

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

0-53/71

SYSTEMANALYSE AV AVLØPSANLEGG

Fremdriftsrapport nr. 4

for perioden 1.4.1973 - 1.12.1973

Saksbehandler: Siv.ing. Oddvar G. Lindholm

Medarbeider: Avd.sjef Peter Balmér

Rapporten avsluttet: 1.12.1973

## INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
1. INNLEDNING	3
2. MODELLARBEID	4
2.1 Ledningsnettmodell	
2.1.1 Beregningssteg	4
2.1.2 Printsteg	6
2.2 Renseanlegg- og slammodell	6
2.3 Programdokumentasjon	6
3. BEREGNINGSEKSEMPLER	6
3.1 Ledningsnettmodell	6
3.2 Eksempler på systemanalyse av renseanlegg	6
4. ANALYSE AV ET FELLESSYSTEM KONTRA ET SEPARATSYSTEM MED HENSYN TIL FORURENSNINGER	18
5. ANALYSE AV ET OVERLØPS UTSLIPP AV FORURENSNINGER	34
6. SAMMENDRAG	37
7. LITTERATUR	39
8. APPENDIKS 1: KOSTNADSFUNKSJONER	40

## 1. INNLEDNING

Denne rapport beskriver fremdriften i prosjektet "Systemanalyse av avløpsanlegg", O-53/71, (tidligere PRA 4.6.). Rapporten omfatter arbeid utført i perioden 1.4.1973 til 1.12.1973. Tidligere har prosjektet vært finansiert av PRA-midler, mens NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (NIVA) selv har finansiert prosjektet i den perioden som beskrives her.

Hovedtyngden av innsatsen i denne perioden er, som før, gått til forbedring av modellene. Det er likevel vært anledning til å gjennomføre en analyse av fellessystemets virkemåte kontra et separatsystem. Likeledes har det vært mulig å se på hvilke tekniske tiltak som kan motvirke ulempene i et fellessystem samt hvilke faktorer som påvirker forurensningsutslipp fra regnvannsoverløp i fellessystemet. En del beregningseksempler fra en systemanalyse på et renseanlegg er også vist.

## 2. MODELLARBEID

### 2.1 Ledningsnettmodell

#### 2.1.1 Beregningssteg

Ledningsnettmodellen har nå fått implementert en subrutine som setter brukeren i stand til å velge beregningssteget mellom hver analyse-situasjon i avrenningsforløpet i et gitt regnskyll.

Tidligere måtte man alltid bruke 1 minutt. Selv om arbeidet med denne subrutinen ble dyrere enn forutsett, vil dette likevel være en innsparelse totalt sett på lengre sikt.

Grunnen til dette er at datamaskinkostnadene avhengig av det valgte beregningssteget.

Den derved økte unøyaktighet i beregningene kan bli vesentlig i svært korte regneskyll, men er ubetydelig ved lange regnskyll.

Ved konstante regnskyll anbefales følgende maksimale beregningssteg:

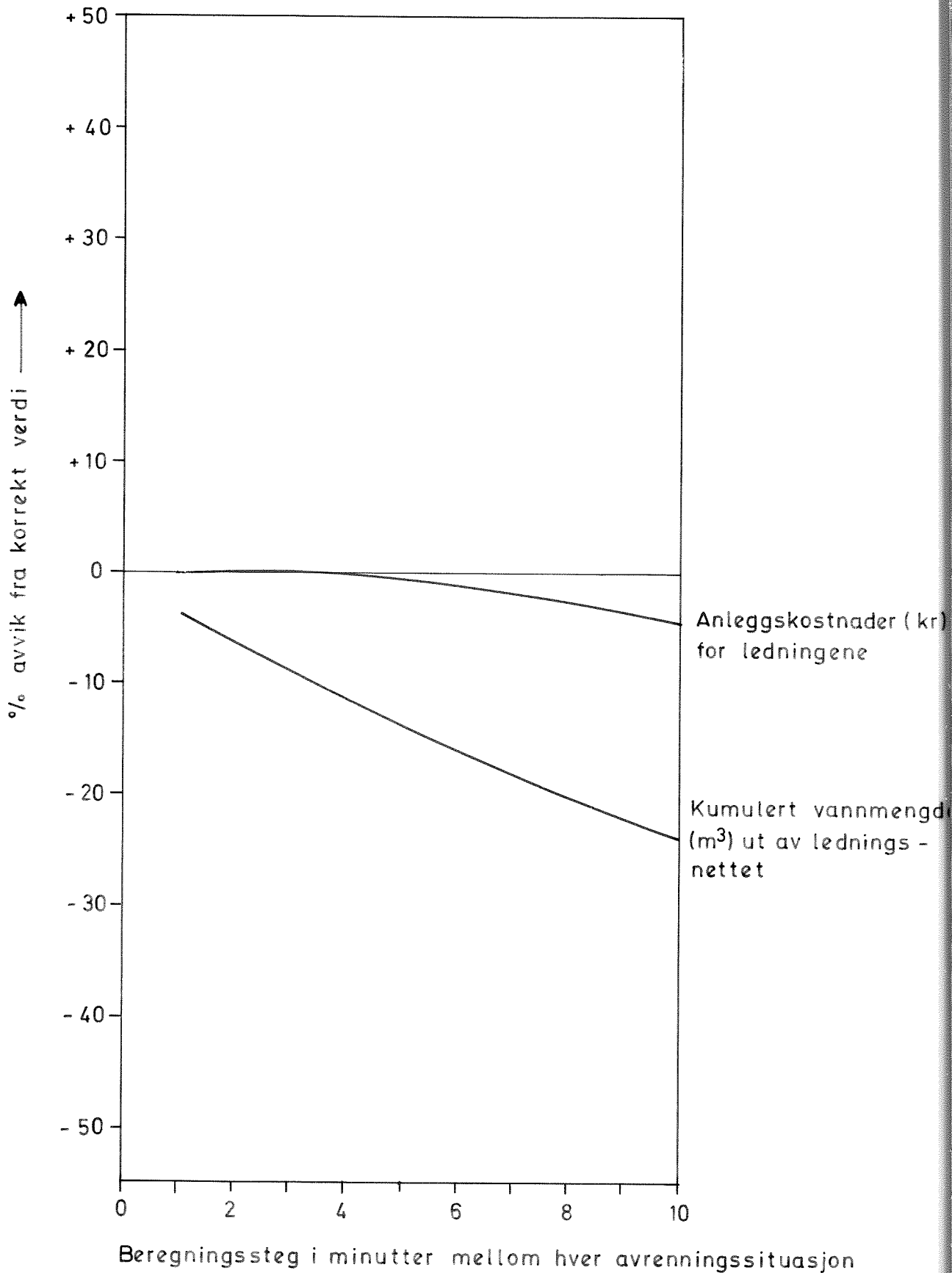
Lengde på regnskyll	Beregningssteg
< 40 minutter	1 minutt
40 - 60 "	3 minutter
100 - 300 "	5 "
> 300 "	10 "

Dersom regnskylllet varierer i intensitet med tiden bør beregningssteget være noe mindre enn vist i tabellen. (Vurderes i hvert enkelt tilfelle.) se fig.1

#### 2.1.2 Printsteg

Det er også en mulighet for brukeren til å velge intervallet (steget mellom hver avrenningssituasjon) mellom hver utlistet verdi. Dette steget er uavhengig av beregningssteget og innsparer derfor ikke

Fig. 1 Unøyaktigheter p.g.a. beregningssteget  
Nedslagsfelt 110 ha., 5500 personer, 6 knutepunkter,  
5 ledninger, 30 minutters regnskyll



vesentlig maskintid, men den uttrykkede datamengden kan bli sterkt begrenset.

## 2.2 Renseanlegg- og slammodell

Det er lagt inn nye kostnadsfunksjoner i renseanleggmodellen. Disse er vist i appendiks 1. For øvrig er en ny matematisk beskrivelse av biologisk ettersedimentering implementert. Formelen for suspendert stoff (mg/l) i effluenten er nå:

$$\text{SSEFL} = 2 + 5 \cdot V + 2,9 \cdot V^{5.1}$$

V = overflatebelastning i m/time.

## 2.3 Programdokumentasjon

Ledningsnettmodellen er nå dokumentert etter A/S COMPUTAS' standarder. Dette er et eget skriv på ca. 40 sider.

Det er også utarbeidet en detaljert brukerinstruks for modellen.

For renseanleggmodellen er et detaljert flowchart diagram utarbeidet.

# 3. BEREGNINGSEKSEMPLER

## 3.1 Ledningsnettmodell

I figur 2 og 3 er vist et beregningseksempel med et meget enkelt ledningsnett. Eksempellet er ment å skulle illustrere at hydraulikken i selv små ledningsnett kan være vanskelig å forstå dersom ikke matematiske modeller og EDB benyttes. Figur 2 viser hydrografene ut av de fem rørene uten noen inngrep i nettet. Mellom punktene skjer lokale tilførsler.

Dersom man ønsket å redusere maksimal vannføring ut av rør 1, kunne man tenke seg å plassere et overløp like etter rør 4 og 5, som maksimalt slipper videre 50 l/s. Ut av rør 4 og 5 kommer det maksimalt ca. 650 l/s, hvilket betyr av 600 l/s ved et visst tidspunkt går ut av overløpet. Overraskende nok viser modellen at maksimal vannmengde i rør 1 ikke minker. Se figur 3. Årsaken til dette er at den nødvendige strømnings tiden fra rør 4 og 5 til rør 1 er relativt stor.

## 3.2 Eksempler på systemanalyse av renseanlegg

Vi skal her vise et eksempel fra et renseanlegg som betjener et område med felles avløpssystem. Følgende data for feltet er brukt:

FIG. 2 Sewer network without storm overflow

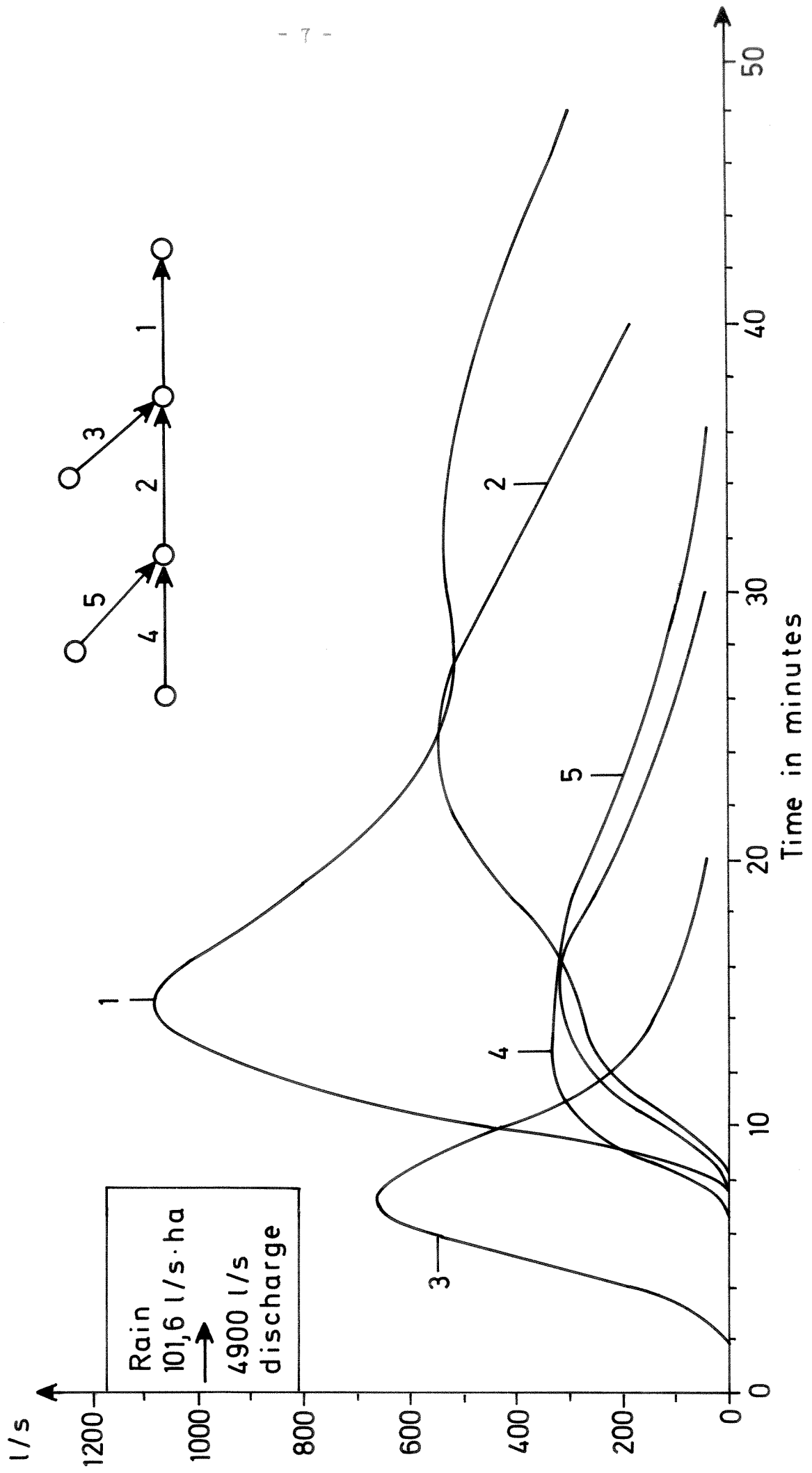
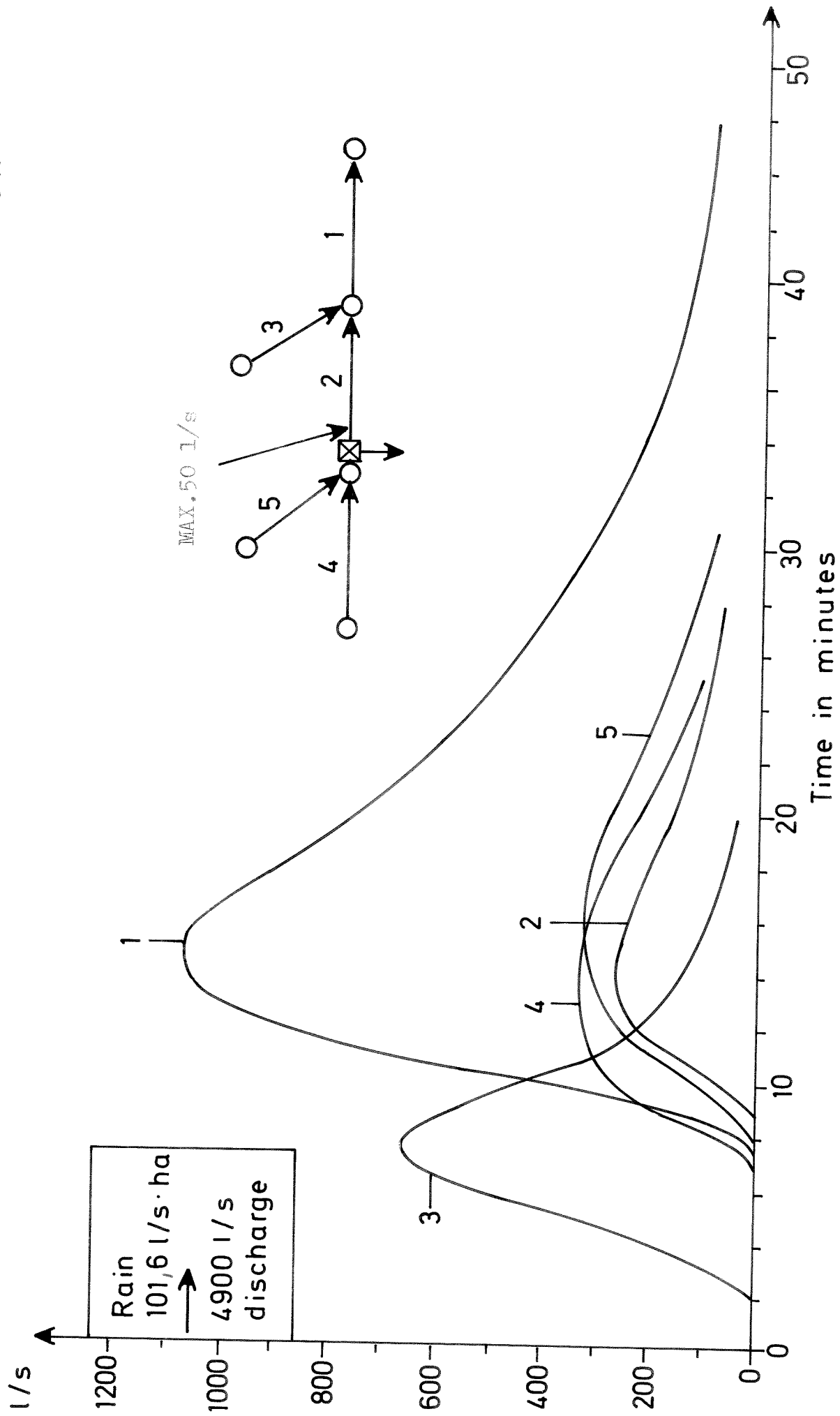


FIG. 3 Sewer network with storm overflow





Antall personekvivalenter - 10.000  
Areal - 2.000 da.  
Avrenningskoeffisient - 0,35

Avløpsmengde - 500 l/p.d.  
BOF pr. personekvivalent - 60 g/p.d.  
Total nedbør - 0,832 m pr. år  
Total varighet av nedbør - 792 timer pr. år.

På grunnlag av nedbørstatistikken har vi valgt ut fem basisregnskyll til å representere den årlige nedbør. Antallet av hver regnskyll-type pr. år er vist i figur 4. Hydrogrammene er tilløpshydrogrammer til rensenanlegget og beregnet av ledningsnettmodellen på basis av de fem valgte regnskyll.

