

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

BLINDERN.

O - 343.

Delrapport

Ketlevikskloakken -

Utslipp i Mathopsvågen.

Saksbehandler: Siv.ing. T. Simonsen.

INNLEDNING:

De følgende beregninger tar sikte på å belyse i hvilken grad Mathopsvågen vil forurenses av regnvannsavløstning gjennom et overløp ved pkt. B på tegning nr. 1193.

Fra pkt A i Mathopsveien føres hovedledning med full kapasitet frem til pkt. B. Fra pkt B føres kloakkvannet i undervannsledning ca. 1 km ut i Mathopsvågen.

Nedbørsforholdene for området er fremstilt grafisk i bilag 1. Norges Meteorologiske Institutts observasjoner fra nedbørstasjon Bergen II er bearbeidet av oss og fremstilt som vist i bilaget.

De andre forutsetningene for beregningene er innhentet fra Laksevåg kommune.

Forutsetninger:

- 1. Nytt boligareal = 180 ha.
- 2. Areal med separat syst. = 180 ha.
- 3. " " komb. " = 120 ha.
- 4. Antatt boligtetthet = 100 $\frac{\text{ind.}}{\text{ha.}}$
- 5. Avløpskoeff. = 0,7
- 6. Spesifikk tørrvannsmengde = 300 $\frac{1}{\text{ind.} \cdot \text{døgn}}$
- 7. " forurensningsmengde = 60 $\frac{g}{\text{ind.} \cdot \text{døgn}}$
- 8. Nedbørsfordeling som vist i bilag 1.

Symboler:

- Q_k = tørrvannsmengde pr. tidsenhet.
- Q_r = regnvannsmengde pr. tidsenhet.
- r = grenseintensitet i $\frac{1}{\text{sek. ha}}$
- F = Areal med komb. syst.
- ψ = Avløpskoeff.
- m = fortynningsforhold i avskjærende ledn.
- T = antall timer overløpet er i funksjon pr. år.
- H = nedbørshøyde i m som føres via overløp.

Beregninger:

$Q_k \frac{1}{\text{sek}}$ fordeles over 24 t.

$$Q_k \frac{1}{\text{sek}} = \frac{100 \frac{\text{ind.}}{\text{ha}} \cdot 180 \text{ ha} \cdot 300 \frac{1}{\text{ind.}} \cdot \text{døgn}}{24 \text{ t} \cdot 3600 \text{ sek}}$$

$$I \quad Q_k = 62,5 \frac{1}{\text{sek}}$$

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

$$r \frac{1}{\text{sek}} = \frac{Q_k \frac{1}{\text{sek}} \cdot m}{F \cdot \psi}$$

$$\text{II. } r = \frac{62,5 \cdot m}{120 \cdot 0,7} = 0,745 \cdot m \frac{1}{\text{sek} \cdot \text{ha}}$$

Årlig kloakkvannsmenge for komb. og sep. syst.

$$Q_k \frac{m^3}{\text{år}} = \frac{62,5 \frac{1}{\text{sek}} \cdot 3600 \text{ sek} \cdot 24 \text{ t} \cdot 365 \text{ døgn}}{1000}$$

$$\text{III. } Q_k = 1,97 \cdot 10^6 \frac{m^3}{\text{år}}$$

Årlig regnvannsmenge for komb. syst.:

$$Q_r \frac{m^3}{\text{år}} = H \frac{m}{\text{år}} \cdot Fm^2 \cdot \psi$$

$$Q_r = 1,959 m \cdot 120 \text{ ha} \cdot 10^4 \cdot 0,7$$

$$\text{III a. } Q_r = 1,645 \cdot 10^6 \frac{m^3}{\text{år}}$$

Årlig forurensningsmengde:

$$BOF_5 \frac{\text{kg}}{\text{år}} = \frac{100 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot 180 \text{ ha} \cdot 60 \frac{\text{kg}}{\text{t}} \cdot \text{døgn} \cdot 365 \text{ døgn}}{1000}$$

$$\text{IV. } BOF_5 = 3,94 \cdot 10^5 \frac{\text{kg } BOF_5}{\text{år}}$$

Kloakkvannets midlere BOF_5 -konsentrasjon.

