

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

BLINDERN.

O - 46/62.

En vurdering
av kloakkforholdene for
Kirkebygden, Tjøme.

Saksbehandler: Siv.ing. T. Simensen.

Blindern i september 1962.

INNLEDNING.

Følgende rapport behandler spørsmålet om det for området Kirkebygden, Tjøme, bør benyttes kloakkrenseanlegg og/eller kloakkpumpe-stasjon med henholdsvis Budalsbekken eller Tjømekjæla som resipient.

Rapporten baseres på at vannet i Budalsbekken mellom pkt. A (se bilag 1) og sjøen skal kunne tjene som drikkevann for beitemende dyr.

Kloakknett for Kirkebygden, i store deler utført som kombinert system, fører kloakk- og regnvann frem til pkt. A, hvor renseanlegg og/eller pumpe-stasjon er tenkt plassert. (For å oppnå en høy renseeffekt eller en økonomisk pumpe-stasjon, er det ønskelig at kloakkvannet er så lite utspedd som mulig).

På grunn av stort nedslagsfelt og relativt liten bolig-tetthet, vil man imidlertid, til visse tider med stor nedbør, få en sterk oppspedning av kloakkvannet. Av rensetekniske grunner vil det derfor være ønskelig å få kloakkvannet ført frem i separate ledninger. Å gjennomføre dette fullt ut for Kirkebygden vil av økonomiske grunner neppe bli aktuelt. Derimot kan det være økonomisk forsvarlig å ha delvis separat og kombinert system.

Et kombinert system må for å unngå for store dimensjoner på eventuelt renseanlegg eller pumpe-stasjon, ha regnvannsoverløp som trer i funksjon ved bestemte nedbørsmengder. Dermed vil regnvann og kloakkvann avlastes direkte til Budalsbekken. Følgende to alternative ledningssystemer for Kirkebygden bør av rensetekniske og økonomiske grunner undersøkes:

Alt. 1). (se bilag 1):

Alle kloakk- og regnvannsmengder samles i pkt. A hvor det anordnes regnvannsoverløp.

Alt. 2). (se bilag 1 og 2):

Kloakk- og regnvann fra ledninger fra nedslagsfelt II og III føres frem til pkt. C med overløp der.

Ledning PO forlenges til pkt. N (Budalsbekken), og skal bare føre overflatevann. Kloakkvann fra Grand Pensjonat må føres i ledning T - S.

Den midlere nedbørsituasjonen for området er fremstilt grafisk i bilag 3. Norges Meteorologiske Institutts observasjoner fra nedbørstasjonene Sandefjord og Færder er bearbeidet av vårt institutt og fremstilt som vist i bilaget.

Den spesifikke minstevannføring i Budalsbekken er innhentet fra Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen.

Andre forutsetninger for beregninger er innhentet fra Tjøme kommune.

I det følgende er det foretatt en vurdering av valg av ledningssystem og renseanlegg og/eller pumpestasjon. Det er gjennomført beregninger for regnvannsoverløp for de to alternative systemene, samt beregninger for anleggs- og driftsomkostninger.

VALG AV LEDNINGSSYSTEM.

Hvilket ledningssystem som er mest hensiktsmessig for Kirkebygden, vises best ved følgende eksempel:

Velger vi en pumpekapasitet $Q_p = 30$ l/sek, blir Budalsbekken, via overløp, årlig belastet med 830 kg BOF_5 ved valg av alternativ 1, mens alternativ 2 gir bare 440 kg BOF_5 . Alternativ 1 må ha en langt større pumpekapasitet enn alternativ 2 hvis vi skal oppnå samme grad av beskyttelse for Budalsbekken i de to tilfeller. (Se tabell 1, side 16 og tabell 2, side 17).

Kirkebygden vil derfor være best tjent med å benytte et ledningssystem etter alternativ 2, og de følgende vurderinger og beregninger er basert på dette.

KLOAKKRENSEANLEGG OG/ELLER KLOAKKPUMPESTASJON.

Skal Budalsbekken under enhver omstendighet og til enhver tid garanteres absolutt ufarlig som drikkevann for beitende dyr, må

alt kloakkvann og regnvann som ledningssystemet fører frem til pkt. A, pumpes ut i Tjømekjøla. Dette vil medføre en uforholdsmessig stor økonomisk belastning for Tjøme kommune.

Tatt i betraktning den relativt korte tid et regnvannsoverløp vil være i virksomhet, vil en slik tilførsel av kloakkvann bety en liten belastning på resipienten, og en vurdering av forholdene må derfor begrense seg til å finne frem til et kompromiss mellom de vannmengdene som belaster Budalsbekken og de som skal føres gjennom et renseanlegg og/eller pumpes.

Av tabellene 1 og 2 fremgår det at kloakkvannet til sine tider vil være ganske sterkt oppblandet med regnvann, selv for små nedbørsmengder. Dette vanskeliggjør en effektiv biologisk rensning, og inntil full utbygging av boligfeltene har funnet sted, vil forholdene være enda ugunstigere enn det fremgår av tabellene.

Den minimale avrenningsfaktor for Budalsbakkens nedslagsfelt er av NVE satt til 1 - 1,5 l/sek km². Velger man et biologisk renseanlegg, vil Budalsbekken være den naturlige resipient. I spesielle tørkeperioder vil man derfor ha meget begrensede fortynningsmuligheter for det rensede kloakkvannet.

Av de foretatte beregninger fremgår det at, uansett valg av ledningsføringer og ledningssystemer, vil den prosentvise forurensningsmengden som passerer gjennom regnvannsoverløpet og direkte tilføres Budalsbekken, variere mellom 9 og 2 % av det totale, hvilket må betraktes som relativt lave tall. Denne forurensningsmengden vil imidlertid tilføres vassdraget periodisk, og kan derfor forårsake relativt høye men meget kortvarige BOF₅-konsentrasjoner i bekken.

Ved å benytte et eventuelt renseanlegg (fortrinnsvis et aktivslamanlegg med aerob slambehandling - døgnlufter eller oksydasjonsgrav) vil det imidlertid som følge av de høye vannføringene som vil passere gjennom anlegget kunne ventes en meget liten virkningsgrad.

Ved tørkeperioder vil således relativt høye BOF₅-konsentrasjo-

ner i det vannet som tilføres anlegget (150 - 250 mg/l) ikke bli tilstrekkelig redusert (anslagsvis bare med 50 - 70%) på grunn av at anlegget ikke har hatt nødvendig tid til å bygge opp et effektivt aktivt slam i tilstrekkelig mengde.

Med de høye BOF_5 -konsentrasjonene som man derfor vil kunne få i Budalsbekken over lengre tidsperioder synes det å være en dårlig løsning å anlegge renseanlegg under de foreliggende omstendigheter.

Det foreslås derfor, i stedet for å bygge biologisk renseanlegg med Budalsbekken som resipient, å anlegge pumpestasjon for pumping av den samme vannmengden i en lukket ledning ut på dypt vann i Tjømekjøla.

VALG AV RØRDIMENSJON OG PUMPEKAPASITET.

Av bilag 6 fremgår det at med økende pumpekapasitet Q_p , avtar forurensningen av Budalsbekken betraktelig.