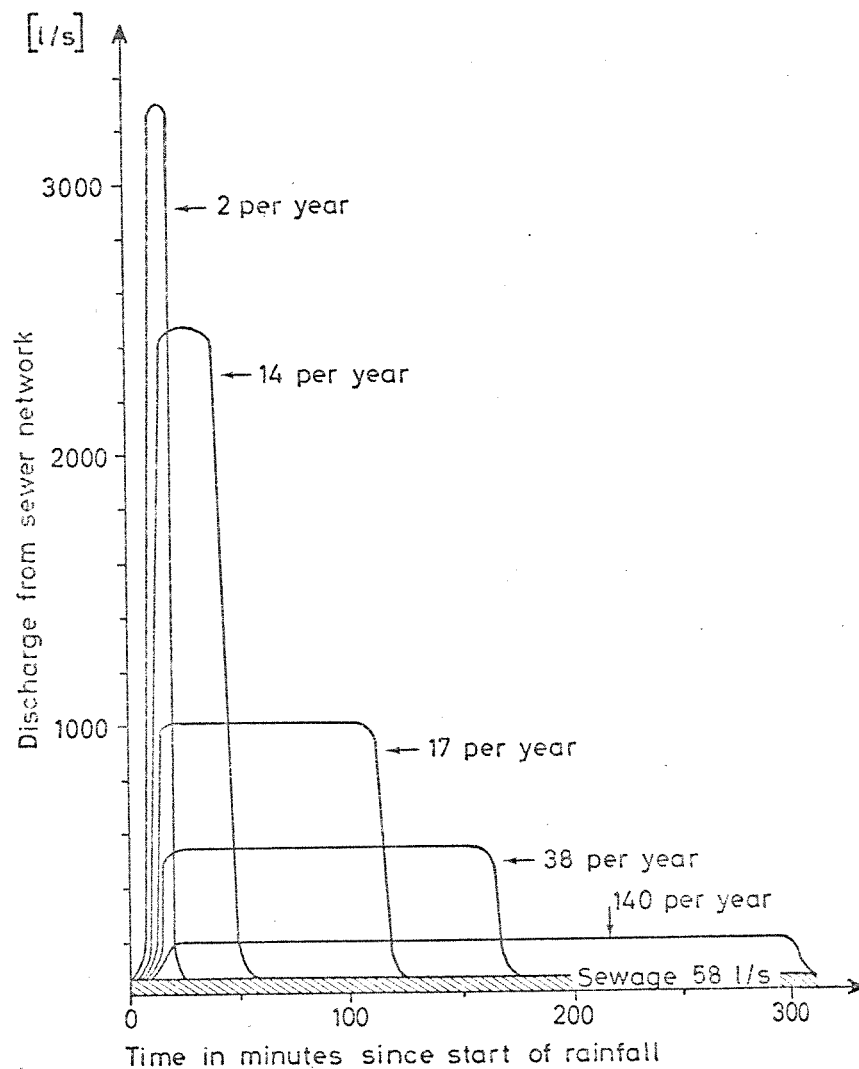
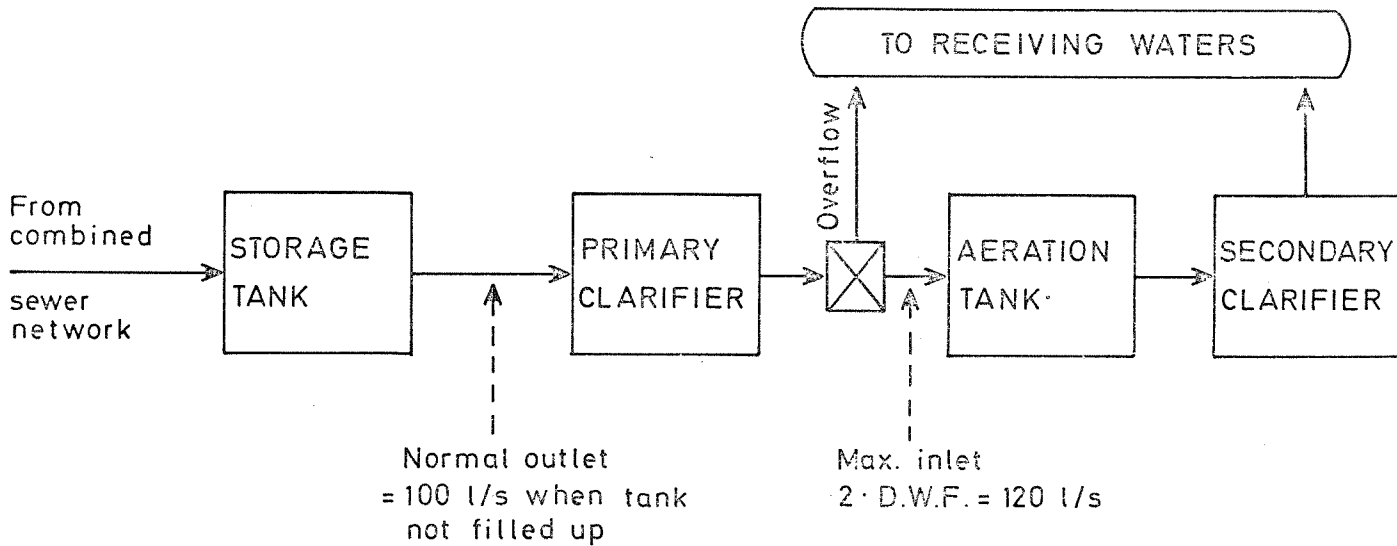


Fig. 4 Årlig fordeling av vanntilførsel til rensenanlegget.

Renseanlegget ved utløpet av nettet er vist i figur 5.

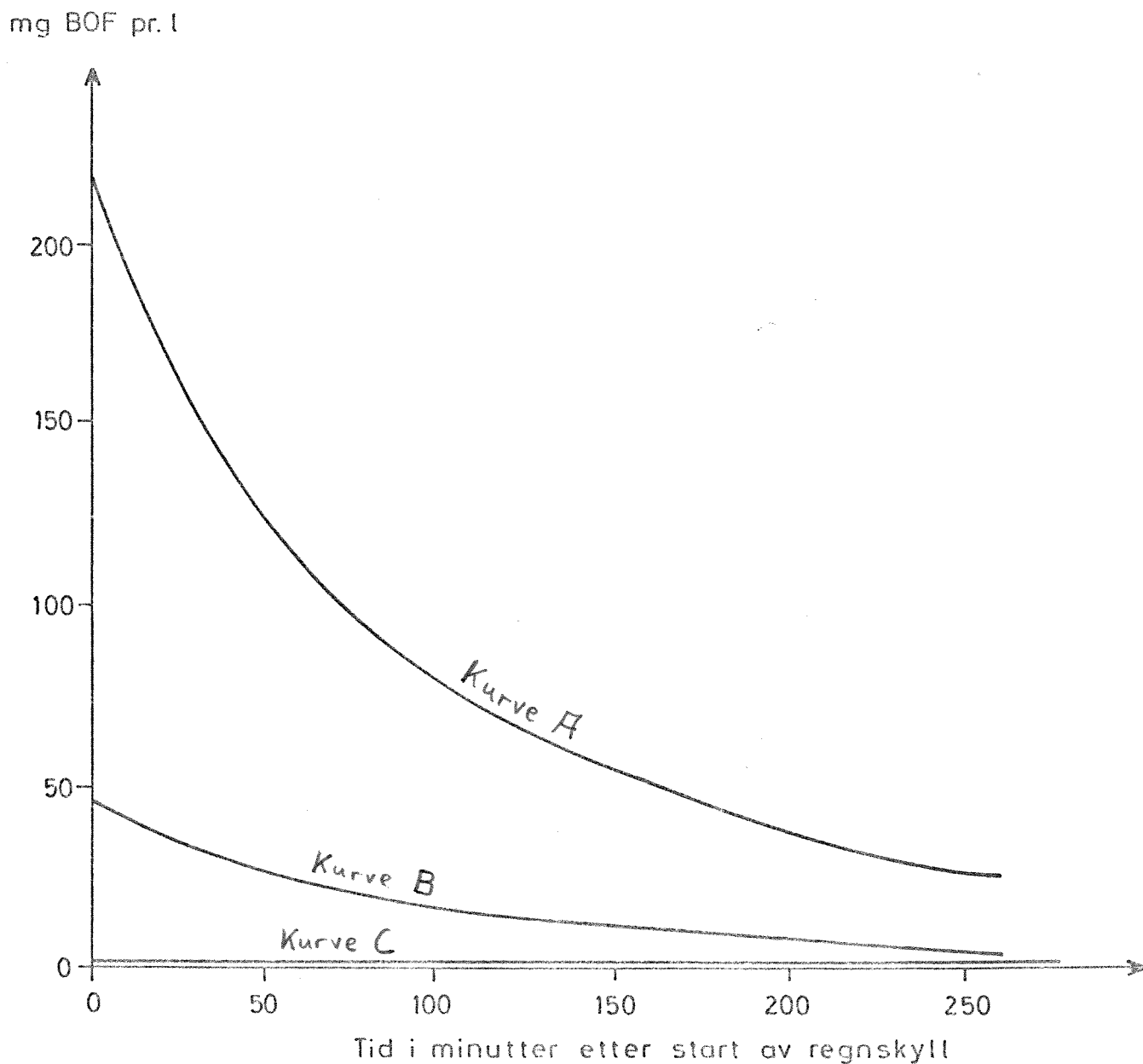
FIG. 5 Sewage treatment plant configuration



Drainage area	=	200 ha. (Combined sewers)
Temperature in aerator	=	10° C
Susp. solids — " —	=	4000 mg/l
Return sludge	=	100 % of D.W.F.
Precipitation	=	0,832 m per year
Runoff coefficient	=	0,35

I figur 6 er vist de tre alternativer for BOF-konsentrasjonen i overvannet som er brukt i beregningseksemplene.

FIG. 6 BOF konsentrasjon i urbant overvann

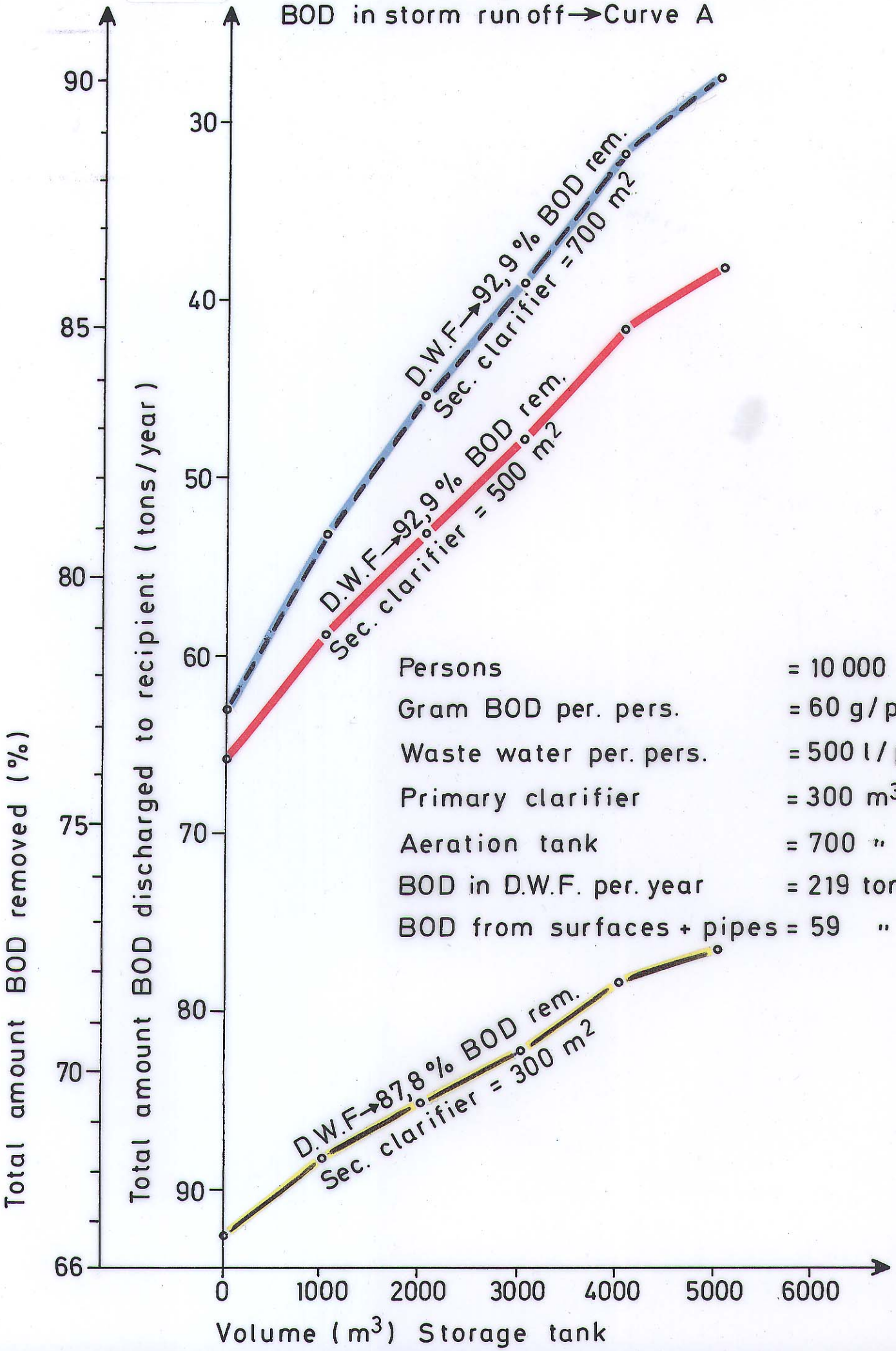


At de enkelte enheter i renseanlegget og ledningsnettets påvirker hverandre og den totale effektivitet er demonstrert i figur 7, figur 8 og figur 9. Det er antatt et renseanlegg bestående av forsedimentering ( $300 \text{ m}^3$ ), luftetank ( $700 \text{ m}^3$ ) og ettersedimentering varierende mellom  $300 \text{ m}^2$  og  $800 \text{ m}^2$ .

FIG. 7

# Performance of storage tank

BOD in storm runoff → Curve A

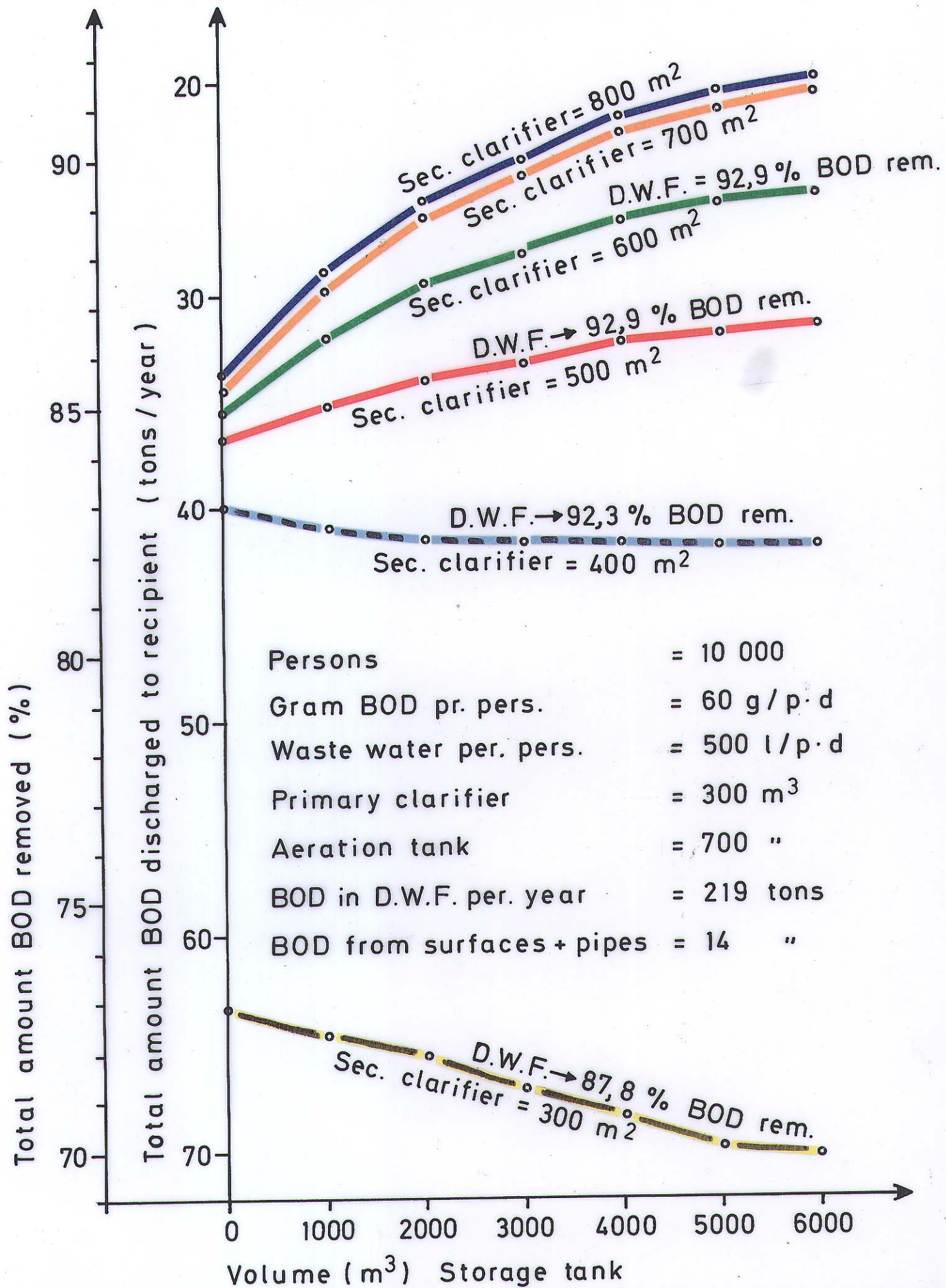


Persons	= 10 000
Gram BOD per. pers.	= 60 g/p · d
Waste water per. pers.	= 500 l/p · d
Primary clarifier	= 300 m <sup>3</sup>
Aeration tank	= 700 "
BOD in D.W.F. per. year	= 219 tons
BOD from surfaces + pipes	= 59 "

FIG. 8

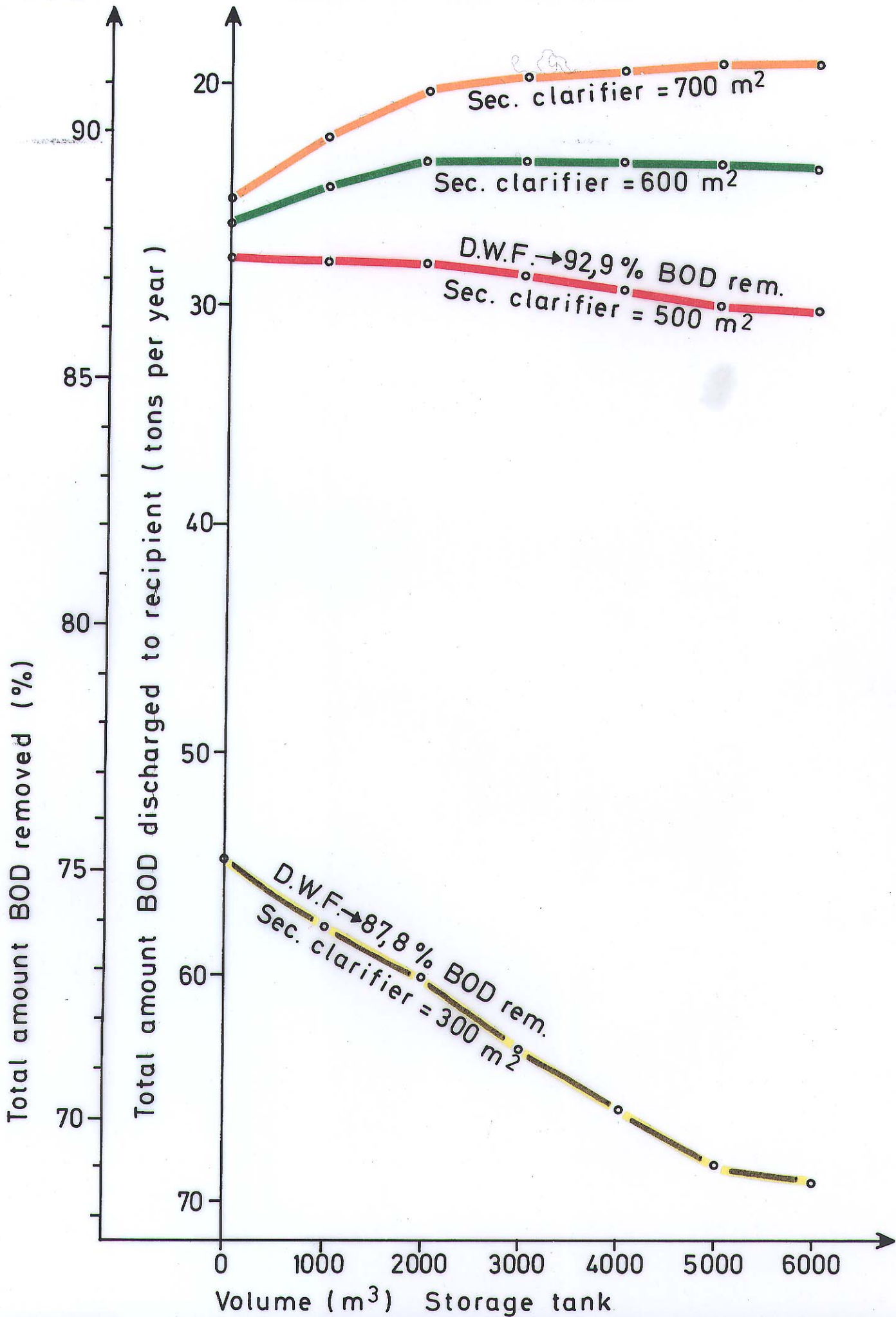
# Performance of storage tank

BOD in storm runoff → Curve B



Performance of storage tank

BOD in storm runoff → Curve C



For hvert punkt i diagrammene (anleggsalternativene) er et helt års nedbørsaktivitet simulert med beregningssteg på 10 minutter mellom hver avrenningssituasjon. De tre figurene 7, 8 og 9 representerer derfor 91 års simulering av ulike anleggskombinasjoner.

