSENHET FÖR RESP. DELSTRÄCKA

DELSTR NR	PUMPKOSTNAD KR/MVP/ÅR	ENERGIKOSTNAD KR/MVP/ÅR	SUMMA KR/MVP/ÅR
1	114.	196.	310.
2	114.	196.	310.
3	94.	160.	254.
4	48.	82.	129.
5	19.	33.	52.
6	8.	14.	21.
7	29.	49.	78.
8	14.	25.	39.

TABELL 1:4

FRIKTIONSFÖRLUST I PROMILLE FÖR OLIKA RÖRDIMENSIONER
PÅ RESPEKTIVE DELSTRÄCKA

DEL STR	NR	NT	DIMENSIONER								
			90.	110.	160.	225.	280.	315.	400.	500.	
	6	10	90.	110.	140.	160.	225.	280.	315.	400.	500.
	10		90.	110.	140.	160.	225.	280.	315.	400.	500.
1	6	*****	807,67	139,07	30,29	10,25	5,71	1,75	0,58		
2	10	*****	*****	254,81	169,17	36,99	12,50	6,98	2,13		
3	10	*****	715,76	177,60	117,86	25,49	8,62	4,81	1,47		
4	10	549,98	210,31	52,05	34,49	7,19	2,43	1,35	0,41		
5	10	104,45	39,83	9,82	6,50	1,29	0,43	0,24	0,07		
6	10	21,36	8,12	2,00	1,32	0,25	0,08	0,05	0,01		
7	10	219,01	83,62	20,65	13,67	2,77	0,94	0,52	0,16		
8	10	62,54	23,83	5,87	3,88	0,76	0,26	0,14	0,04		

TABELL 1:5

MARGINELL FRIKTIONSFÖRLUST I PROMILLE FÖR OLIKA RÖRDIMENSIONER
PÅ RESPEKTIVE DELSTRÄCKA

DEL STR	NR	NT	DIMENSIONER								
			90.	110.	160.	225.	280.	315.	400.	500.	
	6	10	90.	110.	140.	160.	225.	280.	315.	400.	500.
	10		90.	110.	140.	160.	225.	280.	315.	400.	500.
1	6	*****	*****	*****	*****	-20,04	-4,54	-3,96	-1,16		
2	10	*****	*****	*****	-85,64	*****	-24,48	-5,53	-4,84		
3	10	*****	*****	*****	-59,74	-92,36	-16,88	-3,81	-3,34		
4	10	*****	*****	*****	-17,56	-27,30	-4,76	-1,07	-0,94		
5	10	-64,62	-30,00	-3,33	-5,21	-0,85	-0,19	-0,17	-0,17		
6	10	-13,23	-6,12	-0,68	-1,07	-0,17	-0,04	-0,04	-0,03		
7	10	*****	-62,96	-6,98	-10,90	-1,84	-0,41	-0,36	-0,36		
8	10	-38,71	-17,96	-1,99	-3,12	-0,50	-0,11	-0,10	-0,10		

TABELL 1:6

MARGINELL TOTAL ÅRSKOSTNAD (KR/M/ÅR) FÖR OLIKA RÖRDIMENSIONER
PÅ RESPEKTIVE DELSTRÄCKA

DEL STR	NR	NT	DIMENSIONER								
			90.	110.	160.	225.	280.	315.	400.	500.	
	6	10	90.	110.	140.	160.	225.	280.	315.	400.	500.
	10		90.	110.	140.	160.	225.	280.	315.	400.	500.
1	6	*****	*****	*****	-32,11	-3,21	0,09	3,07	5,84		
2	10	*****	*****	*****	-26,04	-38,27	-5,09	1,79	4,50		
3	10	*****	*****	*****	-14,68	-20,76	-1,79	2,53	5,15		
4	10	-43,18	-19,65	-1,77	-0,83	1,88	3,36	5,88			
5	10	-2,63	-0,75	0,33	2,43	2,46	3,49	5,99			
6	10	0,42	0,67	0,49	2,68	2,50	3,50	6,00			
7	10	-9,81	-4,09	-0,04	1,85	2,36	3,47	5,97			
8	10	-0,80	0,10	0,42	2,58	2,48	3,50	6,00			

TABELL 1:7

MARGINELL TOTAL ÅRSKOSTNAD PER MARGINELL FRIKTIONSFÖRLUSTENHET
(KR/MVP/ÅR) FÖR OLIKA RÖRDIMENSIONER PÅ RESPEKTIVE DELSTRÄCKA