$$BOF_5 \frac{\text{kg}}{l} = \frac{3,94 \cdot 10^5 \cdot \frac{\text{kg}}{t} \cdot 10^6}{1,97 \cdot 10^6 \frac{m^3}{\text{år}} \cdot 10^3} = \frac{3,94 \cdot 10^{11}}{1,97 \cdot 10^9}$$

$$\text{V. } BOF_5 = 200 \frac{\text{kg}}{l}$$

Fordeling av BOP₅ belastn. til pumpe og overlep.

På T timer går det i overlep $[H \cdot F \cdot \psi] m^3$
(se bilag 2).

På T timer går det i pumpe $[Q_{T_1}(1+m) \cdot T] m^3$

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

$$VI. \quad [H \cdot F \cdot \psi] m^3 + [Q_{T_1}(1+m)T] m^3$$

BOP₅ belastn. i løpet av T timer blir:

$$VII. \quad BOP_5 \text{ kg/m}^3 \cdot Q_{T_1} \cdot T \cdot 3600 = \text{kg BOP}_5.$$

Midlere BOP₅ konsentrasjon i oppblandet vann i løpet av T timer blir:

pkt. VII/pkt. VI.

$$VIII. \quad \frac{BOP_5 \frac{\text{kg}}{m^3} \cdot Q_{T_1} \frac{m^3}{\text{sek}} \cdot T \cdot 3600}{[H \cdot F \cdot \psi] m^3 + [Q_{T_1} \frac{m^3}{\text{sek}} (1+m) T \cdot 3600] m^3}$$

hvor

$[H \cdot F \cdot \psi] m^3$ er totalavlastningen pr. år
og uttrykkes som

$$H \cdot 8,4 \cdot 10^5 m^3$$

Avlastet BOP₅ i løpet av T timer blir da:

$$\text{pkt VIII} \cdot H \cdot 8,4 \cdot 10^5$$

$$= \frac{\left[0,2 \frac{\text{kg}}{m^3} \cdot 0,0625 \frac{m^3}{\text{sek}} \cdot T \cdot 60^2 \right] H \cdot 8,4 \cdot 10^5}{H \cdot 8,4 \cdot 10^5 + \left[Q_{T_1} \frac{m^3}{\text{sek}} (1+m) T \cdot 60^2 \right]} \text{ kg BOP}_5$$

$$\text{IX.} \quad = \frac{45 \cdot T \cdot \Pi \cdot 8,4 \cdot 10^5}{\Pi \cdot 8,4 \cdot 10^5 + [Q_k(1+m)] \cdot T \cdot 60^2} \text{ kg BOD}_5.$$

BOD₅ belastning som går til pumpen i løpet av T timer.

$$\text{X.} \quad \frac{45 \cdot T \cdot [Q_k(1+m)] \cdot T \cdot 60^2}{\Pi \cdot 8,4 \cdot 10^5 + [Q_k(1+m)] \cdot T \cdot 60^2} \text{ kg BOD}_5.$$

BOD₅ belastn. som går til pumpevrig tid utenom avlast.

$$\text{XI.} \quad \text{BOD}_5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot Q_k \frac{\text{m}^3}{\text{sek}} (8760 - T) \cdot 60^2 \text{ kg BOD}_5$$

Kontroll:

$$\text{IX} + \text{X} + \text{XI} = 3,94 \cdot 10^5 \text{ kg BOD}_5.$$

Ved hjelp av de ovenfor angitte formler er det beregnet varierende verdier for ulike verdier av m. Dette er gjengitt i følgende tabell, og %-tallene er fremstilt grafisk i bilag 3.

TABELL 1.