I figur 7 er vist resultater hvor forurensningen i overvannet er meget høy. Kurvene viser da at forurensningsutslippet til resipienten minsker når fordrøyningssensens volum øker, uansett størrelse på ettersedimenteringen.

I figur 8 og 9 er vist resultater hvor forurensningen i overvannet er adskillig mindre enn i figur 7. Det merkelige her er at for en ettersedimentering på  $300 \text{ m}^2$  ( $0,7 \text{ m/h}$  ved TVA) øker det totale forurensningsutslippet fra systemet ved økende volum i fordrøyningssensens. Grunnen til dette er at utslippet fra fordrøyningssensens er regulert til 2 ganger tørrværsavrenningen. Dette betyr at opptil 1300 - 1400 timer pr. år kan ettersedimenteringen få dobbelt belastning av det normale. Ved  $300 \text{ m}^2$  areal vil derfor mye suspendert stoff og dermed BOF gå ut av anlegget i lange perioder i året.

Dette kan minke renseseffekten mer enn man uten fordrøyning ville tapt i overløpet.

Ved større forurensningskonsentrasjon i overvannet vil tapet i overløpene bety mer enn overbelastningen i renseanlegget, hvilket betyr at fordrøyning blir gunstig likevel.

I figur 10 er vist en optimaliseringsberegning for renseanleggskonfigurasjon ved ulike forurensningsgrader i overvannet.

For det første viser figuren at ved et bestemt maksimumskrav til utslipp blir det optimale renseanlegg vesentlig dyrere når overvannet er sterkt forurenset enn når det er mindre forurenset.

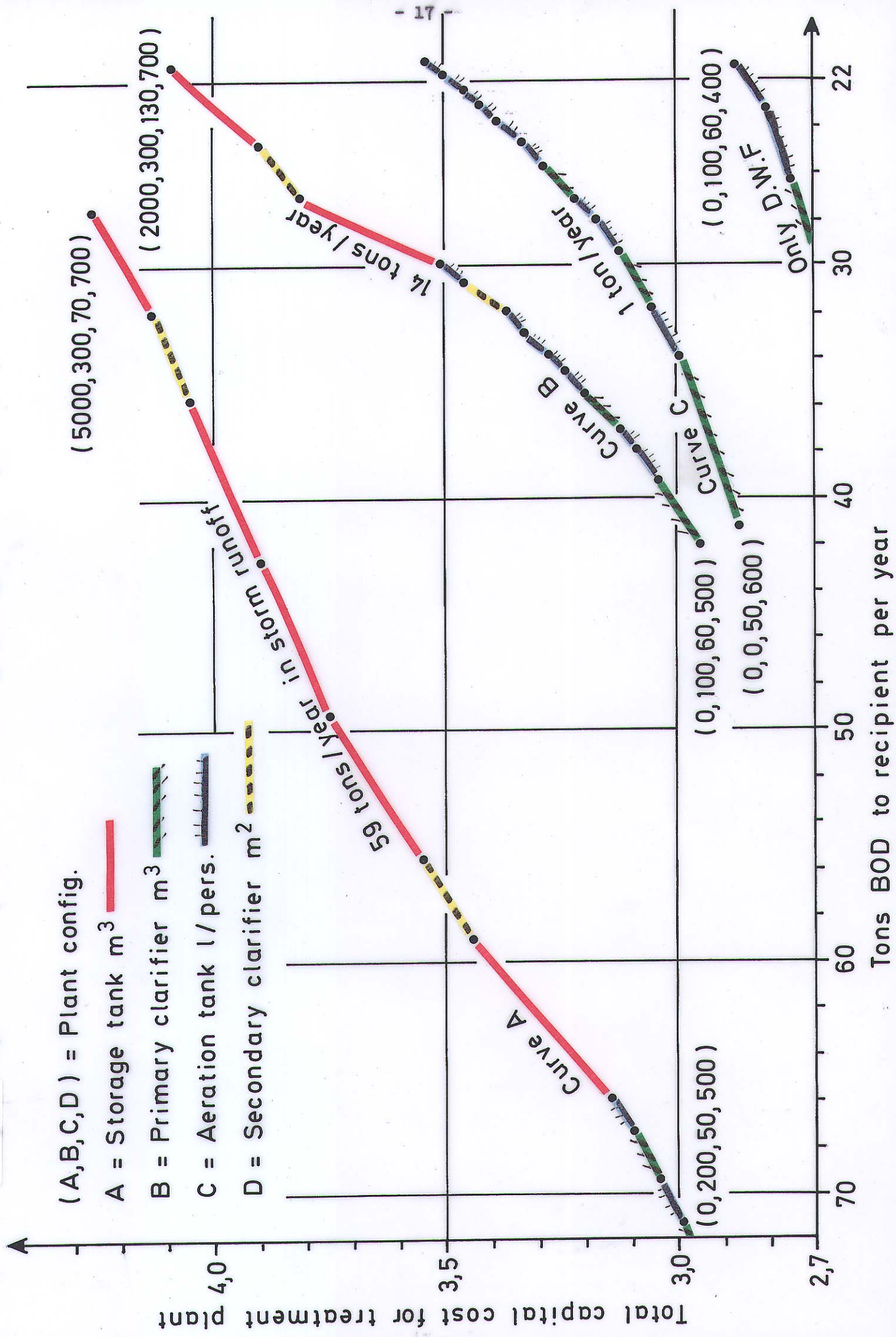
For det andre viser beregningen at ved lite forurensning i overvannet blir fordrøyningssensens lønnsomme bare når utslippskravene er meget strenge. Ved sterk forurensningsgrad i overvannet blir fordrøyningssensens lønnsomme i forhold til andre enheter, allerede lenge før utslippskravene kan sies å være strenge. Dette er også illustrert i tabell 1. Modellens automatiske optimaliseringsrutine er brukt i disse beregninger.

Tabell 1: Optimalt avløps renseanlegg - konfigurasjon kontra mengde av forurensning i overvann.

Avløps rense- anleggs- enhet	Maks. til- latt tonn BOF utslipp til resipi- ent pr. år	Tonn BOF pr. år fra over- flater og avsetninger i fellessystemledninger		Hvis kloak- kert etter separat- systemet
		59 tonn/år	14 tonn/år	
Fordrøy- ningstank m <sup>3</sup>	40 tonn/år	4000 m <sup>3</sup>	0	
	30 " "	5000 "	0	0
Forsedi- mentering m <sup>3</sup>	40 " "	300 "	100 m <sup>3</sup>	
	30 " "	300 "	200 "	100 m <sup>3</sup>
Luftetank m <sup>3</sup>	40 " "	70 "	50 "	
	30 " "	70 "	60 "	40 m <sup>3</sup>
Ettersedi- mentering m <sup>2</sup>	40 " "	600 "	600 "	
	30 " "	700 "	600 "	400 m <sup>3</sup>



Mill. kr. FIG. 10 Optimal plant versus quality and quantity of influent



I figur 11 er vist en optimaliseringsberegning for renseanlegg som betjener et separatavløpssystem med 10 000 personer. I det ene tilfelle ble BOF brukt som parameter. Man ser her at koagulering, flokkulering og kjemisk ettersedimentering øker lite eller ingenting fra utgangsposisjonen. Hvis fosfor velges som parameter ser man at forsedimentering, luftetank og biologisk ettersedimentering ikke øker noe mens koagulering, flokkulering og kjemisk ettersedimentering øker sterkt.

#### 4. ANALYSE AV ET FELLESSYSTEM KONTRA ET SEPARATSYSTEM MED HENSYN TIL FORURENSNINGER

De forurensningsproblemer man har i et fellessystem kontra et separat-system er forsøkt belyst i en del etterfølgende eksempler. NIVA's modeller for avløpsnett og renseanlegg er benyttet i beregningene som ble utført på en UNIVAC 1108 computer. Det er tilsammen simulert ca. 100 års drift av avløpssystemer med et beregningssteg på 10 minutter mellom hver avrennings situasjon.

Det idealiserte beregningsfeltet har:

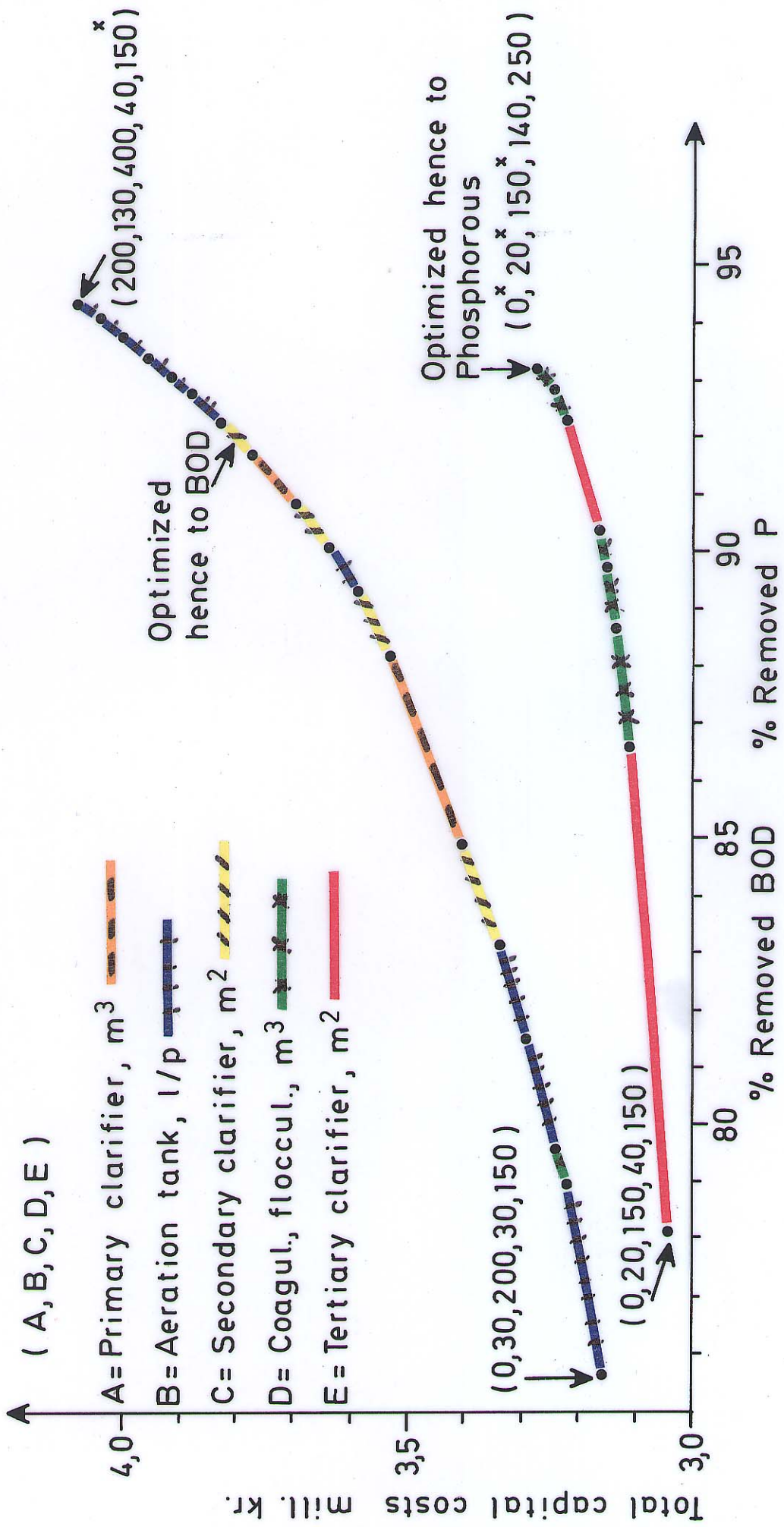
Areal:		- 100 ha
Antall personekvivalenter:	alternativ A 50 p/ha	- 5000 personer
	alternativ B 100 p/ha	- 10 000 personer
Spesifikk BCF-belastning:		- 60 g/p.d
Årlig nedbør:		- 0,832 m/år

Tabell 2: Fordeling av nedbør over et middelår.

Regnskyllets varighet	Regnintensitet	Hyppighet i et middelår
10 minutter	75 l/s ha	2 ganger pr. år
40 "	35 "	14 " " "
110 "	15 "	17 " " "
160 "	7,5 "	38 " " "
280 "	2,0 "	140 " " "

FIG. 11

# Sewage treatment plant optimization BOD and Phosphorous



\* Starting values (minimum) = ( 0, 20, 150, 20, 150 )

Spesifikt vannforbruk

- 500 l/p.d

Biologisk renseanlegg ved utløp av ledningnettet:

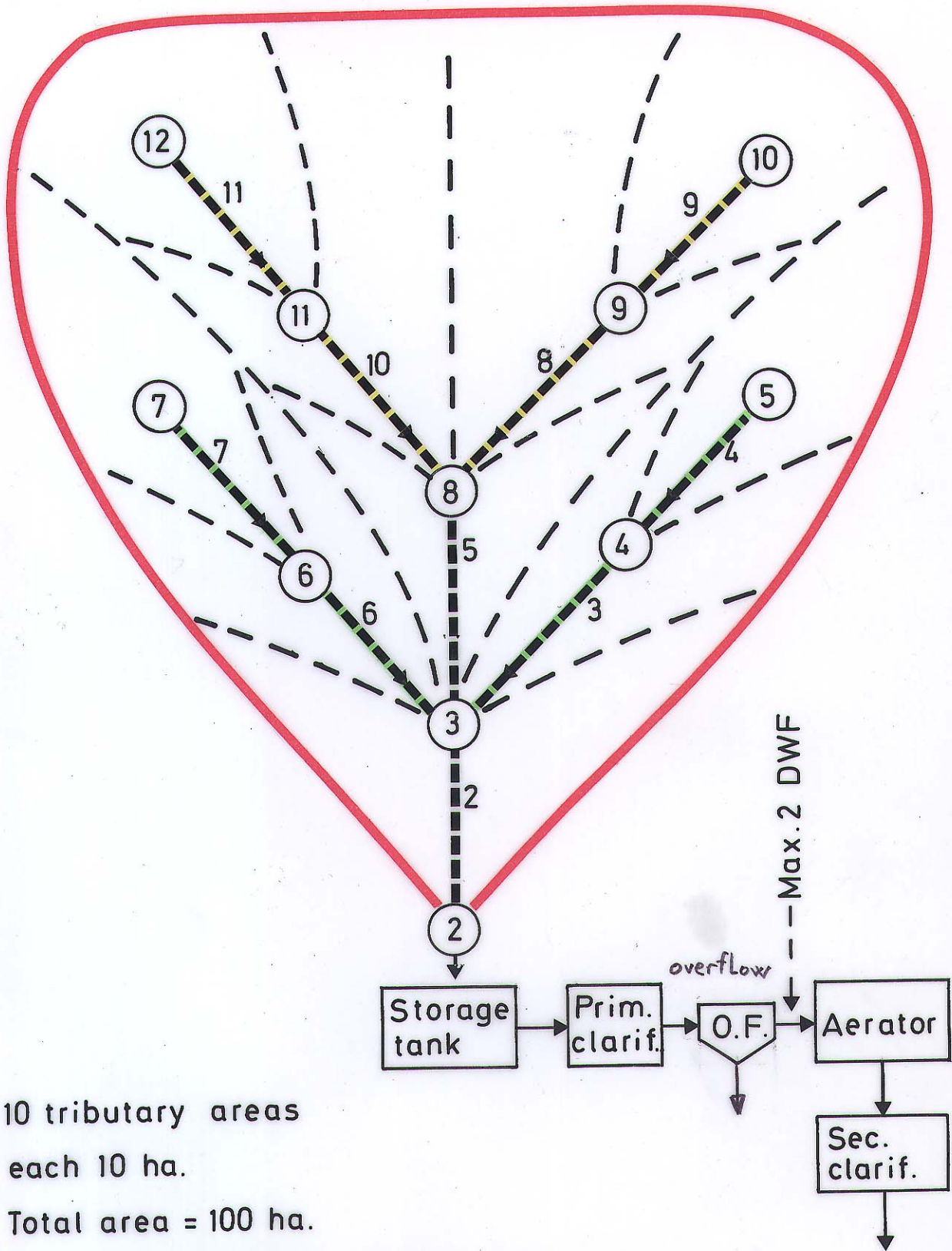
	Alt. A (5000 p.)	Alt. B (10 000 p.)
Forsedimentering	156 m <sup>3</sup>	312 m <sup>3</sup>
Luftetank	70 l/pers.	70 l/pers.
Ettersedimentering	300 m <sup>2</sup>	600 m <sup>2</sup>
Tørrrværsavrenning	29 l/s	58 l/s
Personbelastning BOF	109 500 kg/år	219 000 kg/år
Rense-effekt ved tørrvær	92% BOF	92% BOF
BOF fra overflatene i feltet samt avsatt i rør i fellessystemet		
Kurve I	16620 kg/år	16 620 kg/år
" II	8 300 " "	8 300 " "
" III	4 160 " "	4 160 " "
" "0"	83 " "	83 " "

For å gjennomføre nedbør-overvannsberegninger for et helt år har man på grunnlag av intensitet, varighet og hyppighetskurver valgt ut 5 basisregnskyll som representative for et helt års nedbørsaktivitet. Disse regnskyll (se tabell 2) samt data fra det viste felt i figur 12 er gitt til ledningsnettmodellen. De avrenningskoeffisienter som ble brukt, er vist i figur 13. Fire alternativer for BOF-konsentrasjon i overvannet ble brukt. Se figur 14. Resultatene av ledningsnettmodellens beregninger er vist i figur 15 og figur 16, som representerer simulering av et år i ledningsnettet. Disse data ble så brukt av renseanleggmodellen som så simulerte en rekke forskjellige situasjoner for et tenkt fellessystem, kontra et separatsystem, og som ble betjent av det viste renseanlegg på figur 12.