DEL STR	NR	NT	DIMENSIONER								
			90.	110.	160.	225.	280.	315.	400.	500.	
	6	10	90.	110.	140.	160.	225.	280.	315.	400.	500.
	10		90.	110.	140.	160.	225.	280.	315.	400.	500.
1	6	0.	0.	0.	0.	0.	21.	-775.	-5018.		
2	10	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-323.	-929.		
3	10	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-665.	-1544.		
4	10	0.	0.	0.	0.	0.	-396.	-3128.	-6252.		
5	10	0.	0.	-99.	-467.	-2874.	*****	*****	*****		
6	10	-31.	-109.	-716.	-2505.	*****	*****	*****	*****		
7	10	0.	0.	0.	-170.	-1283.	-8372.	*****	*****		
8	10	0.	-6.	-212.	-826.	-4935.	*****	*****	*****		

TABELL 1:8

DIMENSIONERING

DELSTR. NR	NT	DIM MM	FLÖDE L/S	HF O/OO	LÄNGD METER	HF MVP	RÖRKOSTN. KR
1	6	280.	100.	10,2	2549.	26,1	203920.
2	10	280.	100.	12,5	1.	0,0	95.
3	10	280.	82.	8,6	900.	7,8	89500.
4	10	225.	42.	7,2	560.	4,0	39200.
5	10	140.	17.	9,8	60.	0,6	2280.
6	10	90.	7.	21,4	700.	14,9	16100.
7	10	160.	25.	13,7	300.	4,1	12900.
8	10	110.	13.	23,8	340.	8,1	10200.
TOTAL RÖRKOSTNAD:							370195.

TABELL 1:9

INGÅENDE DELSTRÄCKOR OCH TRYCKFÖRHÅLLANDEN I OLIKA RÖRSLINGOR

RÖR- SLINGA NR	DELSTRÄCKA NR: 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10 11. 0. S. V	PUMP- TRYCK MVP	FRIKT. FÖRL MVP	HÖJD DIFF. M	HYDRANT TRYCK MVP	LÄGSTA HYDR. TR MVP	DIFF MVP
1	1.0.0.0.0.0.0.0.0.	70.	26,1	16,0	27,9	10.	17,9
2	2.2.0.0.0.0.0.0.0.	162.	26,1	16,0	120,0	100.	20,0
3	2.2.1.1.0.0.0.1.1.	162.	50,1	18,0	94,0	100.	-6,0
4	2.2.1.0.0.0.0.0.0.	162.	33,9	19,0	109,2	100.	9,2
5	2.2.1.1.0.0.0.1.0.	162.	42,0	19,0	101,1	100.	1,1
6	2.2.1.1.1.0.0.0.0.	162.	38,5	19,0	104,6	100.	4,6
7	2.2.1.1.1.1.0.0.0.	162.	53,5	18,0	90,7	100.	-9,3

TABELL 1:10

BYTE TILL GRÖVRE DIMENSION

DELSTR. NR	NT	DIM MM	FLÖDE L/S	HF O/OO	LÄNGD METER	HF MVP	RÖRKOSTN. KR
6	10	110.	7.	8,1	700.	5,7	21000.
TOTAL RÖRKOSTNAD:							379095.

TABELL 1:11

INGÅENDE DELSTRÄCKOR OCH TRYCKFÖRHÅLLANDEN I OLIKA RÖRSLINGOR

RÖR- SLINGA NR	DELSTRÄCKA NR: 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10 11. 0. S. V	PUMP- TRYCK MVP	FRIKT. FÖRL MVP	HÖJD DIFF. M	HYDRANT TRYCK MVP	LÄGSTA HYDR. TR MVP	DIFF MVP
1	2.0.0.0.0.0.0.0.0.	70.	26,1	16,0	27,9	10.	17,9
2	2.2.0.0.0.0.0.0.0.	162.	26,1	16,0	120,0	100.	20,0
3	2.2.1.1.0.0.0.1.1.	162.	50,1	18,0	94,0	100.	-6,0
4	2.2.1.0.0.0.0.0.0.	162.	33,9	19,0	109,2	100.	9,2
5	2.2.1.1.0.0.0.1.0.	162.	42,0	19,0	101,1	100.	1,1
6	2.2.1.1.1.0.0.0.0.	162.	38,5	19,0	104,6	100.	4,6
7	2.2.1.1.1.1.0.0.0.	162.	44,2	18,0	99,9	100.	-0,1

TABELL 1:12

BYTE TILL GRÖVRE DIMENSION

DELSTR. NR	NT	DIM MM	FLÖDE L/S	HF O/00	LÄNGD METER	HF MVP	RÖRKOSTN. KR
8	10	140.	13.	5.9	340.	2.0	12920.
TOTAL RÖRKOSTNAD:							377815.