	$\frac{1}{m}$	T	H	$\frac{Q_m(1+m)}{10^5}$	$H \cdot F \cdot \psi$		
Fortynningsforhold m, i avskjærende ledn.							
0	0	2311	1,959	0,0625	$1,64 \cdot 10^6$	$\frac{11,8,4 \cdot 10^5 \cdot 10^2}{(1,97 + 1,695) \cdot 10^6} \%$	
1	0,745	1700	1,6	0,1250	$1,245 \cdot 10^6$		
2	1,49	1090	1,22	0,1875	$1,025 \cdot 10^6$		
3	2,235	800	0,96	0,2500	$8,06 \cdot 10^5$		
4	2,98	630	0,82	0,3120	$6,8 \cdot 10^5$		
5	3,73	495	0,71	0,3750	$5,96 \cdot 10^5$		
7	5,22	327	0,54	0,5000	$4,53 \cdot 10^5$		
10	7,45	220	0,38	0,6870	$3,19 \cdot 10^5$		
Grensointensitet for $\frac{1}{m}$ sek. ha, når avlastn. begynner.	$\frac{1}{m} = 0,745$	timer	meter	m^2/sek	$m^3/\text{år}$		
Antall timer T, som avlastn. varer.							
Nedberakende H, som avlastes.							
Maks. vannføring idet avlastn. begynner.							
Avlastet regn og kloakkvann pr. år.							
Avlastet regn og kloakkvann som % av total regn og kloakkvannsmengde.							
Avlastet BOD ₅ pr. år.							
Avlastet BOD ₅ som % av total BOD ₅ mengde.							

Valg av fortynning (m):

Tabellen nedenfor angir hvor mange mennesker forureningsmengden fra overløpet representerer ved valg av ulike fortynninger (m) i dypvannsledningene.

Fortynning m	0	1	2	3
Forurensning fra antall mennesker	3600	2200	1300	850

Ved å føre regnvannsavløpet ut på et vanddyp av omlag 5 m vil man allerede oppnå en vesentlig utspedning og m-verdiene 2 og 3 må antas å gi fullt tilfredstillende forhold i Kjetlevikstraumen.

For å belyse det økonomiske forholdet nærmere har vi, med dimensjoner på undervannsledningen Ø 30, Ø 40 og Ø 50 cm, beregnet anslagsvise anleggs- og driftsomkostninger for varierende m-verdier.

A. Ø 30 cm.

$$\begin{aligned}
 \text{I. } m &= 1 \\
 Q_k(1 + m) &= \text{pumpekapasitet} = 125 \text{ l/sek.} \\
 V &= \frac{125 \cdot 1000}{710} = 1,76 \text{ m/sek.} \\
 Re &= \frac{1,76 \cdot 0,3}{1,01} \cdot 10^6 = 5,25 \cdot 10^5 \\
 \lambda &= 0,0127 \\
 h &= \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} = 0,0127 \cdot \frac{1000}{0,3} \cdot \frac{1,76^2}{19,62} = 6,5 \text{ m} \\
 \text{Årlig pumpe mengde } Q_p & \\
 Q_p &= (1,645 + 1,97) \cdot 10^6 = 1,345 \cdot 10^6 = 2,27 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \\
 \text{Antall timer pumpen går } T_p & \\
 T_p &= \frac{2,27 \cdot 10^6}{0,125 \cdot 3600} = 5050 \text{ timer}
 \end{aligned}$$

Årlige pumpekostninger:

$$E/\text{år} = \frac{Q \cdot h \cdot T}{\eta \cdot 100} \quad \text{kW} \cdot \text{h}$$