De etterfølgende beregninger representerer 100 års simulering i alternative avløpssystemer. Beregningsintervallet har vært 10 minutter. Computeren UNIVAC 1108 brukte ca. 4 minutter på å simulere disse 100 år.

I figur 17 er vist totalt årlig utslipp fra overløp (i fellessystemer) og fra renseanlegget kontra forurensningsgrad i overvannet.

FIG. 12 Demonstration area



10 tributary areas  
each 10 ha.

Total area = 100 ha.

Length between each node = 350 m

Sewer slope = 0,4 %

C. Hazen Williams = 100

Time of overland flow = 10 minutes

FIG. 13 Yearly distribution of runoff coefficients

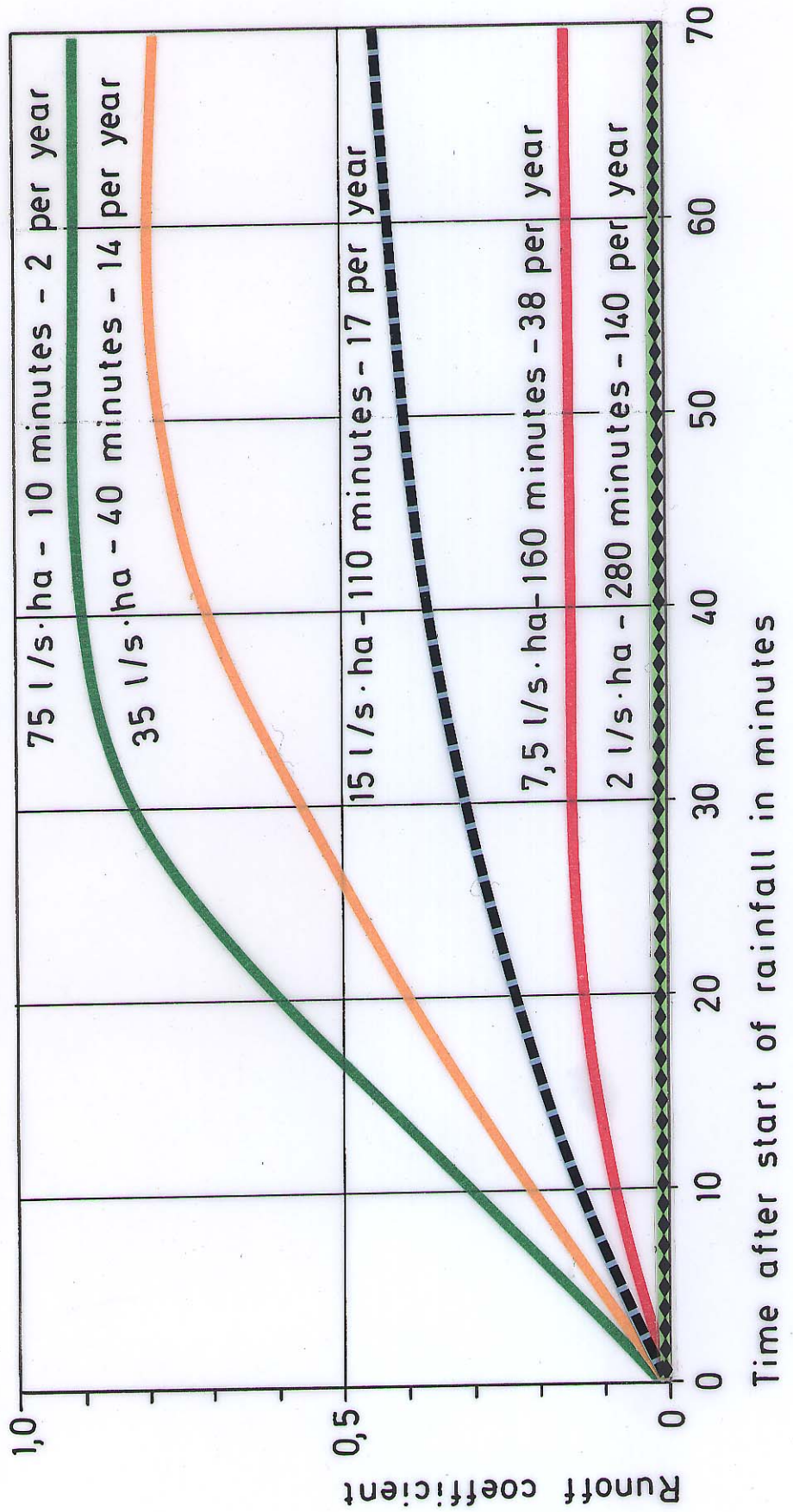


FIG. 14

BOD concentration in urban runoff due to surface debris and deposits in combined sewer lines

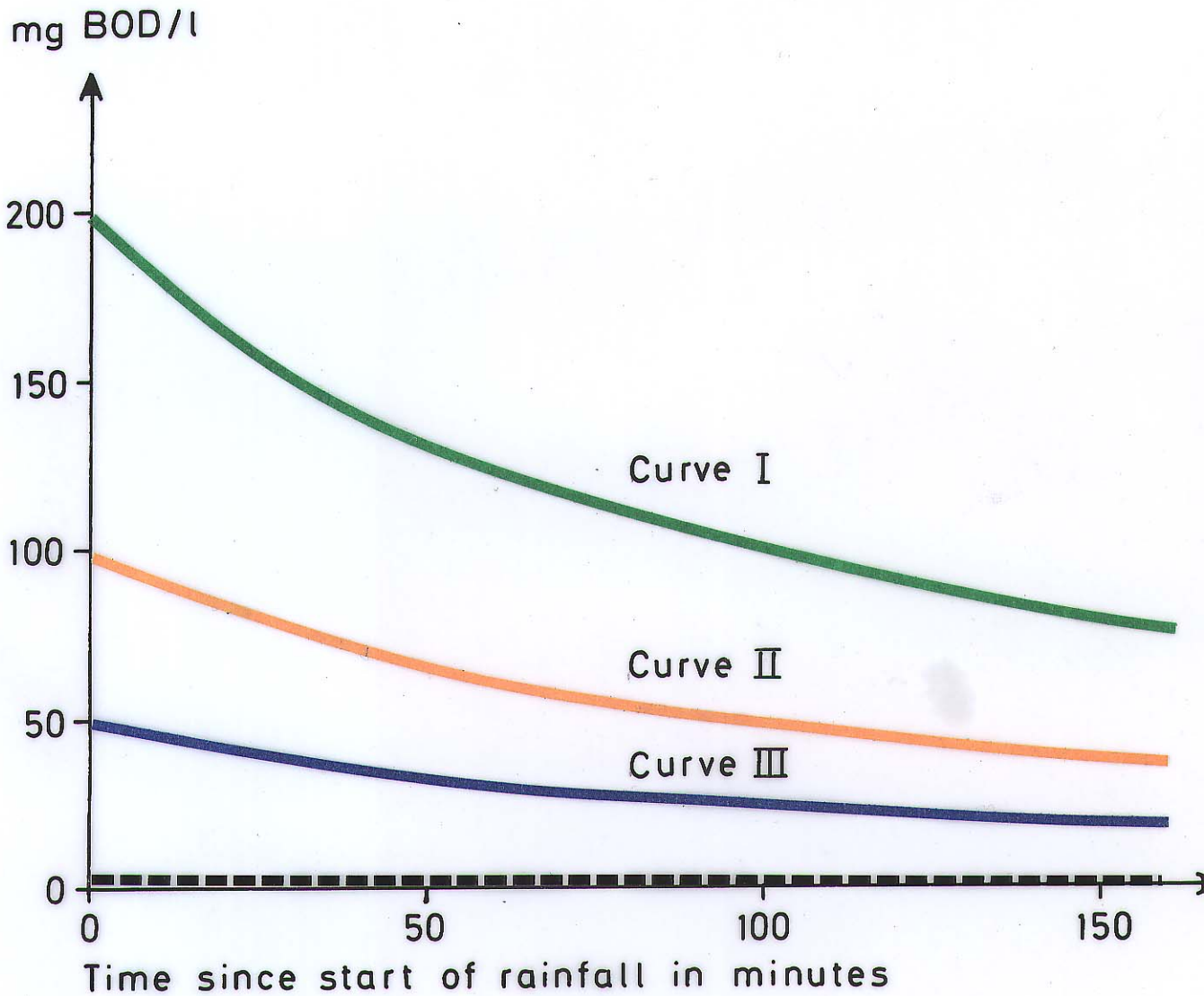
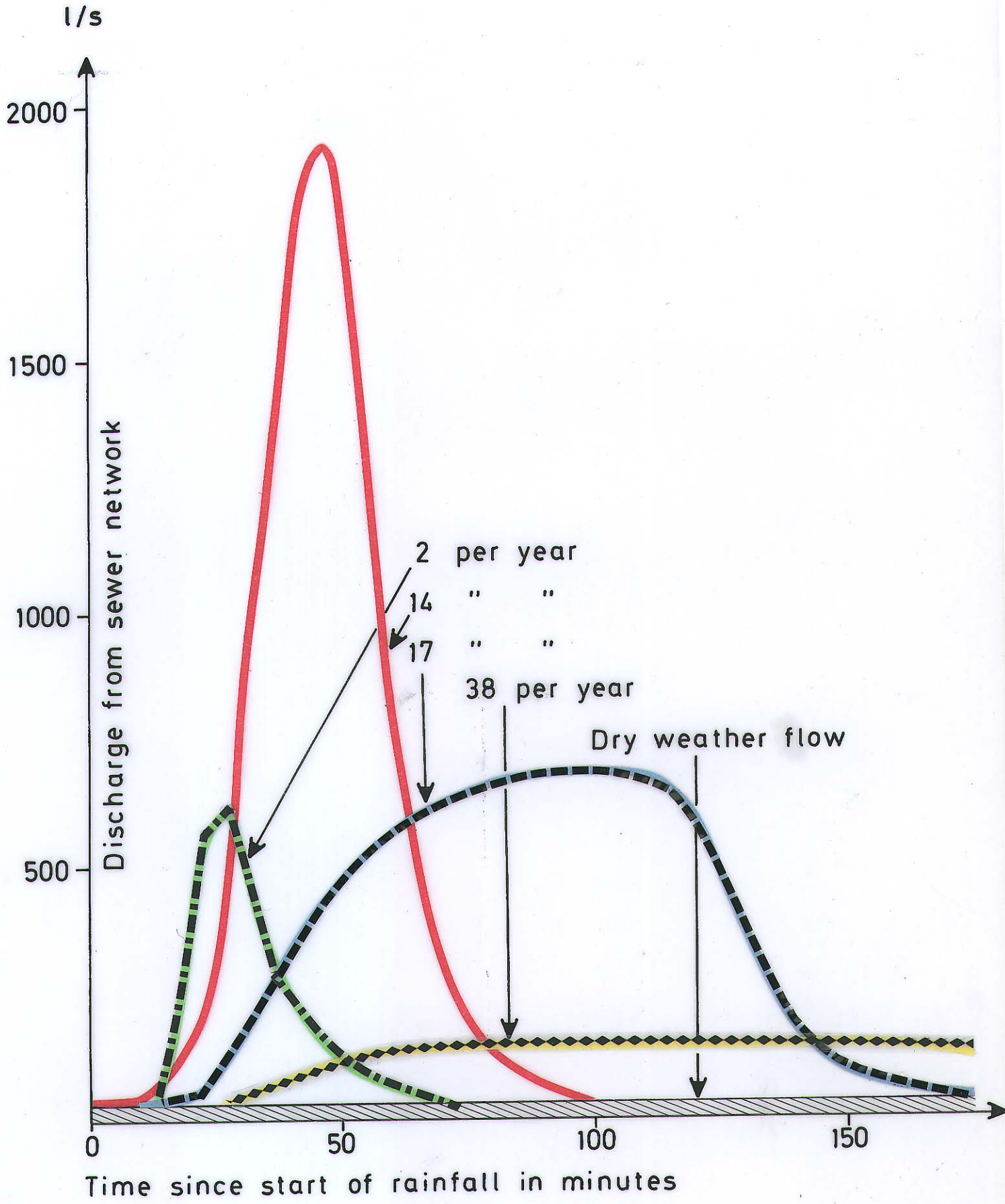


FIG. 15

# Hydrographs caused by 5 base-rainfalls





# Yearly distribution of BOD discharge from a combined sewer area

Area = 100 ha. Population = 5000 persons  
 BOD in storm runoff = Curve II

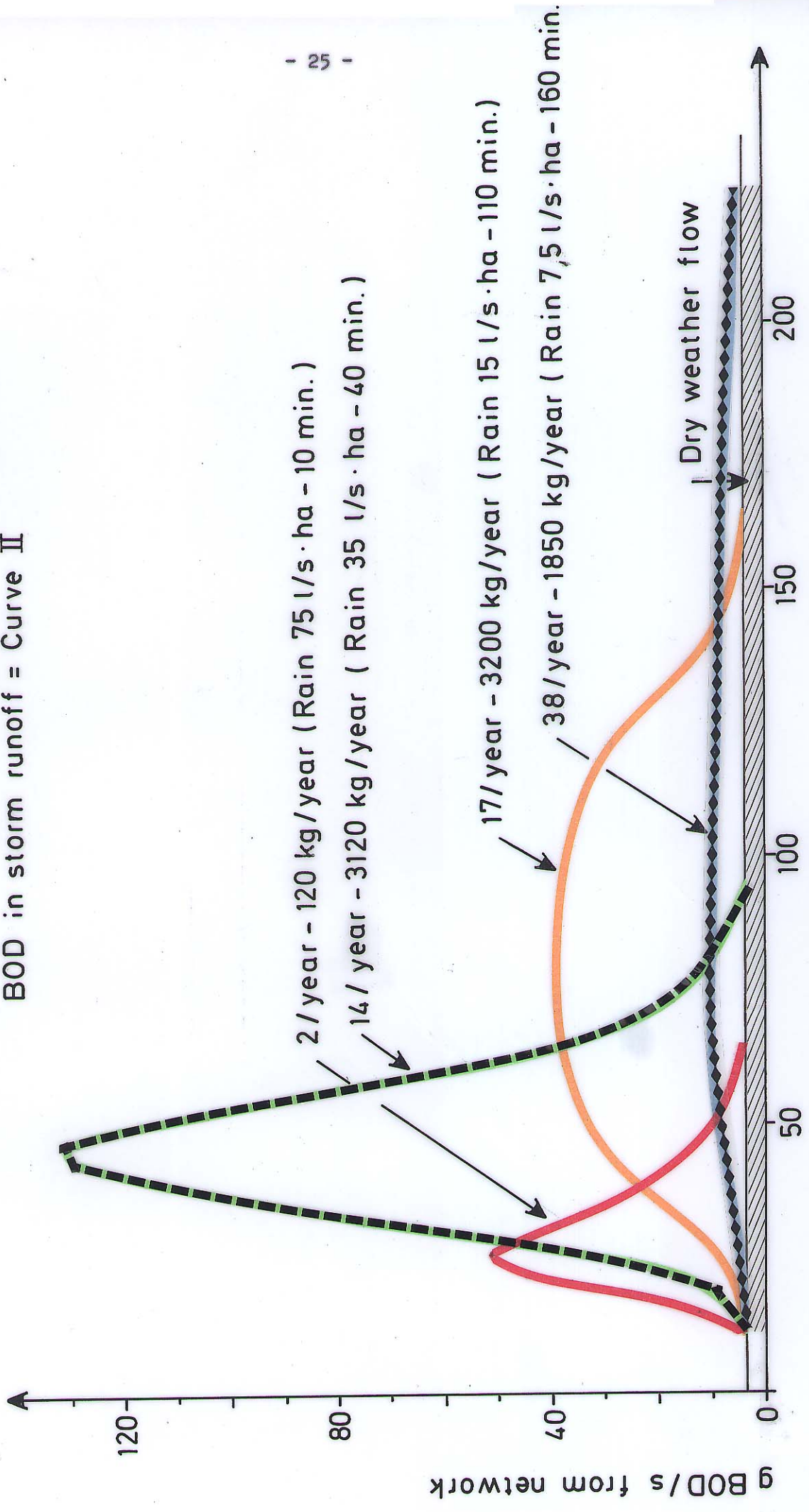


FIG. 16

Time in minutes after start of rainfall

FIG. 17

# Combined v.s. separate sewer systems

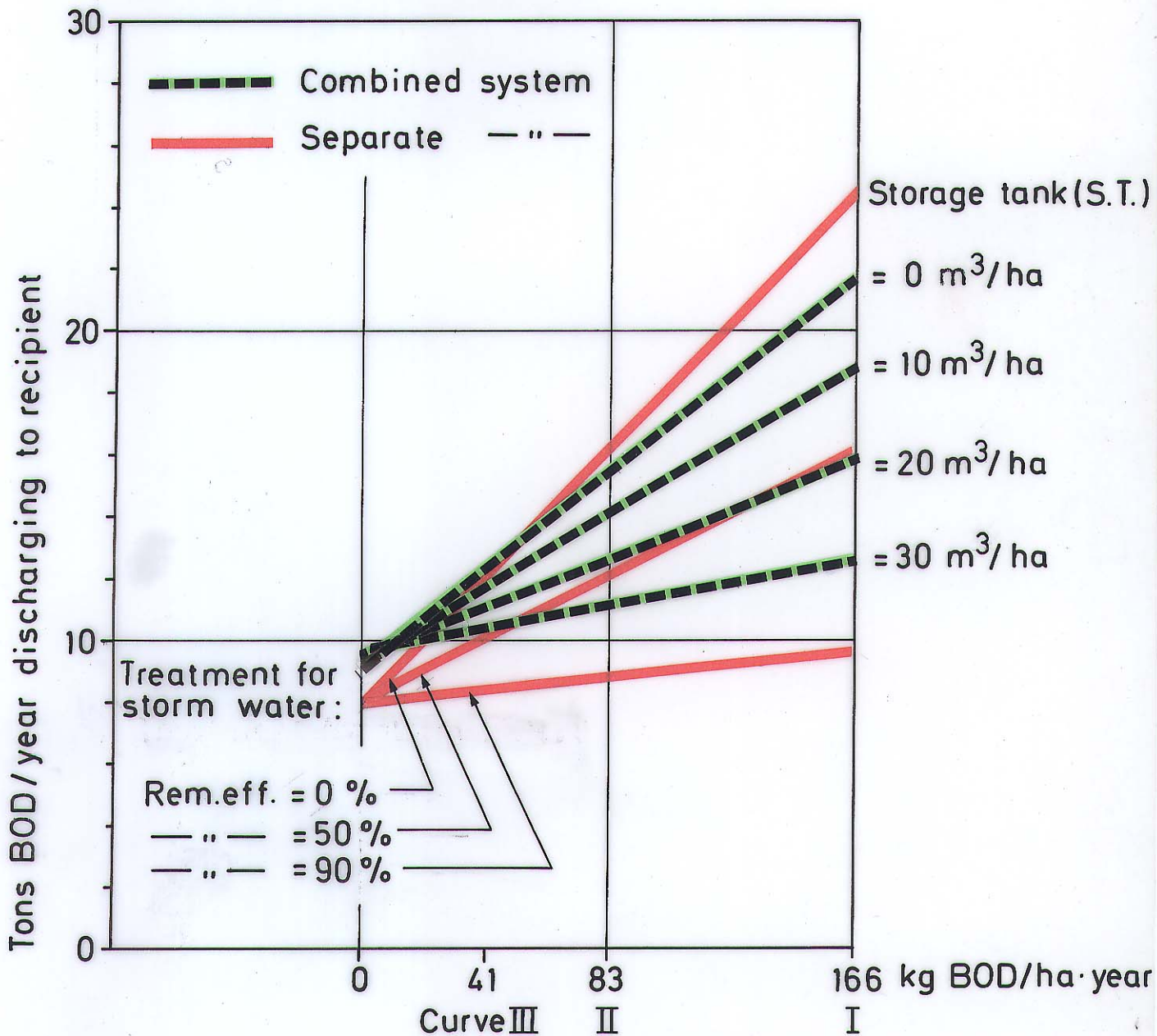
Drainage area = 100 ha., 5000 persons

No leakage from sanitary sewers to storm sewer lines  
(In the separate system)

Primary clarifier = 156 m<sup>3</sup>

Aerator = 70 l/pers.