På grunnlag av omkostningene og forurensningsmengden, fremstilt i bilag 5 og 6, må en fortykning $m = 20$ ($Q_p = 30$ l/sek), og dimensjon $\varnothing = 175$ mm for overløpsledning forutsettes å gi en teknisk og økonomisk løsning som tilfredsstillende de spesielle strenge krav vi må sette til Budalsbekken.

FORSLAG TIL UTFORMING AV KLOAKKANLEGG.

1. Som ledningssystem velges Alternativ 2.
2. Regnvannsoverløp beregnet for avlastning av all vannføring som overstiger 30 l/sek.
3. Pumpestasjon med kapasitet $Q_p = 30$ l/sek.
4. Mellom regnvannsoverløp og pumpestasjon installeres sandfang, kvern og en flotasjonsenhet for en oppholdstid på ca. 20 min.

5. Dypvannutslipp gjennom plastledning $\varnothing = 175$ mm, på et dyp ikke mindre enn 30 m. Rørledningen forsynes med diffusor.

FORUTSETNINGER.

1. Antall individer i dag: 250 ind.
2. " - " - i nær fremtid: 400 "
3. " - " - i fremtiden: 800 "
4. Nedslagsfelt for Budalsbekken (se bilag 2).
- a) Felt I. Areal $F_1 = 55$ ha
Avløpskoeff. $\psi_1 = 0,3$
- b) Felt II. Areal $F_2 = 29$ ha
Avløpskoeff. $\psi_2 = 0,4$
- c) Felt III. Areal $F_3 = 38$ ha
Avløpskoeff. $\psi_3 = 0,3$
7. Spesifikk tørrvannsmengde $= 200 \frac{1}{\text{ind} \cdot \text{døgn}}$
8. " forurensningsmengde $= 60 \frac{\text{g}}{\text{ind} \cdot \text{døgn}}$
9. Nedbørfordeling som vist i bilag 5.
10. Min.-avløp fra området $= 1 - 1,5 \text{ l/sek} \cdot \text{km}^2$.

SYMBOLER.

Q_k = Tørrvannsmengde pr. tidsenhet (midlere kloakkvannsmengde).

Q_r = Regnvannsmengde " " "

Q_p = Pumpekapasitet.

Q_B = Vannføring i Budalsbekken.

F = Areal som avgir regnvann til systemet.

ψ = Avløpskoeffisient.

m = Fortynningsforhold i avskjærende ledning.

T = Antall timer regnvannsoverløp er i funksjon pr. år.

H = Nedbørhøyde i meter som føres via overløp.

BEREGNINGER FOR REGNVANNSOVERLØP I ALTERNATIVT SYSTEM 1:

(se tabell 1, side 16).

Ledningsnettet fører kloakkvann og regnvann frem til pkt. A med overløp der (se bilag 1).

Q_k 1/sek fordeles over 24 timer.

$$Q_k = 800 \cdot (\text{ind}) \cdot 200 \left(\frac{1}{\text{ind} \cdot \text{døgn}} \right) = 160.000 \left(\frac{1}{\text{døgn}} \right).$$

$$\text{I. } Q_k = \frac{160000}{24 \cdot 3600} = \underline{\underline{1,85}} \left(\frac{1}{\text{sek}} \right).$$

$$r \left(\frac{1}{\text{sek} \cdot \text{ha}} \right) \sum F \cdot \psi + Q_k \left(\frac{1}{\text{sek}} \right) = Q_k (1 + m) \left(\frac{1}{\text{sek}} \right).$$

$$r = \frac{Q_k \cdot m}{\sum F \cdot \psi}.$$

$$\text{II. } r = \frac{1,85 \cdot m}{55 \cdot 0,3 + 29 \cdot 0,4 + 38 \cdot 0,3} = \frac{1,85 \cdot m}{39,5} \left(\frac{1}{\text{sek} \cdot \text{ha}} \right).$$

$$r = 0,047 \cdot m \left(\frac{1}{\text{sek} \cdot \text{ha}} \right).$$

Årlig regnvannsmengde:

$$Q_r = H \left(\frac{\text{m}}{\text{år}} \right) \cdot \sum F \cdot \psi \cdot (\text{m}^2).$$

$$Q_r = H (55 \cdot 0,3 + 29 \cdot 0,4 + 38 \cdot 0,3) \cdot 10^4 = H \cdot 39,5 \cdot 10^4.$$

$$\text{III. } Q_r = 0,700 \cdot 39,5 \cdot 10^4 = \underline{\underline{2,8 \cdot 10^5}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{år}} \right).$$

Årlig kloakkvannsmengde:

$$Q_k = \frac{1,60 \cdot 10^5 \cdot 3,65 \cdot 10^2}{10^3} = \underline{\underline{5,83 \cdot 10^4}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{år}} \right)$$

Årlig forurensningsmengde:

$$\text{BOF}_5 \left(\frac{\text{kg}}{\text{år}} \right) = \frac{800 (\text{ind}) \cdot 60 \left(\frac{\text{g}}{\text{ind} \cdot \text{dogn}} \right) 365 (\text{dogn})}{1000}$$

$$\text{BOF}_5 = 48 \cdot 365 = 1,75 \cdot 10^4 \left(\frac{\text{kg BOF}_5}{\text{år}} \right)$$

IV.
$$\text{BOF}_5 = 1,75 \cdot 10^4 \left(\frac{\text{kg BOF}_5}{\text{år}} \right)$$

Kloakkvannets midlere BOF_5 -konsentrasjon.

$$\text{BOF}_5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{1,75 \cdot 10^4 \left(\frac{\text{kg}}{\text{år}} \right) \cdot 10^6}{5,83 \cdot 10^4 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{år}} \right) \cdot 10^3} = 300 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right).$$

V.
$$\text{BOF}_5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = 300 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right)$$

Fordeling av BOF_5 -belastning til pumpe og overlop:

På T timer går det i overlop

$$H \cdot F \cdot \psi \text{ (m}^3\text{)}$$

På T timer går det til renseanlegg og/eller pumpestasjon.

$$(Q_k(1 + m) \cdot T) \text{m}^3.$$

Total regn- + kloakkvann i løpet av T timer blir da:

VI.
$$(H \cdot F \cdot \psi) \text{m}^3 + Q_k(1 + m)T \text{m}^3.$$

BOF_5 -belastning i løpet av T timer blir:

VII.
$$\text{BOF}_5 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot Q_k \left(\frac{\text{m}^3}{\text{sek}} \right) \cdot T \cdot 3600 (\text{sek}) = \text{kg BOF}_5.$$

Midlere BOF_5 -konsentrasjon i oppblandet vann i løpet av T timer blir:

$$\text{pkt. VII} / \text{pkt. VI} =$$

VIII.
$$\frac{\text{BOF}_5 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot Q_k \left(\frac{\text{m}^3}{\text{sek}} \right) \cdot T \cdot 3600 (\text{sek})}{(H \cdot F \cdot \psi) \text{m}^3 + Q_k(1 + m) \left(\frac{\text{m}^3}{\text{sek}} \right) \cdot T \cdot 3600 (\text{sek})}$$

hvorav

$(H \cdot F \cdot \psi) \text{m}^3$ er totalavlastningen pr. år og uttrykkes som

$$H \cdot 3,95 \cdot 10^5 (\text{m}^3).$$

Avlastet BOF₅ i løpet av T timer blir da:

$$\text{pkt. VIII} \cdot H \cdot 3,95 \cdot 10^5$$

$$= \frac{0,3 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \cdot 0,00185 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{sek}}\right) \cdot T \cdot 3600(\text{sek}) \cdot H \cdot 3,95 \cdot 10^5(\text{m}^3)}{H \cdot 3,95 \cdot 10^5(\text{m}^3) + Q_k(1+m) \left(\frac{\text{m}^3}{\text{sek}}\right) \cdot T \cdot 3600(\text{sek})}$$

$$\text{IX.} = \frac{2,0 \cdot T \cdot H \cdot 3,95 \cdot 10^5}{H \cdot 3,95 \cdot 10^5 + (Q_k(1+m))T \cdot 3600} \text{ (kg BOF}_5\text{)}.$$

