

---

# RAPPORT NR. 17

---



---

**GUDENÅUNDERSØGELSEN**  
**Regnvandsundersøgelser**

---

G U D E N A U N D E R S Ø G E L S E N

1973 - 1975

REGNVANDSUNDERSØGELSER

VANDKVALITETSINSTITUTTET, ATV  
Agern Allé 11, 2970 Hørsholm

Sagsnr.: 25.4.171  
1977-11-03 WWT - WF

Sagsbehandlere:

Civ.ing. Jørgen F. Simonsen  
Civ.ing. Poul B. Heise

## I N D H O L D S F O R T E G N E L S E

	SIDE
1. INDLEDNING	1
2. UNDERSØGELSENS FORMÅL OG ARBEJDSHYPOTESER	2
2.1 FORMÅL	2
2.2 ARBEJDSHYPOTESE	3
3. UNDERSØGELSERNES GENNEMFØRELSE	4
3.1 MÅLEOPLANDE	4
3.2 MÅLINGERNES OMFANG	6
3.3 MÅLINGERNES TEKNIK	7
3.4 MÅLINGERNES GENNEMFØRELSE OG ERFARINGER FRA UNDERSØGELSEN	9
4. RESULTATER FRA "SØNDER EGE", RY	11
4.1 OPLANDSINFORMATIONER: SØNDER EGE, RY	11
4.2 NEDBØR OG AFLASTNINGER	11
4.3 FORURENINGSFORHOLD VED AFLASTNING	18
4.4 STOFTRANSPORTER	24
5. RESULTATER FRA "NØRREMARKEN", VIBORG OG "SKVÆTMØLLE", SKANDERBORG	29
5.1 OPLANDSINFORMATIONER	29
5.2 NEDBØRSFORHOLD	30
5.3 AFSTRØMNINGS- OG FORURENINGSFORHOLD	31
5.4 STOFTRANSPORTER	38

# I N D H O L D S F O R T E G N E L S E

	SIDE
6. AFSTRØMNING FRA VEJAREALER	47
6.1 VEJAREAL - SKANDERBORG	47
6.2 AFSTRØMNINGS- OG FORURENINGSFORHOLD	47
7. STOFUDLEDNING FRA RENSNINGSANLÆG UNDER REGN	53
7.1 VIBORG CENTRALRENSNINGSANLÆG 1973 - 75	53
7.2 RESULTATER	54
7.3 VIBORG CENTRALRENSNINGSANLÆG, 1977	61
8. SAMMENFATNING OG KONKLUSION	62
8.1 REGNVANDSUNDERSØGELSERNES FORMÅL OG OMFANG	62
8.2 MÅLINGERNES TEKNIK	63
8.3 RESULTATER OG KONKLUSIONER	63
TEKNIKERGRUPPENS EFTERSKRIFT	70A
9. REFERENCELISTE	70B
A P P E N D I X	72
B I L A G A: REGRESSIONSVURDERINGER	A 1 - A 21
B I L A G B: FIGURER, FORDELINGEN AF AFSTRØM- MENDE STOF- OG VANDMÆNGDER	B 1 - B 79
B I L A G C: ANALYSEDATA M.M. (IKKE MANGFOL- DIGGJORT)	

## 1. INDLEDNING

I Gudenåundersøgelsen 1973 - 75 indgår undersøgelser af stoftilførslerne til vandsystemet, og disse har omfattet undersøgelser af forureningsbelastningen fra

spildevandsudledninger

dambrug

landbrugsarealer

regnafstrømning fra urbaniserede områder.

Undersøgelser af forureningsbelastningen fra urbaniserede områder under regn blev medtaget ved Gudenåundersøgelsen, fordi en række udenlandske undersøgelser viste, at der er stor variation i mængde og sammensætning af regnafstrømningen fra såvel separatkloakerede som fælleskloakerede områder. Det forudsattes desuden, at det ikke var rimeligt at anvende udenlandske erfaringsværdier ved opgørelsen af stoftilførslerne, da lokale forhold spiller en afgørende rolle for regnafstrømningens kvantitet og kvalitet.

## 2.           UNDERSØGELSENS FORMAL OG ARBEJDSHYPOTESER

### 2.1          FORMÅL

Undersøgelsens formål definerede således:

at undersøge separatsystemers - regnvandsledningers bidrag til forurening

at undersøge fælleskloakerede områders bidrag til forurening under regn.

Under regn vil kloaksystemerne medføre en forureningsbelastning af recipienterne, der bl.a. skyldes

områdets karakter og udnyttelse  
kloaksystemets opbygning  
nedbørens mængde, intensitet og hyppighed  
nedbørens indhold af forurenende stoffer.

I "Projektbeskrivelsen for Gudenåundersøgelsen 1973 - 75" formuleredes i henhold til ovenstående en række problemstillinger vedrørende regnafstrømningens forureningsproblematik således:

1.       Hvorledes er regnafstrømningens mængde og sammensætning?
2.       Hvor store stofbelastninger giver regnafstrømning anledning til (vurderet i forhold til recipientsystemets dynamik)?
3.       Hvilken indflydelse har regnafstrømningen på rensningsanlæggenes funktion?
4.       Hvorledes reagerer recipienten på regnafstrømningen?

5. Hvorledes kan forureningsbelastningen af recipient-systemet under regn begrænses, f.eks. ved rensning, regulering, magasinering?

## 2.2 ARBEJDSHYPOTESE

Da en undersøgelse til belysning af ovennævnte fem punkter ville blive særdeles omfattende, opstilledes følgende "arbejdshypotese" for REGNVANDSUNDERSØGELSERNE I GUDENÅSYSTEMET:

- a) Angiv, hvorledes sammensætningen og mængden af regnafstrømningen varierer fra to separatkloakerede områder og fra et overfaldsbygværk i et fælleskloakeret område.
- b) Angiv, hvor store mængder stof der udledes.
- c) Angiv om muligt relationer og sammenhænge mellem forureningsbelastningen og afstrømningsforhold, lokale forhold etc.

### 3.           UNDERSØGELSERNES GENNEMFØRELSE

#### 3.1           MÅLEOPLANDE

Måleoplandene udvalgte således:

Skvætmølle, Skanderborg	- separatkloakeret
Nørremarken, Viborg	- separatkloakeret
Sønder Ege, Ry	- aflastningsbygværk fælleskloakeret område.

Der udførtes desuden orienterende målinger i oplandene:

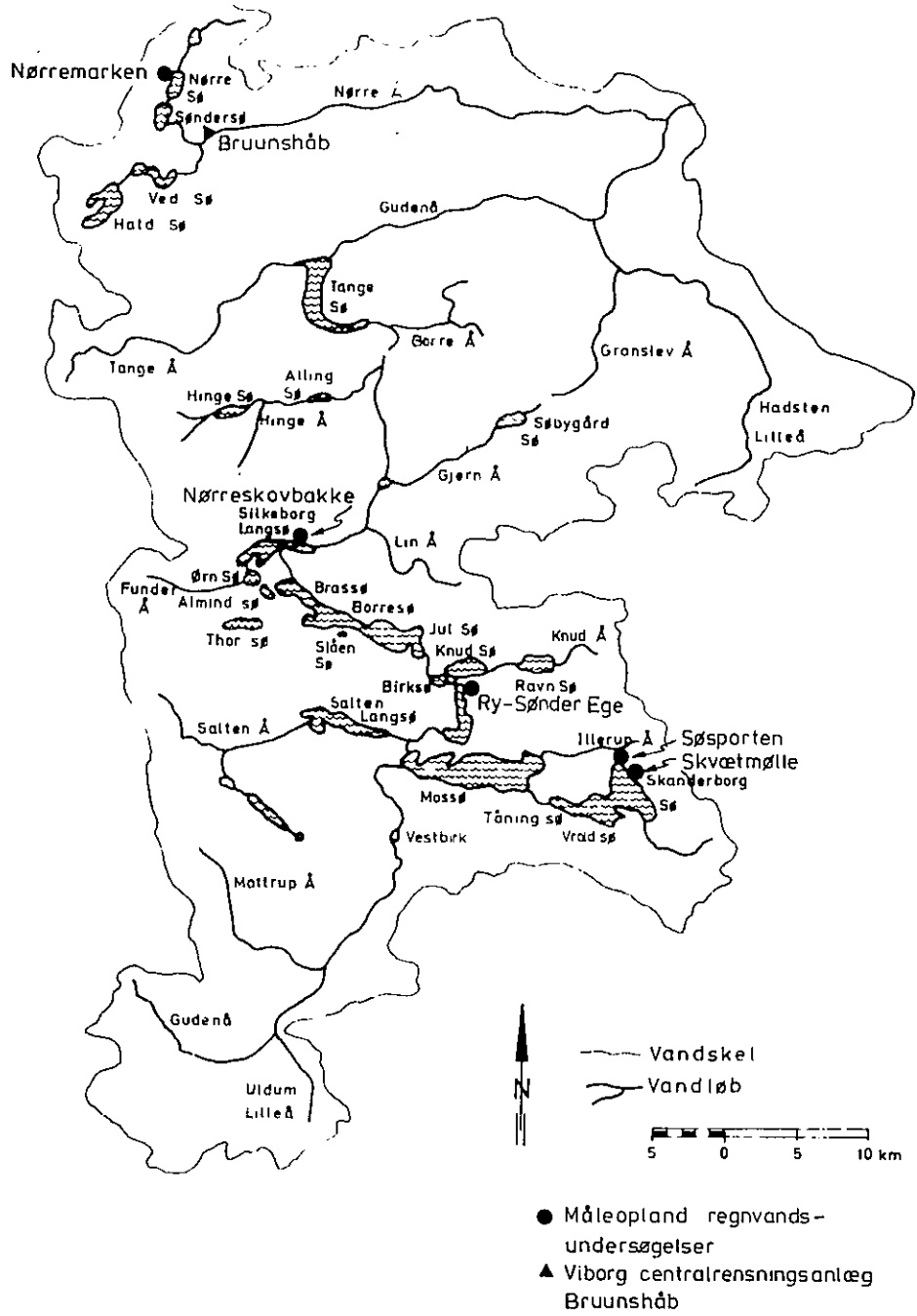
Nørskovbakke, Silkeborg	- separatkloakeret område
Ladegårdsbakken "Søsporten", Skanderborg	- afstrømning fra vejareal.

Til supplement af vejafstrømningsmålingerne fra Skanderborg (Søsporten) gennemførte Vandkvalitetsinstituttet ATV (VKI) en orienterende prøvetagning i tilknytning til Vejdirektoratets målestation ved motorgaden Bispeengsbuen, København.

Viborg kommune gennemførte desuden parallelt med Gudenåundersøgelsens spildevandsundersøgelser /1/ samt Nørreåundersøgelsen /2/ en belastningsvurdering af centralrensningsanlægget, Bruunshåb, under regn.

På figur 3.1 er angivet lokaliteternes geografiske placering.





Figur 3.1 Måleoplände, regnvandsundersøgelser.

### 3.2 MÅLINGERNES OMFANG

Målingernes omfang fremgår af tabel 3.1.

	Lokalitet	Registreringsperioder		Prøve- tagings- periode	Antal regnskyl med prø- vetagning	Antal prøver
		Nedbør	Afstrømning			
SEPARATSYSTEM	SKVÆTMØLLE, SKANDERBORG	25/4-74 ⇒ 12/11-74	19/4-74 ⇒ 26/11-75	19/4-74 ⇒ 1/10-75	27	203
	SØSPORTEN, SKANDERBORG	og 28/4-75 ⇒ 17/11-75	20/5-75 ⇒ 26/11-75	20/5-75 ⇒ 26/11-75	10	39
	NØRREMARKEN, VIBORG	15/2-75 ⇒ 14/10-75	1/3-75 ⇒ 15/10-75	1/3-75 ⇒ 15/9-75	16	206
	NØRSKOVBAKKE, SILKEBORG	- 31/10-75 ⇒ 17/12-75	9/10-73 ⇒ 29/11-73 19/11-75 ⇒ 17/12-75	nov. 1973 nov. - dec. 1975	4	66
FÆLLESSYSTEM	SØNDER EGE, RY	14/11-74 ⇒ 8/12-75	14/1-74 ⇒ 10/12-75	jan. 1974 og juni 1974 1/9-74 ⇒ 1/10-75	44	110

Tabel 3.1 Omfang af regnvandsundersøgelser i Gudenå-systemet.

De udtagne prøver sorteredes efter udtagningen således, at der normalt kun udførtes analyser på prøver fra regnskyl med mindst een forudgående tørvejrsgdag.

Analyseparametrene var som hovedregel

organisk stof målt som iltforbrug med  $\text{KMnO}_4$  (PE)  
total fosfor (TP)  
total kvælstof (TN).

Herudover er der i varieret antal udført analyser for

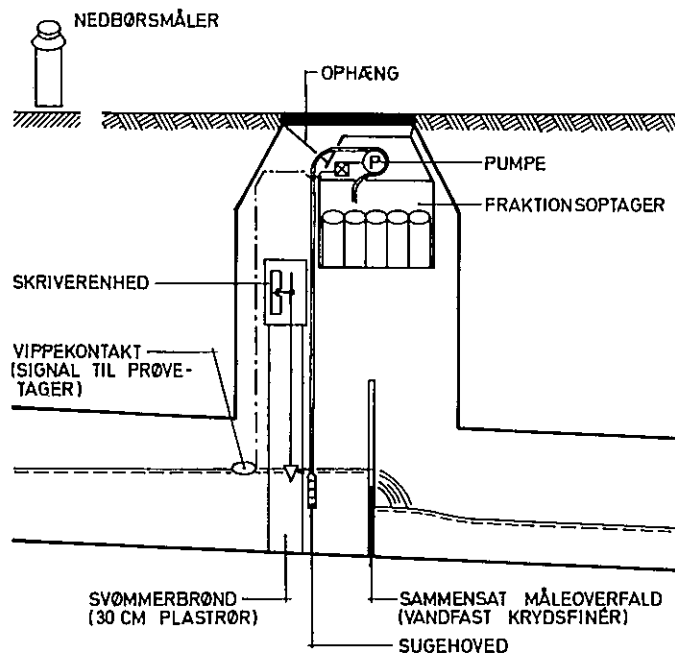
ammoniak (NH)  
nitrat (NO)  
ortho-fosfat (PO)  
suspenderet stof (SS)  
zink (ZN)  
bly (PB)  
clorid (CL)  
ledningsevne.

Ved et enkelt regnskyl er der analyseret for cadmium og chrom. I parentes er angivet benyttede forkortelser.

Analyserne er udført i henhold til VKI's analyseforskrifter, angivet bl.a. i /3/.

### 3.3 MÅLINGERNES TEKNIK

Målestationen var opbygget som vist på figur 3.2. Vandføringsenheden bestod af et sammensat måleoverfald, bestående af et  $90^\circ$ -overfald samt et rektangulært overfald skåret ud i en plade af vandfast krydsfinér, idet størrelsen af de enkelte måleoverfald tilpassedes de enkelte målestationer. Vandhøjden registreredes kontinuert ved hjælp af flyder med forbindelse til en skriverenhed. Fraktionsprøvetageren var af standardtype med en prøveudtagningsfrekvens på 15 minutter. Selve prøvetagningen igangsattes ved signal fra en tilsluttet vippekontakt, når vandføringen oversteg en for hver lokalitet defineret nedre grænseværdi. Nedbøren i området registreredes så vidt muligt ved nedbørsmåler med skriver.



Figur 3.2 Principudformning af målestation i nedgangsbrønd.



Målestationen "Søsporten". Måling af regnafstrømning -  
vejareal - fra Ladegårdsbakken, Skanderborg.

### 3.4 MÅLINGERNES GENNEMFØRELSE OG ERFARINGER FRA UNDER- SØGELSEN

Opstillingen af måleoverfald samt gennemførelsen af det "daglige" tilsyn er gennemført med bistand af medarbejdere ved

Ry kommunes tekniske forvaltning

Silkeborg kommunes tekniske forvaltning samt  
Levnedsmiddellaboratorieenheden

Skanderborg kommunes tekniske forvaltning

Viborg kommunes tekniske forvaltning

Århus amtskommune, Amtsvandvæsenet.

Som det fremgår af figur 3.2, har selve målestationen været opbygget i en nedgangsbrønd på hovedregnvandsledningen umiddelbart efter måleoplandet. (I regnvandsledningen, Nørremarken, Viborg, var det nødvendigt på grund af for stort fald på hovedledningen (mulighed for strygende bevægelse) at placere målestationen ca. 2 km uden for måleoplandet).

De anvendte komponenter i målebrønden har været forholdsvis ukomplicerede i udformning og princip, og med få undtagelser (frost og hærværk) har disse fungeret fysisk tilfredsstillende.

De største ulemper ved at anvende det enkle udstyr har dels været at synkronisere nedbørsregistrering, vandmængdemåling og prøvetagningstidspunktet, og dels har databearbejdningen været tidskrævende, idet kurvestrimler er blevet aflæst manuelt før overførsel til EDB.

Som naturligt er, spiller vejrforholdene en afgørende rolle for gennemførelsen af regnvandsundersøgelserne. Specielt betød det nedbørsfattige 1975 (200 mm under normalen), at antallet af regnhændelser var begrænset. Desuden har de gennemførte

undersøgelser haft en begrænset tidsramme, idet udstyret i et vist omfang skulle benyttes på mere end een målestation. Dette betyder, at målingerne kun delvist kan betragtes som kontinuerede samt typiske for normale nedbørsforhold.

Det kan derfor anbefales, at man ved fremtidige undersøgelser af regnafstrømning satser på et mere avanceret registreringsudstyr samt gennemfører målingerne på hver målestation over perioder af mindst 2 år.