$$E/\text{år} = \frac{1,025 \cdot 6,5 \cdot 4050}{0,5 \cdot 100}$$

$$= 8,2 \cdot 10^4 \text{ kWh}$$

$$\text{Kr./år kapitalisert} = \frac{8,2 \cdot 10^4 \cdot 0,06}{0,055}$$

$$= 8,95 \cdot 10^4 \text{ kr.}$$

II. m

$$Q_k(1 + m)$$

$$= 2$$

$$V = \frac{187,5 \cdot 1000}{710}$$

$$= 187,5 \text{ l/sek.}$$

$$Re = \frac{2,64 \cdot 0,3 \cdot 10^6}{1,01}$$

$$= 2,64 \text{ m/sek.}$$

$$= 7,8 \cdot 10^5$$

λ

$$= 0,0118$$

$$h = 0,0118 \cdot \frac{1000}{0,3} \cdot \frac{2,64^2}{19,62}$$

$$= 14 \text{ m.}$$

$$Q_p = (3,615 - 1,025)10^6$$

$$= 2,59 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$T_p = \frac{2,59 \cdot 10^6}{0,1075 \cdot 3600}$$

$$= 3850 \text{ timer.}$$

$$E/\text{år} = \frac{187,5 \cdot 14 \cdot 3850}{0,5 \cdot 100}$$

$$= 2,02 \cdot 10^5 \text{ kWh}$$

$$\text{Kr./år kapitalisert} = \frac{2,02 \cdot 10^5 \cdot 0,06}{0,055}$$

$$= 2,2 \cdot 10^5 \text{ kr.}$$

III. m

$$Q_k(1 + m)$$

$$= 3$$

$$V = \frac{250 \cdot 1000}{710}$$

$$= 250 \text{ l/sek.}$$

$$= 3,52 \text{ m/sek.}$$

$$Re = \frac{3,52 \cdot 0,3 \cdot 10^6}{1,01}$$

$$= 1,04 \cdot 10^6$$

λ

$$= 0,0115$$

$$h = 0,0115 \cdot \frac{1000}{0,3} \cdot \frac{3,52^2}{19,62}$$

$$= 24,5 \text{ m}$$

$$Q_p = (3,615 - 0,805)10^6$$

$$= 2,81 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$T_p = \frac{2,81 \cdot 10^6}{0,25 \cdot 3600}$$

$$= 3130 \text{ timer.}$$

$$E/\text{\AA}r = \frac{250 \cdot 24,5 \cdot 3100}{0,5 \cdot 100} = 3,85 \cdot 10^5 \text{ kr}$$

$$\text{Kr./\AA}r \text{ kapitalisert} = \frac{3,85 \cdot 10^5 \cdot 0,06}{0,055} = 4,19 \cdot 10^5 \text{ kr}$$

B. Ø 40 cm.

I. $m = 1$

$$Q_k(1 + m) = 125 \text{ l/sek.}$$

$$V = \frac{125 \cdot 1000}{1256} = 1 \text{ m}$$

$$Re = \frac{1 \cdot 0,4 \cdot 10^6}{1,01} = 4 \cdot 10^5$$

$$\lambda = 0,013$$

$$h = 0,013 \cdot \frac{1000}{0,4} \cdot \frac{1^2}{19,62} = 1,65 \text{ m}$$

$$Q_p = (3,615 - 1,345) 10^6 = 2,27 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$T_p = \frac{2,27 \cdot 10^6}{0,125 \cdot 2000} = 5050 \text{ timer}$$

$$E/\text{\AA}r = \frac{125 \cdot 1,65 \cdot 5050}{0,5 \cdot 100} = 2,08 \cdot 10^4 \text{ kr}$$

$$\text{Kr./\AA}r \text{ kapitalisert} = \frac{2,08 \cdot 10^4 \cdot 0,06}{0,055} = 22.600 \text{ kr.}$$