BOF₅-belastning som går til pumpen i løpet av T timer.

$$\text{X.} = \frac{2,0 \cdot T(Q_k(1+m)) \cdot T \cdot 3600}{H \cdot 3,95 \cdot 10^5 + (Q_k(1+m)) \cdot T \cdot 3600} \text{ (kg BOF}_5\text{)}.$$

BOF₅-belastning til pumpe øvrig tid utenom avlastningen.

$$\text{XI.} = \text{BOF}_5 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) Q_k \left(\frac{\text{m}^3}{\text{sek}}\right) (8700 - T) \cdot 3600 \text{ (kg BOF}_5\text{)}.$$

Kontroll:

$$\text{IX} + \text{X} + \text{XI} = \text{IV} = 1,75 \cdot 10^4 \left(\frac{\text{kg BOF}_5}{\text{år}}\right).$$

=====

BEREGNINGER FOR REGNVANNSOVERLØP I ALTERNATIVT SYSTEM 2.

(se tabell 2, side 17).

Ledningsnettets fører kloakkvann og regnvann fra Felt I og Felt II frem til pkt. C med overløp der (se bilag 1 og 2).

$$Q_k = 600(\text{ind}) \cdot 200\left(\frac{1}{\text{ind} \cdot \text{døgn}}\right) = 120000\left(\frac{1}{\text{døgn}}\right).$$

$$\text{I.} \quad Q_k = \frac{120000}{24 \cdot 3600} = \underline{1,4\left(\frac{1}{\text{sek}}\right)}.$$

$$r\left(\frac{1}{\text{sek} \cdot \text{ha}}\right) \sum F \psi + Q_k\left(\frac{1}{\text{sek}}\right) = Q_k(1+m) \left(\frac{1}{\text{sek}}\right)$$

$$r = \frac{Q_k \cdot m}{\sum F \psi} (1/\text{sek} \cdot \text{ha})$$

$$r = \frac{1,40 \cdot m}{29 \cdot 0,4 + 38 \cdot 0,3} = \frac{1,40 \text{ m}}{23} (1/\text{sek} \cdot \text{ha}).$$

II. $r = 0,06 \cdot m(1/\text{sek} \cdot \text{ha})$.

IIIa. Årlig regnvannsmengder:

$$Q_r = H \left(\frac{m}{\text{år}} \right) \sum F \cdot \psi \cdot (m^2)$$

$$Q_r = H \cdot (29 \cdot 0,4 + 38 \cdot 0,3) \cdot 10^4 = H \cdot 23 \cdot 10^4.$$

$$Q_r = 0,7 \cdot 23 \cdot 10^4 = 1,6 \cdot 10^5 \left(\frac{m^3}{\text{år}} \right).$$

III. Årlig kloakkvannsmengde:

$$Q_k = \frac{1,2 \cdot 10^5 \cdot 365}{10^3} = 4,38 \cdot 10^4 \left(\frac{m^3}{\text{år}} \right).$$

Årlig forurensningsmengde:

$$\text{BOF}_5 \left(\frac{\text{kg}}{\text{år}} \right) = \frac{600(\text{ind}) \cdot 60 \left(\frac{\text{g}}{\text{ind} \cdot \text{døgn}} \right) \cdot 365(\text{døgn})}{1000}$$

$$\text{BOF}_5 = 36 \cdot 365 = 1,32 \cdot 10^4 \left(\frac{\text{kg BOF}_5}{\text{år}} \right).$$

IV. $\text{BOF}_5 = 1,32 \cdot 10^4 \left(\frac{\text{kg BOF}_5}{\text{år}} \right)$.

Kloakkvannets midlere BOF_5 -konsentrasjon.

$$\text{BOF}_5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{1,32 \cdot 10^4 \left(\frac{\text{kg}}{\text{år}} \right) \cdot 10^6}{4,38 \cdot 10^4 \left(\frac{m^3}{\text{år}} \right) \cdot 10^3}$$

V. $\text{BOF}_5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = 300 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right)$

fordeling av BOF_5 -belastning til pumpe og overløp.

På T timer går det i overløp

$$H \sum F \cdot \psi \cdot (m^3)$$

På T timer går det i pumpe

$$Q_k(1 + m) \cdot T(m^3).$$

Total regn + kloakk i løpet av T timer blir da:

$$\text{VI. } (H \cdot \Sigma F \cdot \psi) m^3 + (Q_k (1 + m) T) m^3.$$

BOF₅-belastning i løpet av T timer blir:

$$\text{VII. } BOF_5 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot Q_k \left(\frac{m^3}{sek} \right) \cdot T \cdot 3600(sek) = kg \text{ BOF}_5.$$

Midlere BOF₅-konsentrasjon i oppblandet vann i løpet av T timer blir:

$$\underline{\text{pkt. VII} / \text{pkt. VI.}}$$

$$\text{VIII. } \frac{BOF_5 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot Q_k \left(\frac{m^3}{sek} \right) \cdot T \cdot 3600(sek)}{(H \cdot \Sigma F \cdot \psi) m^3 + Q_k (1 + m) \left(\frac{m^3}{sek} \right) \cdot T \cdot 3600(sek)}$$

hvorav

$(H \cdot \Sigma F \cdot \psi) m^3$ er totalavlastningen pr. år og uttrykkes som

$$H \cdot 2,3 \cdot 10^5 (m^3).$$

Avlastet BOF₅ i løpet av T timer blir da:

$$\text{pkt. VIII} \cdot H \cdot 2,3 \cdot 10^5$$

$$= \frac{0,3 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot 0,0014 \left(\frac{m^3}{sek} \right) \cdot T \cdot 3600(sek) \cdot H \cdot 2,3 \cdot 10^5 (m^3)}{H \cdot 2,3 \cdot 10^5 (m^3) + Q_k (1 + m) \left(\frac{m^3}{sek} \right) \cdot T \cdot 3600(sek)}$$

$$= \frac{1,51 \cdot T \cdot H \cdot 2,3 \cdot 10^5}{H \cdot 2,3 \cdot 10^5 + Q_k (1 + m) \cdot T \cdot 3600} \quad (kg \text{ BOF}_5)$$

BOF₅-belastning som går til pumpen i løpet av T timer.

$$\frac{1,51 \cdot T \cdot (Q_k (1 + m)) \cdot T \cdot 3600}{H \cdot 2,3 \cdot 10^5 + Q_k (1 + m) \cdot T \cdot 3600} \quad (kg \text{ BOF}_5).$$

BOF₅-belastning til pumpen øvrig tid utenom avlastningen.

$$\text{BOF}_5 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) Q_k \left(\frac{\text{m}^3}{\text{sek}} \right) (8700 - T) \cdot 3600 (\text{kg BOF}_5).$$

Kontroll:

$$\text{IX} + \text{X} + \text{XI} = \text{IV} = 1,32 \cdot 10^4 \left(\frac{\text{kg BOF}_5}{\text{år}} \right).$$

BEREGNINGER AV ANLEGGSS- OG DRIFTSOMKOSTNINGER FOR KLOAKK-
PUMPESTASJON.