Parallelt med prøvetagningen i kloaknettet søgtes gennemført en opsamling af nedbør med henblik på en sammenligning af forureningskomponenterne. Som opsamlingsbeholder anvendtes en plastbalje, der opstilledes uafskærmet umiddelbart over jorden i nærheden af eller inden for måleoplandet. Det må konstateres, at denne teknik ikke er anvendelig, idet dannelse af aerosoler i væsentligt omfang har givet forhøjede koncentrationsværdier. (F.eks. var nedbørsopsamlingen på Skanderborg rensningsanlæg præget af stoftilførsel fra forklaringstanke m.m.).

Såfremt man ønsker at gennemføre undersøgelser til belysning af stofnedfaldets sammensætning og mængde, anbefales det, at man anvender et opsamlingsprincip, hvor det tørre og "våde" nedfald adskilles automatisk, og at man opstiller sit udstyr således, at aerosoldannelsen får mindst mulig indflydelse på prøvetagningen.

#### 4. RESULTATER FRA "SØNDER EGE", RY

(Fælleskloakeret område, målinger  
på aflastningsbygværk)

##### 4.1 OPLANDSINFORMATIONER: SØNDER EGE, RY

Oplandet, der er kloakeret efter fællessystemprincippet, er på ca. 45 ha, og området består af:

ca. 38,5 ha boligområde,  
afstrømningskoefficient  $\phi = 0,35$

ca. 6,0 ha industriområde,  
afstrømningskoefficient  $\phi = 0,65$

Det samlede reducerede areal er derfor beregnet til ca. 17,5 ha.

Aflastningsbygværket er dimensioneret til at træde i funktion ved en opspædning 1 + 5, svarende til ca. 93 l/sek. Aflastningsbygværket og overløbsledningen er dimensioneret til en vandføring på 2.130 l/sek, idet der er benyttet en dimensionsgivende intensitet på 130 l/sek/ha.

Overløbsledningen har som recipient Knud sø og munder ud ved Sønder Ege campingplads.

##### 4.2 NEDBØR OG AFLASTNINGER

I måleperioden for afstrømning, januar 1974 til december 1975, er der registreret nedbør kontinuerligt i perioden november 1974 til december 1975. For "året 1975" er den samlede nedbørsmængde, registreret på nedbørsmåler, i Sønder Ege oplandet opgjort til 420 mm fordelt på 180 nedbørshændelser. I 1974 foretoges en daglig aflæsning af nedbørsmængden på rensningsanlægget i Ry, og totalmængden var ca. 680 mm. Det største regnskyl i "1975" var på 20 mm med en middelintensitet på 13 mm pr. time og en maksimal fem minutters intensitet på 4 mm (svarende til ca. 130 l/sek/ha).

På figur 4.1 er vist nedbørs- og aflastningshændelsernes fordeling og størrelse. I "året 1975" trådte aflastningsbygværket i funktion 57 gange, og der aflastedes i alt ca. 5.200 m<sup>3</sup> vand. Fordelingen af de 57 aflastningshændelser viste, at ved nedbørsmængder mindre end 0,5 mm skete der ingen aflastning, og ved nedbørsmængder større end 6 mm skete der aflastning ved alle regnhændelser.

I figur 4.2 er angivet nedbørs- og aflastningshændelsernes procentvise fordeling samt sandsynligheden for aflastning. Af figur 4.2 ses det, at ca. 82 % af regnhændelserne i "1975" var mindre end 4 mm, og at disse regnhændelser medførte, at ca. halvdelen (49 %) af de registrerede aflastninger indtraf. Af samme figur ses desuden, at der i "1975" situationen ved 4 mm nedbør var ca. 85 % sandsynlighed for aflastning.

På figur 4.3 er vist sammenhørende værdier af nedbørsmængder og tilsvarende aflastningsmængder for 1975. Det ses, at værdierne grupperer sig groft taget i to grupper. Den ene gruppe svarer til aflastninger, der skyldes store intensiteter, og den anden gruppe svarer til aflastninger, der skyldes store nedbørsmængder.

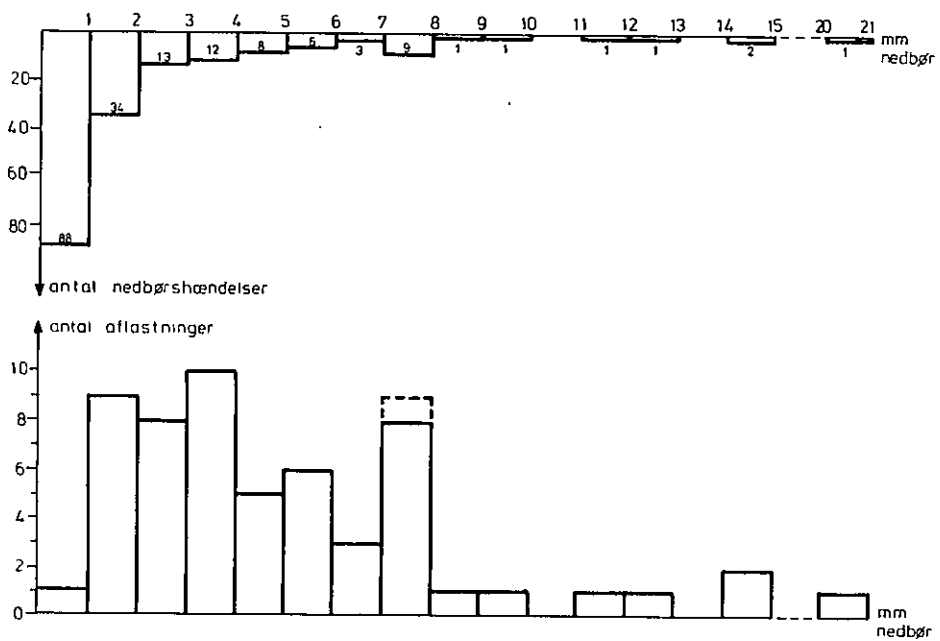
Betragtes de registrerede aflastninger i 1974 og 1975, fås de i tabel 4.1 angivne antal, mængder, varighed og fordeling.

	mm nedbør	Antal aflastninger	Antal m <sup>3</sup> aflastet	Varighed af samtlige aflastninger
"1974"	680	83	7800	70 timer
"1975"	420	57	5200	45 timer

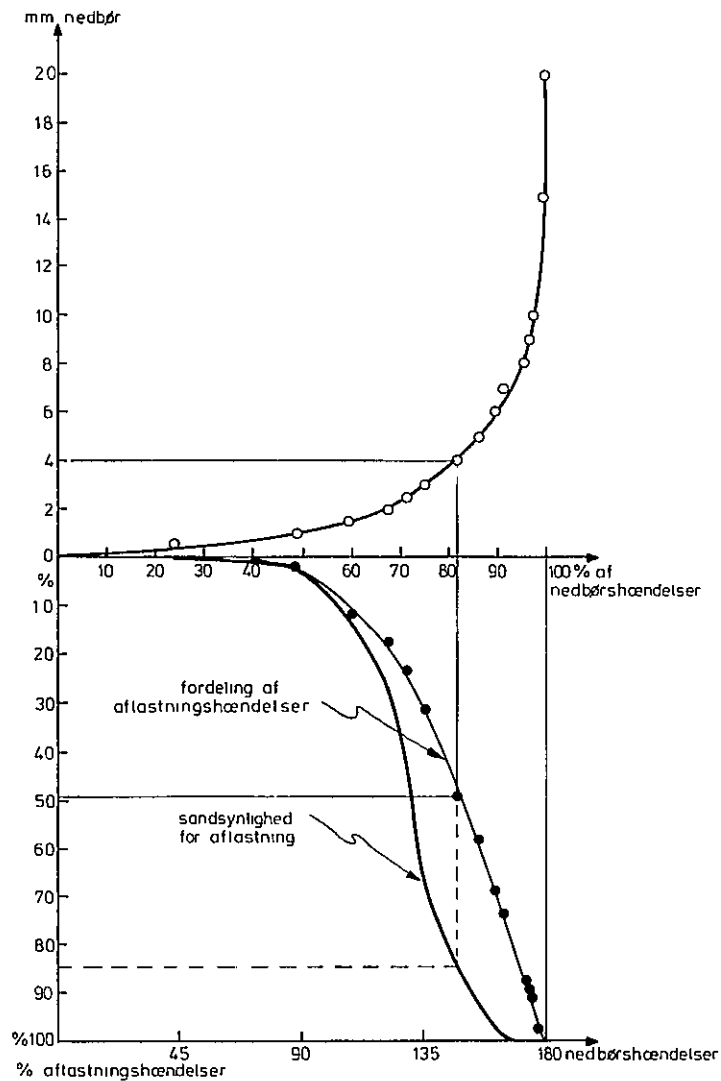
Usikkerheden på de angivne mængder skønnes at være 10 % - 20 %.

Tabel 4.1 Data vedrørende aflastningsforholdene 1974 og 1975  
Sønder Ege, Ry.



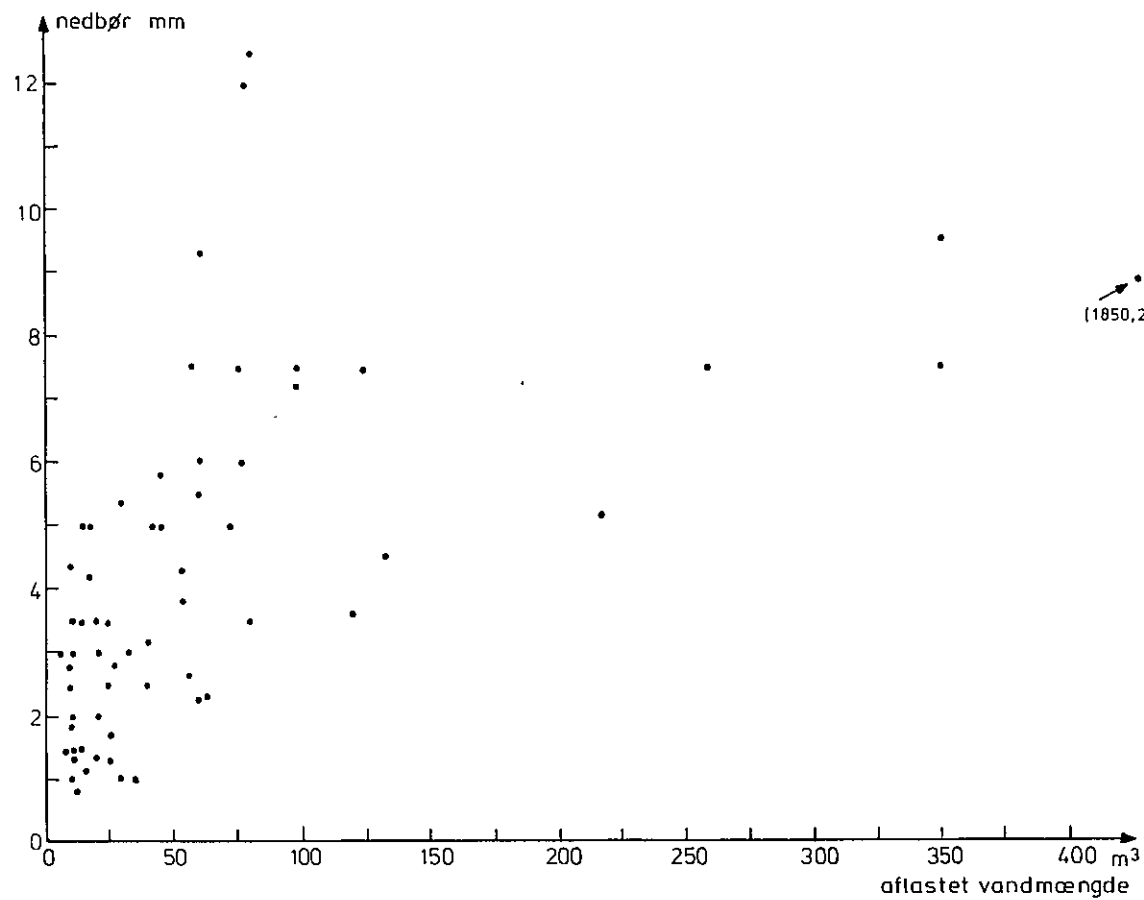


Figur 4.1 Sønder Ege, Ry.  
Nedbørs- og aflastningshændelsers fordeling  
og størrelse "1975".



Figur 4.2 Sønder Ege, Ry.  
Nedbørs- og aflastningshændelsers procentvise  
fordeling og sandsynlighed for aflastning, "1975".

Figuren viser sammenhængen mellem målte nedbørsmængder, nedbørs- og aflastningshændelser. Det ses, at 82 % af nedbørshændelserne er mellem 0 og 4 mm, og ved disse nedbørshændelser indtraf 49 % af de registrerede aflastningshændelser. Når nedbøren var 4 mm, var der 85 % sandsynlighed for aflastning.



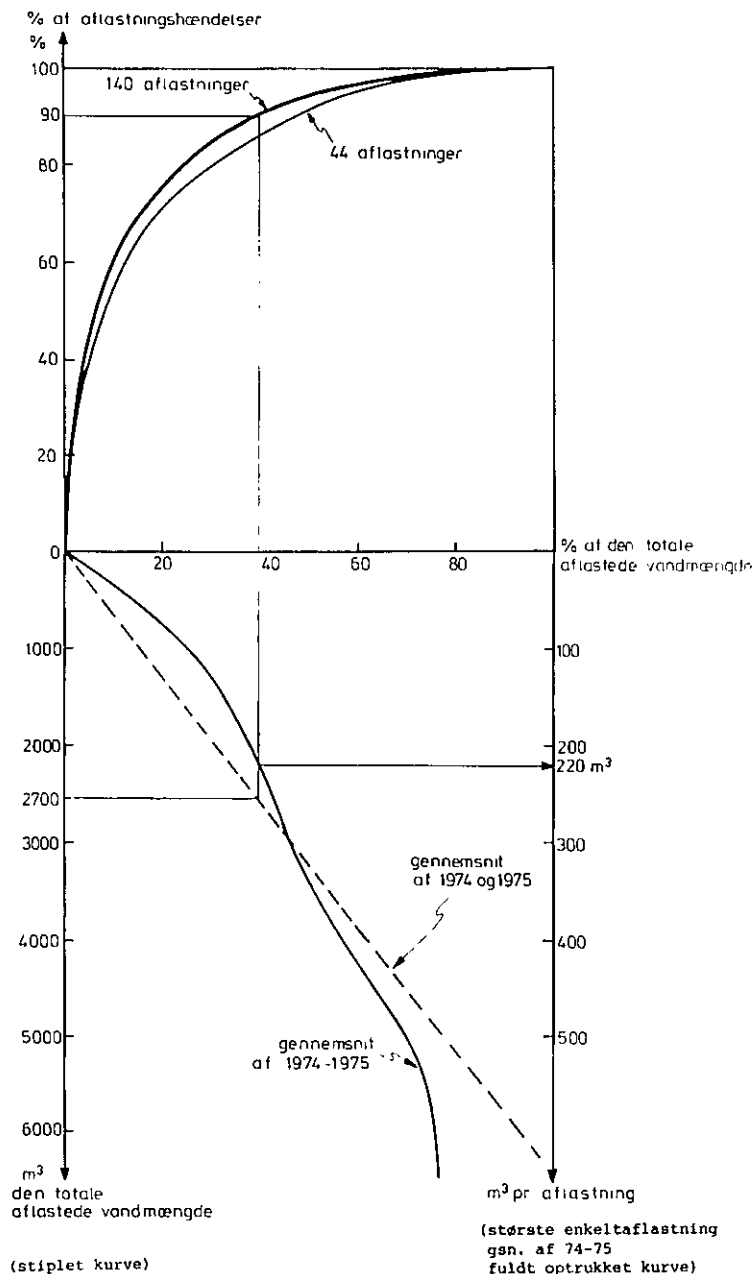
Figur 4.3 Sønder Ege, Ry.  
Sammenhørende værdier af nedbør (mm) og  
afloadede vandmængder (m<sup>3</sup>) 1975.

Fordelingen af aflastningsmængder månedsvis var således:

Månedsmængder	1974	1975
Januar	283	404
Februar	103	0
Marts	150	0
April	8	80
Maj	68	250
Juni	65	0
Juli	2140	485
August	2398	200
September	1948	2852
Oktober	126	773
November	218	113
December	247	0
Total	7760 m <sup>3</sup>	5160 m <sup>3</sup>

På figur 4.4 er vist den kumulerede fordeling af de aflastede mængder og den tilsvarende fordeling af aflastningshændelserne (140 hændelser) for hele måleperioden. Det ses, at ved 90 % af aflastningshændelserne er der aflastet ca. 40 % af den samlede aflastede vandmængde. På figur 4.4 er desuden indtegnet fordelingen af aflastningshændelser og afstrømmet vand for de aflastningshændelser (44), hvor der er udtaget prøver til kemisk analyse. De to kurver ses at have samme forløb, og største afvigelse er på ca. 5 %.

På figur 4.4 nedre del er vist den kumulerede aflastede mængde i 1974, 1975 og middelværdien af disse. Desuden er anført et kurvebånd for registrerede mængder ved de enkelte aflastningshændelser. Det ses, at 90 % af aflastningerne svarede til 40 % af den aflastede mængde, svarende til i alt 2.700 m<sup>3</sup> (gennemsnitsbetragtning), og ved disse aflastninger var den største enkelt aflastning ca. 220 m<sup>3</sup>.



Figur 4.4 Sønder Ege, Ry.