TABELL 1:13

INGÅENDE DELSTRÄCKOR OCH TRYCKFÖRHÅLLANDEN I OLIKA RÖRSLINGOR

RÖR-SLINGA NR	DELSTRÄCKA NR: 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. O.S.V	PUMP-TRYCK MVP	FRIKT. FÖRL MVP	HÖJD DIFF. M	HYDRANT TRYCK MVP	LÄGSTA HYDR. TR MVP	DIFF MVP
1	2.0.0.0.0.0.0.0.0.	70.	26.1	16.0	27.9	10.	17.9
2	2.2.0.0.0.0.0.0.0.	162.	26.1	16.0	120.0	100.	20.0
3	2.2.1.1.0.0.1.1.	162.	44.0	18.0	100.1	100.	0.1
4	2.2.1.0.0.0.0.0.0.	162.	33.9	19.0	109.2	100.	9.2
5	2.2.1.1.0.0.1.0.	162.	42.0	19.0	101.1	100.	1.1
6	2.2.1.1.1.0.0.0.	162.	38.5	19.0	104.6	100.	4.6
7	2.2.1.1.1.1.0.0.	162.	44.2	18.0	99.9	100.	-0.1

TABELL 1:14

BYTE TILL GRÖVRE DIMENSION

DELSTR. NR	NT	DIM MM	FLÖDE L/S	HF O/00	LÄNGD METER	HF MVP	RÖRKOSTN. KR
5	10	160.	17.	6.5	60.	0.4	2580.
TOTAL RÖRKOSTNAD:							378115.

TABELL 1:15

INGÅENDE DELSTRÄCKOR OCH TRYCKFÖRHÅLLANDEN I OLIKA RÖRSLINGOR

RÖR-SLINGA NR	DELSTRÄCKA NR: 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. O.S.V	PUMP-TRYCK MVP	FRIKT. FÖRL MVP	HÖJD DIFF. M	HYDRANT TRYCK MVP	LÄGSTA HYDR. TR MVP	DIFF MVP
1	2.0.0.0.0.0.0.0.0.	70.	26.1	16.0	27.9	10.	17.9
2	2.2.0.0.0.0.0.0.0.	162.	26.1	16.0	120.0	100.	20.0
3	2.2.1.1.0.0.1.1.	162.	44.0	18.0	100.1	100.	0.1
4	2.2.1.0.0.0.0.0.0.	162.	33.9	19.0	109.2	100.	9.2
5	2.2.1.1.0.0.1.0.	162.	42.0	19.0	101.1	100.	1.1
6	2.2.1.1.1.0.0.0.	162.	38.3	19.0	104.8	100.	4.8
7	2.2.1.1.1.1.0.0.	162.	44.0	18.0	100.1	100.	0.1

TABELL 1:16

DIMENSIONERING

DELSTR. NR	NT	DIM MM	FLÖDE L/S	HF 0/00	LÄNGD METER	HF MVP	RÖRKOSTN. KR
1	6	280.	100.	10.2	2549.	26.1	203920.
2	10	280.	100.	12.5	1.	0.0	95.
3	10	280.	82.	8.6	900.	7.8	85500.
4	10	225.	42.	7.2	560.	4.0	39200.
5	10	160.	17.	6.5	60.	0.4	2580.
6	10	110.	7.	8.1	700.	5.7	21000.
7	10	160.	25.	13.7	300.	4.1	12900.
8	10	140.	13.	5.9	340.	2.0	12920.
TOTAL RÖRKOSTNAD:							378115.

TABELL 1:17

JUSTERING TILL MINDRE DIMENSION PÅ DELAR AV DELSTRÄCKOR

DELSTR. NR	NT	DIM MM	FLÖDE L/S	HF 0/00	LÄNGD METER	HF MVP	RÖRKOSTN. KR
8	10	110.	13.	23.8	6	0.1	180.
	10	140.	13.	5.9	334	2.0	12692.
TOTAL RÖRKOSTNAD:							378067.
5	10	140.	17.	9.8	40	0.4	1520.
	10	160.	17.	6.5	20	0.1	860.
TOTAL RÖRKOSTNAD:							377867.