Vi har nedenfor regnet ut kapitaliserte driftsomkostninger for varierende pumpekapasitet og rørdimensjoner, basert på et ledningssystem etter alternativ 2. Verdiene vises i bilag 4, hvor også anleggssomkostninger for 400 m polyetylenrør er tatt med.

I bilag 5 er totale anleggssomkostninger plus kapitaliserte driftsomkostninger fremstilt avhengig av pumpekapasiteten og fortynningsgraden m.

1) $Q_k (1 + m) = 0,015 \text{ m}^3/\text{sek}.$

$$m = 10 \quad r = 0,06 \cdot m = 0,1 \text{ l/sek} \cdot \text{ha}.$$

$$Q_p = (20,38 + 1,46 - 12,10) \cdot 10^4 = 9,74 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{år}.$$

$$T_p = \frac{9,74 \cdot 10^4}{0,015 \cdot 3600} = 1800 \text{ timer}.$$

$$\emptyset = 125.$$

Trykktapet er da: $h = 0,4 \cdot 16 = 6,4 \text{ m}$,
og hastigheten i røret:

$$v = 1,2 \text{ m/sek}.$$

$$E/\text{år} = \frac{15 \cdot 6,4 \cdot 1800}{0,5 \cdot 100} = 3460 \text{ kwh}.$$

$$\text{Kr./år kapitalisert: } \frac{3460 \cdot 0,045}{0,055} = \underline{2830 \text{ kr.}}$$

$$\emptyset = 150.$$

Trykktapet er da: $h = 0,4 \cdot 6,5 = 2,6 \text{ m}$,
og hastigheten i røret: $v = 0,85 \text{ m/sek}.$

$$E/\text{år} = \frac{15 \cdot 2,60 \cdot 1800}{0,5 \cdot 100} = 1410 \text{ kwh}.$$

$$\text{Kr./\u00e5r kapitalisert: } \frac{1410 \cdot 0,045}{0,055} = \underline{1160 \text{ kr.}}$$

$$\emptyset = 175.$$

$$\begin{array}{ll} \text{Trykktapet er da:} & h = 0,4 \cdot 3 = 1,20 \text{ m,} \\ \text{og hastigheten i r\u00f8ret:} & v = 0,65 \text{ m/sek.} \end{array}$$

$$E/\u00e5r = \frac{15 \cdot 1,20 \cdot 1800}{0,5 \cdot 100} = 650 \text{ kwh.}$$

$$\text{Kr./\u00e5r kapitalisert: } \frac{650 \cdot 0,045}{0,055} = \underline{532 \text{ kr.}}$$

$$2) \underline{Q_k(1 + m) = 0,03 \text{ m}^3/\text{sek.}}$$

$$m = 20. \quad r = 0,06 \text{ m} = 0,12 \text{ l/sek} \cdot \text{ha.}$$

$$Q_p = (20,38 + 1,46 - 10,4) \cdot 10^4 = 11,44 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\u00e5r.$$

$$T_p = \frac{11,44 \cdot 10^4}{0,03 \cdot 3600} = 1050 \text{ timer.}$$

$$\emptyset = 150.$$

$$\begin{array}{ll} \text{Trykktapet er da:} & h = 0,4 \cdot 25 = 10 \text{ m,} \\ \text{og hastigheten:} & v = 1,7 \text{ m/sek.} \end{array}$$

$$E/\u00e5r = \frac{30 \cdot 10 \cdot 1050}{0,5 \cdot 100} = 6300 \text{ kwh.}$$

$$\text{Kr./\u00e5r kapitalisert: } \frac{6300 \cdot 0,045}{0,055} = \underline{5160 \text{ kr.}}$$

$$\emptyset = 200.$$

$$\begin{array}{ll} \text{Trykktapet er da:} & h = 0,4 \cdot 5,5 = 2,20 \text{ m} \\ \text{og hastigheten i r\u00f8ret:} & v = 0,95 \text{ m/sek.} \end{array}$$

$$E/\u00e5r = \frac{30 \cdot 2,20 \cdot 1050}{0,5 \cdot 100} = 1390 \text{ kwh.}$$

$$\text{Kr./\u00e5r kapitalisert: } \frac{1390 \cdot 0,045}{0,055} = \underline{1140 \text{ kr.}}$$

$$\emptyset = 250.$$

$$\begin{array}{ll} \text{Trykktapet er da:} & h = 0,4 \cdot 1,8 = 0,7 \text{ m,} \\ \text{og hastigheten i r\u00f8ret:} & v = 0,6 \text{ m/sek.} \end{array}$$

$$E/\text{år} = \frac{30 \cdot 0,7 \cdot 1050}{0,5 \cdot 100} = 440 \text{ kwh.}$$

$$\text{Kr./år kapitalisert: } \frac{440 \cdot 0,045}{0,055} = \underline{360 \text{ kr.}}$$

3) $\underline{Q_k(1 + m) = 0,040 \text{ m}^3/\text{sek.}}$

$$m = 28 \quad r = 0,06 \cdot 28 = 1,7 \text{ l/sek. ha.}$$

$$Q_p = (20,38 + 1,46 - 9,80) \cdot 10^4 = 12,04 \cdot 10^4 \cdot \text{m}^3/\text{år.}$$

$$T_p = \frac{12,04 \cdot 10^4}{0,04 \cdot 3600} = 832 \text{ timer.}$$

$$\emptyset = 150.$$

$$\text{Trykktapet er da: } h = 0,4 \cdot 43 = 17,2 \text{ m,}$$

$$\text{og hastigheten i røret: } v = 2,25 \text{ m/sek.}$$

$$E/\text{år} = \frac{40 \cdot 17,2 \cdot 8,32}{0,5 \cdot 100} = 11440 \text{ kwh.}$$

$$\text{Kr./år kapitalisert: } \frac{11440 \cdot 0,045}{0,055} = \underline{9350 \text{ kr.}}$$

$$\emptyset = 200.$$

$$\text{Trykktapet er da: } h = 0,4 \cdot 10 = 4 \text{ m,}$$

$$\text{og hastigheten i røret: } v = 1,3 \text{ m/sek.}$$

$$E/\text{år} = \frac{40 \cdot 4 \cdot 832}{0,5 \cdot 100} = 2660 \text{ kwh.}$$

$$\text{Kr./år kapitalisert: } \frac{2660 \cdot 0,045}{0,055} = \underline{2180 \text{ kr.}}$$

$$\emptyset = 250.$$

$$\text{Trykktapet er da: } h = 0,4 \cdot 3,2 = 1,3 \text{ m,}$$

$$\text{og hastigheten i røret: } v = 0,8 \text{ m/sek.}$$

$$E/\text{år} = \frac{40 \cdot 1,3 \cdot 832}{0,5 \cdot 100} = 866 \text{ kwh.}$$

$$\text{Kr./år kapitalisert: } \frac{866 \cdot 0,045}{0,055} = \underline{710 \text{ kr.}}$$