Kumuleret fordeling af aflastninger og aflastede mængder 1974 - 75 (140 aflastninger) og undersøgte aflastninger (44). Desuden er vist sammenhængen mellem % fordelte aflastede mængder og dels totale afstrømmede mængder (gsn. af 1974 - 75), dels den tilhørende maksimalt registrerede enkeltafkastning. Det ses, at 90 % af aflastningerne svarer til 40 % af de aflastede vandmængder, i alt 2.700 m<sup>3</sup>, og den største tilhørende enkeltafkastning var 220 m<sup>3</sup>.

Dette betyder, såfremt hændelserne for 1974 - 75 lægges til grund, at man ved at indskyde et sparebassin på ca.  $250 \text{ m}^3$  kan reducere antallet af aflastninger til 10 % (ca. 7 hændelser) af det nuværende antal årlige aflastninger. Disse aflastninger vil dog fortsat give anledning til aflastning af store vandmængder - af størrelsesordenen i alt  $2.000 \text{ m}^3$ , nemlig  $6.500 \text{ m}^3$  (1.750  $\text{m}^3$  (magasinmængden af 7 aflastninger) +  $2.700 \text{ m}^3$  (de totalt magasinerede aflastninger)).

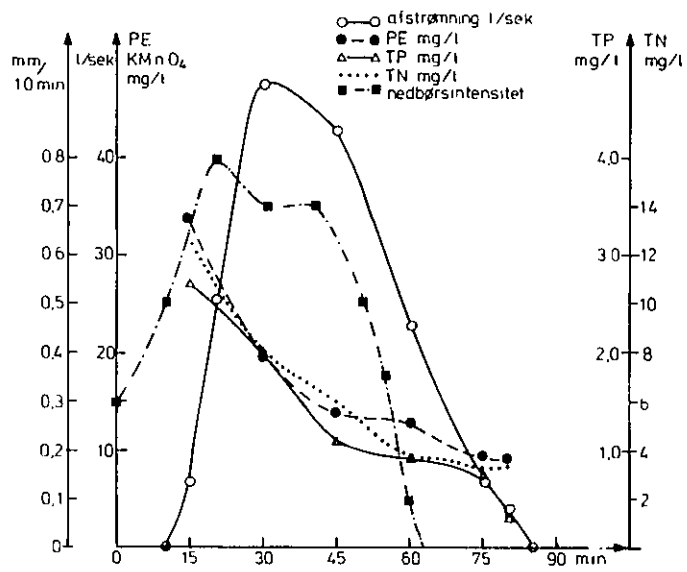
### 4.3 FORURENINGSFORHOLD VED AFLASTNING

Som tidligere nævnt er der udtaget prøver ved 44 aflastningssituationer. Samtlige analyseresultater fremgår af tabellerne, Bilag C. I figur 4.5 er vist den aflastningssituation, som er "bedst" beskrevet af de analyserede aflastninger.

Det ses, at koncentrationsforløbet for henholdsvis organisk stof (målt som iltforbrug med kaliumpermanganat,  $\text{COD}_{\text{perm}}$ , PE), total fosfor og total kvælstof klinger af med tiden. Dette udskylningsforløb er konstateret ved flere af aflastningerne, men i en række tilfælde er der konstateret afvigelser herfra. Dette kan f.eks. skyldes en forøget nedbørsintensitet mod slutningen af en regnhændelse. Et samlet overblik af stofafstrømningens fordeling som funktion af henholdsvis vandafstrømning og afstrømningstiden er givet i Bilag B, p. B69 - B79.

Det ses heraf, at en egentlig "first flush" effekt - bortset fra en antydning vedrørende organisk stof - ikke kan konstateres. Dette skyldes, at prøvetagningen alene har omfattet udtagning af vandprøver fra aflastet vand, d.v.s. at en eventuel "forureningsprop" hidrørende fra en "first flush" effekt normalt har passeret aflastningsbygværket, inden der har fundet aflastning sted.

For at vurdere eventuelle koncentrationssammenhænge mellem organisk stof, kvælstof og fosfor samt bly og suspenderet stof er der gennemført korrelationsanalyser for alle analyseværdier under eet. Det konstateredes, at der ikke kunne angives lineære sammenhænge mellem de nævnte stofkoncentrationer.



Figur 4.5 Sønder Ege, Ry.  
Nedbørs-, afstrømnings- og koncentrationsforløb for regnskyl og aflastning den 3. september 1975.

I tabel 4.2 vedrørende stofkoncentrationer er angivet de maksimalt målte enkelte værdier samt middelværdien for den aflastning, der havde maksimalbelastning, samt en beregnet (vandføringsvægtet) middelværdi for samtlige aflastninger.

STOFKONCENTRATIONER I AFLASTNINGSVAND				
	max. målt	middel af max.aflastning*)	vandføringsvægtet middel*)	gsn.koncentrationer spildevand, Ry
COD <sub>perm</sub>	70,0	56,0	19,0	100
TN	22,7	12,0	5,3	45
NH	6,4	5,3	1,8	30
NO	2,2	1,7	0,8	~ 0
TP	5,0	3,7	1,6	17
OP	1,6	1,4	0,5	7
PB	0,34	0,32	0,13	-
ZN	0,73	0,58	0,34	-

\*) Værdierne er bestemt på grundlag af stoftransportberegningerne, afsnit 4.4.

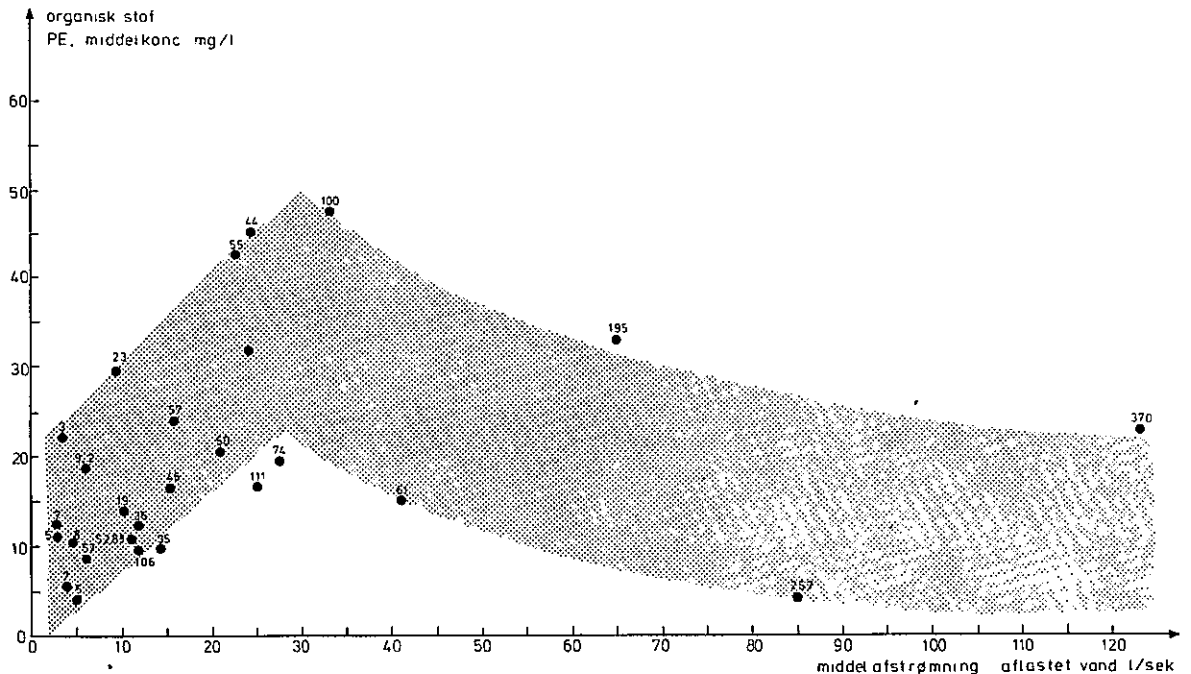
Tabel 4.2 Stofkoncentrationsværdier i aflastningsvand Sønder Ege, Ry, samt spildevand fra tilløbet til rensningsanlægget i Ry, /4/.

I tabel 4.3 er angivet afstrømningstid, afstrømmet mængde samt middel afstrømningsmængde og koncentration for organisk stof, fosfor og kvælstof for de aflastningshændelser, hvor der er foretaget analysering.



AFSTRØMNINGS- TID min.	AFSTRØMNINGS- MÆNGDE m <sup>3</sup>	MIDDEL- AFSTRØMNING l/sek.	"MIDDELKONCENTRATION"			ANTAL PRØVER
			(vægtet) mg/l			
			PE	TP	TN	
25	61,4	40,9	15,0	-	-	2
50	257,0	85,0	4,2	-	-	4
20	13,6	11,3	12,4	-	-	1
40	55,7	23,2	42,8	-	-	3
15	10,2	11,3	56,0	-	-	1
40	50,9	21,2	20,5	-	-	3
15	12,7	14,1	20,0	-	-	1
50	370,0	123,5	23,1	1,05	3,2	3
50	194,7	64,9	33,5	3,2	11,95	3
75	111,3	24,7	16,8	1,5	6,5	6
30	44,0	24,4	45,3	-	-	2
75	52,6	11,7	9,7	-	-	5
50	100,7	33,6	47,3	-	-	3
35	6,6	3,1	12,7	2,1	4,9	2
20	2,7	2,3	14,1	1,4	5,6	1
45	74,2	27,5	19,6	1,3	7,8	3
15	3,3	3,7	24,6	0,9	4,9	2
25	13,3	8,8	12,1	0,95	4,9	1
10	1,4	2,4	6,2	0,6	4,4	1
50	36,1	12,0	12,5	0,9	4,3	2
30	4,2	2,4	10,3	0,6	3,4	1
25	9,2	6,2	19,0	1,9	4,2	2
20	9,5	8,0	8,5	0,8	2,4	1
15	2,7	3,1	9,5	1,1	2,4	1
160	57,7	6,0	8,6	0,9	2,7	4
30	19,2	10,7	13,5	1,2	4,5	2
40	59,0	24,6	32,1	1,7	5,7	3
30	9,9	5,5	10,7	0,8	5,0	1
40	23,2	9,7	29,6	1,95	6,2	3
30	7,7	4,3	11,9	0,9	4,0	1
25	13,4	8,9	28,6	1,9	6,2	1
15	4,4	4,8	11,9	2,1	2,1	1
50	46,7	15,6	16,6	1,2	4,1	3
40	34,7	14,5	9,8	1,1	5,6	2
50	14,9	5,0	4,0	0,3	2,3	2
25	19,0	12,6	13,1	2,0	7,3	1
30	5,9	3,3	11,3	2,1	2,7	2
60	57,5	16,0	24,9	0,9	4,0	4
65	18,5	4,8	10,5	0,6	2,5	2
30	7,2	4,0	5,9	0,5	2,2	2
65	16,1	4,1	4,9	0,5	3,1	3
20	4,1	3,4	10,2	0,7	2,9	1
145	106,6	12,3	10,2	3,7	3,5	9
130	88,2	11,3	10,8	1,3	3,1	8

Tabel 4.3 Sammenfatning af afstrømningsresultater fra Sønder Ege, Ry, (opstillet i datoorden).



Figur 4.6 Sønder Ege, Ry. Sammenhørende værdier af middelaflastning - aflastet vand og middelkoncentrationen af organisk stof. Der er kun medtaget tilfælde, hvor der har foreligget mere end et analyseresultat. Desuden er angivet den totale aflastede mængde (m<sup>3</sup>).

I figur 4.6 er afbildet sammenhørende værdier af beregnet middelaflastning og middelkoncentration af organisk stof (jf. tabel 4.3), idet kun aflastningshændelser, hvor der foreligger to eller flere analyser, er medtaget.

Som et forsøg på at angive en sammenhæng mellem middelaflastningsværdierne ved aflastning og middelkoncentrationen af organisk stof er dernæst på figur 4.6 indlagt "to bånd", repræsenterende totale afstrømningsmængder. Det "ene bånd" dækker afstrømningsmængderne 5 - 100 m<sup>3</sup> for stigende afstrømningsintensitet op til 20 - 25 l/sek, og her er middelkoncentrationen voksende. Det "andet bånd" dækker afstrømningsmængderne 50 - 400 m<sup>3</sup> og afstrømningsintensiteter større end 20 - 25 l/sek, men her er middelkoncentrationen aftagende. Dette betyder, at der ved middelaflastningsintensiteter mindre end

20 - 25 l/sek , og når den samlede aflastning er mindre end 100 m<sup>3</sup>, i overvejende grad sker et aflastningsforløb, der viser en voksende udskylning af organisk stof fra flader og kloakker i takt med voksende middelaflastningsintensitet. Ved middelaflastningsintensiteter større end 20 - 25 l/sek , og når den samlede aflastede mængde er større end 50 m<sup>3</sup>, vil aflastningsforløbet for organisk stof være "styret" af en fortyndingseffekt. Det har ikke været muligt at eftervise, om foranliggende tørvejrperioders længde styrer niveauet af middelkoncentrationen for organisk stof, jf. afsnit 5.3.2.

Hvis de på figur 4.6 viste kurvebånd er repræsentative (data-materialet er begrænset), betyder dette, at såfremt man ønsker at begrænse koncentrationen af organisk stof (middelværdibetragtning) til f.eks. 30 mg/l, skal aflastninger op til 200 m<sup>3</sup> tilbageholdes for aflastningsbygværket ved Sdr. Ege.

Resultaterne af en statistisk behandling af samtlige data er givet i tabel 4.4.

Variable	Antal regnskyl, hvor den enkelte variabel er målt	Minimal middelkoncentration i et regnskyl mg/l	Maximal middelkoncentration i et regnskyl mg/l	Aritmetrisk middel-middelkoncentration for alle regnskyl mg/l	Standardafvigelse mg/l	Vandmængde-vægtet middel-middelkoncentration for alle regnskyl mg/l	Minimal belastning for et enkelt regnskyl gram	Maximal belastning for et enkelt regnskyl gram	Middelbelastning for alle regnskyl gram	Standardafvigelse gram
VF	44	2,25 *	123,5 *	15,2 *	20,6 *		1,4 **	438,0 **	52,0 *	87,0 *
PE	44	4,0	56,0	17,6	12,135	19,072	8,7	8562,9	994,8	1725,1
SS	8	0,027 *)	0,404 *)	0,121 *)	0,127 *)	0,214 *)	0,1 **)	45,0 **)	11,0 **)	17,44 **)
TP	34	0,33	3,71	1,31	0,76	1,635	0,8	629,4	69,97	136,4
PO	30	0,15	1,36	0,47	0,35	0,449	0,5	41,5	10,02	10,70
TN	34	2,1	11,95	4,42	2,03	5,25	6,1	2326,6	224,6	443,65
NO	30	0,04	1,66	0,83	0,39	0,79	0,8	123,0	17,58	24,02
NH	30	0,14	5,28	1,73	1,27	1,81	0,4	237,4	40,3	52,57
PB	11	0,01	0,32	0,142	0,109	0,126	0,1	30,3	6,39	8,79
ZN	12	0,16	0,58	0,29	0,128	0,336	0,9	81,6	18,09	22,6

\* enhed l/sek - \*\* enhed m<sup>3</sup> - \*) enhed g/l - \*\*) enhed kg

Tabel 4.4 Statistisk behandling af koncentrationsværdier og mængder i aflastningsvand: Sønder Ege, Ry.

#### 4.4 STOFTRANSPORTER

I Bilag C er for hver enkelt regnskyl angivet resultaterne af stoftransportberegninger for de enkelte analysevariable og middel-, minimums- og maksimumsbelastningsværdierne er angivet i tabel 4.4. Det fremgår af den statistiske behandling, at der er meget stor spredning på talmaterialet. På grundlag af samtlige stoftransportværdier er en vandmængdevægtet middelkoncentration beregnet.

I tabel 4.5 er denne for udvalgte analysevariable sammenlignet med tilsvarende værdier fra Norge og Danmark.

Lokalitet	Antal personer pr. ha	MIDDELSTOFKONCENTRATIONER, mg/l			
		Biokemisk iltforbrug	Total-P	Total-N	
Sønder Ege, Ry	35	BI <sub>5</sub> 30*)	1,6	5,3	
Birkerød	27	BI <sub>5</sub> 35	1,4	4,9	
Bislettbekken	140	BI <sub>7</sub> 200	2,4	8,2	
Rukklabekken	23	BI <sub>7</sub> 103	4,0	14,4	
Øya	84	-	3,0	-	
Solvik	16	-	1,7	-	

\*) Skønnet p.g.a. COD<sub>perm</sub> værdi på 19,0 mg/l.

Tabel 4.5 Sammenligning mellem resultater fra større, nyere aflastningsundersøgelser i Norge /5/, fra Birkerød /6/ og Sønder Ege.

Det ses af tabel 4.5, at der er god overensstemmelse mellem middelkoncentrationsniveauet for Birkerød og Ry, hvorimod der er store forskelle, når de norske værdier betragtes.

Idet den gennemsnitlige aflastningsmængde for 1974 og 1975 på 6.500 m<sup>3</sup> samt middelkoncentrationerne lægges til grund, fås en årlig næringsstofudledning på:

total fosfor	10,5 kg/år
total kvælstof	35 kg/år,

svarende til:

total fosfor	0,23 kg/ha/år	(0,24)
total kvælstof	0,8 kg/ha/år	(0,9),

idet mængderne fordeles på hele oplandet. Tal i parentes angiver de tilsvarende værdier for Birkerød kommune (1975 - 76).

Næringsstofftilførslen til Knudsø fra Ravnsø via Knud å, der er det mest betydende tilløb, er ved Stoftransportundersøgelsen / 7 / for 1974 opgjort til:

total fosfor	1 ton/år
total kvælstof	42 ton/år,

d.v.s. at næringsstofmængderne fra aflastningsbygværket ved Sønder Ege udgør ca. 1 % af stofftilførslen fra Knud å.