Secondary clarifier = 300 m<sup>2</sup>



Kg. BOD per ha. and year from surfaces and

Det er beregnet tre alternative separatsystemer:

- a) ingen behandling av overvannet
- b) 50% rensing m.h.t. BOF i overvannet
- c) 90% rensing m.h.t. BOF i overvannet

Det er videre beregnet fire alternative fellessystemer:

- a) ingen fordrøyningstank før overløp
- b) 10 m<sup>3</sup> fordrøyningstank pr. hektar
- c) 20 " " " "
- d) 30 " " " "

Hvis man betrakter separatsystemet med 0% rensing av overvann (den øverste kurven) ser man at dette er ugunstigere enn alle alternative fellessystemer, så lenge forurensningsgraden i overvannet tilsvaremer mer enn 50 kg BOF pr. år og pr. hektar i nedslagfeltet. Dersom overvannets forurensning tilsvaremer mindre enn 20 kg BOF pr. år og hektar er alle alternative fellessystemer ugunstigere enn alle alternative separatsystemer.

Ligger overvannets forurensning på tilsvarende ca. 166 kg BOF pr. år og hektar ser man at et fordrøyningssystem på 30 m<sup>3</sup> pr. hektar nedslagsfelt halverer forurensningsutslippet i fellessystemet.

På den andre side ser man at ved null forurensning i overvannet vil et fordrøyningssystem i samband med det viste renseanlegget i fellessystemet være ugunstigere enn renseanlegget uten fordrøyningssystem. Grunnen til dette er at utslippet fra fordrøyningssystemet er regulert til 2 ganger tørrværsavrenningen. Dette betyr at opptil 1300 - 1400 timer pr. år kan renseanlegget få dobbelt belastning av det normale, hvilket kan minke rense-effekten mer enn man uten fordrøyning ville tapt i overløpet.

I figur 18 er persontettheten dobbelt i forhold til figur 17, ellers er forutsetningene de samme. Det er verd å merke seg at utslippene vanligvis ikke dobber selv om persontettheten dobber.

Det som ellers er sagt om figur 17 gjelder også for figur 18.

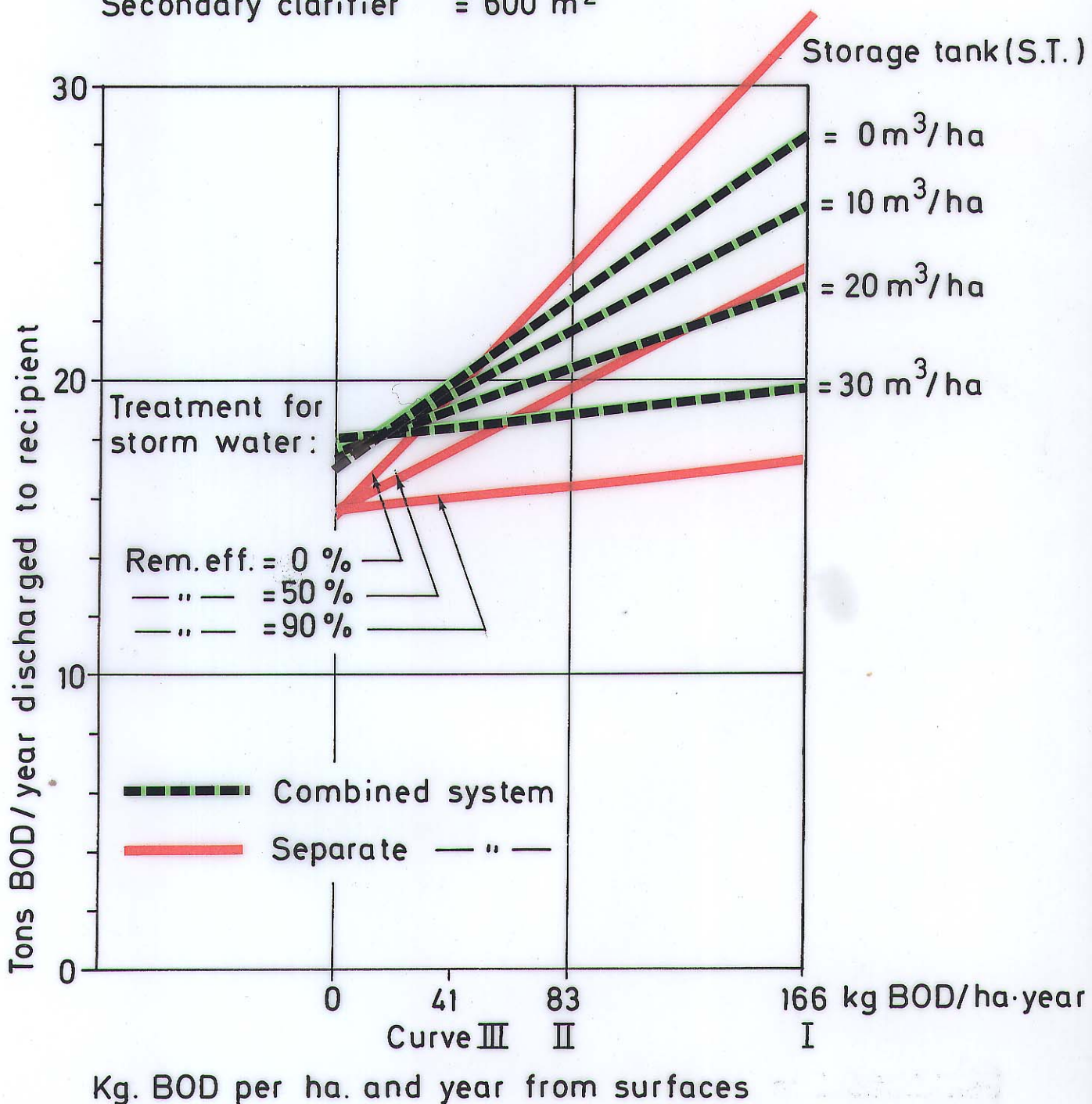
FIG. 18

# Combined v.s. separate sewer systems

Drainage area = 100 ha., 10 000 persons

No leakage from sanitary sewers to storm sewer lines  
(In separate systems)

- Primary clarifier = 312 m<sup>3</sup>
- Aerator = 70 l/pers.
- Secondary clarifier = 600 m<sup>2</sup>



I figur 19 er det antatt 5% feilkoblinger og lekkasje mellom spillvannsledningen og overvannsledningen i separatsystemet.

Man ser tydelig at dette gjør separatsystemet ugunstigere enn ellers overfor fellessystemet. Ved en forurensning av overvannet tilsvarende 83 kg BOF pr. år og hektar har det gunstigste fellessystemet (30 m<sup>3</sup> fordrøyningsbasseng pr. hektar) ca. det halve utslippet av hva et separatsystem uten overvannsrensing har.

Figur 20 har de samme forutsetninger som figur 19, men med dobbelt persontetthet.

I de foregående eksempler er det antatt at all forurensning i overvannet stammer fra overflater. (Se figur 14.)

I figur 21 og 22 er det imidlertid antatt at 50% av overvannsforurensningene stammer fra overflater i nedslagsfeltet og 50% fra utspylinger i kombinerte rørledninger. Dette betyr at i separatsystemenes overvannsledninger blir bare en 1/2 av konsentrasjonen i figur 14 brukt i beregningene.

Figur 21 har ellers de samme forutsetninger som figur 17.

Ved å sammenligne figur 17 og 21 ser man at separatsystemet blir mer gunstig hvis overvannets forurensninger målt i et kombinertsystem er fordelt 50/50 på overflater og rørutspylinger. Hvis fellessystemet skal kunne konkurrere på årsbasis må forurensningene i overvannet være høye samt at store fordrøyningsbassenger må innstalleres.

Figur 22 har samme forutsetninger som figur 19, men med forskjell i fordeling av overvannets forurensninger med 50/50 på overflater og røravlagringer i figur 22 og med 100/0 i figur 19. Ved 5% lekkasjer ser man at separatsystemet vanskelig kan konkurrere med fellessystemet på årsbasis, selv ved 50/50 fordeling av overvannsforurensningene.

Det er meget viktig å være klar over at de foregående vurderinger gjelder utslipp på årsbasis. Denne vurderingsmåte kan være relevant i større resipienter som f.eks. Oslofjorden eller Mjøsa. Der-

FIG. 19

# Combined v.s. separate sewer systems

Drainage area = 100 ha., 5000 persons,  
5% leakage from sanitary sewers to storm  
sewer lines (In separate systems)

Primary clarifier = 156 m<sup>3</sup>

Aerator = 70 l/pers.

Secondary clarifier = 300 m<sup>2</sup>

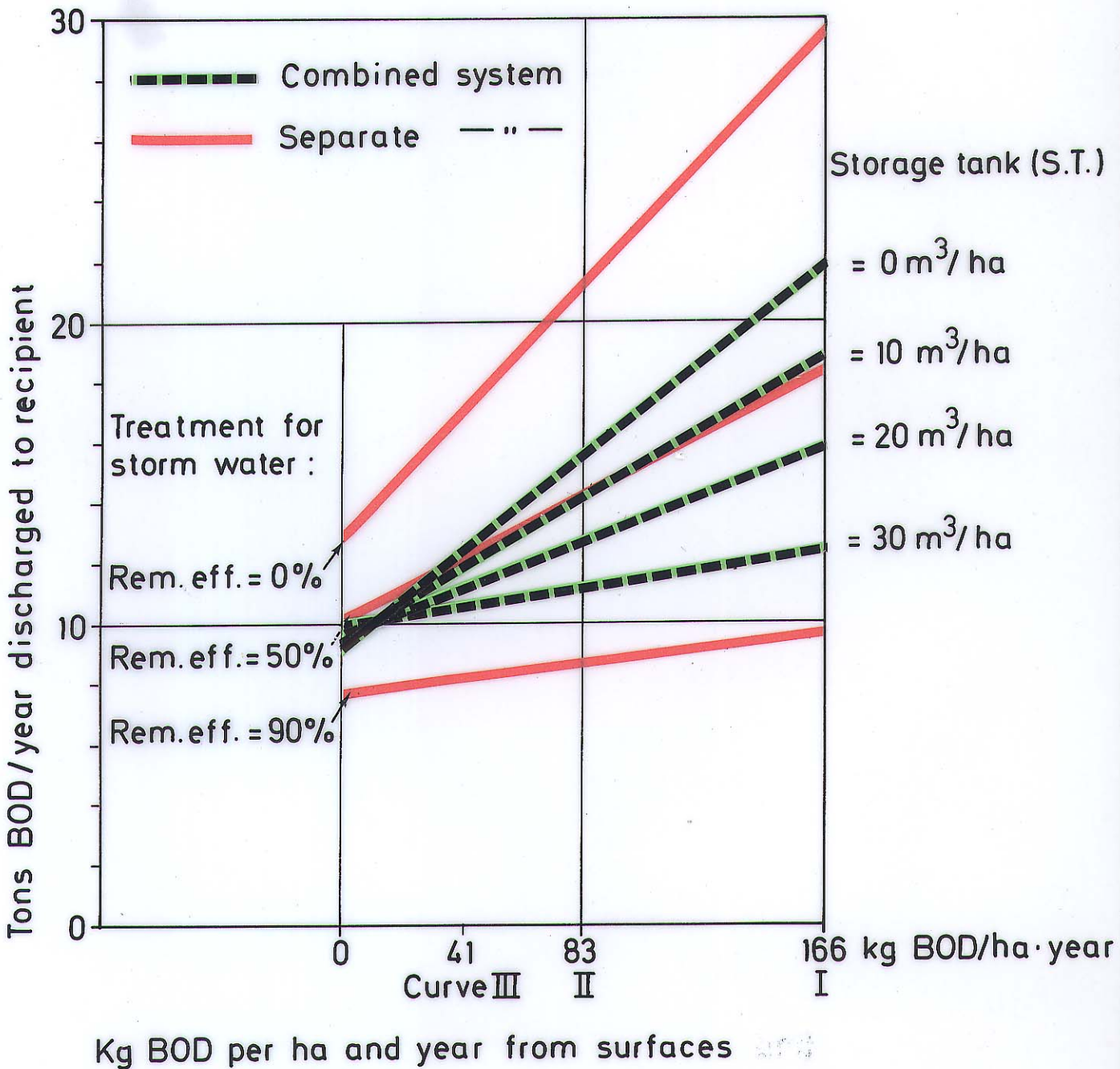


FIG. 20

# Combined v.s. separate sewer systems

Drainage area = 100 ha., 10 000 persons,  
5% leakage from sanitary sewers to storm sewers

Primary clarifier = 312 m<sup>3</sup>

Aerator = 70 l/pers.

Secondary clarifier = 600 m<sup>2</sup>

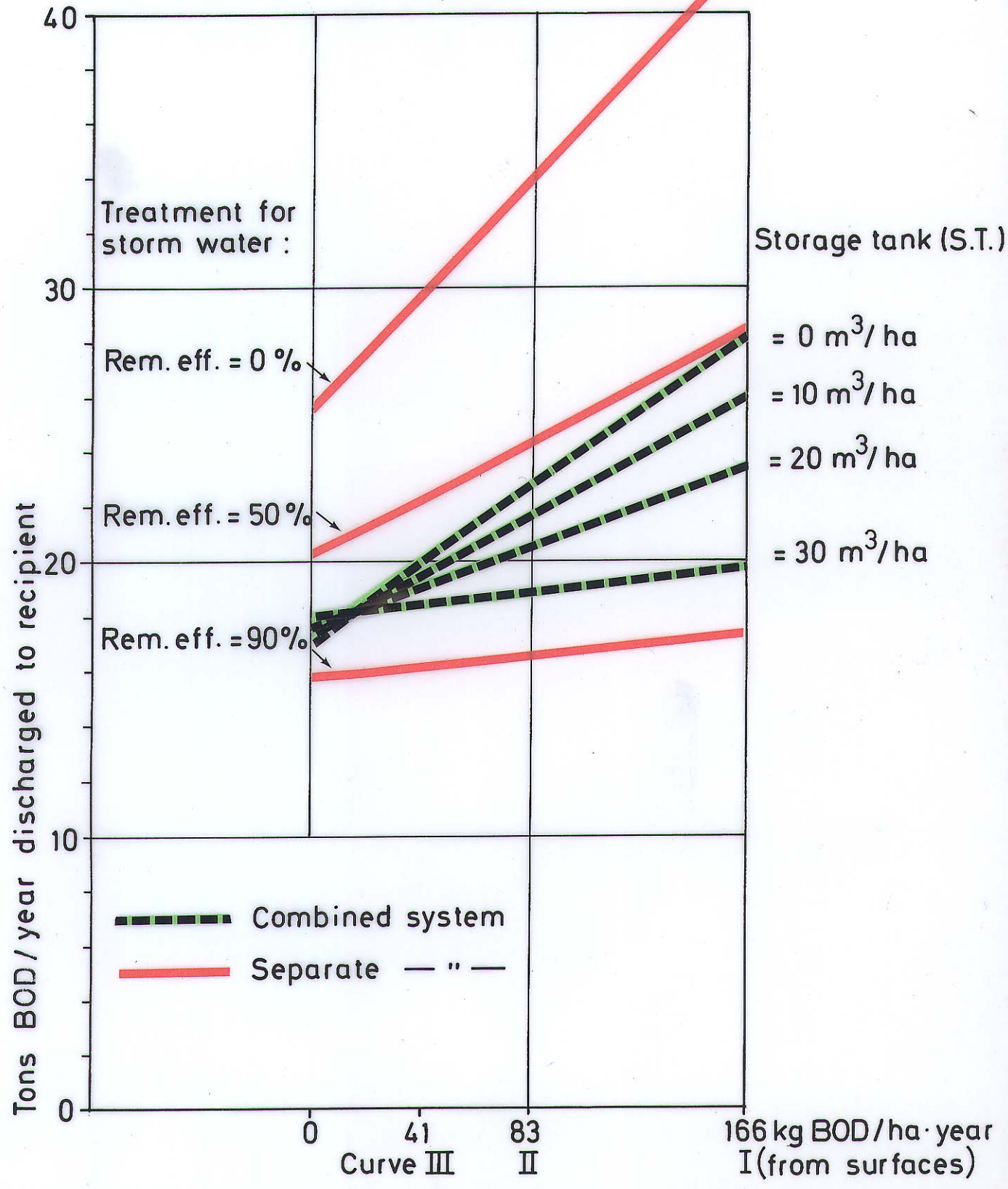


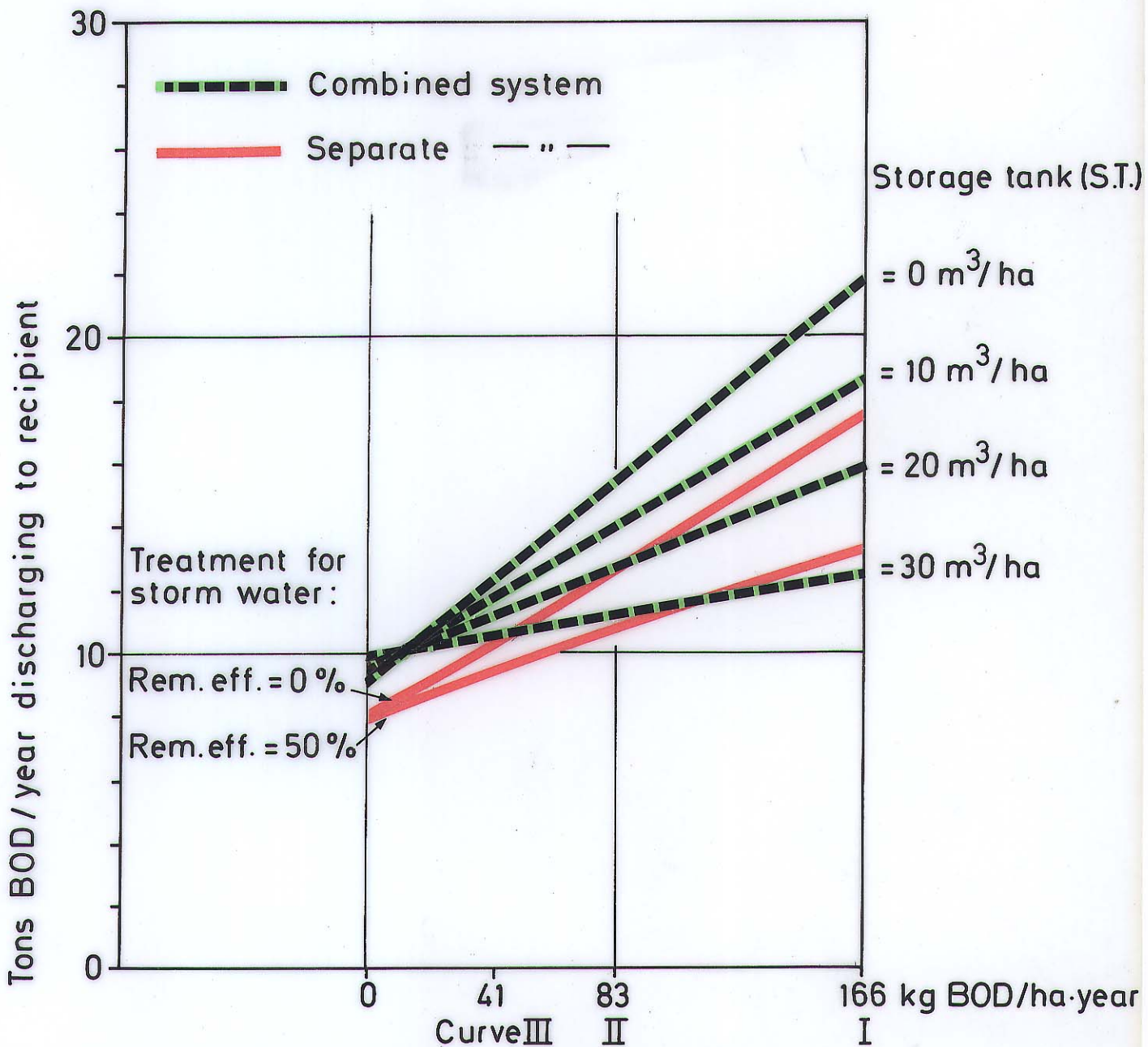
FIG. 121

### Combined v.s. separate sewer system

Drainage area = 100 ha., 5000 persons

No leakage from sanitary sewers to storm sewer lines  
(In the separate system) Treatment plant as previous