$$4) \quad \underline{Q_k(1 + m) = 0,050 \text{ m}^3/\text{sek.}}$$

$$m = 35. \quad r = 0,06 \cdot m = 2,1 \text{ l/sek} \cdot \text{ha.}$$

$$Q_p = (20,38 + 1,46 - 8,8)10^4 = \underline{13,04 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{år.}}$$

$$T_p = \frac{13,04 \cdot 10^4}{0,05 \cdot 3600} = 725 \text{ timer.}$$

$$\emptyset = 150.$$

$$\text{Trykktapet er da:} \quad h = 0,4 \cdot 70 = 28 \text{ m,}$$

$$\text{og hastigheten i røret:} \quad v = 2,8 \text{ m/sek.}$$

$$E/\text{år} = \frac{50 \cdot 28 \cdot 725}{0,5 \cdot 100} = 20300 \text{ kwh.}$$

$$\text{Kr./år kapitalisert:} \quad \frac{20300 \cdot 0,045}{0,055} = \underline{16600 \text{ kr.}}$$

$$\emptyset = 200.$$

$$\text{Trykktapet er da:} \quad h = 0,4 \cdot 16 = 6,4 \text{ m,}$$

$$\text{og hastigheten i røret:} \quad v = 1,6 \text{ m/sek.}$$

$$E/\text{år} = \frac{50 \cdot 6,4 \cdot 725}{0,5 \cdot 100} = 4640 \text{ kwh.}$$

$$\text{Kr./år kapitalisert:} \quad \frac{4640 \cdot 0,045}{0,055} = \underline{3800 \text{ kr.}}$$

$$\emptyset = 250.$$

$$\text{Trykktapet er da:} \quad h = 0,4 \cdot 5 = 2,0 \text{ m,}$$

$$\text{og hastigheten i røret:} \quad v = 1 \text{ m/sek.}$$

$$E/\text{år} = \frac{50 \cdot 2 \cdot 725}{0,05 \cdot 100} = 1450 \text{ kwh.}$$

$$\text{Kr./år kapitalisert:} \quad \frac{1450 \cdot 0,045}{0,055} = \underline{1190 \text{ kr.}}$$

BEREGNINGER FOR MAKSIMALE BOF₅-BELASTNINGER I BUDALSBEKKEN.

I bilag 6 er de maksimale belastningstilfeller for Budalsbekken, målt i mg BOF₅/1, vist avhengig av regnintensitet r, fortynningsforhold m og pumpekapasitet Q_p.

$$\begin{aligned} \text{Midlere BOF}_5\text{-mengde som tilføres pkt. A} &= \frac{600 \cdot 60000}{24 \cdot 3600} \\ &= \underline{\underline{417 \text{ mg BOF}_5/1 \cdot \text{sek.}}} \end{aligned}$$

Til Budalsbekken avlastes direkte:

$$417 \frac{Q_r - Q_p}{Q_r} \text{ mg BOF}_5/1 \cdot \text{sek.}$$

De øvrige beregninger for kurvene i bilag 6 går frem av tabell 3. For disse beregninger er det forutsatt at på det tidspunkt de maksimale vannføringene tilføres pkt. A **via rørledninger**, bidrar Budalsbekken, ved pkt. A, med et avløp fra 1/3 av sitt langstrakte nedslagsfelt. Dette er gjort for å omgå vanskeligheten med å beregne fordrøyningseffekten i Budalsbekken.

Tabell 1. Beregninger av regnvannsoverløp for Alternativ 1.

Avlastet BOF ₅ som % av total BOF ₅ -mengde.	$\frac{\text{Avlastet BOF}_5 \cdot 10^2}{1,75 \cdot 10^4} \%$	9,0 8,2 7,7 7,05 5,7 4,75 3,95 3,23
Avlastet BOF ₅ pr. år (kg/år).	$\frac{2,0 \cdot T \cdot H \cdot 3,95 \cdot 10^5}{H \cdot 3,95 \cdot 10^5 + Q_k(1+m)T \cdot 3600}$ kg BOF ₅	1,58.10 ³ 1,43.10 ³ 1,35.10 ³ 1,23.10 ³ 10 ³ 0,83.10 ³ 0,69.10 ³ 0,567.10 ³
Avlastet regn- og kloakkvann som % av total regn- og kloakkvannsmengde.	$\frac{H \cdot 3,95 \cdot 10^5 \cdot 10^2}{(5,83+28) \cdot 10^4} \%$ = H · 117	82 73 70 69 67 61 55 53
Avlastet regn- og kloakkvann pr. år.	$H \cdot F \cdot \psi = H \cdot 3,95 \cdot 10^5$ m ³ /år.	2,77.10 ⁵ 2,47.10 ⁵ 2,37.10 ⁵ 2,34.10 ⁵ 2,29.10 ⁵ 2,08.10 ⁵ 1,88.10 ⁵ 1,78.10 ⁵
Maks. vannføring i det avlastning begynner.	$Q(1+m) = 0,0019(1+m)$ m ³ /sek.	0,0019 0,0076 0,0095 0,0133 0,0210 0,030 0,040 0,050
Nedbørshøyde som avlastes.	H meter.	0,7 0,625 0,600 0,595 0,575 0,525 0,475 0,450
Antall timer avlastningen varer.	T timer.	800 775 750 700 600 500 475 425
Grenseintensitet r(1/sek.ha) når avlastningen begynner.	r = 0,047 m. 1/sek.ha	0 0,141 0,188 0,282 0,470 0,71 0,94 1,22
Fortynningsforhold i avskjærende ledn.	m.	0 3 4 6 10 15 20 26