Opgøres for organisk stof ( $COD_{perm}$ ) den årligt aflastede mængde, er denne 125 kg. Den årlige transport med Knud å er 59 ton, d.v.s. et forhold 1:470. Ved vurderingen af stofudledning under regn er en middelværdibetragtning i øvrigt ikke altid rimelig. En aflastningsvurdering, der tager hensyn til recipientsystemets dynamik, herunder opholdstider, opblandingsforhold, omsætningshastigheder etc., må anses for den rette betragtningssmåde. For aflastningen af organisk stof ses det, at det regnskyl, der har den største stofudledning pr. sekund, udleder ca. 5 g  $COD_{perm}$ /sek i en 15 minutters periode. I Knud å var den til stort samme tidspunkt målte transport af organisk stof 0,1 g/sek, d.v.s. et forhold 50:1.

En stofudledning på 5 g COD<sub>perm</sub>/sek i 15 minutter svarer til udledningen af urensset spildevand fra 1.200 personer, gældende for samme tidsrum.

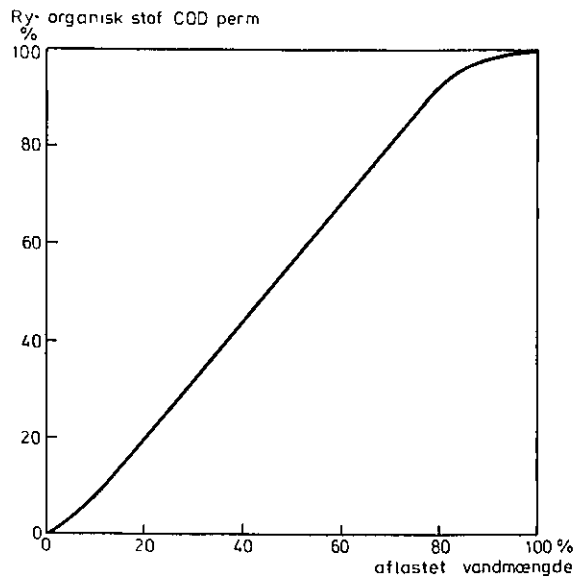
For at vurdere sammenhængen mellem totale aflastede vandmængder og totale aflastede stofmængder er der foretaget en korrelationsberegning. Beregningen gav følgende korrelationskoefficient:

			<u>Antal hændelser</u>	<u>r</u>
VF	~	PE	44	0,75
VF	~	TP	34	0,82
VF	~	PO	30	0,84
VF	~	TN	34	0,79
VF	~	NO	30	0,80
PE	~	TP	34	0,84
PE	~	OP	30	0,78
PE	~	TN	34	0,87
TP	~	PO	30	0,87
TP	~	TN	34	0,92
TN	~	NO	30	0,90
TN	~	NH	30	0,90
NO	~	NH	30	0,79

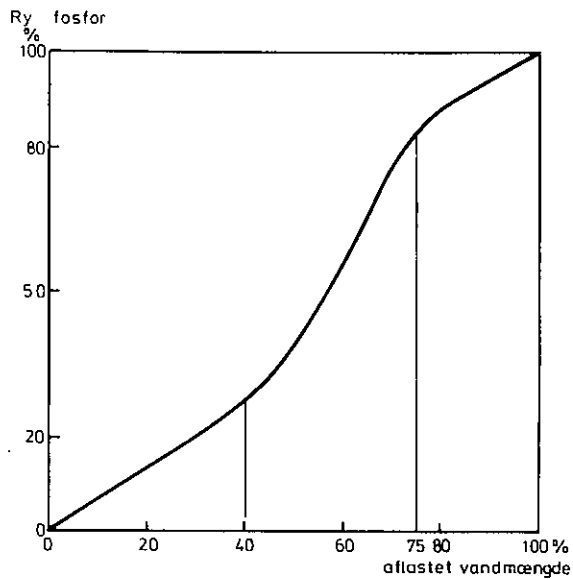
idet parameterverdier, hvor  $r < 0,70$ , ikke er medtaget.

Der er således en tilnærmelsesvis lineær sammenhæng mellem de totale aflastede vandmængder og den samlede udledning af organisk stof og næringssalte.

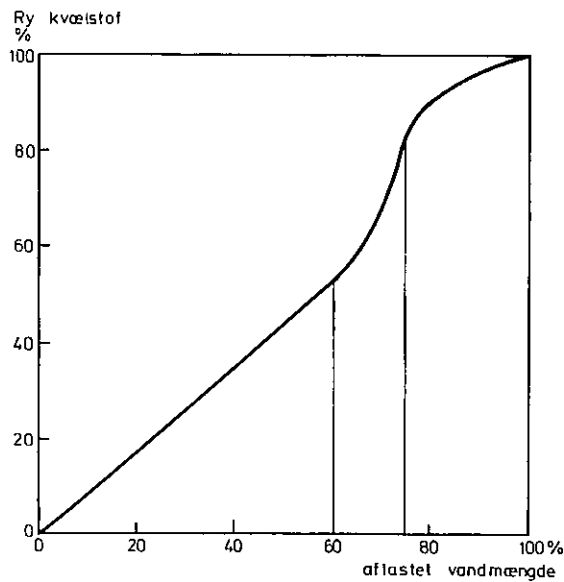
I figurerne 4.7, 4.8 og 4.9 er afbildet sammenhængen mellem % aflastet vand og % afstrømmet stof.



Figur 4.7



Figur 4.8



Figur 4.9

Sønder Ege, Ry.  
Sammenhæng mellem % aflastet  
vand og % afstrømmet stof.

Det ses af figurerne 4.7, 4.8 og 4.9, at for organisk stof er de aflastede stofmængder ligefrem proportionale med de aflastede vandmængder. For total fosfor sker der en forøgelse i afstrømmet stofmængde af størrelsesordenen 54 %, når aflastningsmængden stiger fra 40 % til 75 %. For kvælstof ses et tilsvarende forløb. Dette betyder, at såfremt man ønsker at reducere udledningen af næringsstof ved aflastningsbygværket, vil en forureningsbegrænsende indsats over for vandmængderne, svarende til 75 % af de aflastede mængder, være den mest rationelle.



## 5. RESULTATER FRA "NØRREMARKEN", VIBORG OG "SKVÆTMØLLE", SKANDERBORG

(Separatkloakerede områder, måling i  
hovedkloak)

### 5.1 OPLANDSINFORMATIONER

#### 5.1.1 NØRREMARKEN, VIBORG

Oplandet, der er kloakeret efter separatsystemprincippet,  
er på ca. 159 ha, og området består af:

ca. 104 ha industriområde,  
afstrømningskoefficient  $\varphi = 0,65$

ca. 38 ha boligområde,  
afstrømningskoefficient  $\varphi = 0,35$

ca. 17 ha grønne arealer,  
afstrømningskoefficient  $\varphi = 0,1$

Det reducerede areal er derfor beregnet til ca. 80 ha.

Regnvandssystemet afleder til Nørremølleå, umiddelbart før  
denne løber ud i Viborg Nørresø.

#### 5.1.2 SKVÆTMØLLE, SKANDERBORG

Oplandet, der er kloakeret efter separatsystemprincippet,  
var pr. 1. januar 1974 tilsluttet et samlet opland på 27 ha  
blandet bolig- og institutionsareal. Det tilsvarende reduce-  
rede opland var ca. 14 ha.

Regnvandssystemet afleder til den tidligere mølledam ved  
Skvætmølle, hvorfra vandet løber til Skanderborg sø.

## 5.2 NEDBØRSFORHOLD

### 5.2.1 "NØRREMARKEN", VIBORG

I måleperioden 1. marts til 14. oktober 1975 registreredes i alt 310 mm nedbør, og for 1975 angav Meteorologisk Institut årsnedbørsmængden til 545 mm for Viborg området. Årsnormalnedbøren er ca. 700 mm.

I undersøgelsesperioden er der i alt registreret 160 nedbørshændelser, og af disse er der gennemført prøvetagning og opgørelse af afstrømningsmængder ved 16 regntilfælde. Ved disse 16 regnskyl var den samlede nedbørsmængde ca. 80 mm og det største regnskyl af disse var på ca. 13 mm.

### 5.2.2 "SKVÆTMØLLE", SKANDERBORG

I måleperioden 25. april til 12. november 1974 registreredes i alt 400 mm nedbør, og for 1974 opgav Meteorologisk Institut årsnedbørsmængden til 730 mm.

I måleperioden 20. april til 17. november 1975 registreredes i alt 250 mm nedbør, og for 1975 angav Meteorologisk Institut årsnedbørsmængden til 442 mm for Skanderborg oplandet. Årsnormalnedbøren er ca. 640 mm.

Det største regnskyl var på 19 mm. I undersøgelsesperioderne er der registreret ca. 200 nedbørshændelser, og af disse er der gennemført prøvetagning og opgørelse af afstrømningsmængder ved 27 regntilfælde. Ved disse 27 regnskyl var den samlede nedbørsmængde 90 mm, og det største regnskyl af disse var på 15 mm.

## 5.3 AFSTRØMNINGS- OG FORURENINGSFORHOLD

### 5.3.1 AFSTRØMNINGSFORHOLD

For at vurdere, hvor stor en del af nedbøren der ved de undersøgte regnskyl er blevet tilført regnvandssystemet, er middelaflstrømningskoefficienten for de enkelte undersøgte regnskyl beregnet, og endelig er en vægtet middelaflstrømningsværdi opgjort.

Disse fremgår af tabel 5.1.

Det ses, at der er stor variation i de beregnede værdier, og det har været forsøgt at forklare denne variation ud fra en teori om regnintensitetens størrelse og/eller længden af tørvejrperioden forud for regnhændelsen.

Middelaflstrømningskoefficienterne afviger væsentligt fra de teoretisk fastsatte ( $\varphi = 0,50$  for begge oplande). Det må antages, at de usædvanlige nedbørsforhold i 1975 er årsagen til disse afvigelser, og at der ved normale nedbørsforhold ville være nogenlunde overensstemmelse mellem beregnede og teoretiske værdier (således er aflstrømningskoefficienten for 1974-målingerne ved Skvætmølle oplandet bestemt til  $\varphi_{\text{middel 74}} \sim 0,33$ ).

	NEDBØR mm	AFSTRØMMENDE VANDMÆNGDE Q afstrøm m <sup>3</sup>	BEREGNET AFSTRØM- NINGSKOEFFICIENT $\varphi$ middel	FORUDGÅENDE ANTAL TØRVEJRS DAG
	3,5	46	0,05	17
	1,1	43	0,15	4
	3,2	303	0,35	0
1974	0,9	13	0,05	0
MÅLIN-	0,9	129	0,53	1
GER	3,9	397	0,38	0-1
	15,0	1519	0,38	1
	0,6	37	0,23	0
	1,6	169	0,39	0
	5,0	474	0,35	0
	-	325	-	0
	4,0	225	0,21	20
	3,2	154	0,18	1
	2,7	67	0,09	0
	2,6	98	0,14	0
	2,3	67	0,11	0
	5,7	393	0,26	38
	2,0	47	0,09	2
1975	5,2	109	0,08	3
MÅLIN-	6,5	340	0,19	5
GER	1,5	67	0,17	20
	8,2	206	0,09	0
	2,6	84	0,12	0
	4,4	180	0,15	6
	1,5	20	0,05	6
	0,8	48	0,22	2
	-	-	-	-
	1,0	29	0,11	0
TOTAL	89,9	5635	0,23	-

Tabel 5.1 Skvætmølle, Skanderborg.

Opgørelse over nedbørsmængder og totale afstrømningsmængder for "27 undersøgte regnskyl". Desuden er angivet en beregnet middelaflstrømningskoefficient ( $Q_{afst} = \varphi_{middel} \cdot A \cdot 10 N$ ), idet oplandsarealet A er 27 ha og  $N =$  nedbøren i mm.

### 5.3.2 FORURENINGSFORHOLD

I Bilag C er samtlige analyse- og afstrømningsværdier for de undersøgte regnskyl angivet. Desuden er i Bilag C angivet stoftransportværdier, beregnede middelkoncentrationsværdier samt fordelingen af afstrømning (%) og tilsvarende stoftransport (%).

Som eksempel på sammenhængen mellem tid og afstrømningsforløbet af forskellige analysevariable er i figur 5.1 vist afstrømningsforløbet for regnskyl den 10. juli 1975 ved Skvætmølle.

Det ses af figur 5.1, at der for alle analysevariable sker en udvaskning af flader m.m., og at der efter ca. 60 minutters forløb indstiller sig et basisniveau for koncentrationen af organisk stof, total fosfor, total kvælstof, suspenderet stof og zink. Blykoncentrationen ses at have stabiliseret sig efter ca. 30 minutters forløb. Det viste regnskyl indtraf efter ca. 38 tørvejrsgdgn, og de fundne maksimalkoncentrationer er de højest målte. Dette skyldes dels regnhændelsens intensitet (5,7 mm på ca. 30 minutter) og dels stofakkumuleringen på befæstede flader, tage etc., og det betragtede regnskyl udviser således et pænt "first flush" udskyllingsforløb.

For at vurdere en eventuel sammenhæng mellem koncentrationerne af

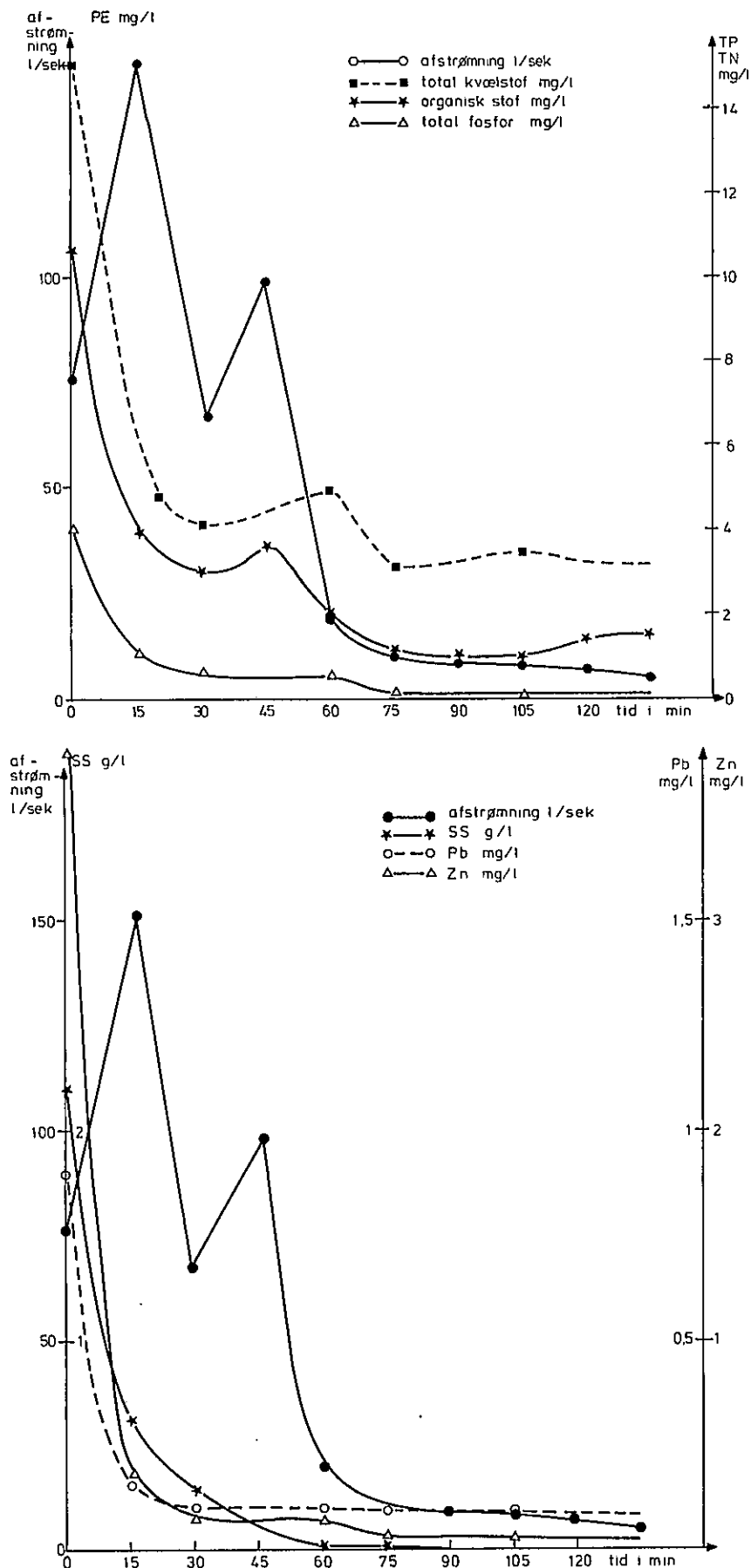
suspenderet stof og total fosfor

suspenderet stof og bly

organisk stof og total fosfor

organisk stof og total kvælstof

er der gennemført regressionsanalyser for de nævnte parametre. Resultatet heraf er for alle de undersøgte lokaliteter angivet i Bilag A.



Figur 5.1 Skvætmølle, Skanderborg.

Afstrømnings- og koncentrationsvariationer for analysevariablerne: organisk stof, total fosfor, total kvælstof, suspenderet stof, bly og zink. Regnskyl den 10. juli 1975.

For Skvætmølle oplandet fandtes god korrelation mellem koncentrationen af suspenderet stof og fosfor samt bly (kun 11 værdier). Der var kun korrelation mellem organisk stof og kvælstof. Dette bekræfter, at fosfortilførslerne i høj grad skyldes "erosionsprodukter" (sand, hvortil fosfor er stærkt bundet) fra slugterne ved Skvætmølle.