II. $m = 2$

$$Q_k(1 + m) = 187,5 \text{ l/sek.}$$

$$V = \frac{187,5 \cdot 1000}{1256} = 1,50 \text{ m/sek}$$

$$Re = \frac{1,50 \cdot 0,4 \cdot 10^6}{1,01} = 6,0 \cdot 10^5$$

$$\lambda = 0,0123$$

$$h = 0,0123 \cdot \frac{1000}{0,4} \cdot \frac{1,50^2}{19,62} = 3,53 \text{ m}$$

$$Q_p = (3,615 - 1,025) \cdot 10^6 = 2,59 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$T_p = \frac{2,59 \cdot 10^6}{0,1875 \cdot 2000} = 3850 \text{ timer.}$$

$$E/\text{\AA}r = \frac{187,5 \cdot 3,53 \cdot 3850}{0,5 \cdot 100} = 5,1 \cdot 10^4 \text{ kr}$$

$$\text{Kr./\AA}r \text{ kapitalisert} = \frac{5,1 \cdot 10^4 \cdot 0,06}{0,055} = 5,58 \cdot 10^4 \text{ kr}$$

III. m

$$Q_k(1 + m)$$

$$V = \frac{250 \cdot 1000}{1236}$$

$$Re = \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 10^6}{1,01}$$

X

$$h = 0,0118 \cdot \frac{1000}{0,4} \cdot \frac{2^2}{19,62}$$

$$Q_p = (3,615 - 0,806)10^5$$

$$T_p = \frac{2,81 \cdot 10^6}{0,25 \cdot 3600}$$

$$E/\text{år} = \frac{250 \cdot 6 \cdot 3130}{0,5 \cdot 100}$$

$$\text{Kr./år kapitalisert} = \frac{9,4 \cdot 10^4 \cdot 0,06}{0,055}$$

C. 8 50 om.

I. m

$$Q_k(1 + m)$$

$$V = \frac{125000}{1970}$$

$$Re = \frac{0,64 \cdot 0,5 \cdot 10^6}{1,01}$$

X

$$h = 0,0135 \cdot \frac{1000}{0,5} \cdot \frac{0,64^2}{19,62}$$

$$Q_p = (3,615 - 1,345) \cdot 10^6$$

$$T_p = \frac{2,37 \cdot 10^6}{0,125 \cdot 3600}$$

$$E/\text{år} = \frac{125 \cdot 0,25 \cdot 5050}{0,5 \cdot 100}$$

$$\text{Kr./år kapitalisert} = \frac{3540 \cdot 0,06}{0,055}$$

$$= 3$$

$$= 250 \text{ l/sek.}$$

$$= 2,0 \text{ m/sek.}$$

$$= 8,0 \cdot 10^5$$

$$= 0,0118.$$

$$= 6 \text{ m.}$$

$$= 2,81 \cdot 10^6 \text{ m}^2$$

$$= 3130 \text{ timer.}$$

$$= 9,4 \cdot 10^4 \text{ kWh}$$

$$= 1,03 \cdot 10^5 \text{ kr.}$$

$$= 1$$

$$= 125 \text{ l/sek.}$$

$$= 0,64 \text{ m/sek.}$$

$$= 3,1 \cdot 10^5$$

$$= 0,0135.$$

$$= 0,28 \text{ m}$$

$$= 2,27 \cdot 10^6 \text{ m}^2$$

$$= 5050 \text{ timer}$$

$$= 3540 \text{ kWh.}$$

$$= 3850 \text{ kr.}$$

II. m

$$Q_k(1 + m)$$

$$v = \frac{187,5 \cdot 1000}{1970}$$

$$Re = \frac{0,95 \cdot 0,5 \cdot 10^6}{1,01}$$

λ

$$h = 0,0128 \cdot \frac{1000}{0,5} \cdot \frac{0,95^2}{19,62}$$

$$Q_p = (3,615 - 1,025)10^6$$

$$T_p = \frac{2,59 \cdot 10^6}{0,1875 \cdot 3600}$$

$$E/\&r = \frac{187,5 \cdot 1,17 \cdot 3850}{0,5 \cdot 100}$$

$$Kr./\&r = \frac{1,68 \cdot 10^4 \cdot 0,06}{0,055}$$

$$= 2$$

$$= 187,5 \text{ l/sek.}$$

$$= 0,95 \text{ m/sek.}$$

$$= 4,75 \cdot 10^5$$

$$= 0,0128$$

$$= 1,17 \text{ m}$$

$$= 2,59 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$= 3850 \text{ timer.}$$