50 % of BOD in runoff due to combined pipe deposits (fig.3)



Kg. BOD per ha and year from surfaces and combined sewer line deposits

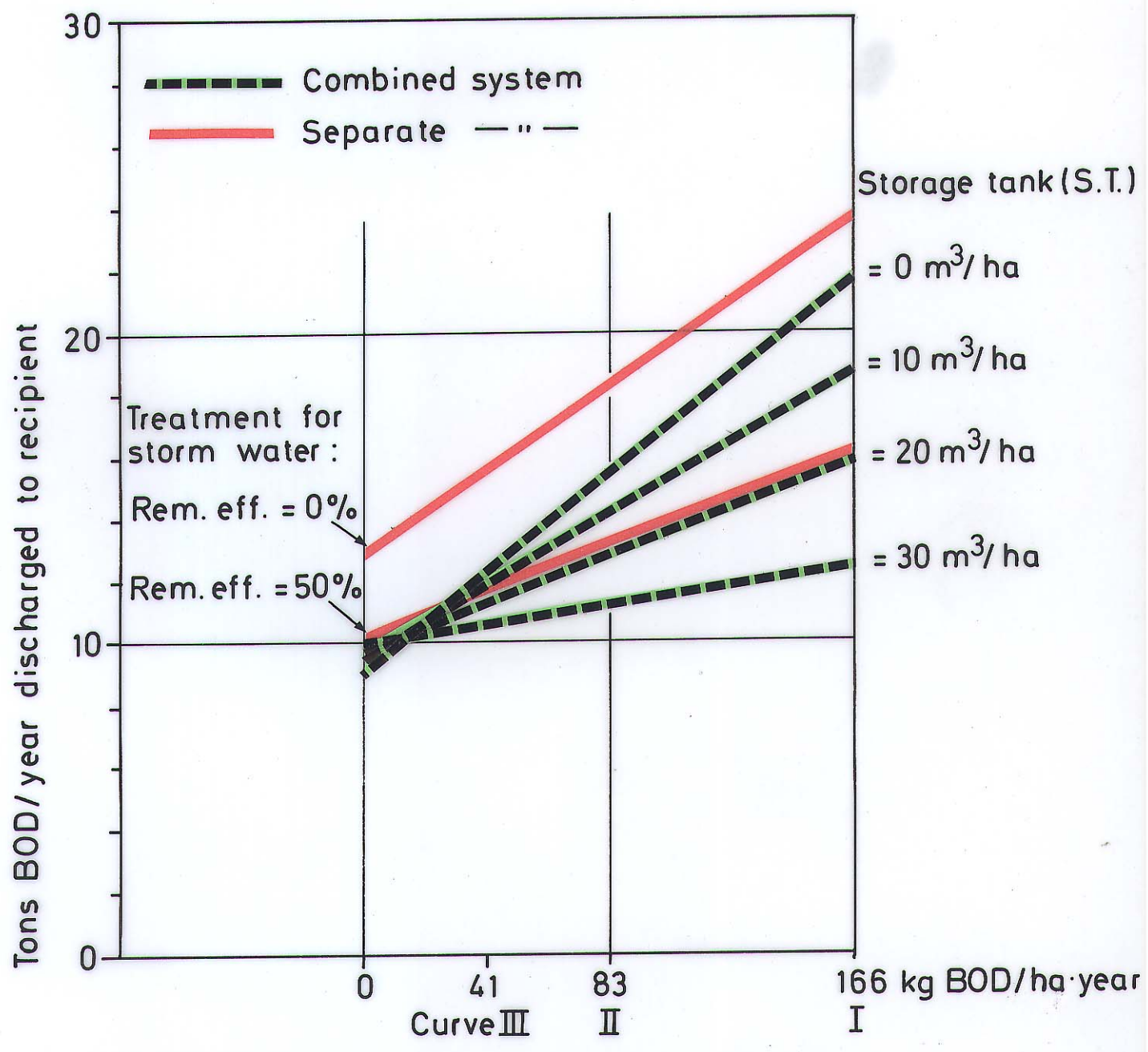


FIG. 22

# Combined v.s. separate sewer system

Drainage area = 100 ha., 5000 persons,  
5 % leakage from sanitary sewers to storm  
sewer lines (In separate systems)

50% of BOD in runoff due to combined pipe  
deposits (fig. 3) Treatment plant as previons



Kg BOD per ha and year from surfaces and  
combined sewer line deposits

som resipienten er svak, som f.eks. en bekk, vil man måtte betrakte systemet på timebasis. Figur 16 viser dette. I et middelår vil det 14 ganger pr. år komme et forurensningssjokk som i intensitet er ca. 30 ganger større enn den urensede spillvannsavrenning (i 1/2 time). Har man 90% rensing av spillvannet øker intensiteten til 300 ganger.

#### 5. ANALYSE AV ET OVERLØPS UTSLIPP AV FORURENSNINGER

Selv om det i dag mangler meget før vi har et godt utbygd nett med kloakkrensaneanlegg i Norge, er vi likevel kommet godt i gang.

Vi kan dessverre ikke si det samme om de forurensninger som tilføres resipientene gjennom regnvannsoverløp i fellessystemledninger. Det kreves enkelte steder høygradig rensing, mens råkloakken fra regnvannsoverløpene blir neglisjert.

Et annet moment som gjør situasjonen alvorlig er at overløpene ofte er plassert ved svakere resipienter enn renseanlegget. Utenlands er man meget bekymret over overløpsproblemet, og som et eksempel kan nevnes at myndighetene i U.S.A. de siste 6 år har bevilget 70 millioner dollars til 100 forskjellige forskningsprosjekter innen overløps- og overvannsproblematikken (1). Når man samtidig vet at bare 30% av U.S.A.s ledningsnett er fellessystem, mens 70% av Norges ledninger er fellessystem-ledninger, kan man spørre seg hvorfor Norge gjør så lite på dette området.

Det er i amerikansk litteratur ofte antatt at i middel går 5% av total forurensningsmengde ut i overløpene. Dersom man har et renseanlegg med midlere rense-effekt på 90%, representerer forurensningstapet fra overløpene 53% av det som årlig forlater renseanlegget. Det som gjør dette bilde enda mer ugunstig, er at forurensningene fra overløp kommer som sjokkbelastninger i løpet av meget korte tidsperioder, mens forurensningene fra renseanlegget blir spredd jevnt i tid over hele året.

Den beste måten å bli kvitt overløpene på er en overgang fra felles- til separatsystem. I Philadelphia, U.S.A., er en utredning om en slik overgang utført. Konklusjonene var at hver boligenhet ville

bli belastet med 7.000 kroner i arbeider innenfor eiendommene og 7.000 kroner på det kommunale ledningsnett. Dersom vi antar at Oslo i dag har 70.000 boliger med fellessystem, vil det medføre en kostnad på ca. 1 milliard kroner å gå over til separat-systemet.

Det er derfor innlysende at vi må leve med fellessystem i en rekke årtier ennå, og det må derfor finnes enklere tekniske tiltak som demper de skadelige virkninger vi har i dag.

Kontroll med overløpsforurensninger kan fåes ved:

- . Separasjon av overvann og spillvann i ledningsnett.
- . Anlegg av fordrøyningsbassenger på overflaten eller nedgravd.
- . Kunstig tilbakeholdelse av overvannet i ledningsnett, slik at volumet i ledningene kan utnytted fullt ut. Kontrollerende innretninger må da installeres på strategiske punkter i ledningsnett.
- . Installering av renseanlegg ved overløpene, samt andre tiltak i nedslagsfeltet.

I det etterfølgende er vist resultater fra overløpsberegninger hvor NIVA's avløpstekniske modeller er brukt. For hvert alternativ er det simulert et års nedbørsaktivitet (se tabell 2) med 10 minutters beregningssteg mellom hver avløpssituasjon. Samtidig er det undersøkt hvilken virkning fordrøyningsbassenger har på utslipp fra overløp. Avrenningsfeltet er det samme som vist i figur 12, og overløp er forutsatt plassert i punkt 2.

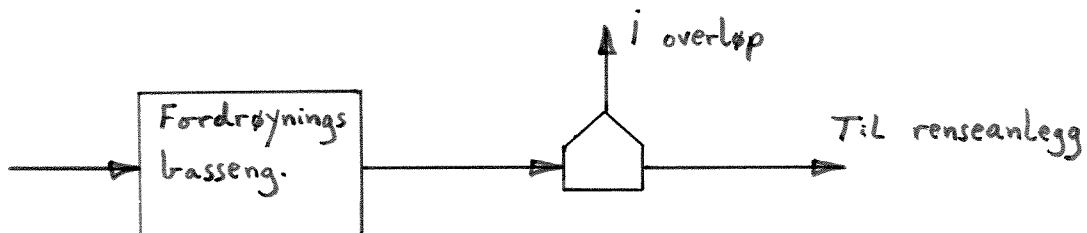


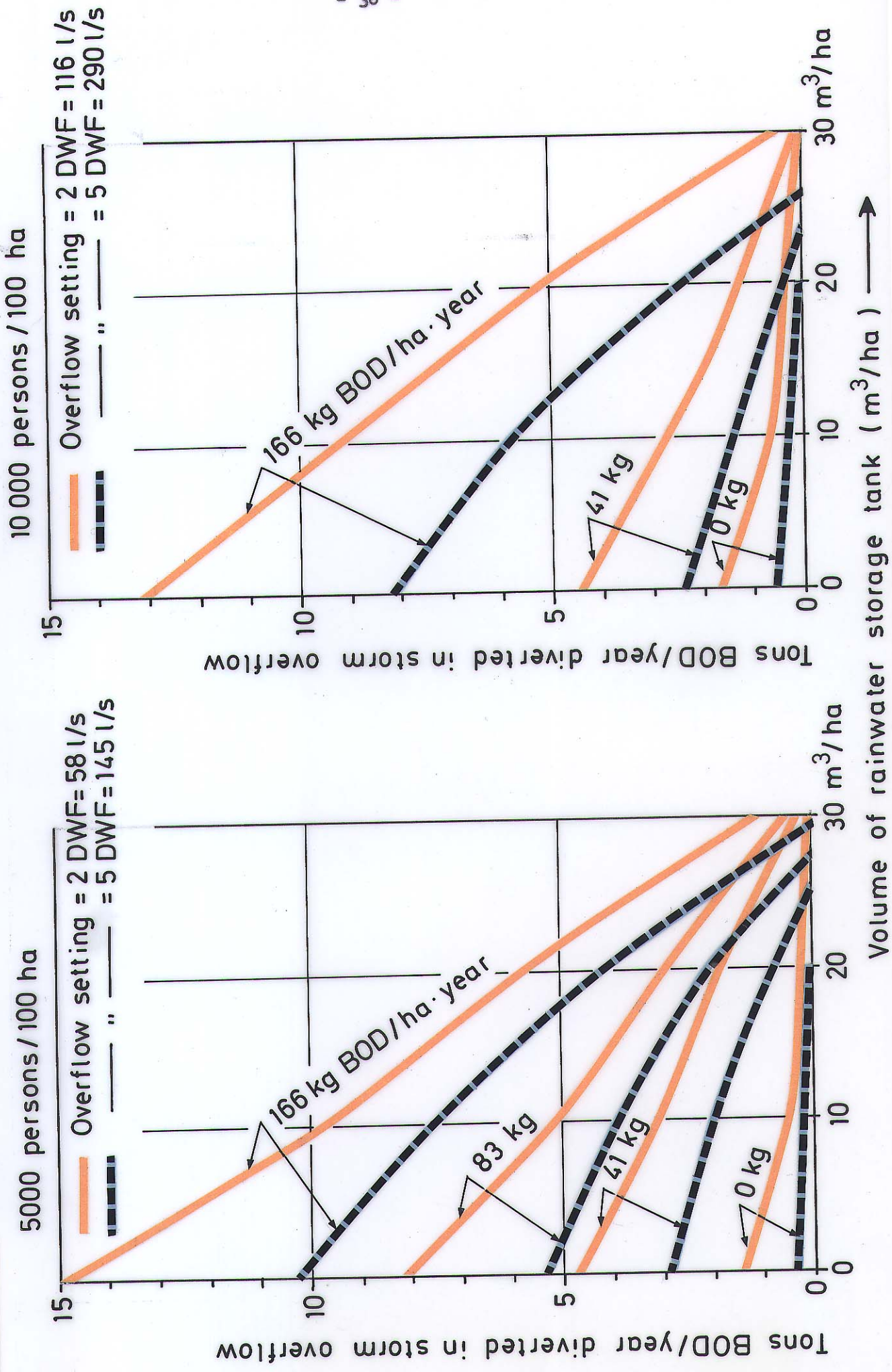
FIG. 23 Overløp

Bassengets plassering i forhold til overløpet er vist i figur 23.

Figur 24 viser resultatene fra simuleringer av et ledningsnett med overløp og fordrøyningsbasseng tilsvarende 64 års drift. Utslippene fra overløpene opphører helt ved et basseng på  $3000 \text{ m}^3$  ( $30 \text{ m}^3/\text{ha}$ )

BOD diverted in storm overflow v.s. storage tank volume

FIG. 24



uansett forurensningsgrad i overvannet når 5 ganger tørrværsavrenningen slippes videre. Selv med et basseng på  $1000 \text{ m}^3$  ( $10 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) minker utslippene fra overløpet betydelig.

Det som forøvrig er bemerkelsesverdig er den store virkning forurensningskonsentrasjonen i overvannet har på det årlige totalutslippet fra overløpet.

Fra figur 24 ser man at ved en persontetthet på 5000 personer pr. hektar vil utslippet fra et overløp uten fordrøyningsvolum øke fra 1.3 til 8 tonn BOF pr. år når konsentrasjonene av BOF i overvannet øker fra 0 til tilsvarende 83 kg BOD/ha og år. Tørrværsavrenningen fra feltet representerer 1090 kg/ha år.

Dette viser at overløpsberegninger uten kjennskap til kvaliteten av overvannet vil bli meget usikre. Det viser også den tidligere store undervurderingen av forurensningututslipp fra overløp, da man vanligvis har antatt null konsentrasjon av forurensninger i overvann, mens det er mer realistisk å anta nærmere 80 kg BOF pr. ha. og år i bystrøk.

Figur 24 viser også at om befolkningstettheten dobbles i feltet, vil utslippene i overløpet minke noe forutsatt at innstillingen av overløp holdes på den samme fortykning (hvilket betyr en dobling av innstillingen i l/s).

## 6. SAMMENDRAG

Det er redegjort for modellarbeidet som er utført i den perioden rapporten omfatter. Det er særlig ledningsnettmodellen som er forbedret siden forrige rapportering. I denne modellen er det nå mulig å velge beregningssteget fritt mellom hver avrenningssituasjon, (tidligere alltid 1 minutt) noe som er meget besparende m.h.t. computerleien.

Det er videre utført en analyse på et oppkonstruert felt for å kunne se hvorvidt et fellessystem eller et separatsystem er ugunstigst m.h.t. forurensningstilførsel til resipienten. De tidligere beskrevne EDB-modeller for ledningsnett og renseanlegg er benyttet

for å simulere de ulike forhold. Det ble simulert ca. 100 år drift med ulike systemer, og beregningssteget var 10 minutter mellom hver analyse av avrenningsforløpene. En slik analyse er derfor en enorm beregningsoppgave som kun kan løses av store data-anlegg.

Konklusjonen fra analysen er følgende:

Hvorvidt et fellessystem eller separatsystem er forurensningsmessig sett ugunstigst er sterkt avhengig av blant annet:

- I Resipientens kapasitet til å motta store forurensningsmengder i løpet av meget kort tid (f.eks. 1 time).
- II Graden av lekkasjer og feilkoblinger mellom spillvannsføringer og overvannsføringer når feltet er kloakkert etter separat systemet.
- III Forurensningsmengdene i overvannet.
- IV Hvor overvannsforurensningene stammer fra (fra overflatene i feltet eller fra rørvlagringer).
- V Størrelsen på eventuelle fordrøyningsbassenger i fellessystemet.
- VI Hvilken behandling overløpsvannet får før det går til resipienten.

Når det gjelder forurensningsutslipp i regnvannsoverløp viser beregningene at dette kan være betydelige forurensningskilder i et fellessystem. Videre går det frem av beregningene at innstallering av fordrøyningsbassenger ved overløp i fellessystemer kan være et alternativ til en omlegging til separatsystemer. Derved kan spares enorme investeringer. Av beregningene går det også frem at den forurensningsmengde som årlig går ut av overløpene er sterkt avhengig av forurensningskonsentrasjonen i overvannet. Det er grunn til å anta at disse i virkeligheten er 5-10 ganger større enn man tidligere

har antatt da de tidligere beregninger kun så på den spillvannsmengden som gikk i overløp, og man antok av overvannet ikke bidro til forurensningsutslippet.