TABELL 1:18

HYDRANTTRYCK

RÖRSLINGA	MVP
1	27.9
2	120.0
3	100.0
4	109.2
5	101.1
6	104.7
7	100.0

TABELL 1:19

EFFEKTBEHOV OCH ERFÖRDERLIG MOTOREFFEKT VID PUMPSTATION NR 1
 MAXIMALT FLÖDE: 99.8 L/S PUMPTRYCK: 70. MVP

	VID VERKNINGSGRADEN			
	50 %	60 %	70 %	80 %
EFFEKTBEHOV I KW	137.1	114.2	97.9	85.7
ERF. MOTOREFF. I KW	164.5	137.1	117.5	102.8

EFFEKTBEHOV OCH ERFÖRDERLIG MOTOREFFEKT VID PUMPSTATION NR 2
 MAXIMALT FLÖDE: 99.8 L/S PUMPTRYCK: 92. MVP

	VID VERKNINGSGRADEN			
	50 %	60 %	70 %	80 %
EFFEKTBEHOV I KW	180.4	150.3	128.8	112.7
ERF. MOTOREFF. I KW	216.5	180.4	154.6	135.3

Kommentarer till dimensioneringen

Den första dimensioneringen (tabell 1:8) är inte användbar eftersom den ger för lågt tryck i vissa hydranter på grund av för höga friktionsförluster. Därför sker byten till grövre rördimensioner på delsträckorna 6, 8 och 5 (tabell 1:10, 1:12 resp. 1:14). Dessa dimensionsbyten, som görs på hela delsträckor, resulterar i en ny dimensioneringstabell (tabell 1:16). Av tabell 1:15 framgår att denna dimensionering uppfyller ställda krav på lägsta hydranttryck med en marginal av 0,1 m vp. För att ytterligare minska rörkostnaden görs en återgång till mindre dimensioner på delar av delsträckorna 8 och 5 (tabell 1:17). Den ekonomiskt optimala dimensioneringen framgår alltså av tabell 1:16 med de justeringar som ges i tabell 1:17.

Av tabell 1:15 framgår att friktionsförlusten på delsträcka 1 (ledningen mellan de båda gemensamma pumpstationerna) uppgår till 26 m vp. Då pumptrycket vid pumpstation 1 är 70 m vp och nivåskillnaden är 16 m blir ingångstrycket vid tryckstegringsanläggningen 28 m vp. I förutsättningarna (indatablanketten sid. 1:5) utgick vi från en tryckstegring av 110 m vp. För att inte rörledningens maximala tryckhållfasthet (120 m vp) skall överskridas har tryckstegringen sänkts till 92 m vp ($28 + 92 = 120$ m vp).

Effektbehovet vid pumpstation 1 är 114 kW när maximalt uttag sker, om verkningsgraden är 60 procent (tabell 1:19). För tryckstegringsstationen (pumpstation 2) uppgår det till 150 kW.

Årliga energikostnaden kan beräknas genom att energikostnaden per tryckhöjdsenhet, tabell 1:3, för den delsträcka som följer omedelbart efter respektive pumpstation multipliceras med pumptrycket. För pumpstation 1 blir den 13720 kr/år ($196 \text{ kr/m vp/år} \times 70 \text{ m vp}$) och för tryckstegringsstationen 18032 kr/år ($196 \text{ kr/m vp/år} \times 92 \text{ m vp}$). Den årliga energikostnaden uppgår alltså till nästan 32000 kronor.