$$= 1,68 \cdot 10^4 \text{ kr.}$$

$$= 18,500 \text{ kr.}$$

III. m

$$Q_k(1 + m)$$

$$v = \frac{250 \cdot 1000}{1970}$$

$$Re = \frac{1,27 \cdot 0,5 \cdot 10^6}{1,01}$$

λ

$$h = 0,0122 \cdot \frac{1000}{0,5} \cdot \frac{1,27^2}{19,62}$$

$$Q_p = (3,615 - 0,806)10^6$$

$$T_p = \frac{2,81 \cdot 10^6}{0,15 \cdot 3600}$$

$$E/\&r = \frac{250 \cdot 2 \cdot 3120}{0,5 \cdot 100}$$

$$Kr./\&r \text{ kapitalisert} = \frac{3,12 \cdot 10^4 \cdot 0,06}{0,055}$$

$$= 2$$

$$= 250 \text{ l/sek.}$$

$$= 1,27 \text{ m/sek.}$$

$$= 6,35 \cdot 10^5$$

$$= 0,0122$$

$$= 2 \text{ m}$$

$$= 2,81 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$= 3120 \text{ timer.}$$

$$= 3,12 \cdot 10^4 \text{ kr.}$$

$$= 24,000 \text{ kr.}$$

Ved beregning av anleggsutgifter er det ikke tatt med eventuelle kostnadsvariasjoner i forbindelse med overløp, pumpestasjon og trykkbasseng. For sammenlikningen er det bare tatt med variasjon i rerpris og legging av disse. Det er for alle alternativer regnet med en lengde på 1 km for undervannsledningen.

Anleggsutgifter og kapitaliserte driftsutgifter er sammenstillet i følgende tabell, og fremstilt grafisk i bilag 4.

	m	Driftsomk. kapitalisert kr.	Anleggssomk. kr.	Sum kr.
Ø 30	1	93.000	78.500	171.500
	2	220.000	78.500	298.500
	3	400.000	78.500	538.500
Ø 40	1	22.600	106.000	121.600
	2	51.200	106.000	157.200
	3	103.000	106.000	209.000
Ø 50	1	3.850	136.000	140.350
	2	18.500	136.000	154.500
	3	34.000	136.000	170.000

Konklusjon:

På grunnlag av forureningsmengden og omkostningene, fremstilt i bilag 4, må en fertynning $m = 2$ og dimensjon for undervannsledningen $\varnothing = 40$ cm forutsettes å gi en teknisk og økonomisk tilfredsstillende ordning for utslipping av hotlevikskleakken i Mathopsvågen.