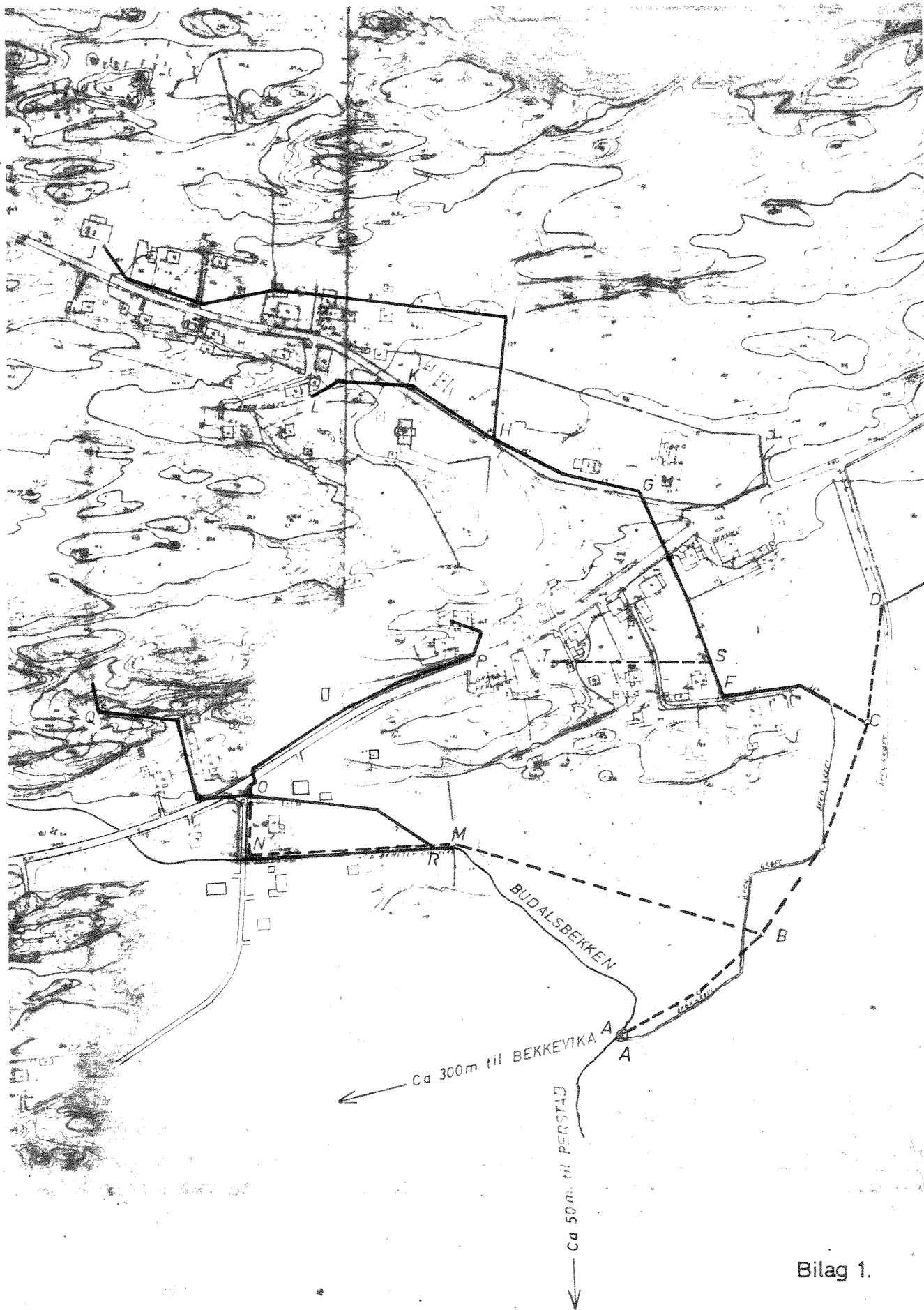
Tabell 2. Beregninger av regnvannsoverløp for Alternativ 2.

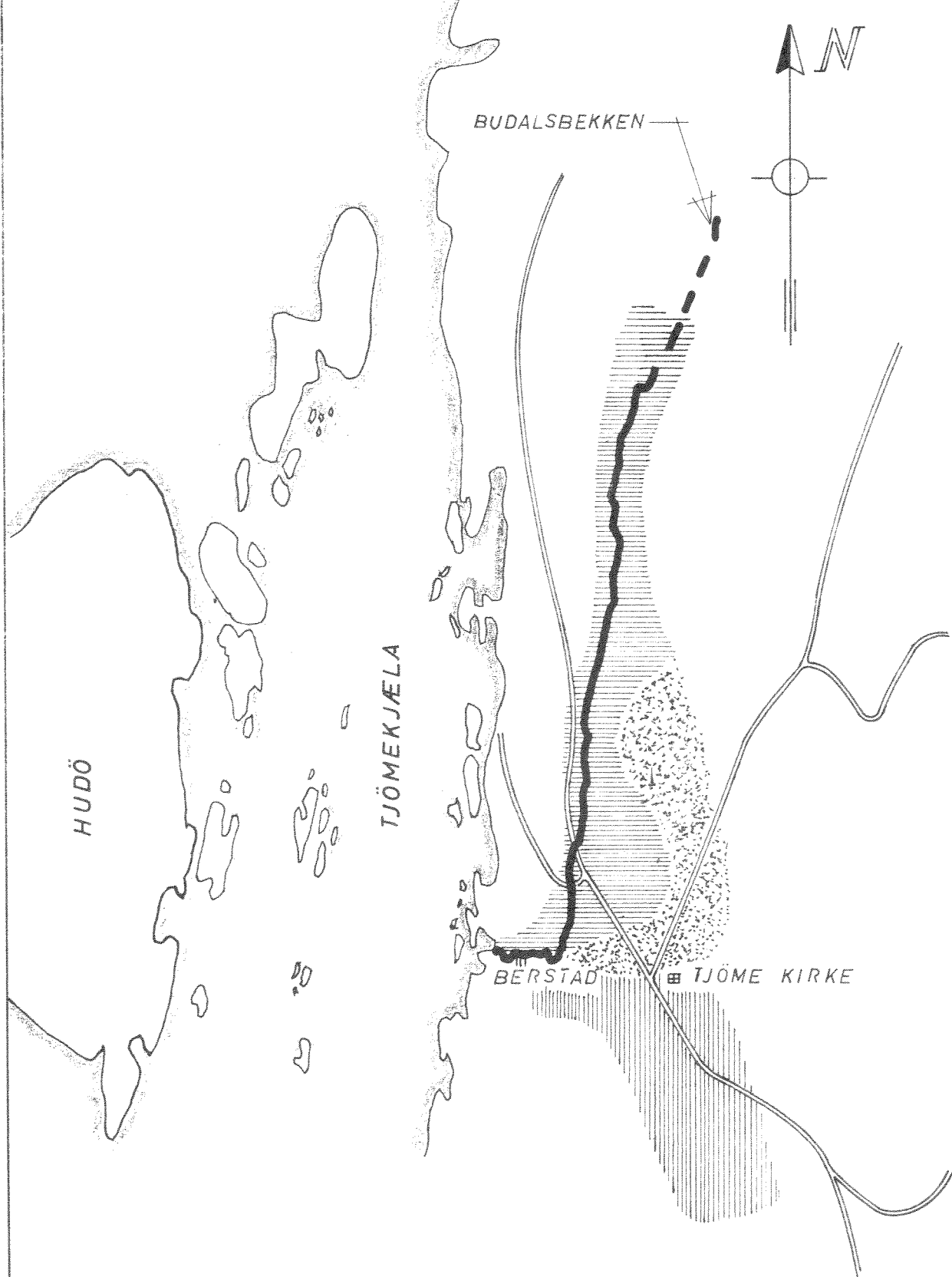
Fortynningsforhold i avskjærende ledn.	m	0 3 6 10 20 28 35
Grenseintensitet r (l/sek.ha) når avlastningen begynner.	$r = 0,06 \cdot m$ l/sek.ha.	0 0,18 0,36 0,60 1,20 1,68 2,10
Antall timer avlastningen varer.	T timer.	800 750 625 550 420 375 290
Nedbørshøyde som avlastes.	H meter	0,7 0,600 0,585 0,525 0,450 0,430 0,380
Maks. vannføring idet avlastning begynner	$Q(1+m)$ $= 0,014 \cdot (1+m)$ m^3/sek	0,0014 0,0056 0,0098 0,0154 0,0295 0,0406 0,0500
Avlastet regn- og kloakkvann pr. år.	$H \cdot F \cdot \psi = H \cdot 2,3 \cdot 10^5$ $m^3/\text{år}$	$1,61 \cdot 10^5$ $1,38 \cdot 10^5$ $1,36 \cdot 10^5$ $1,21 \cdot 10^5$ $1,04 \cdot 10^5$ $0,98 \cdot 10^5$ $0,88 \cdot 10^5$
Avlastet regn- og kloakkvann som % av total regn- og kloakkvannsmengde.	$\frac{H \cdot 2,3 \cdot 10^5 \cdot 10^2}{(4,38+16) \cdot 10^4} \%$ $= H \cdot 113$	79 68 67 59 51 49 43
Avlastet BOF_5 pr. år (kg/år).	$\frac{1,51 \cdot T \cdot H \cdot 2,3 \cdot 10^5}{H \cdot 2,3 \cdot 10^5 + Q_k(1+m) \cdot T \cdot 3600}$ kg BOF_5	$1,18 \cdot 10^3$ $1,02 \cdot 10^3$ $0,81 \cdot 10^3$ $0,67 \cdot 10^3$ $0,44 \cdot 10^3$ $0,37 \cdot 10^3$ $0,27 \cdot 10^3$
Avlastet BOF_5 som % av total BOF_5 -mengde.	$\frac{\text{Avlastet } \text{BOF}_5 \cdot 10^2}{1,32 \cdot 10^4} \%$	8,94 7,75 6,15 6,70 3,35 2,76 2,07




Tabell 3.