NOMOGRAM ÖVER FRIKTIONSFÖRLUSTER I PVC-RÖR $t = 10^\circ\text{C}$

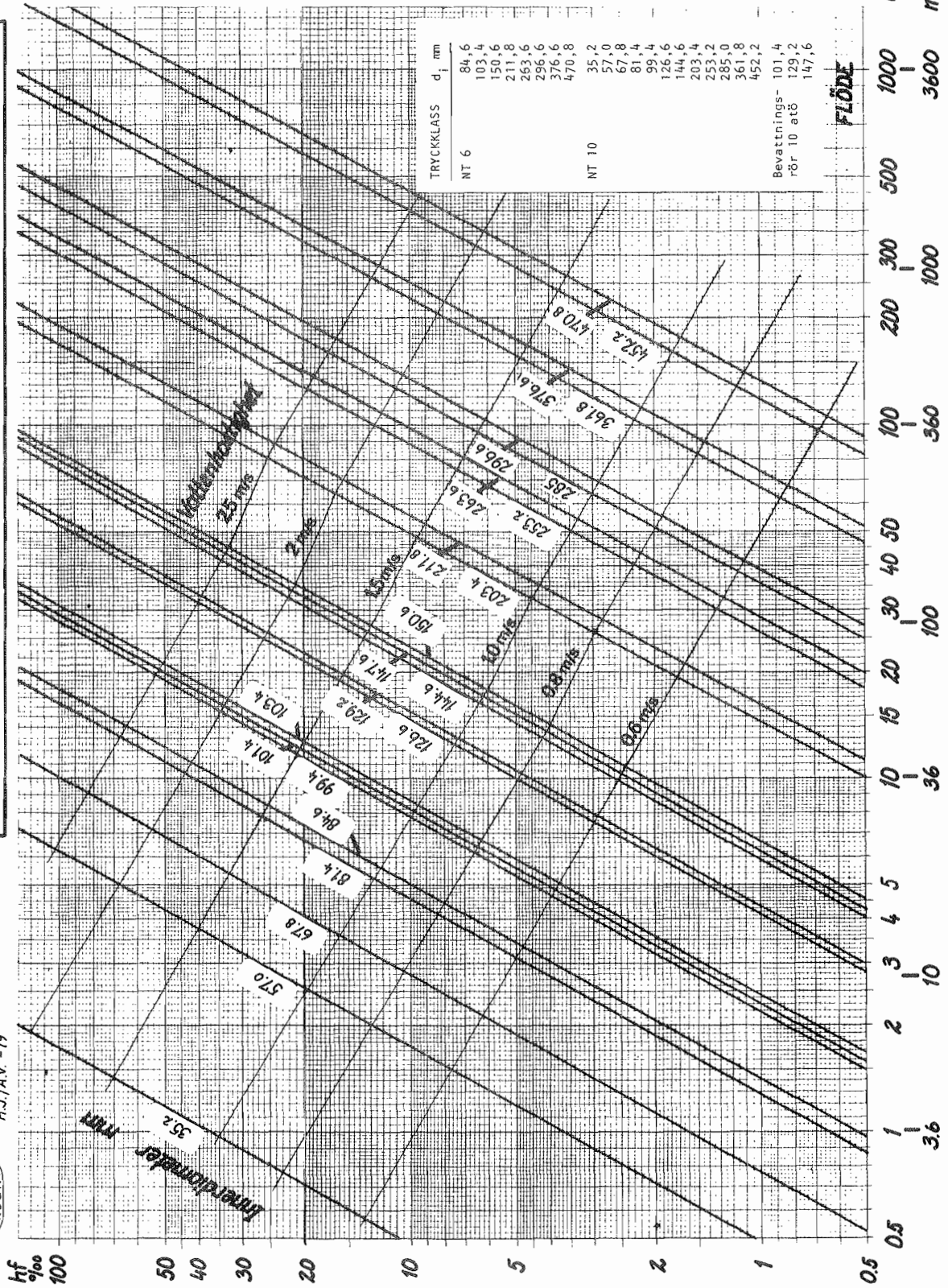
För $d_i < 200 \text{ mm}$ är $k = 0.01$

För $d_i > 200 \text{ mm}$ är $k = 0.05$

$$\text{Erl. Colebrook } \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3.71 d_i} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$