For Nørremarken, Viborg, oplandet fandtes en mindre god korrelation mellem koncentrationen af suspenderet stof og fosfor samt mellem organisk stof og kvælstof.

De beregnede vægtede middelværdier, beregnet for hvert enkelt regnskyl, anført i Bilag C, er sammenstillet i tabel 5.2, der angiver middelværdierne for Skvætmølle og Nørremarken. Der er gennemført en regressionsvurdering på værdierne i tabel 5.2, og denne viser, at der ikke er nogen lineær korrelation mellem de beregnede middelværdier.

Skanderborg - Skvætmølle

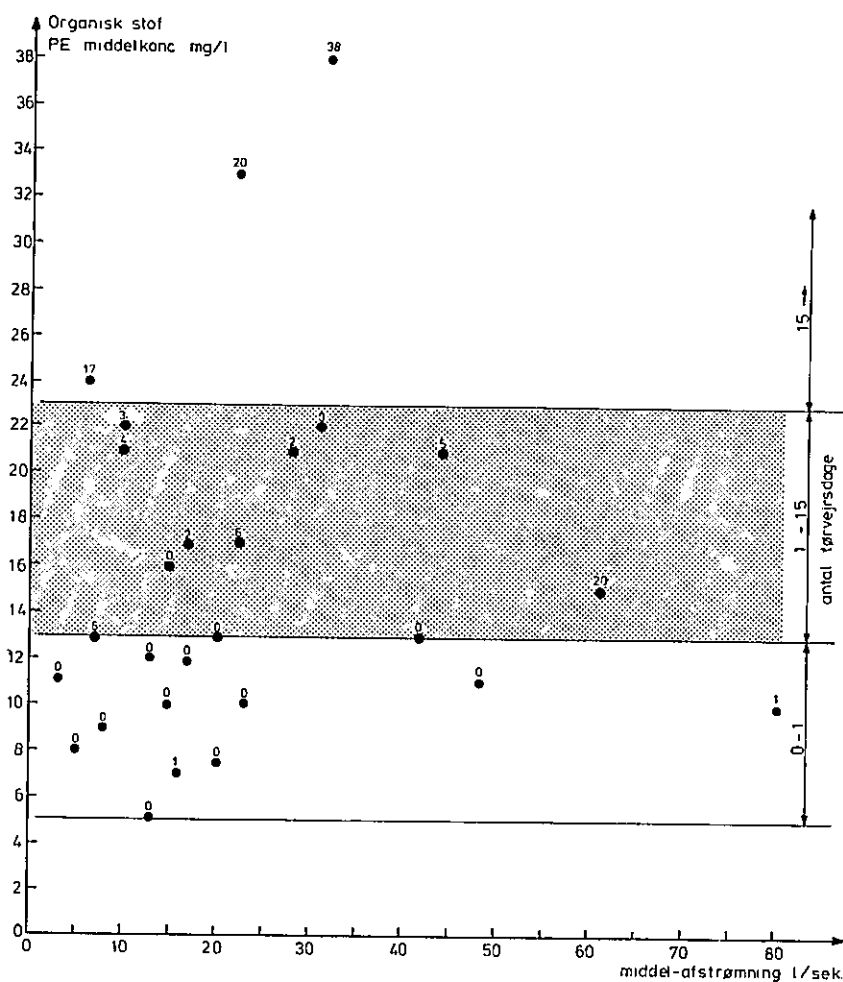
ØRS	VF	PE	SS	TP	PO	TN	NO	NH	PB	ZN
1	30.042	9.791	.	.	.	.	.	.	.	.
2	20.304	7.476	.	.	.	.	.	.	.	.
3	20.406	13.097	.	.	.	.	.	.	.	.
4	30.809	21.216	.	.	.	.	.	.	.	.
5	35.422	7.318	.	.	.	.	.	.	.	0.003
6	22.259	33.300	.	.	.	.	.	.	.	.
7	13.216	11.554	.	.	.	.	.	.	.	.
8	42.165	12.881	.	.	.	.	.	.	.	.
9	12.740	4.808	.	1.080	0.748	1.225	0.306	0.103	.	0.046
10	15.079	15.318	.	0.347	.	3.109	.	.	.	.
11	17.107	16.321	.	0.340	.	2.404	.	.	.	.
12	5.662	12.871	.	0.322	.	3.794	.	.	.	.
13	31.793	38.160	0.485	1.040	.	5.299	.	.	0.187	0.528
14	9.794	21.466	.	.	.	.	.	.	.	.
15	9.969	21.436	.	1.522	.	4.164	.	.	.	.
16	22.222	17.360	0.202	0.579	.	3.972	.	.	.	.
17	3.190	10.952	.	1.039	0.128	3.333	2.289	0.097	.	.
18	48.070	19.315	.	1.154	0.309	2.522	1.005	0.130	.	.
19	23.443	10.229	.	1.095	0.333	2.728	1.660	0.333	.	.
20	16.231	7.010	.	0.564	0.203	1.256	0.338	0.170	.	.
21	6.175	21.608	.	0.673	0.403	1.340	0.414	0.919	.	.
22	15.454	12.308	.	2.347	0.636	3.341	0.892	0.755	.	.
23	8.137	8.832	.	0.976	0.255	2.558	0.805	0.345	.	.
24	4.650	7.305	.	1.619	0.872	2.683	0.348	0.990	.	.
25	14.856	10.126	.	1.746	0.796	2.820	0.546	1.010	.	.
26	28.317	21.358	0.188	0.437	.	3.958	.	.	0.100	0.117
27	43.675	21.199	0.288	0.439	.	3.665	.	.	0.137	0.144

Viborg - Nørremarken

ØRS	VF	PE	SS	TP	PO	TN	NO	NH	PB	ZN
1	26.103	11.168	.	0.297	0.232	5.913	3.116	1.864	0.102	0.371
2	14.250	3.705	0.054	0.242	0.054	6.579	3.987	1.291	0.099	0.326
3	4.664	3.768	.	0.079	0.024	3.930	2.868	0.580	.	.
4	22.715	16.787	.	0.398	.	4.311	.	.	.	.
5	9.587	7.509	.	0.267	.	2.835	.	.	.	.
6	10.675	7.112	.	0.253	.	2.143	.	.	.	.
7	38.117	5.475	.	.	.	.	.	.	.	.
8	18.633	29.535	0.086	0.292	.	7.090	.	.	0.038	.
9	37.636	13.411	0.128	0.417	.	6.378	.	.	.	.
10	63.219	3.955	0.103	0.356	.	3.755	.	.	.	.
11	19.139	21.359	0.080	0.314	.	3.969	.	.	0.109	0.268
12	13.400	9.470	.	.	.	.	.	.	.	.
13	25.845	9.772	.	.	.	.	.	.	.	.
14	13.871	15.381	.	.	.	.	.	.	.	.
15	94.573	8.475	.	.	.	.	.	.	.	.
16	21.492	8.900	.	.	.	.	.	.	0.108	0.121

Tabel 5.2 Middelfaststrømningsintensitet og middelfastkoncentrationer for hvert enkelt regnskyl. Enheden VF = l/sek, SS = g/l og resten er mg/l.

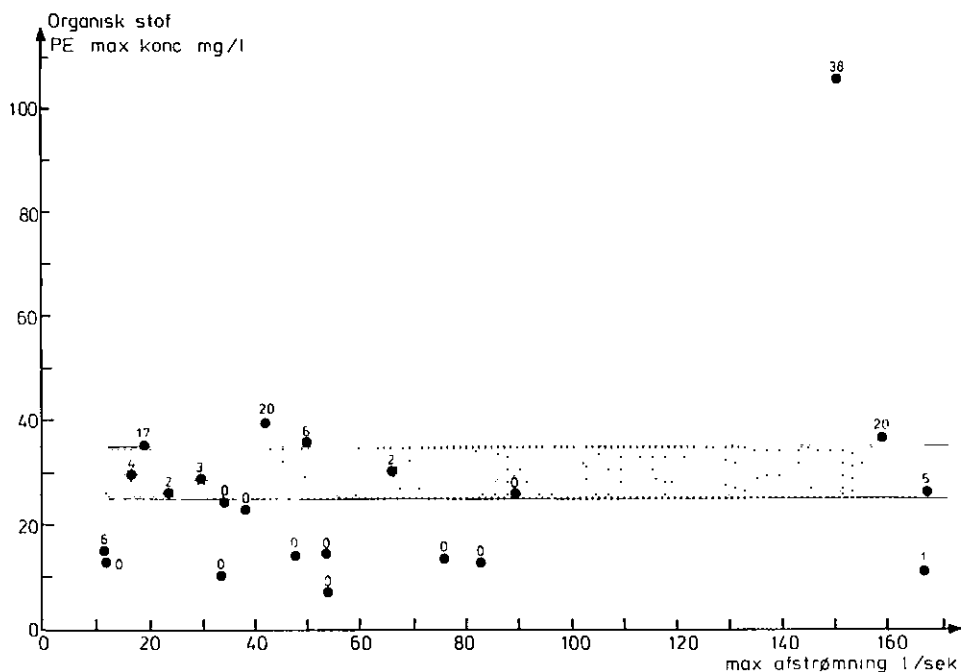
På figur 5.2 er for Skvætmølle oplandet angivet sammenhørende værdier mellem middelaflstrømningen (l/sek) og middelkoncentrationen af organisk stof. Desuden er angivet antal tørvejrdsdage forud for regnhændelsen. Det ses, at middelkoncentrationsværdierne - groft taget - deler sig i tre grupper, svarende til en forudliggende tørvejrdsperiode på 0 - 1 døgn, 1 - 15 døgn, mere end 15 døgn.



Figur 5.2 Skvætmølle, Skanderborg. Sammenhørende værdier (27) af middelaflstrømning (l/sek) og middelkoncentration af organisk stof (mg/l). Desuden er anført antal forudliggende tørvejrdsdage.



En analog afbildning af maksimalafstrømningsværdier og tilhørende maksimalkoncentration af organisk stof er vist på figur 5.3 (NB. ændrede akseværdier), og der kan foretages en tilsvarende opdeling efter tørvejrperiodens længde.



Figur 5.3 Skvætmølle, Skanderborg. Sammenhørende værdier (22) af maksimal afstrømning (l/sek) og tilhørende maksimal koncentration af organisk stof (mg/l). Desuden er anført antal forudliggende tørvejrsgange.

Data er angivet i tabel 5.8.

Det kan sammenfattende skønnes, at koncentrationsniveauet for organisk stof ( $COD_{perm}$ ) ved blot et tørvejrsgang øges ca. 10 mg/l, hvad enten middel- eller maksimalkoncentrationsniveauet betragtes. Tørvejrperioder på 1 - 15 døgn ser ikke ud til at have koncentrationsniveauet væsentligt, derimod kan der ved ekstremt lange tørvejrperioder akkumuleres - og dermed afspules store mængder akkumuleret stof. (Denne afspuling af stof er intensitetsafhængig, men har ikke kunnet vurderes på grund af det begrænsede datamateriale).

## 5.4 STOFTRANSPORTER

### 5.4.1 FOSFOR OG KVÆLSTOF

I Bilag C er for hvert enkelt regnskyl angivet resultaterne af stoftransportberegninger for de enkelte analysevariable. I tabel 5.3 er på grundlag af stoftransportberegningerne angivet middel-, minimums- og maximumsbelastningsværdier for alle regnskyl fra Viborg og Skanderborg (Skvætmølle) oplandene. Det fremgår af den statistiske behandling, at der er meget stor spredning på talmaterialet.

På grundlag af samtlige stoftransportværdier er desuden beregnet en vandmængde vægtet middelkoncentration, og denne er anført i tabel 5.3.

I tabel 5.4 er de vægtede middelkoncentrationsværdier (for udvalgte analysevariable) fra Viborg og Skanderborg (Skvætmølle) sammenlignet med tilsvarende værdier fra Norge.

Det ses, at der generelt er store forskelle i de angivne resultater. Betragtes resultaterne fra Skanderborg og Viborg skyldes den høje fosforkoncentration i Skanderborg, at en del af oplandet består af et meget bakket naturområde med et befæstet stisystem, der afvander til regnvandsledningen. "Erosionsmaterialer" fra det bakkede naturområde tilføres således målestationen under regn, og det høje indhold af fosfor skyldes et forhøjet indhold af partikulært materiale.

Benyttes de fundne middelværdier til at foretage en årstransportopgørelse, må det indskydes, at der ikke indgår analyseværdier fra november - februar måned i undersøgelsesmaterialet. Det kan dog antages, at middelkoncentrationsniveauet er nogenlunde fastlagt ud fra de gennemførte prøvetagninger

VIBORG

Variable	Antal regnskyl, hvor den enkelte variabel er målt	Minimal middelmiddel-koncentration i et regnskyl mg/l	Maximal middelmiddel-koncentration i et regnskyl mg/l	Aritmetrisk middelmiddel-koncentration for alle regnskyl mg/l	Standardafvigelse mg/l	Vandmængde- vægtet middelmiddel-koncentration for alle regnskyl mg/l	Minimal belastning for et enkelt regnskyl gram	Maximal belastning for et enkelt regnskyl gram	Middelmiddel belastning for alle regnskyl gram	Standardafvigelse gram
VF	16	4,66 *	94,57 *	26,99 *	22,98 *		117,0**	1320,0**	505,4**	340,7**
PE	16	3,768	29,535	11,299	6,771	10,401	876,8	18834,6	5257,0	4320,3
SS	5	0,054*)	0,128*)	0,090*)	0,027*)	0,095*)	8,1**)	93,5**)	45,2**)	32,0**)
TP	10	0,079	0,417	0,292	0,095	0,286	31,1	324,4	123,3	91,7
PO	3	0,024	0,232	0,103	0,112	0,097	8,0	110,6	45,9	56,3
TN	10	2,143	7,090	4,690	1,690	4,713	274,5	4521,5	2077,7	1389,1
NO	3	2,868	3,987	3,324	0,588	3,069	596,6	2257,0	1447,4	831,0
NH	3	0,580	1,864	1,245	0,643	1,088	193,1	890,4	513,4	352,1
PB	5	0,038	0,109	0,091	0,030	0,086	14,9	57,9	36,8	17,5
ZN	4	0,121	0,371	0,272	0,108	0,254	48,7	177,4	90,3	57,2

SKANDERBORG

Variable	Antal regnskyl, hvor den enkelte variabel er målt	Minimal middelmiddel-koncentration i et regnskyl mg/l	Maximal middelmiddel-koncentration i et regnskyl mg/l	Aritmetrisk middelmiddel-koncentration for alle regnskyl mg/l	Standardafvigelse mg/l	Vandmængde- vægtet middelmiddel-koncentration for alle regnskyl mg/l	Minimal belastning for et enkelt regnskyl gram	Maximal belastning for et enkelt regnskyl gram	Middelmiddel belastning for alle regnskyl gram	Standardafvigelse gram
VF	27	3,19 *	80,04 *	23,46 *	18,55 *		13,0**	1519,0**	208,7**	294,1**
PE	27	4,808	38,160	15,208	8,043	12,798	140,5	14995,3	2671,4	3349,2
SS	4	0,188*)	0,485*)	0,291*)	0,137*)	0,338*)	20,5**)	190,6**)	86,4**)	72,1**)
TP	18	0,322	2,347	0,962	0,567	0,520	6,6	856,3	233,9	262,6
PO	10	0,128	0,872	0,468	0,270	0,368	1,6	308,0	125,6	111,9
TN	18	1,225	5,299	3,012	1,080	2,499	42,7	2082,3	635,3	635,9
NO	10	0,306	2,289	0,860	0,654	0,580	12,8	513,5	198,0	171,6
NH	10	0,097	1,010	0,485	0,388	0,305	1,2	257,6	104,2	95,8
PB	3	0,100	0,187	0,141	0,044	0,155	10,9	73,4	43,6	31,4
ZN	5	0,003	0,528	0,168	0,209	0,191	0,7	207,5	57,7	85,6

\* enhed l/sek - \*\* enhed m<sup>3</sup>

\*) enhed g/l - \*\*) enhed kg

Tabel 5.3 Statistisk behandling af koncentrationer og mængder i regnafstrømning fra:  
Nørremarken - Viborg  
Skvætmølle - Skanderborg.

Lokalitet	Middelkoncentration mg/l		
	Kemisk iltforbrug	Total-P	Total-N
Skanderborg	12,8	0,9	2,5
Viborg	10,4	0,3	4,8
Vika	60 *	1,2	4,2
Vestli	20 *	0,5	4,9
Oppsal	15 *	0,8	5,9
Risvollan	20 *	0,3	2,3

\* Beregnet udfra COD<sub>dikromat</sub>

Tabel 5.4 Sammenligning mellem resultater fra undersøgelserne i Skanderborg, Viborg og norske oplande, /5/.

Årstransportværdierne (1975) kan herefter opgøres til de i tabel 5.5 anførte værdier, idet den samlede afstrømmede vandmængde lægges til grund.

lokalitet	Nedbørs- mængde 1975	Middelaf- strømnings- koefficient	Beregnet årstransport	
			TP	TN
Skanderborg	422 mm	0,25	25 kg/år (0,95 kg/ha/år)	70 kg/år (2,6 kg/ha/år)
Viborg	545 mm	0,25	60 kg/år (0,4 kg/ha/år)	950 kg/år (6,5 kg/ha/år)

Tabel 5.5 Beregnet årstransport 1975 af fosfor og kvælstof fra oplandene Skvætmølle, Skanderborg og Nørremarken, Viborg.

Da årsnedbøren i 1975 afveg væsentligt fra middelnedbøren, er i tabel 5.6 angivet en skønnet årstransport af fosfor og kvælstof, idet der er benyttet en årsnedbør på 640 mm for Skanderborg og 700 mm for Viborg samt en afstrømningskoefficient svarende til den for området teoretisk fastsatte. Desuden er til orientering anført de tilsvarende årstransporter for de norske oplande, /5/.