## 7. LITTERATUR

- (1) Guarino, C.F. and Radziul, J.V.:  
Combined Sewers and Stormwater Drainage-Today and 2050 AD.  
Clean Water for our future Environment, ASCE New York 1971.
- (2) Lindholm, O.G.:  
Modelling of Sewerage Systems.  
NATO Advances Study Institute on Systems Analysis for Environmental  
Pollution Control, Baiersbronn Dec. 1972 BRD
- (3) Lindholm, O.G.:  
Fremdriftsrapport nr. 1 (4.1.1972), nr. 2 (26.7.1972) og sammenfattende rapport (1.4.1972), PRA 4.6., 0-53/71 NIVA.

## 8. KOSTNADSFUNKSJONER FOR RENSEANLEGGMODELL

Anleggskostnader:

I figur 25 til 34 er vist kostnadsligningene for ulike enhetsprosesser som for tiden er innlagt i renseanleggmodellen. Ligningene bygger for det meste på data fra USA, og er usikre for norske forhold. Disse ligninger må betraktes som kun brukbare til uttestinger av modellen. Det er en forutsetning at en eventuell bruker bør komme med sine egne kostnadsfunksjoner om han mener disse er bedre.

Figur 25, anleggskostnader for fordrøyningssbassenger, er basert på opplysninger over telefon fra et ing.firma. Figur 26, anleggskostnader for overbygning, laboratorier og preliminær behandling, er basert på egne vurderinger og kostnader for overbygningen på NIVAs anlegg på Kjeller og Løxa-anlegget i Bærum. Figurene 27, 28, 29, 30 og 31 er basert på data fra EPA rapport nr. 17090 DAN Washington, D.C. oct. 1971. Det er regnet med 7 kroner pr. dollar for å få norske priser. Videre er det regnet med 10% prisstigning siden rapporten fra EPA kom ut. Det er videre antatt et vannforbruk på  $0,5 \text{ m}^3/\text{døgn}$  og person.

Figur 32, anleggskostnader for kjemikaliedosering og lagring, er basert på grove vurderinger og skjønn, og vil bli revidert i nær framtid.

Figur 33, flokkuleringsbasseng, er basert på kostnadene for luftebasseng, fig. 28, med et tillegg på 15% for rørverk.

Figur 34 som viser slambehandlingskostnader er i særlig grad basert på grove vurderinger. Dette er gjort bevisst da det er meningen å videreutvikle en egen slammodell.

Figur 35, drifts og vedlikeholdsutgifter for renseanlegg, er basert på vurderinger og skjønn.

#### VVS og elektriske innstallasjoner

For VVS og elektriske innstallasjoner er det regnet 20% av de øvrige anleggskostnader.



## Årskostnader

Kjemikaliedosering:

$$k = \text{ALDOS} \cdot \text{QDIM} \cdot 365 \cdot 0,35 \cdot 0,001$$

$k = \text{kr/år}$

ALDOS = mg/l dosert aluminiumsulfat

QDIM = Midlere vannmengde i  $\text{m}^3/\text{d}$

Kapitalkostnader:

Rentesats, avskrivningstid for maskinelt og elektriske utstyr, avskrivningstid for bygningsmessig utstyr velges før hver beregning.

Anleggskostnadene deres fordeling mellom maskinelt og bygningsmessig kapital er valgt som følger:

$$\begin{aligned} \text{Bygn. renseanlegg} &= \text{KPREHUS} \times 0,8 + \text{KFORS} \times 0,7 + \text{KLUF TK} \times 1,0 \\ &+ \text{KBASS} \times 1,0 + \text{B.SED} \times 0,8 + \text{SLAMB} \times 0,7 \\ &+ \text{KFLOK} \times 0,7 + \text{KETKEM} \times 0,8 + 0,2 \times \text{KDOS} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mask. rensanlegg} &= \text{KPREHUS} \times 0,2 + \text{KFORS} \times 0,3 + \text{B.SED} \times 0,2 \\ &+ \text{KSLAMB} \times 0,3 + \text{KFLOK} \times 0,3 + \text{KETKEM} \times 0,2 \\ &+ \text{KSLAPU} + \text{KLUUTS} + 0,8 \times \text{KDOS} + \text{KELV} \end{aligned}$$

KPREHUS = Overbygning, preliminær behandling, laboratorie, .....

KFORS = Forsedimentering

B.SED = Biologisk ettersedimentering

KSLAMB = Slambehandling

KFLOK = Flokkulering

KETKEM = Kjemisk ettersedimentering

KSLAPU = Slampumper

KLUUTS = Trykkluftningssystem

KDOS = Kjemisk doseringstustyr

KELV = Elektrisk og VVS

KBASS = Fordrøyningssbasseng

KLUF TK = Luftetank

Vedlikeholds- og driftsutgifter:

Disse årlige omkostninger er vist i figur 35.

Totale anleggskostnader

Til de netto anleggskostnader tillegges 40% for å få brutto anleggskostnader. Denne prosentsetningen skal dekke investeringsavgift, renter i byggetiden, prosjekteringsutgifter, kontroll og div. generelle omkostninger.