BOF₅-belastning i Budalsbekken.

m	r 1/sek.ha	Q_r = $r \cdot F$ 1/sek	Q_p 1/sek	$Q_r - Q_p$ 1/sek	Q_B = $r \cdot \frac{Q_B}{F_B}$ 1/sek	$Q_r - Q_p + Q_B$ 1/sek	BOF ₅ mg	mg BOF ₅ 1/sek
6	0,36	8,3	10	0	-	-	-	-
	0,6	13,8	10	3,8	3,5	7,3	115	15,8
	1	23	10	13	5,8	18,8	235	12,5
	2	46	10	36	11,5	47,5	327	6,9
	5	115	10	105	27	132	380	2,9
10	0,6	13,8	15	0	-	-	-	-
	0,7	16	15	1	4,0	5,0	26	5,2
	1	23	15	8	5,8	13,8	145	10,5
	2	46	15	31	11,5	42,5	282	6,6
	3	69	15	54	17,3	71,3	326	4,6
	5	115	15	100	29	129	362	2,8
20	1,2	28	30	-	-	-	-	-
	1,5	35	30	5	8,6	13,6	60	4,4
	2	46	30	16	11,5	27,5	145	5,3
	3	69	30	39	17,3	56,3	235	4,2
	5	115	30	85	27	112	308	2,8
28	1,68	39	40	-	-	-	-	-
	2	46	40	6	11,5	17,5	45	2,6
	3	69	40	29	17,3	46,3	169	3,6
	5	115	40	74	27	101	268	2,6