Lokalitet	Fosfor kg/ha/år	Kvælstof kg/ha/år
Skanderborg ( $\varphi = 0,5$ )	2,9	8
Viborg ( $\varphi = 0,5$ )	1	17
Vika	5,3	19
Vestli	0,7	7
Oppsal	1,6	11
Risvollan	0,5	4

Tabel 5.6 Beregnede årstransporter af fosfor og kvælstof.

Sammenlignes årstransporterne af fosfor og kvælstof for de urbaniserede områder med den tilsvarende afstrømning fra landbrugsområder, tabel 5.7 fra /7/, ses det, at fosforbelastningen fra de urbaniserede områder er væsentlig større end fosforbelastningen fra landbrugsafstrømningen. Kvælstofbelastningen fra urbaniserede områder ses derimod at være af samme størrelsesorden som afstrømningen fra landbrugsområderne.

Områdekarakter	kg N/ ha/år	kg P/ ha/år
Øvre løb med stærkt terrænfald	28	0,90
Øvre løb med oversvømmede engarealer i vinterperioden	22,5	0,02
Mossø området	10	0,20
Himmelbjergsø området og lignende områder med blandet skovbevoksning og landbrug	7	0,15
Kildevældsområder (Salten å, Funder å)	1	0,15
Intensive landbrugsområder (Hinge å, Gjern å, Tange å)	15 - 20	0,35
Gudenåens nedre løb	6 - 20	0,15-0,20
Voelbæk (middel af 2-års målinger)	14	0,17
Gjelbæk (middel af 2-års målinger)	25	0,43

Tabel 5.7 Diffuse bidrag (landbrugsbidrag) af N og P i forskellige dele af Gudenåsystemet, / 7 /.

#### 5.4.2 ORGANISK STOF

Stoftransporten af organisk stof er ikke opgjort på årsbasis, da denne fremstilling ikke tager hensyn til den korttidsvurdering, der er nødvendig, når det drejer sig om omsætningen af udledt organisk stof. Derimod er i det følgende diskuteret de undersøgte regnskyl, der i de separatkloakerede områder gav den maximale udledning af organisk stof.

Ved regnhændelsen den 10. juli 1975 i Skanderborg var den maximale stofkoncentration af COD<sub>perm</sub> 106 mg/l, og der transporteredes som COD<sub>perm</sub> i alt ca. 14 kg den første time. Sammenlignes denne stofudledning med den tilsvarende timeudledning fra et biologisk rensningsanlæg, betyder det, at

regnskyllet den 10. juli 1975 transporterede organisk stof svarende til biologisk rensed vand fra 25.000 personer i et tidsrum svarende til regnens varighed. Sammenlignes med urensed spildevand, svarede stofudledningen til timeudledningen fra 3500 personer.

Ved regnhændelsen den 29. april 1975 i Viborg var den maximalt målte koncentration af organisk stof målt som  $COD_{perm}$  92 mg/l, og den maximale timetransport var som  $COD_{perm}$  5,5 kg. Dette svarer til timeudledningen af urensed spildevand fra 1400 personer eller timeudledningen af biologisk rensed vand fra ca. 9000 PE.

Der kan således fra separatsystemerne optræde kortvarige, men særdeles forurenende stødbelastninger af organisk stof. Hvorledes den enkelte recipient reagerer herpå afhænger naturligvis af recipientens størrelse og dynamik, og stødbelastningseffekten bør således vurderes i hvert enkelt recipienttilfælde.

På grundlag af mængdeopgørelserne fra Skanderborg (Skvætmølle), tabel 5.8, er i figur 5.4 optegnet sammenhørende værdier af totalt afstrømmet regnvand og totalt transporteret organisk stof. For hver enkelt værdi er desuden angivet den forudliggende tørvejrperiodes længde. Det ses, at de sammenhørende værdier stort set fordeler sig om linierne a og b, hvor a repræsenterer afstrømningsforløb, hvor den forudliggende tørvejrperiode er mindre end 1 døgn, og b repræsenterer afstrømningsforløb, hvor den forudliggende tørvejrperiode er større end 1 døgn. En regressionsberegning viser, at regressionsligningen for linie:

$$a \text{ er } PE_T = 6,8 Q + 525 \quad \text{og } r = 0,97$$

$$b \text{ er } PE_T = 30,2 Q - 772 \quad \text{og } r = 0,91$$

hvor  $PE_T$  er mængden af transporteret organisk stof og  $Q$  er den totale regnafstrømning.

Da skæringen med y-aksen for begge linier a og b viste sig ikke at være statistisk signifikant, er reviderede ligninger a' og b' opstillet under antagelsen af skæring med (0,0). Ligningerne er angivet side 45.

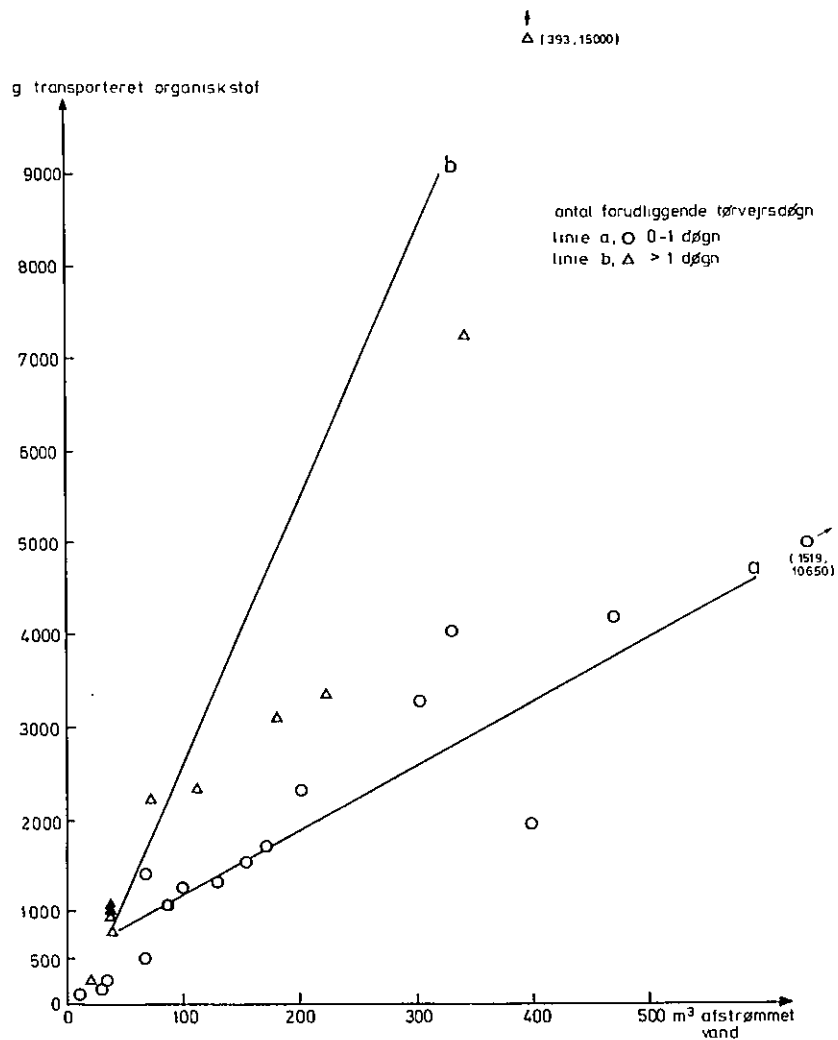
DATO	NEDBØRSFORHOLD			AFSTRØMNINGSFORHOLD					
	varig- hed min.	nedbør mm	tør- vejr- dage	AFSTRØMNINGSMÆNGDER			AFSTRØMMET ORGANISK STOF		
				1 alt m <sup>3</sup>	middel l/sek	max. l/sek	1 alt g	middel mg/l	max. mg/l
25/5 1974	30	3,5	17	46	6,4	19	1083	24	36
6/6 1974	15	1,1	4	43	10	17	923	21	30
22/9 1974	10	3,2	0	303	48	220	3275	11	(14)
22/9 1974	90	0,9	0	13	3,2	5	140	11	(13)
25/9 1974	15	0,9	1	129	23	71	1323	10	(12)
19/10 1974	660	3,9	0 → 1	397	13	34	1907	5	(12)
22/10 1974	720	15,0	1	1519	16	60	10650	7	(14)
29/10 1974	40	0,6	0	37	5	12	277	8	13
30/10 1974	40	1,6	0	169	15	34	1715	10	10
11/11 1974	600	5,0	0	474	8	48	4183	9	14
13/11 1974	-	-	0	325	17	76	4010	12	14
19/5 1975	30	4,0	20	225	61	159	3350	15	37
3/6 1975	30	3,2	1	154	80	178	1505	10	11
3/6 1975	60	2,7	0	67	20	54	503	7,5	7,5
3/6 1975	60	2,6	0	98	20	54	1283	13	15
3/6 1975	30	2,3	0	67	31	90	1458	22	26
10/7 1975	30	5,7	38	393	32	150	15000	38	106
12/7 1975	30	2,0	2	47	10	30	1012	22	29
16/7 1975	60	5,2	3	109	28	66	2322	21	31
22/7 1975	90	6,5	5	340	44	220	7221	21	27
16/8 1975	30	1,5	20	67	22	42	2224	33	40
17/8 1975	240	8,5	0	206	13	38	2382	12	23
18/8 1975	30	2,6	0	84	42	83	1075	13	13
15/9 1975	60	4,4	6	180	22	50	3125	17	37
21/9 1975	40	1,5	6	20	7	12	262	13	16
24/9 1975	30	0,8	2	48	17	4	816	17	27
26/9 1975	-	-	-	-	5,5	-	-	7,6	-
26/9 1975	30	1,0	0	29	15	34	472	16	24

Tabel 5.8 Skvætmølle, Skanderborg.

Nedbørs- og afstrømningsdata.

( ) betyder, at maksimalkoncentration og maksimalafstrømning ikke var sammenfaldende.





Figur 5.4 Skvætmølle, Skanderborg.  
Sammenhørende værdier af totalt afstrømmede vandmængder og totaltransporter af organisk stof. Desuden er angivet antallet af tørvejr-dage forud for regnhændelsen.

Ligningen for linie

$$\begin{array}{lll} a \sim a_{16} & PE = 6,8 Q + 525 & r = 0,97 \\ b \sim b_{11} & PE = 30,2 Q - 772 & r = 0,91 \end{array}$$

Antagelsen af skæring med (0,0) medfører

$$\begin{array}{ll} a'_{16} & PE = 7,5 Q \\ b'_{11} & PE = 27,1 Q \end{array}$$

Såfremt den "største værdi" i begge punktgrupper udelades, og linien antages at gå gennem (0,0), fås

$$\begin{array}{lll} a'_{15} & PE = 9,2 Q & r = 0,89 \\ b'_{10} & PE = 19,5 Q & r = 0,97 \end{array}$$

(index ved fod = antal værdier medtaget)

### 5.4.3 STOFTRANSPORTFORDELING

For at vurdere stoftransportfordelingen af de enkelte analysevariabler er i Bilag B angivet procentandelen af transporteret stof som funktion af afstrømningsmængder (%) og afstrømningstid (%).

#### Skvætmølle, Skanderborg og Nørremarken, Viborg.

Det ses, at med undtagelse af nitrat (NO) og delvis zink (ZN) udviser de undersøgte analysevariabler: d.v.s. organisk stof (PE), kvælstof (TN), fosfor (TP), orthofosfat (OP), suspenderet stof (SS) og bly (PB) et tydeligt udvaskningsforløb. (Analyseresultaterne (Skvætmølle) for total-fosfor viser dog stor spredning).

En generel betragtning viser, at når ca. 40 % af vandmængden har passeret, har 50 % eller mere af stofafstrømningen normalt fundet sted, og når 80 % af vandmængden har passeret, har ca. 90 % af stofafstrømningen fundet sted.

Den afstrømmede vandmængde, der svarer til 40 %, strømmer af inden for den første fjerdedel af afstrømningstiden, og når 80 % af regnvandet er strømmet af, er der kun ved Skvætmølle medgået halvdelen af den samlede regnafstrømningstid. Dette betyder, at der for Skvætmølle-oplandet i den første halvdel af regnafstrømningstiden transporteres ca. 90 % af alt afstrømmet stof. For Nørremarken, Viborg er afstrømningsbilledet ændret, idet der i den første trediedel af afstrømningstiden strømmer ca. 40 % stof af, og når 90 % af stofmængden er afstrømmet, er der medgået ca. 75 % af den samlede regnafstrømningstid. Forskellen i afstrømningsbilledet skyldes de to oplandes forskel i areal, hvor det ca. 150 ha store område - Nørremarken - naturligvis har længere transporttid for nedbøren, inden denne når hovedkloakken end Skvætmølle-oplandet på ca. 27 ha.

## 6. AFSTRØMNING FRA VEJAREALER

### 6.1 VEJAREAL - SKANDERBORG

I samleloakken, der afvander vejarealet Ladegårdsbakken, Skanderborg (som er en del af vejforbindelsen Skanderborg-Arhus), blev der oprettet en målestation kaldet "Søsporten". Oplandsarealet er 75000 m<sup>2</sup> og består af

ca. 32000 m<sup>2</sup> vejbaner  
ca. 12000 m<sup>2</sup> fortov og cykelsti  
ca. 31000 m<sup>2</sup> grønne rabatter.

Terrænhældningen er ca. 20 ‰.

I et mindre omfang er der tilsluttet dræn fra Skanderborg jernbanestation, men der er ikke konstateret vandtilførsel fra disse i tørvejrperioderne.

### 6.2 AFSTRØMNINGS- OG FORURENINGSFORHOLD

I Bilag C er angivet en samlet oversigt over måle- og analyse-resultater fra målestation "Søsporten", og i tabel 6.1 er sammenstillet de vigtigste resultater for de undersøgte regnhændelser.

Da oplandsarealet er 7,5 ha kan for de undersøgte 10 regnhændelser beregnes en middelaflstrømningskoefficient på  $\varphi_{\text{middel}} = 0,07$ . Den maksimale middelaflstrømningskoefficient er  $\varphi_{\text{max}} = 0,09$ .

Det ses af tabel 6.1, middelkoncentrationen af organisk stof øges med den forudliggende tørvejrperiodes længde. Den maksimalt målte koncentration var 54 mg/l og blev registreret den 21. oktober 1975 midt under dette regnskyl, hvor intensiteten var lille (0,01 mm/min).

D A T O	Nedbørsforhold			Afstrømmet vand		Afstrømmet stof		
	mm	Varig- hed	Tør- v. døg- n	Total m <sup>3</sup>	Middel l/sek	Total g PE	Middel mg/l PE	Prøve antal
22/05-1975	-	-	-	-	-	-	-	1
24/05-1975	0,6	30	1	1,5	0,8	-	-	2
02/06-1975	3,2	30	1	23,7	13	680	29	2
03/06-1975	2,7	60	0	7,8	6,5	28	4	2
03/06-1975	1,3	30	0	2,0	1,6	21	11	2
03/06-1975	2,3	30	0	17,4	9	188	11	3
10/07-1975	5,7	20	38	38,4	40	1355	35	2
15/07-1975	2,0	30	3	6,4	5	209	33	2
16/07-1975	5,2	60	1	10,3	8,6	356	35	2
24/09-1975	0,8	30	2	12,8	4,4	488	38	4
21/10-1975	3,0	300	7	28,1	0,9	1147	41	16

Tabel 6.1 Søsporten, Skanderborg. Nedbørs- og afstrømningsdata.

I tabel 6.2 er angivet middelaflstrømningsintensitet og middelkoncentration for hvert enkelt regnskyl. Det bemærkes, at middelkoncentrationen af organisk stof og bly generelt ligger på et højt niveau. For organisk stof svarer dette til niveauet for Skvætmølle-oplandet, når tørvejrperioden overstiger 15 døgn, og dette betyder, at akkumuleringen og udskylningen af organisk stof sker væsentligt hurtigere og lettere for vejarealerne. Det høje koncentrationsniveau for bly skyldes tilførslen af bly fra bilernes forbrænding af benzin.

Søsporten - Skanderborg.

TC	VF	DF	SS	TP	PJ	TN	NO	NH	PB	ZN
1	0,301	.	0,057	0,295	.	13,197	.	.	.	.
2	13,151	29,717	.	.	.	.	.	.	.	.
3	6,511	3,544	.	.	.	.	.	.	.	.
4	1,439	10,747	.	.	.	.	.	.	.	.
5	0,330	10,925	.	.	.	.	.	.	.	.
6	10,007	35,291	.	.	.	.	.	.	.	.
7	8,312	32,823	0,097	0,258	.	5,306	.	.	0,100	0,142
8	8,563	34,635	0,187	0,371	.	7,925	.	.	0,389	0,281
9	4,148	38,001	0,099	0,528	.	6,964	.	.	0,145	0,299
10	0,045	40,333	0,360	0,969	.	6,121	.	.	0,843	0,572

Tabel 6.2 Middelaflstrømningsintensitet og middelkoncentrationer for hvert enkelt regnskyl. Enheden VF = l/sek, SS = g/l og resten er mg/l.

I tabel 6.3 er vist resultaterne af en statistisk behandling af analysedata m.m..