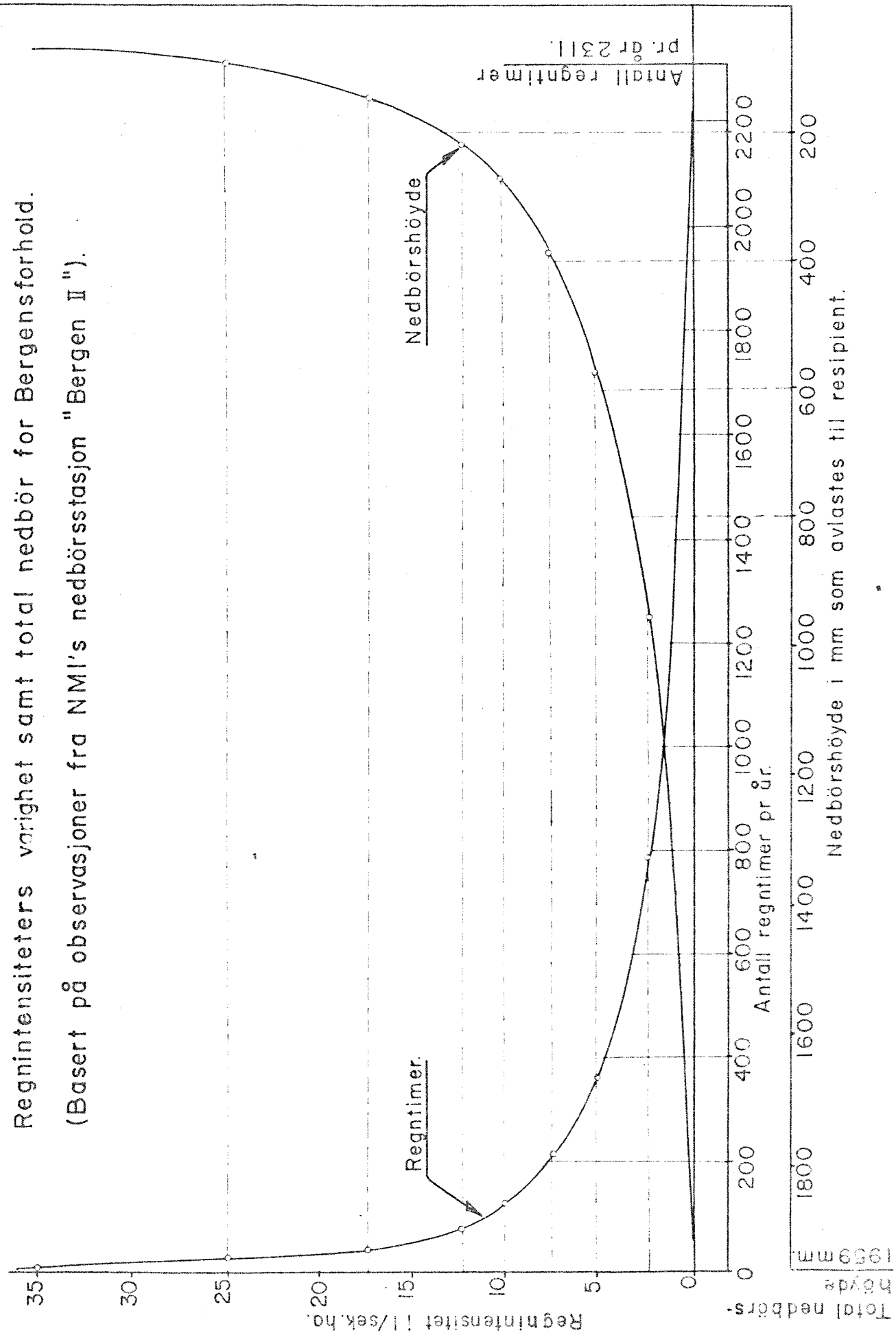
Vi har således følgende grunnleggende tall for den fortsatte dimensjonering:

1. Årlig avlastet vannmengde = 1,025 mill m³/år.
2. Årlig avlastet vannmengde uttrykt som % av total regn- og kloakkvannsmengde = 28,5 %
3. Årlig avlastet BOP₅-mengde. = 2,85 · 10⁴ kg/år.
4. Årlig avlastet BOP₅-mengde, uttrykt som % av total BOP₅-mengde i kloakkvannet = 7,25 %.
5. Regninntensitet ved hvilken overløpet trer i virksomhet = 1,49 l/sek ha.
6. Antall timer overløpet er i virksomhet pr. år = 1090 timer
7. Nødvendig pumpekapasitet = 187,5 l/sek.
8. " pumpehøyde = ca. 4 m.
9. Dimensjon for undervannsledning = Ø 40 cm.
10. Undervannsledningens lengde = 1000 m
11. Antall dyp ved ledningsutløpet = 25 - 30 m.
12. Antatt fortynning av kloakkvann på overflaten over utslippet = ca. 50 ganger.

Blindern, juni 1962.

T. Simenson.

Regnintensiteters varighet samt total nedbør for Bergensforhold.
 (Basert på observasjoner fra NMI's nedbørsstasjon "Bergen II").



Fordeling av vannmengder ved regnvannsoverlöp.