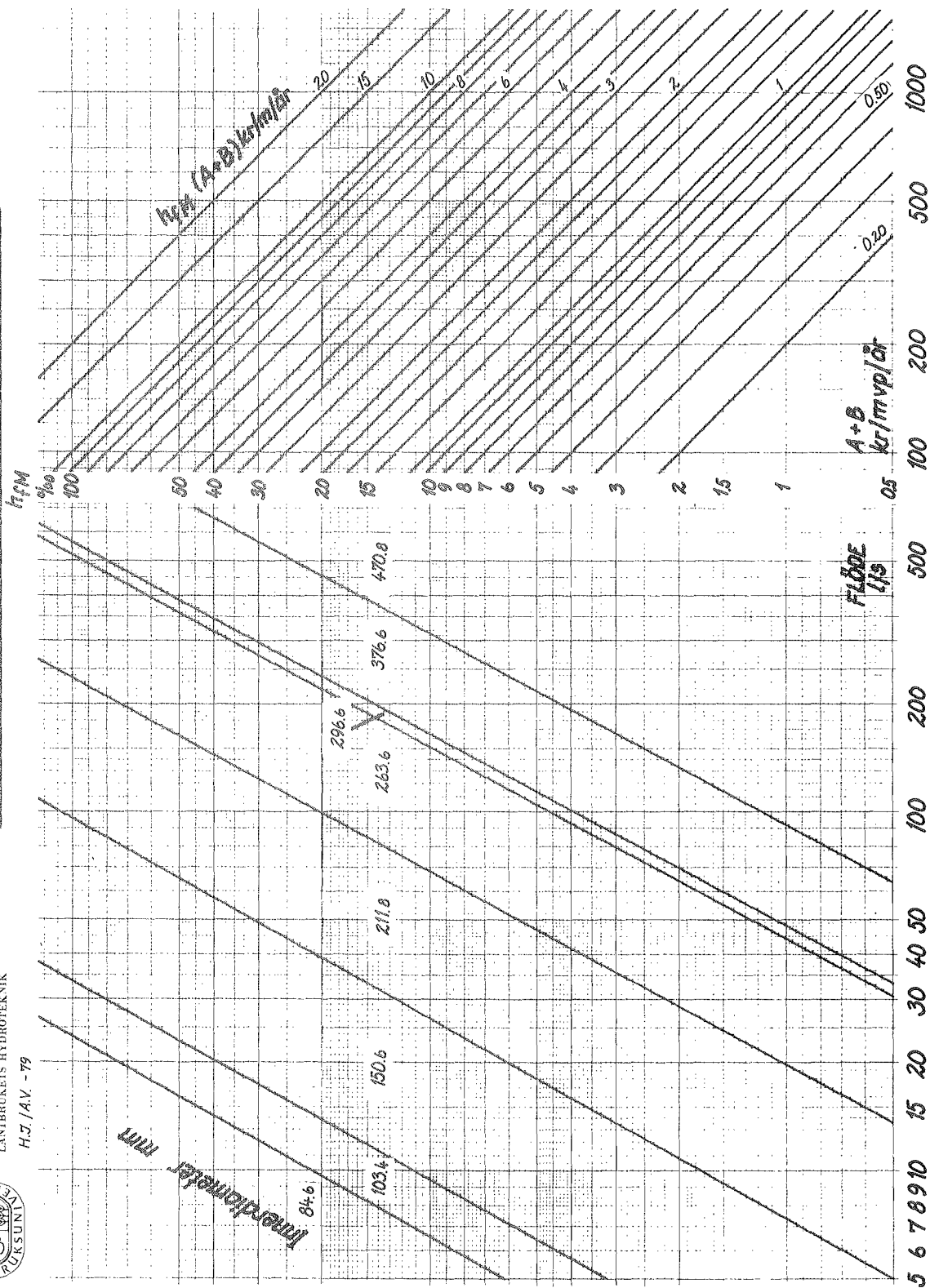
SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP
LANTBRUKETS HYDROTEKNIK
H.J./A.V. - 79