SØSPORTEN - SKANDERBORG

Variable	Antal regnskyl, hvor den enkelte variabel er målt	Minimal middel-koncentration i et regnskyl mg/l	Maximal middel-koncentration i et regnskyl mg/l	Aritmetrisk middel-middel-koncentration for alle regnskyl mg/l	Standard-afvigelse mg/l	Vandmængde-vægtet middel-middel-koncentration for alle regnskyl mg/l	Minimal belastning for et enkelt regnskyl gram	Maximal belastning for et enkelt regnskyl gram	Middel belastning for alle regnskyl gram	Standard-afvigelse gram
VF	10	0,8 *	40,0 *	9,06 *	11,58 *		1,0**	38,0**	14,7**	12,0**
PC	9	3,544	40,833	26,156	13,900	30,023	21,1	1354,7	496,8	479,1
SS	5	0,057*)	0,369*)	0,161*)	0,125*)	0,247*)	0,1**)	10,4**)	2,9**)	4,3**)
TP	5	0,258	0,969	0,484	0,290	0,696	0,4	27,2	8,0	11,0
PO	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TN	5	5,306	13,187	7,901	3,111	6,829	19,6	171,9	72,2	59,8
NO	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PB	4	0,100	0,843	0,369	0,340	0,530	0,6	23,7	7,5	10,9
ZN	4	0,142	0,572	0,324	0,180	0,416	0,9	16,1	5,9	6,9

\* enhed l/sek - \*\* enhed m<sup>3</sup>

\*) enhed g/l - \*\*) enhed kg

Tabel 6.3 Statistisk behandling af koncentrationer i aflastningsvand, Søsporten, Skanderborg.

For at vurdere afstrømningskoncentrationerne med vejvand fra andre danske lokaliteter gennemførte VKI en supplerende prøvetagning fra motorvejsgaden, Bispeengsbuen, København, omfattende to regnskyl, / 6 /.

I tabel 6.4 er sammenstillet analyseresultater fra Søsporten, Bispeengsbuen og Skvætmølle-oplandet.

Det ses, at maximalværdierne kan blive meget høje. Middelværdierne for total-kvælstof, bly og zink fra Søsporten og Bispeengsbuen ligger væsentligt over de tilsvarende værdier for Skvætmølle-oplandet. Dette skyldes den høje trafikbelastning og deraf følgende forbrænding af benzin (TN og PB) og dækslid (ZN).

AFSTRØMNING		SØSPORTEN	BISPEENGSBUEN	SKVÆTMØLLE
max.		10	41	8
middel	l/sek/ha	1,3	8,7	0,9
max.	PE, mg/l	54	91	106
middel		30	44	13
max.	SS, g/l	0,59	1,4	2,2
middel		0,25	0,3	0,3
max.	TP, mg/l	1,9	3,5	4,4
middel		0,7	0,9	0,9
max.	TN, mg/l	15,0	14,7	15,0
middel		6,8	7,5	2,5
max.	PB, mg/l	1,6	6,4	0,9
middel		0,5	1,7	0,16
max.	ZN, mg/l	0,8	3,3	3,8
middel		0,4	0,7	0,19
antal regnskyl		(4 - 10)	(2)	(3 - 27)
antal tørvejrsgage for max. værdier		7	28	38

Tabel 6.4 Søsporten, Bispeengsbuen og Skvætmølleoplandene. Maksimal og middelfafstrømningsintensiteter samt maksimal og middelkoncentrationsværdier for udvalgte analysevariable.

I bilag A er vist resultaterne af regressionsanalyser for koncentrationer af total-fosfor og bly mod suspenderet stof samt total-fosfor og total-kvælstof mod organisk stof. Der er god korrelation mellem koncentrationer af

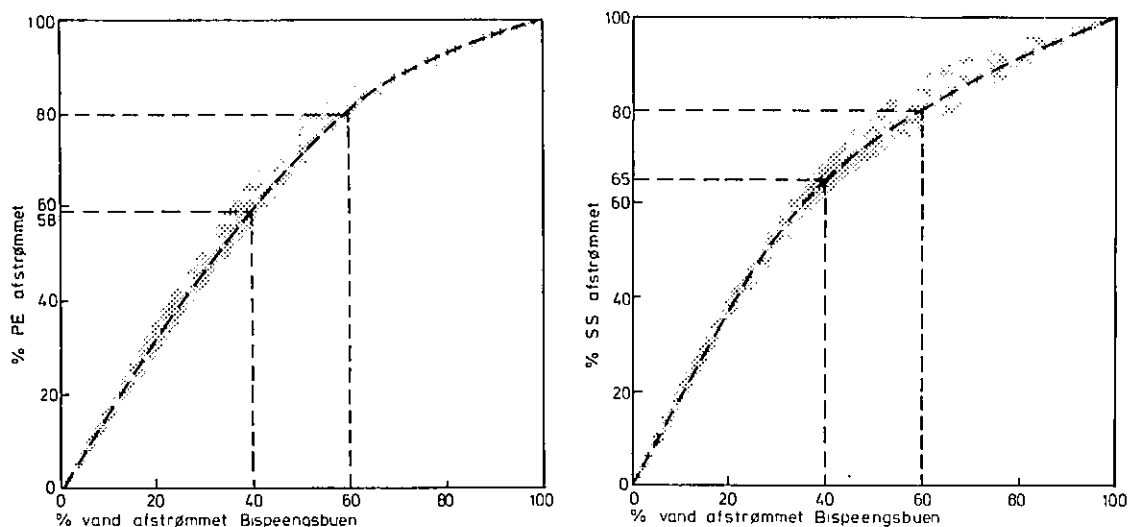
suspenderet stof og total-fosfor

suspenderet stof og bly.

Korrelationen af organisk stof og total-fosfor samt total-kvælstof er mindre god.

Tilsvarende forhold er konstateret ved målinger fra motorvejs-  
gaden Bispeengsbuen, dog var sammenhængen mellem koncen-  
trationer af organisk stof og kvælstof bedre her. (se BILAG A).

I bilag B er for Søsporten og Bispeengsbuen vist, hvorledes  
afstrømningsforløbet af vand- og stofmængder sker ved de un-  
dersøgte regnskyl. Det ses, at der ikke kan påvises et egent-  
ligt "first flush" afstrømningsforløb for data fra Søsporten.  
Dette skyldes, at datamaterialet er begrænset, men den væ-  
sentligste forklaring er, at prøvetagningsfrekvensen (15 min.)  
ved Søsporten har været for stor til en detaljeret måling af  
den hurtige afstrømning ved Søsporten. Betragtes figur 6.1,  
der som eksempel viser afstrømningsforløbet fra Bispeengsbuen  
for organisk stof og suspenderet stof ses det, at når 40% af  
vandmængden har passeret, har ca. 55% af den organiske og ca.  
65% af den suspenderede stofmængde passeret. Når 60% af vand-  
mængden har passeret har henholdsvis ca. 80% organisk stof og  
ca. 80% suspenderet stof passeret.



Figur 6.1 Bispeengsbuen. Fordelingen af afstrømmende  
stofmængder som funktion af afstrømmende  
vandmængder.

Da datamaterialet vedrørende vejafstrømningsværdierne er begrænset, er der kun gennemført transportopgørelser for de enkelte regnskyl.

For at angive en størrelsesorden af den årlige stoftransport fra trafikbelastede arealer er derfor nedenfor anført resultater fra undersøgelser i henholdsvis Göteborg, /8/, og Oslo (VIKA), /5/:

	Göteborg (Motorvej)	Oslo (VIKA) (City-område)
	kg/ha/år	kg/ha/år
PE	850	250
SS	3000	4609
TP	-	5,3
TN	-	18,6
PB	2,7	3,6
ZN	2,0	7,7

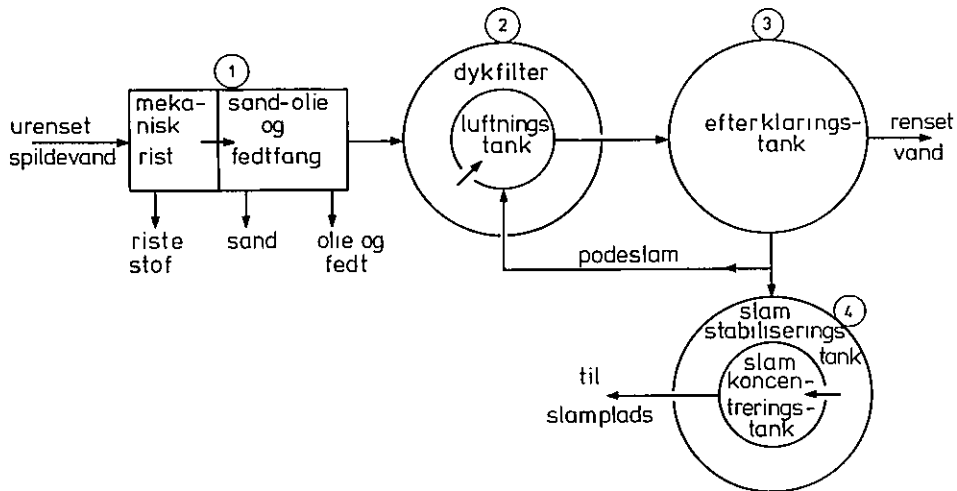


## 7. STOFUDLEDNING FRA RENSNINGSANLÆG UNDER REGN

### 7.1 VIBORG CENTRALRENSNINGSANLÆG 1973 - 75

På Viborg kommunes centralrensningsanlæg i Bruunshåb, beliggende ca. 5 km fra Viborg by ved Nørreå, gennemførte Viborg kommune i december 1973 og i maj 1974 en række belastningsundersøgelser af rensningsanlægget under regn. Resultaterne /9/ fra disse undersøgelser blev stillet til Gudenåundersøgelsens disposition, og i forbindelse med Nørreåundersøgelsen /2/ vurderedes regnbelastningens betydning for recipienten - Nørreå. Da resultaterne ikke tidligere har været præsenteret samlet, er det skønnet rimeligt i nærværende sammenhæng at afrapportere disse.

Rensningsanlægget er dimensioneret til under tørvejrs at modtage spildevandet fra 61.000 personækvivalenter, og i 1974 var anlægget i princippet opbygget, som vist i figur 7.1.



Figur 7.1 Centralrenseanlægget, Bruunshåb, Viborg.  
Principdiagram før 1976, (efter /9/).

Rensningsanlægget består af:

1. Sandfang - beregnet til max.  $4.600 \text{ m}^3/\text{time}$ .
2. Luftningstanke I og II, rumindhold  $2.850 \text{ m}^3$ .
3. Efterklaringstanke I og II, rumindhold  $2.400 \text{ m}^3$ .
4. Slamstabiliseringstanke I og II, rumindhold  $1.230 \text{ m}^3$ , samt slamkoncentreringstanke med et rumindhold på  $450 \text{ m}^3$ .

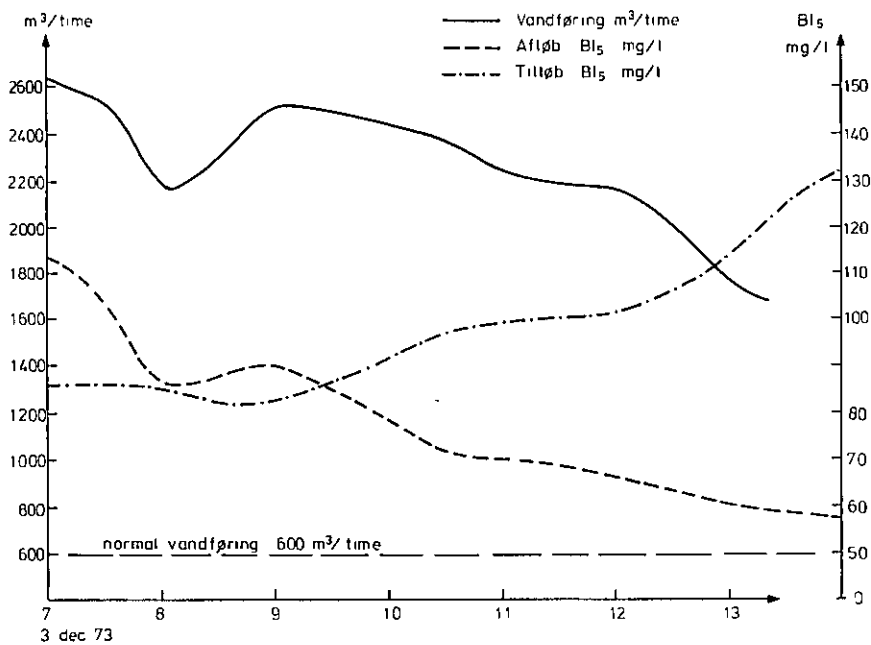
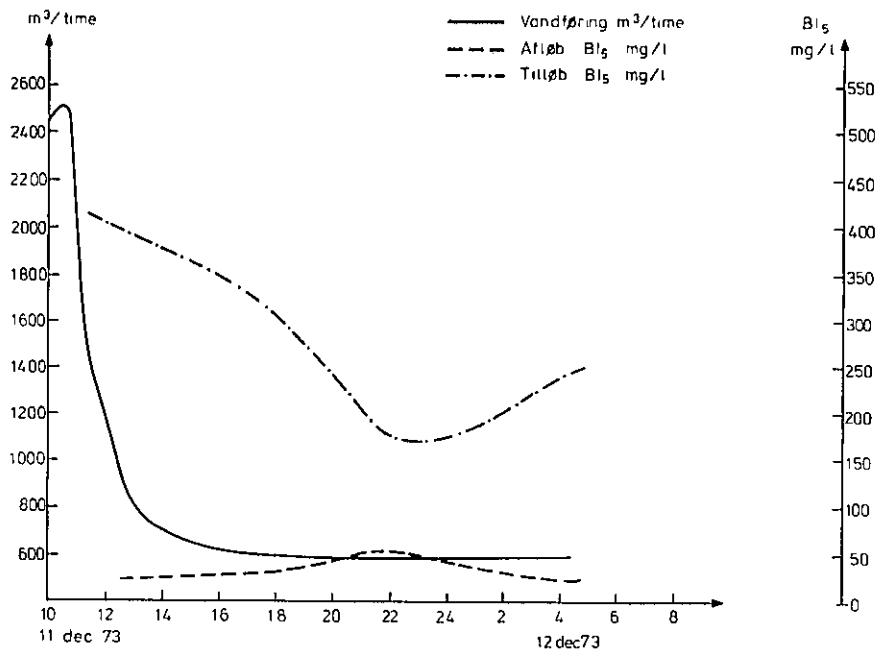
Dimensioneringsgrundlaget vedrørende den hydrauliske belastning er ved tørvejrs  $13.430 \text{ m}^3/\text{døgn}$ , svarende til  $155 \text{ l/sek}$ , i dagtimerne 1974 var den aktuelle vandmængde ca.  $600 \text{ m}^3/\text{time}$   $\sim 170 \text{ l/sek}$ . Under regn var den dimensionsgivende vandmængde  $4.600 \text{ m}^3/\text{time}$ , svarende til  $1.280 \text{ l/sek}$ .

Tilløbsvandets indhold af organisk stof, målt som biokemisk iltforbrug ( $\text{BI}_5$ ), er ved tørvejrs normalt ca.  $280 - 300 \text{ mg/l}$ , og tilsvarende har afløbsvandet en  $\text{BI}_5$ -koncentration på ca.  $15 - 20 \text{ mg/l}$ , svarende til en reduktion på ca.  $90 - 95 \%$ . Indholdet af bundfældeligt stof i afløbet var under tørvejrs mindre end  $0,5 \text{ ml/l}$ .

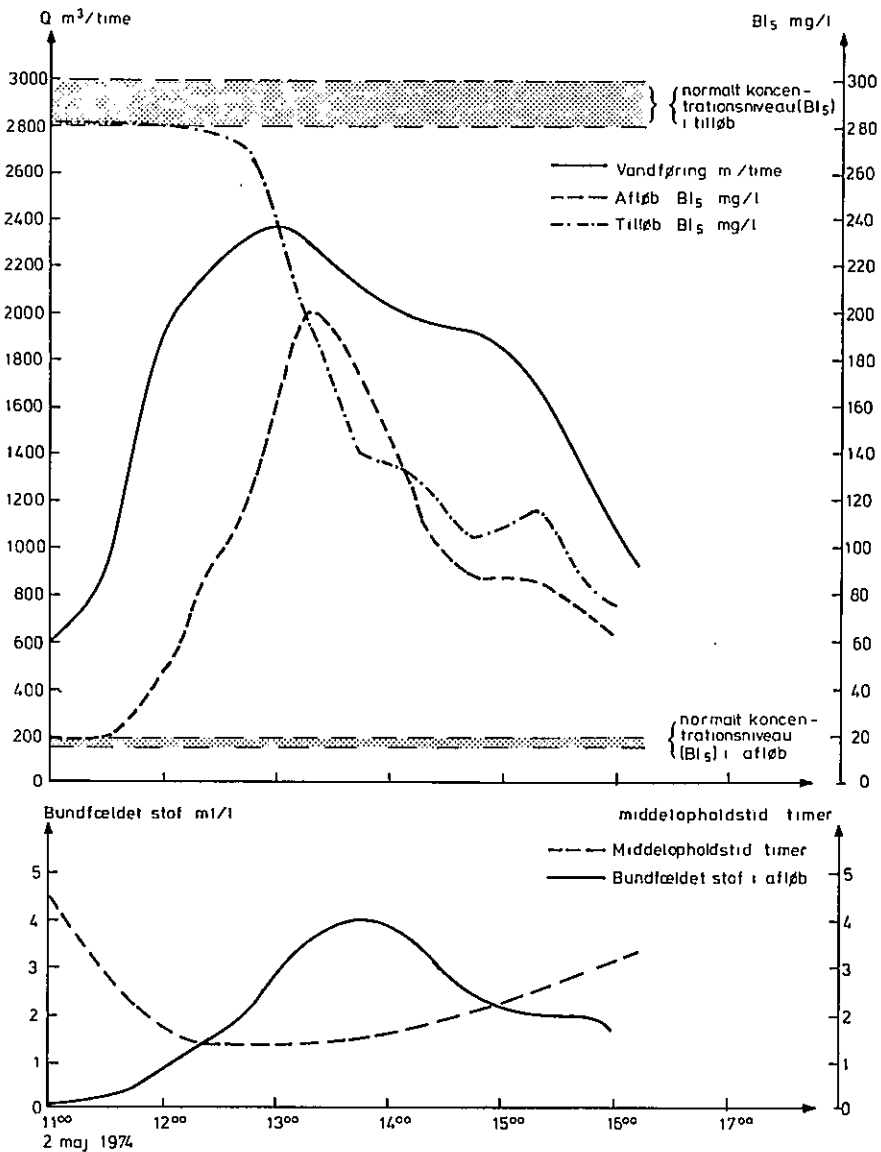
## 7.2 RESULTATER

Der foreligger for tre regnsituationer analysereultater af organisk stof målt som biokemisk iltforbrug ( $\text{BI}_5$ ), fra tilløb og afløb samt vandmængdemåling ved rensningsanlægget. De tre regnskyl fandt sted 3. december 1973, 11. december 1973 og 2. maj 1974.