Fig.25 Anleggskostnader for fordröyningsbassenger

°  
Åpne nedgravde bassenger med betongplate i bunn

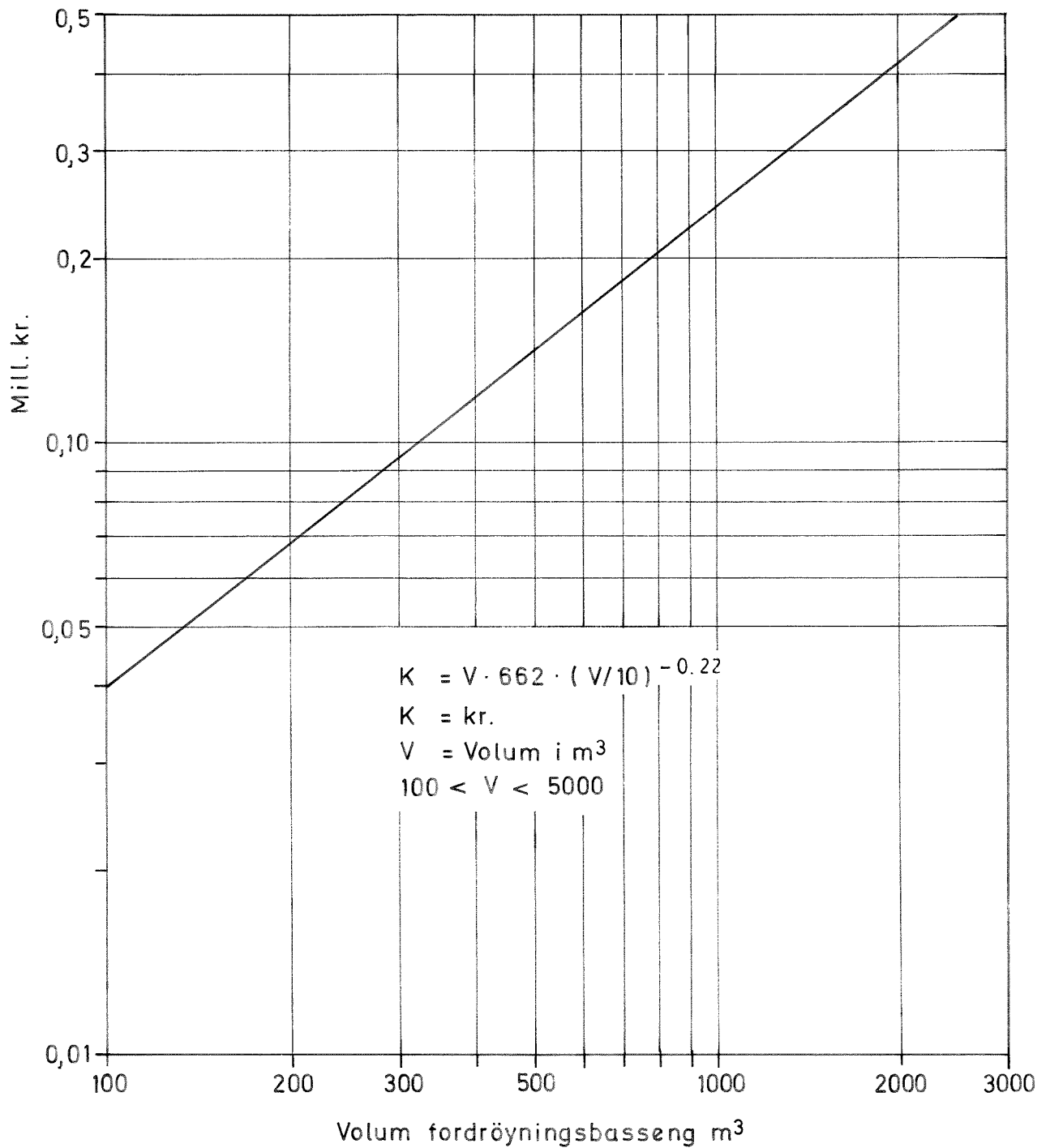


Fig. 26 Anleggskostnader for overbygning, laboratorier, preliminær behandling

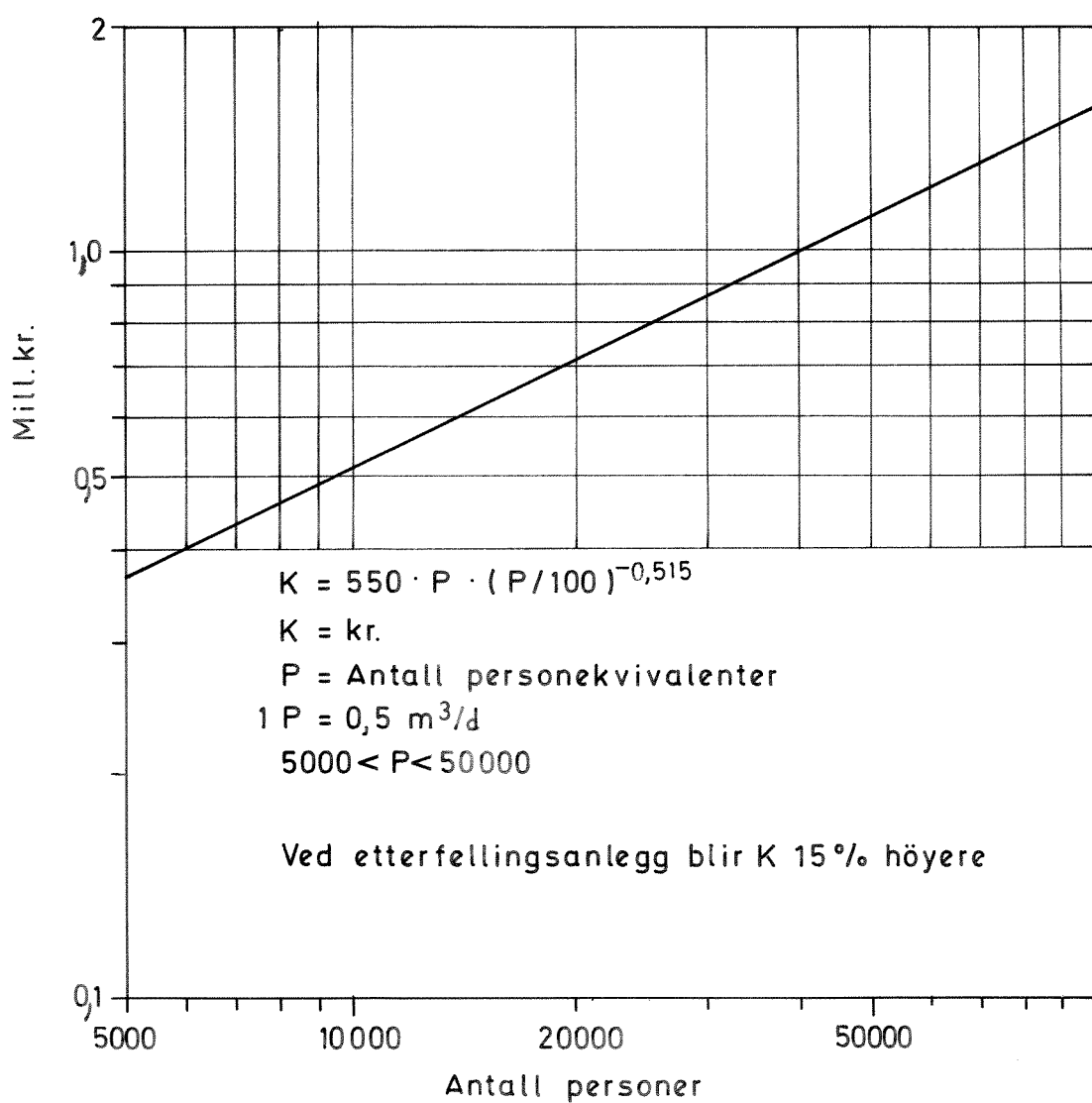


Fig. 27 Anleggskostnader for forsedimentering inkl. skraper

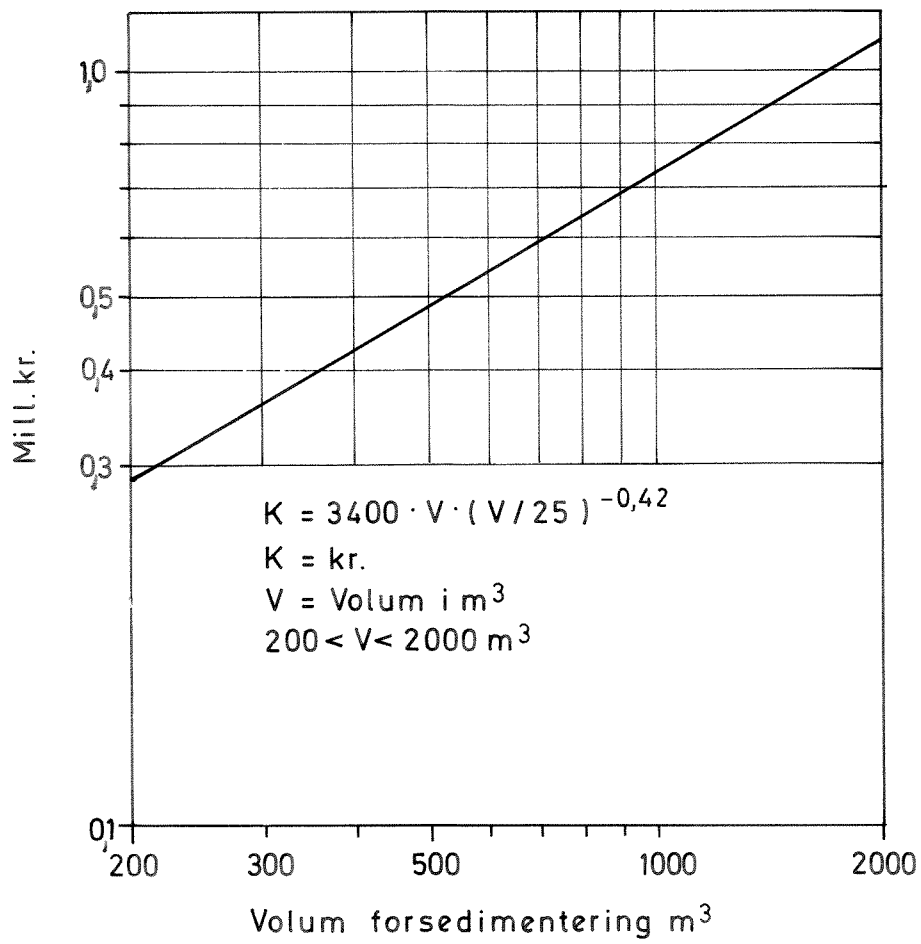


Fig. 28 Bygningsmessige anleggskostnader for luftebasseng

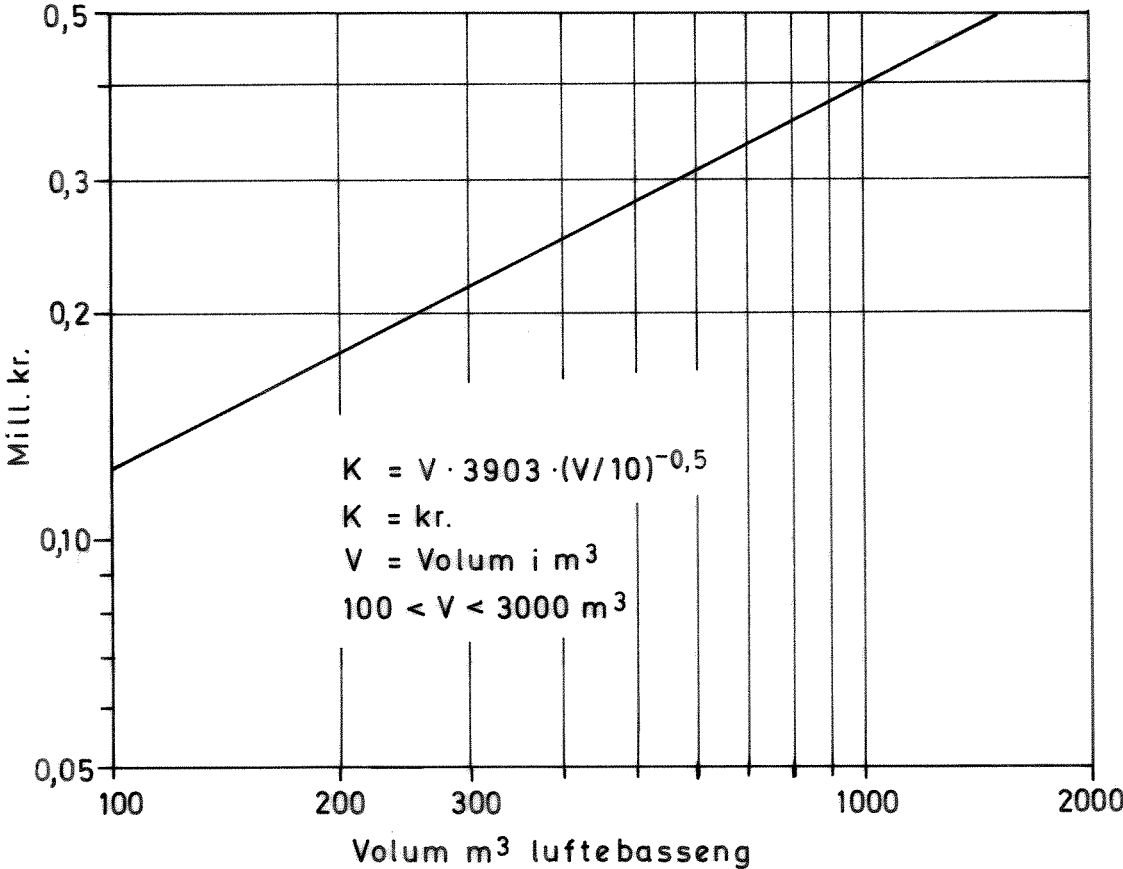


Fig. 29 Anleggskostnader for trykkluftesystem

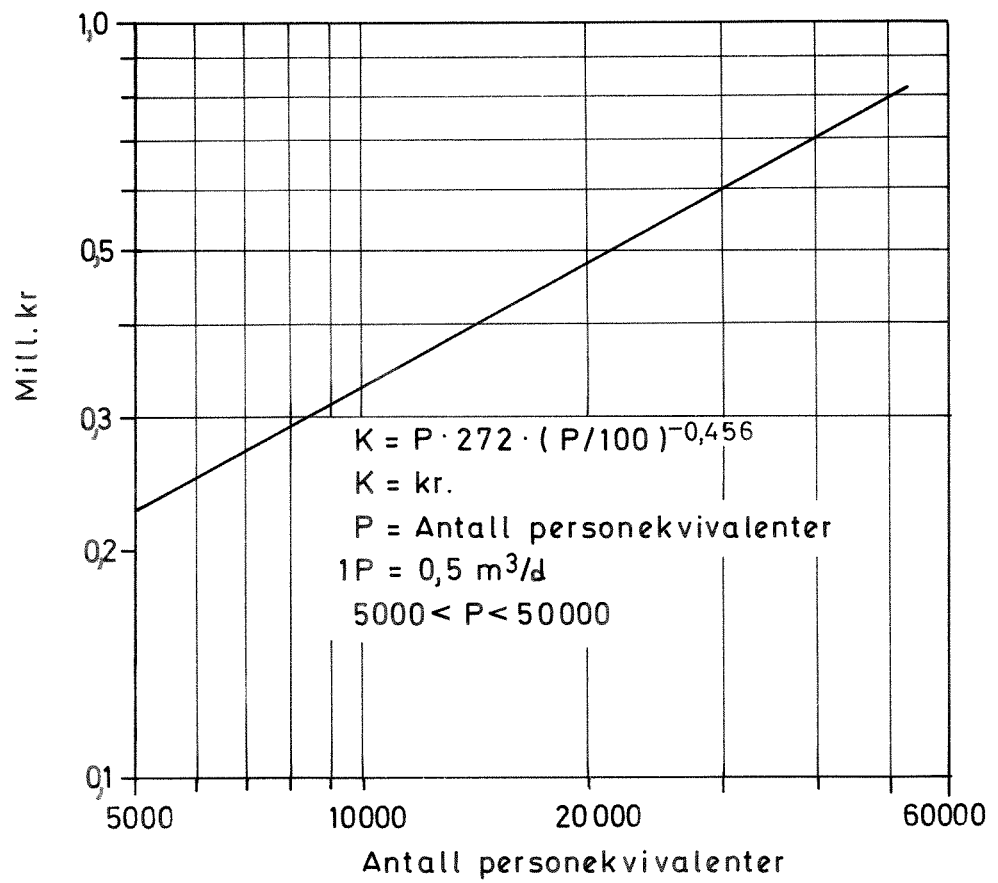


Fig.30 Anleggskostnader for ettersedimentering inkl.skraper

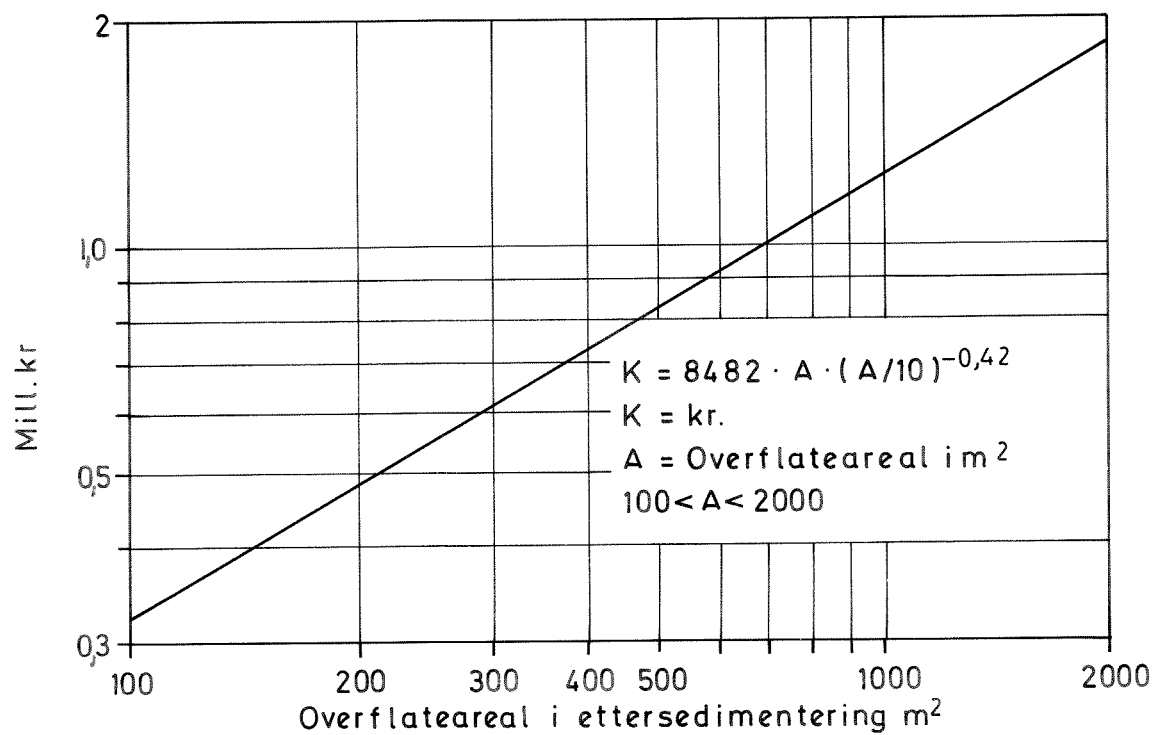
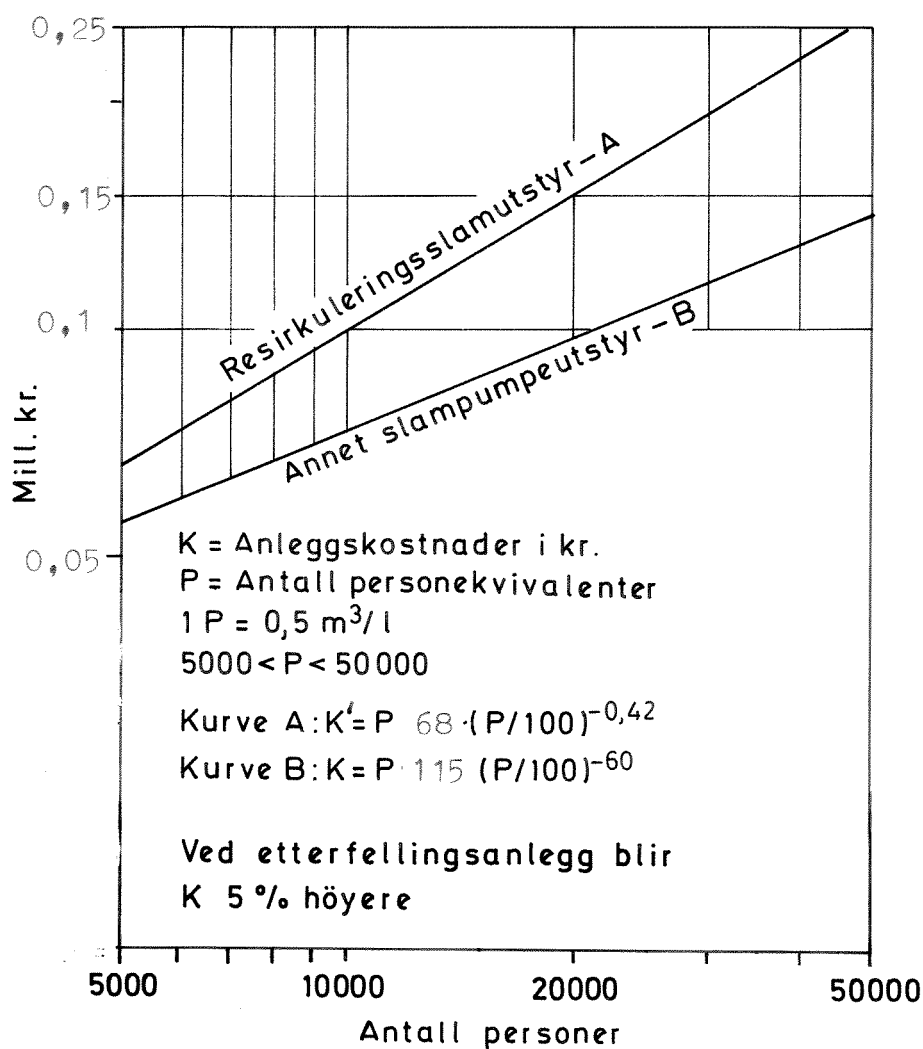


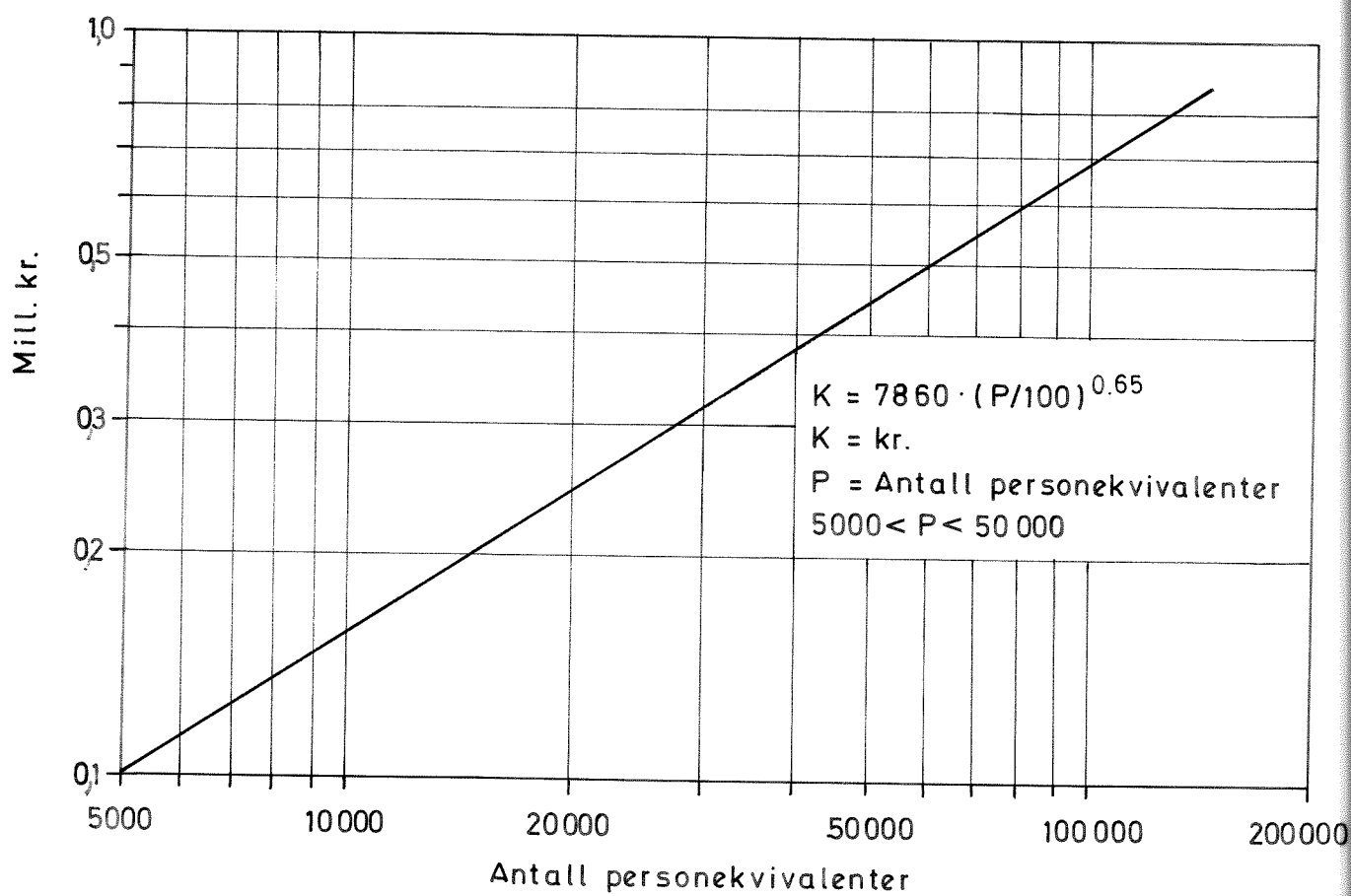


Fig. 31 Anleggskostnader for slampumpeutstyr i rensesanlegg



Denne kostnadsposten er under revisjon.

Fig. 32 Anleggskostnader for kjemikaliedosering og lagring



Denne kostnadsposten er  
under revisjon.

Fig. 33 Anleggskostnader for flokkuleringsbasseng inkl. omrørerverk

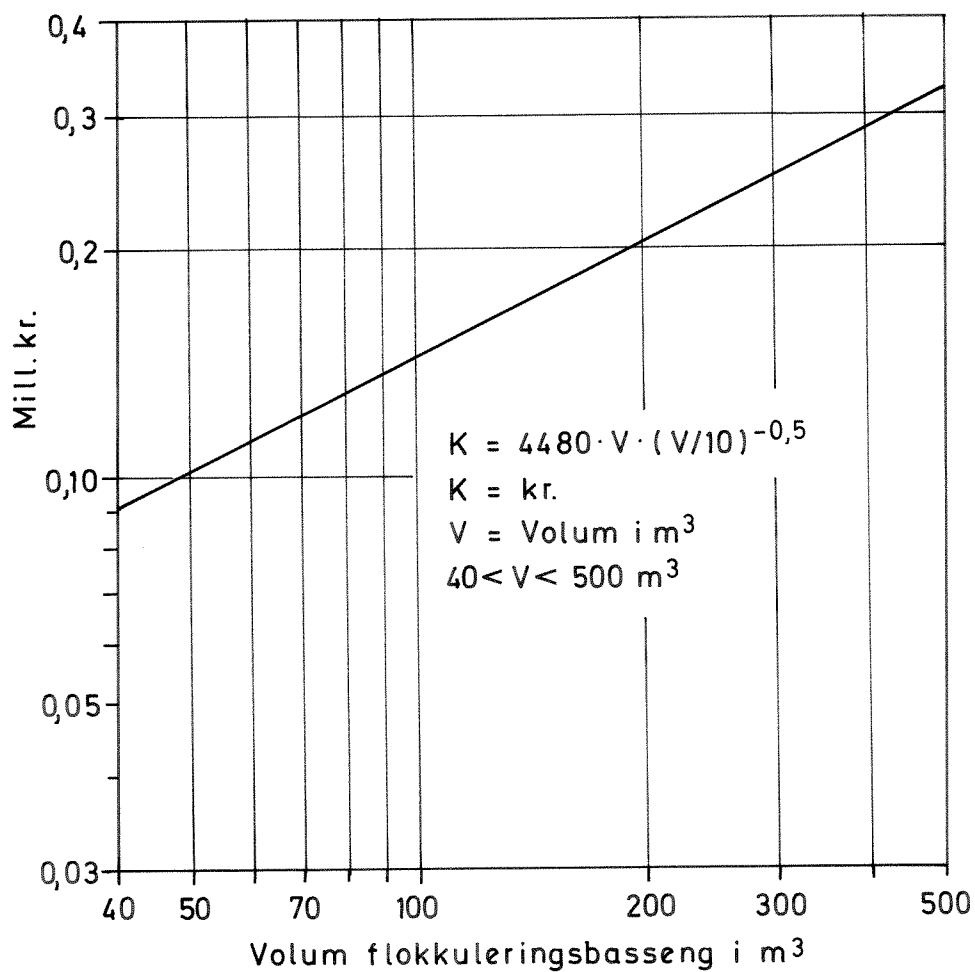
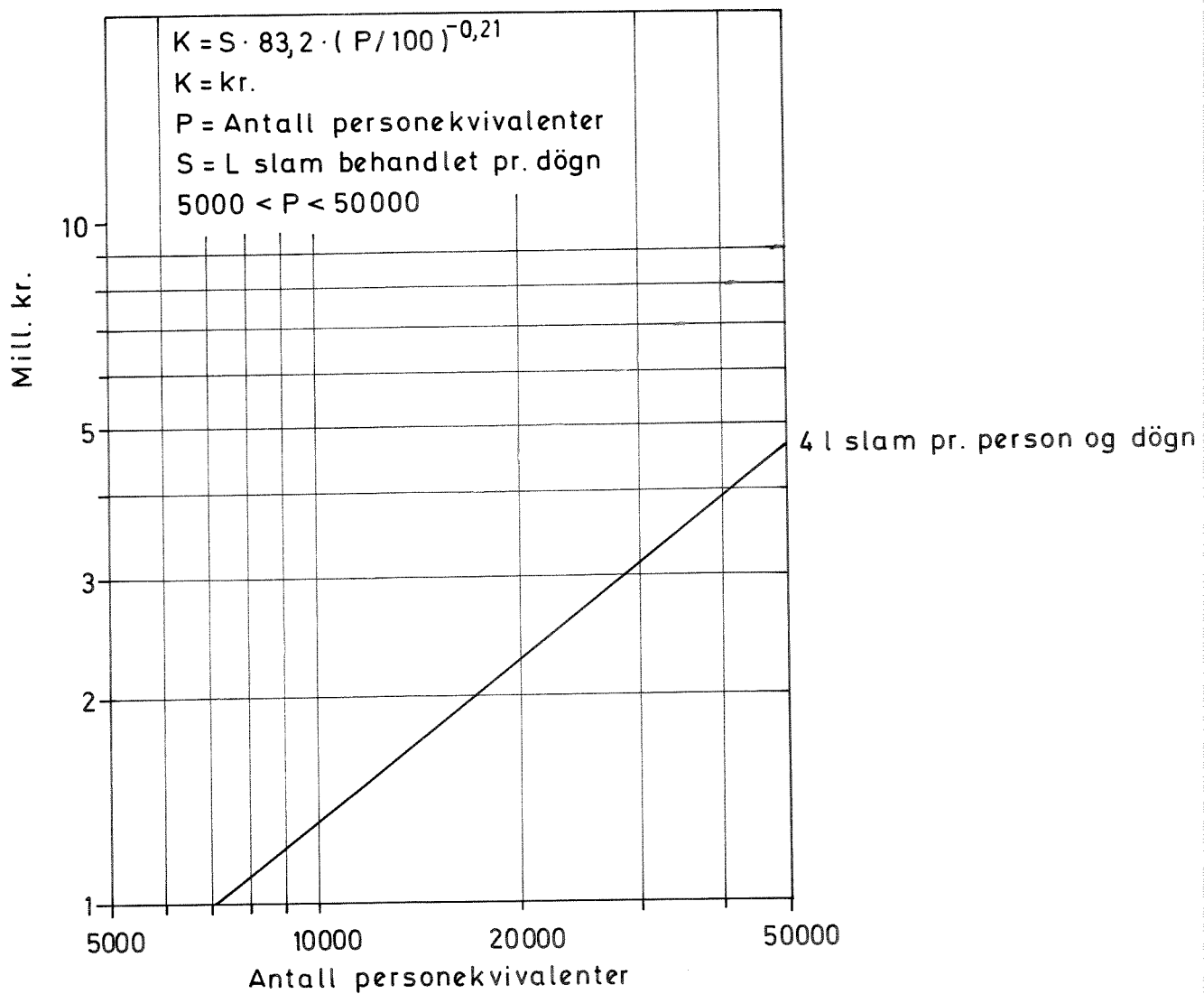


Fig. 34 Anleggskostnader for slambehandling  
Fortykkning og sentrifugering



Denne kostnadsposten vil bli utelatt når slammmodellen er forbedret.

Fig. 35 Drifts- og vedlikeholdsutgifter for renseanlegg