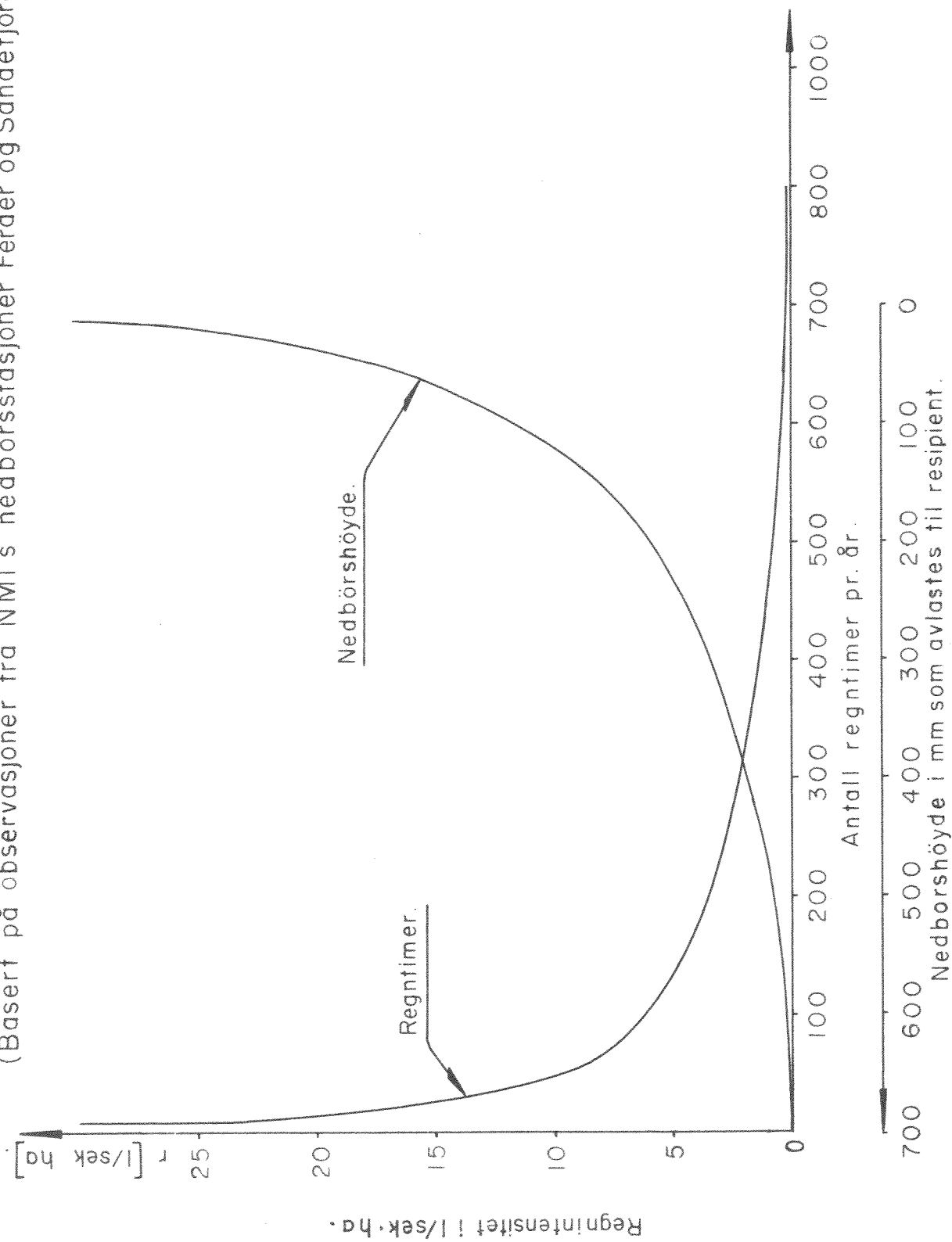


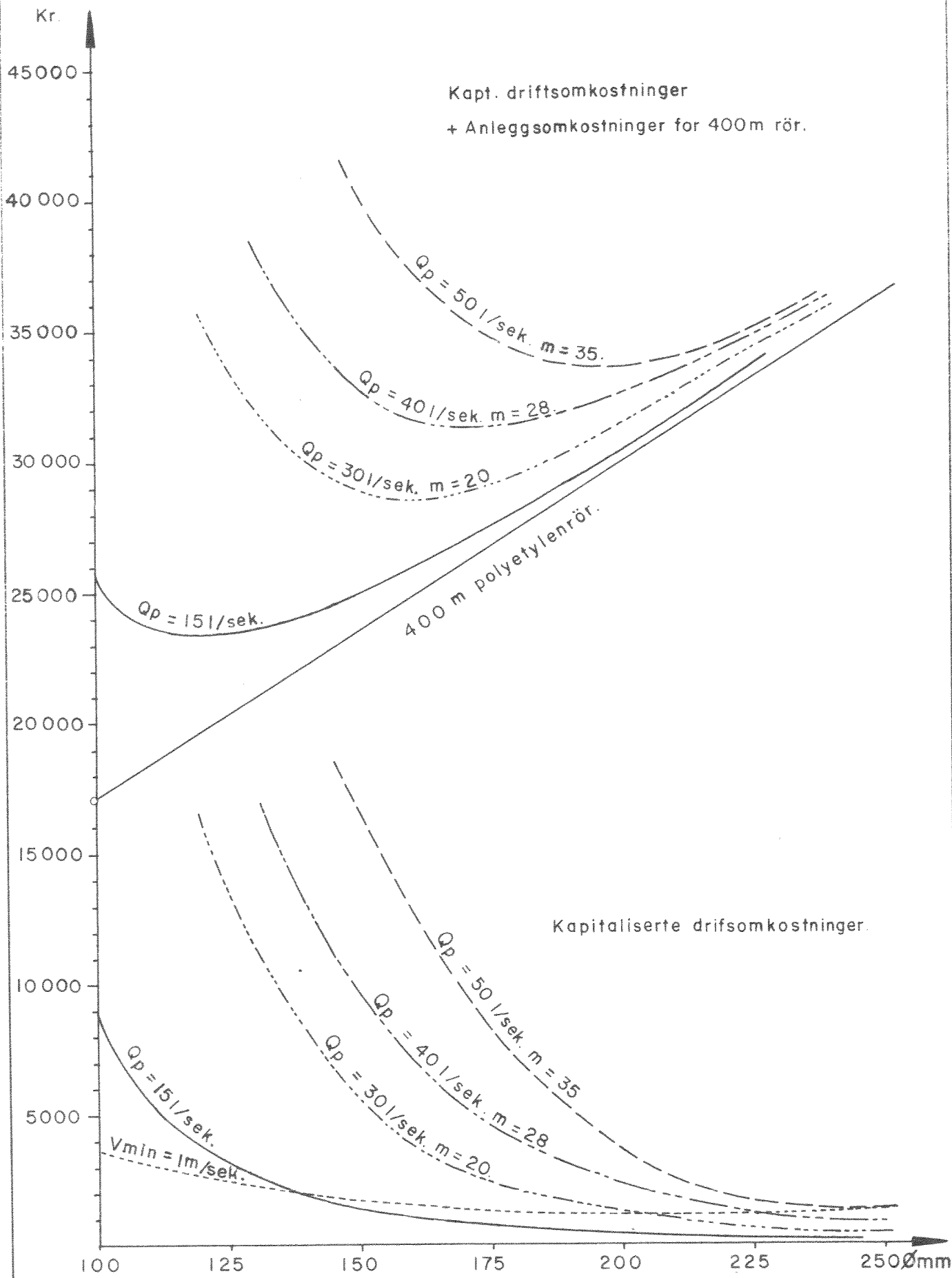


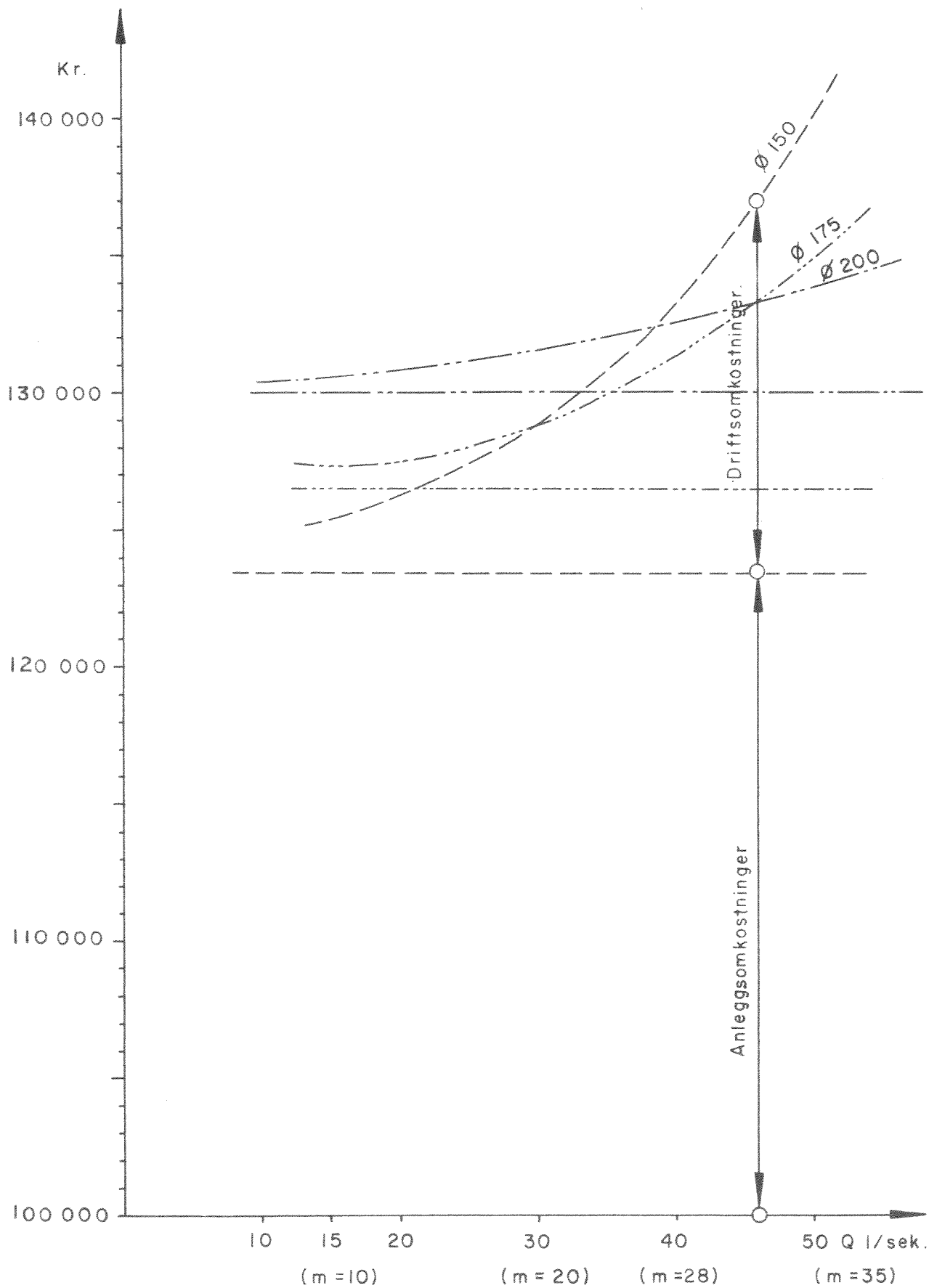
FELT 1:	Nedslagsareal = 55 ha.	avløpskoeff. = $\psi = 0,3$	
— — 2:	————— ————— = 29 "	————— ————— = " = 04	
— — 3:	————— ————— = 38 "	————— ————— = " = 03	

Regnintensiteters varighet samt total nedbør for Tjome.

(Basert på observasjoner fra NMI's nedbørsstasjoner Ferder og Sandefjord).







Forholdet mellom maksimale BOF₅-konsentrasjoner
i Budalsbekken og pumpet vannmengde ved
varierende regnintensitet.