**NOMOGRAM FÖR BESTÄMNING AV OPTIMAL RÖRDIMENSION
PVC - RÖR TRYCKKLASS NT - 6**

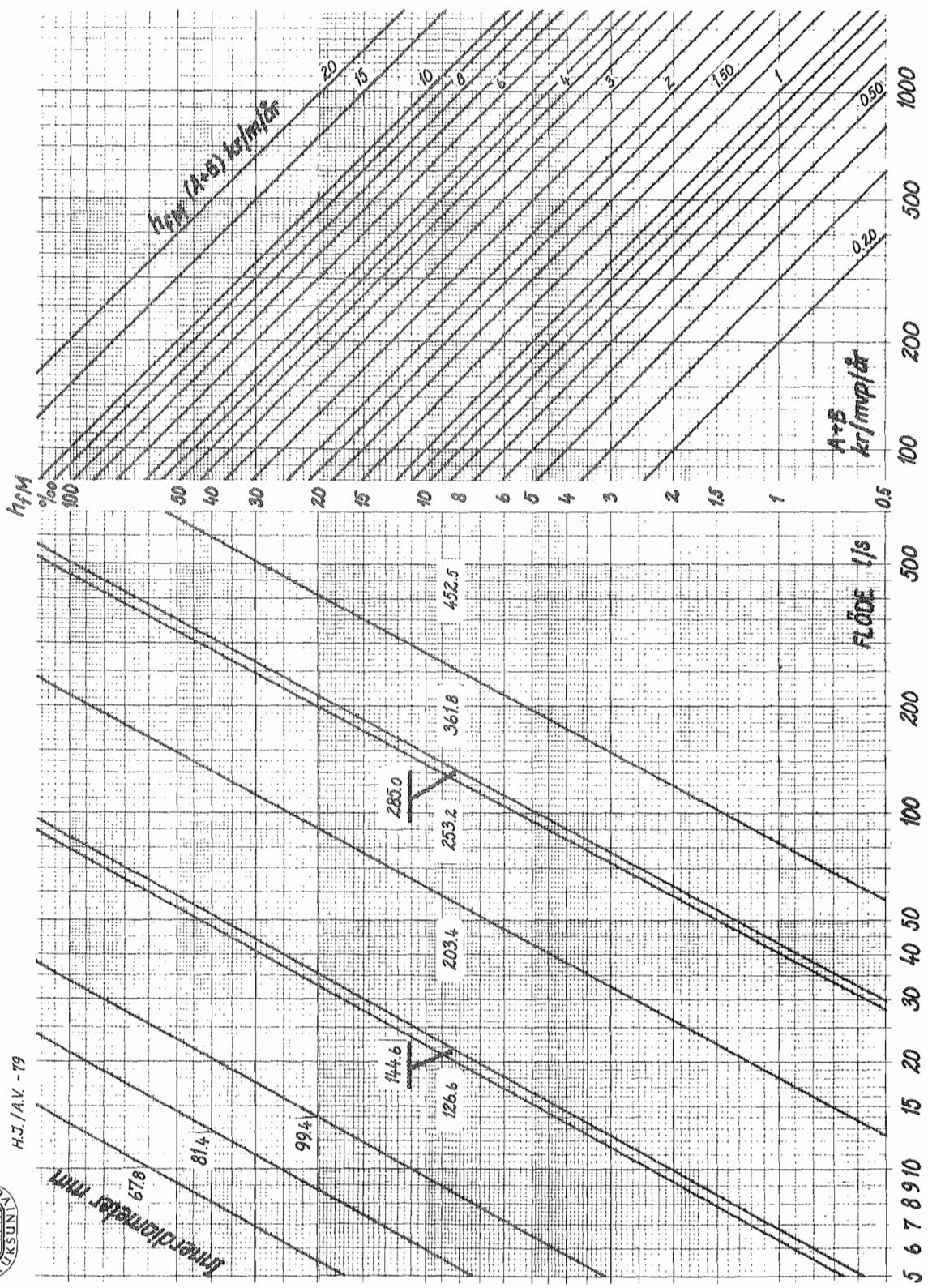


SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP
LANTBRUKETS HYDROTEKNIK
H.7. /AV. -79



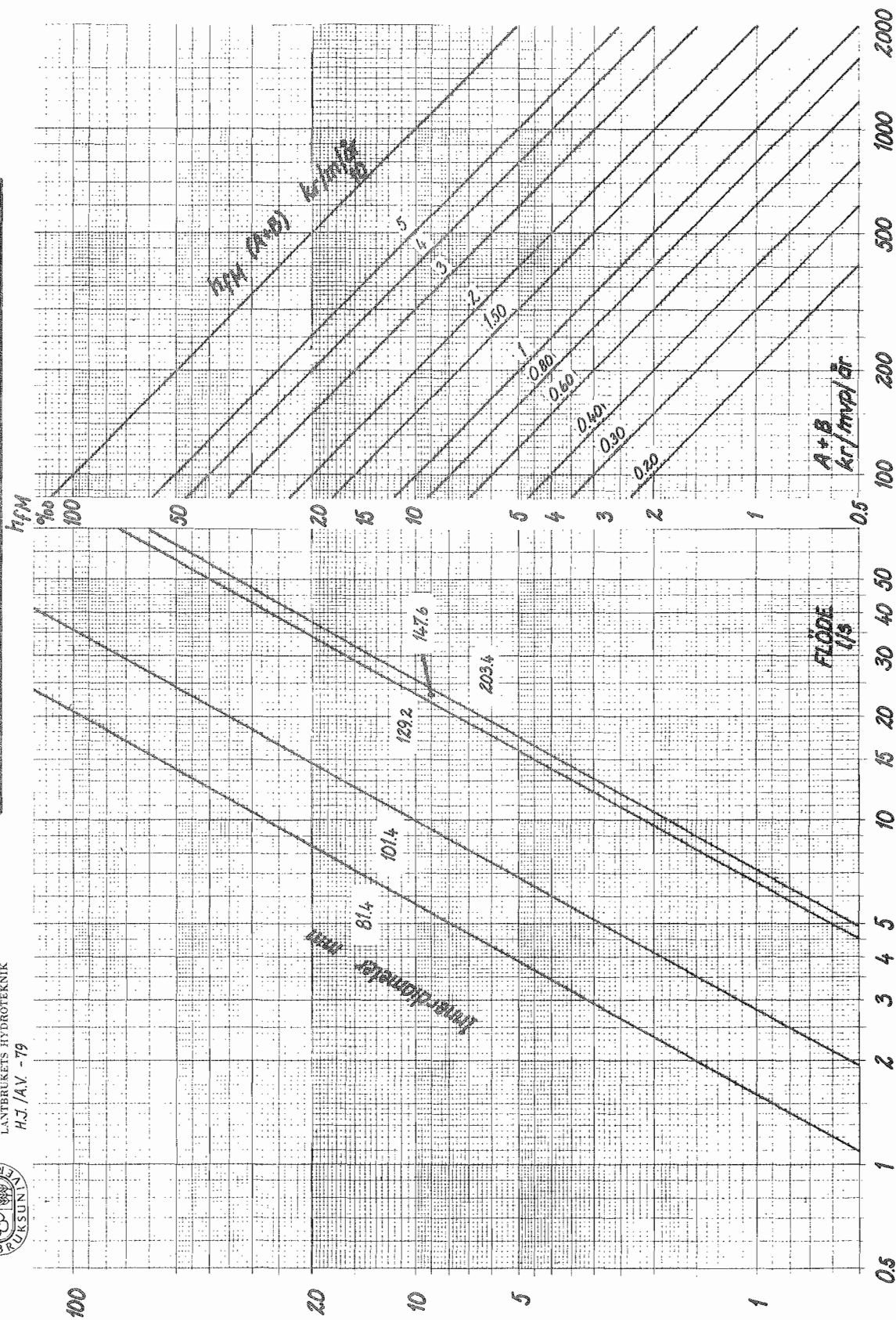
**NOMOGRAM FÖR BESTÄMNING AV OPTIMAL RÖRDIMENSION
PVC - RÖR TRYCKKLASS NT-10**

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP
LANTBRUKETS HYDROTEKNIK
H.J. / A.V. - 79



**NOMOGRAM FÖR BESTÄMMING AV OPTIMAL RÖRDIMENSION
PVC - BEVATTNINGSRÖR 10 ATÖ**

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP
LANTBRUKETS HYDROTEKNIK
H.J./A.V. - 79



Förteckning över utgivna häften i publikationsserien

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

(Därutöver finns Stenciltrycksserien med nummerna 1-107).

- 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.
- 109 Bjerketorp, A. & Klingspor, P. 1978. Inventering av avrinningen inom regioner med stor jordbruksbevattning. Faktaredovisning. 1: Kalmar län.
- 110 Lundegrén, J. & Nilsson, S. 1978. Bevattningssamverkan. Förutsättningar och olika associationsformer.
- 111 Berglund, G., Ericson, A., Eriksson, J., Ingvarsson, A., Linnér, H. & Persson, L. 1978. Resultat av 1977 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning.
- 112 Forsling, A. & Borgblad, M. Konflikten mellan jordbruket och naturvården i markavvattningsfrågor.
- 113 Linnér, H. 1978. Vatten- och kvävehushållningen vid bevattning av en sandjord.
- 114 Ingvarsson, A. 1978. Bevattningsförsök inom trädgårdsområdet i Norden. Sammanfattningar av försöksresultat publicerade t.o.m. 1977/78.
- 115 Ingvarsson, A. 1978. Bevattning i fältmässig trädgårdsodling - teknik och ekonomi.
- 116 Berglund, G. 1978. Frosthävningens inverkan på dräneringsledningar.
- 117 Berglund, G. 1979. De odlade jordarna i Uppsala län, deras geografiska fördelning och fördelning på jordarter.
- 118 Berglund, G., Ericson, A., Eriksson, J., Heiwall, H., Ingvarsson, A., Karlsson, S-E, Linnér, H. & Persson, L. 1979. Resultat av 1978 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning.
- 119 Valegård, A. & Persson, R. 1980. Optimering av större ledningssystem för bevattning. 34 s. + 5 bil.
- 120 Berglund, G., Berglund, K., Ericson, A., Eriksson, J., Heiwall, H., Karlsson, I., Karlsson, S.-E. & Linnér, H. 1980. Resultat av 1979 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning.
- 121 Bjerketorp, A. & Klingspor, P. 1980. Inventering av avrinningen inom regioner med stor jordbruksbevattning. Faktaredovisning 2. 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.

I denna serie publiceras forsknings- och försöksresultat vid avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet. Tidigare nummer i denna serie 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. 018-10 20 00 ankn. 1165, 1181