Resultaterne er afbildet i figur 7.2 og 7.3.



Figur 7.2 Centralrenseanlægget, Bruunshåb, Viborg. Vandføringsmåling og koncentration af organisk stof, tilløb og afløb under regnafstrømning, december 1973.



Figur 7.3 Centralrenseanlægget, Bruunshåb, Viborg. Vandføringsmåling samt koncentrationen af organisk stof i tilløb og afløb under regn den 2. maj 1974. Desuden er angivet indholdet af bundfældet stof (2 timer) i afløbet samt en skønnet middelopholdstid gældende for hele anlægget.

Det ses, at ved regnskyllet den 3. december 1973 er prøvetagningen startet mod regnafstrømningens slutning, og afløbsvandets indhold af organisk stof har været større end 110 mg/l. I hele prøvetagningsperioden, kl. 7.00 - 15.00, er  $BI_5$ -indholdet større end den "normale" afløbskoncentration (15 - 20 mg/l).

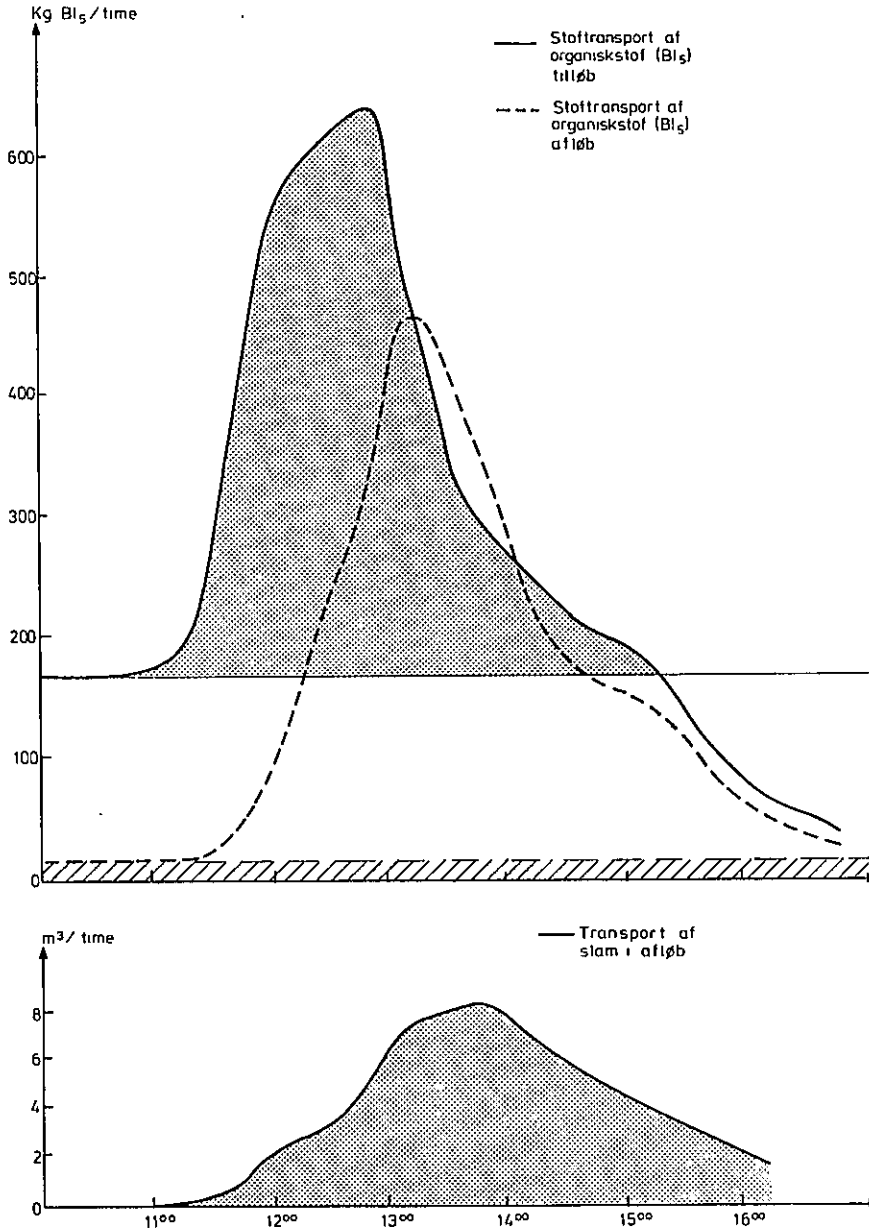
Ved regnsituationen den 11. december 1973 sker der en kortvarig hydraulisk men langvarig overbelastning af anlægget med organisk stof, hvilket betyder, at i ca. 15 timer er afløbsvandets indhold af organisk stof højere end den "normale" afløbskoncentration. Den maksimalt registrerede afløbsværdi var ca. 55 mg/l, målt som  $BI_5$ . Prøvetagningen er desværre først igangsat ca. 3 timer, efter at regnafstrømningen har "toppet".

Da der ved begge regnskyl i december 1973 således ikke foreligger et dækkende analysemateriale, er der ikke gennemført stoftransportberegninger for disse.


For regnskyllet den 2. maj 1974, hvor nedbørsmængden var ca. 12 mm i Viborg by, gennemførtes prøvetagningen i takt med regnafstrømningsforløbet. På figur 7.3 er vist afstrømnings- og koncentrationsforløb ( $BI_5$ ) samt mængden af bundfældeligt materiale (ml/l) i afløbsvandet.


Det ses, at vandmængden øges fra ca.  $600 \text{ m}^3/\text{time}$  til maksimalt  $2.400 \text{ m}^3/\text{time}$ . Koncentrationen af organisk stof i tilløbsvandet ligger på stort set samme niveau (280 mg/l) under regnafstrømningens første time. Da vandmængden i dette tidsrum øges jævnt fra  $600 \text{ m}^3/\text{time}$  til  $2.200 \text{ m}^3/\text{time}$ , er der tale om en væsentlig forøgelse af den samlede stoftilførsel. Stoftransporterne er vist i figur 7.4.

Efter at vandføringen har "toppet", aftager tilløbsvandets koncentration i takt med tiden og til dels afstrømningen. Der er således tale om en "first flush" effekt, bestående af en "spuling" af dels flader og veje og dels af ledningssystemet. I den sammenhæng kan det oplyses, at samleledningen mellem Viborg by og centralrensingsanlægget er ca. 5 km lang, og middelhældningen er  $0,75 \text{ ‰}$ . Der tilføres normalt rensnings-



Figur 7.4 Centralrenseanlægget, Bruunshåb, Viborg. Vand- og stoftransport for regnsituationen den 2. maj 1974.

Med  er angivet den nedbørsinducerede forøgelse i stoftransporten.

Med  er angivet den normale stoftransport under tørvejr.

anlægget ca. 160 kg organisk stof ( $BI_5$ ) pr. time, men på grund af spulingseffekt i ledningssystemet samt tilførslen af organisk stof med regnvandet er der en nedbørsinduceret forøgelse i stoftilførslen på i alt 1.000 kg  $BI_5$  i en fire timers periode. I maksimaltiden er stoftilførslen ca. 600 kg  $BI_5$ /time, det vil sige fire gange normalbelastningen.

Afløbskoncentrationerne (figur 7.3) viser et voksende indhold af organisk stof, og den højest målte afløbskoncentration er  $BI_5 = 200$  mg/l, som optræder kl. 13.15, ca. 15 minutter efter at maksimalvandmængden er nået. I ca. 1 time herefter (kl. 13.15 - 14.15) er indholdet af organisk stof i afløbet større end koncentrationen i det tilførte regnospådede spildevand, idet dog koncentrationskurverne for tilløb og afløb begge er faldende. Betragtes kurven for bundfældeligt materiale i afløbsvandet, ses det, at der kl. 11.45 ved en vandmængde på ca.  $1.400 \text{ m}^3$ /time, hvor middelopholdstiden i efterklaringstanken er ca. 1 time og 40 minutter, begynder en slamudskylning (slamflugt). Slamflugten når sin maksimale værdi kl. 13.45, det vil sige en time efter at maksimalværdierne er nået, og maksimalslamindholdet er 4 mg/l. (Den samlede mængde bundfældeligt materiale, der i løbet af fem timer forlader anlægget, er ca.  $21 \text{ m}^3$ ).

På grundlag af stoftransportkurverne, figur 7.4, kan mængderne af vand og stof opgøres, og værdierne er angivet i tabel 7.1.

Resultaterne, angivet i det foregående, viser, at der således er tale om en dels hydraulisk og dels stofmæssig overbelastning af centralrenseanlægget under regn. På grund af den hydrauliske overbelastning reduceres bundfældningskapaciteten, og der sker en udspuling af aktiveret slam fra efterklaringstanken. Det kan dog ikke afgøres, i hvor høj grad bundfældeligt materiale fra det tilførte regn- og spildevand føres med gennem anlægget og uomsat ledes ud i afløbet. Men det skønnes, at dette sker i et vist omfang, blandt andet fordi maksimaltransporten af slam indtræffer

ca. 70 - 90 minutter efter, at den hydrauliske belastning har været størst, det vil sige opholdstiden mindst og svarende til ca. 90 minutter. Den store udledning af organisk stof skyldes foruden slamflugt desuden det aktiverede slams nedsatte kapacitet på grund af den stofmæssige overbelastning.

STOFTRANSPORT	VANDMÆNGDE m <sup>3</sup>	ORGANISK STOF (BI <sub>5</sub> ) kg		BUNDFÆLDELIGT MATERIALE m <sup>3</sup>
		tilløb	afløb	afløb
"Hele regnskyl" ~ 5 timer	9.000	1.800	1.200	21
Max. time ved regnskyl	2.300	600	400	7,8
Normal time tørvejr	600	160	12	~ 0
=====				
Max. værdierne	2.400 m <sup>3</sup> /time	640 kg/time	480 kg/time	8,4 m <sup>3</sup> /time

Tabel 7.1 Centralrensningens anlægget Bruunshåb, Viborg. Opgørelser over vand- og stoftransportmængder ved regnskyl 2. maj 1975 samt ved "normale" forhold. Desuden er angivet maksimalværdierne.

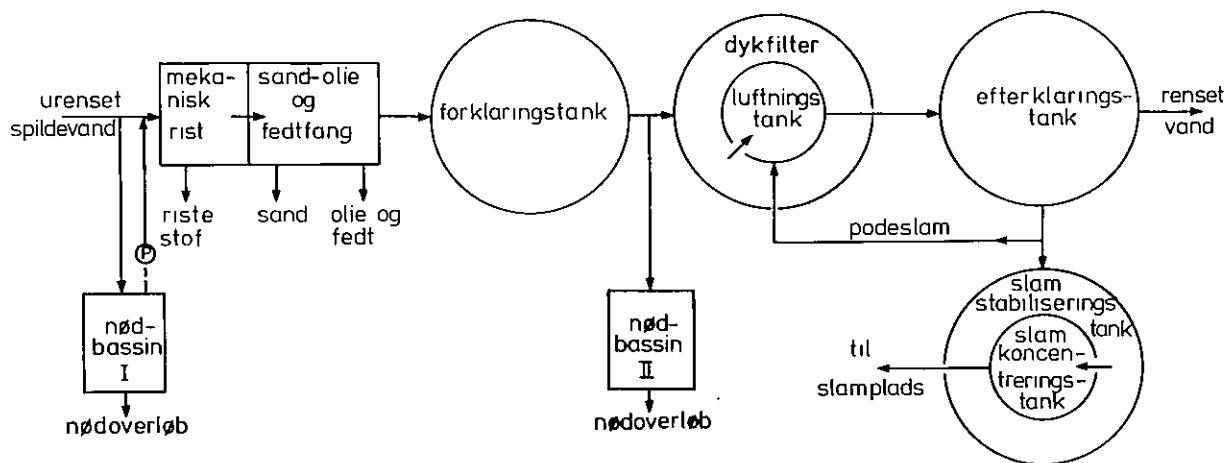
Den samlede effekt af slamudskylning og nedsat rensningsevne, forårsaget af regnskyllet, kommer til udtryk i udledningsmængden på ca. 400 kg organisk stof i "maksimaltiden", hvilket er 33 gange mere end normaludledningen ved tørvejr. Den samlede stofudledning (1.200 kg BI<sub>5</sub>) var ca. 20 gange den normale udledning i samme tidsrum under tørvejr.



Betydningen af sådanne stødbelastninger er vurderet for recipienten Nørreå /2/. idet der som eksempel er foretaget en simplificeret beregning af iltforholdene i åen, baseret på stødbelastningen ved en delvis simuleret regnsituation, hvor stofudledningen øges ca. 20 gange i en otte-timers periode. Beregningerne viser, at der over en længere strækning af åen (2 - 4 km) vil opstå alvorligt iltsvind, således at iltindholdet vil være mindre end 1 mg O<sub>2</sub>/l i en otte-timers periode. Da stofudledningen ved regnskylltet den 2. maj 1974 var større, men totalt af samme varighed som den simulerede regnsituation, må det skønnes, at regnsituationen den 2. maj 1974 vil kunne give analoge iltsvindsforhold i Nørreå.

### 7.3 VIBORG CENTRALRENSNINGSANLÆG, 1977.

Med baggrund i den uensigtsmæssige udformning af centralrensningsanlægget har Viborg kommune gennemført en ombygning af rensningsanlægget. Dette er i dag udvidet med en forklarings-tank samt to "nød-bassiner" for oliespild, der også kan tjene som sparebassiner for regnafstrømning. Den nuværende opbygning fremgår af skitsen figur 7.5.



Figur 7.5 Centralrenseanlæg, Bruunshåb, Viborg. Principdiagram 1977.

Med den nuværende udformning af anlægget og udnyttelse af bassinerne må det antages, at der ikke indtræffer tilsvarende ekstreme stofudledninger og dermed stødbelastninger af recipienten under regn.

## 8. SAMMENFATNING OG KONKLUSION

### 8.1 REGNVANDSUNDERSØGELSERNES FORMÅL OG OMFANG

I forbindelse med Gudenåundersøgelsen er der i perioden 1973-75 foretaget undersøgelser af regnafstrømningen fra urbaniserede områder beliggende i Gudenå-oplandet.

Formålet med regnvandsundersøgelserne var at vurdere:

stofudledningen fra et fælleskloakeret område under regn samt sammensætning og mængde af regnvand afstrømmende fra udvalgte, separat kloakerede områder.

Undersøgelsen har derfor omfattet kvalitative og kvantitative opgørelser af vand afstrømmende under regn fra oplande i følgende byer:

"Sønder Ege" - Ry - fælleskloakeret

"Skvætmølle" - Skanderborg - separatkloakeret

"Nørremarken" - Viborg - separatkloakeret

("Nørskov bakke" - Silkeborg - separatkloakeret).

For at vurdere kvaliteten af vand afstrømmende fra vejarealer gennemførtes et mindre måleprogram vedrørende vejvand fra "Ladegårdsbakken" ("Søspørtten") i Skanderborg suppleret med målinger fra motorvejsgade "Bispeengsbuen", København.

For Viborg by's centralrensningsanlæg i Bruunshåb er desuden refereret en ikke tidligere offentliggjort belastningsundersøgelse af rensningsanlæggets funktion under regn.

Undersøgelserne er gennemført i perioden 1974-75 og nedbørs- samt afstrømningsmålingerne er gennemført stort set kontinuert for oplandene "Sønder Ege" og "Skvætmølle" i denne periode.

Nedbørs- og afstrømningsmålinger for de øvrige oplande er gennemført periodevis.

Prøvetagning og analysering er gennemført stikprøvevis i alle oplandene og med størst intensitet i "Sønder Ege" (44 regnskyl) og "Skvætmølle" (27 regnskyl).

## 8.2 MÅLINGERNES TEKNIK

Efter udvælgelse af egnede måleoplande er i en nedgangsbrønd umiddelbart uden for oplandet etableret en målestation. I målestationen er opstillet et sammensat måleoverfald med tilhørende højdemåling (flyder samt skriverenhed). Prøveudtagningen er gennemført med automatisk fraktionsudtagning (hvert 15. minut) af vandprøver med slangepumpe, der aktiveredes via en niveauekontakt ved regnafstrømning.

Nedbørsmålinger er så vidt muligt udført med regnmåler med skriver opstillet inden for det enkelte måleopland.

De indsamlede data fra nedbørs- og afstrømningsmålingerne foreligger som kurveudskrifter. Disse er behandlet manuelt og overført til EDB for de regnskyl, hvor en videre behandling har været ønskelig af hensyn til nærværende rapportering.

Samtlige analysedata er ligeledes overført til EDB og behandlet under eet med nedbørs- og afstrømningsdata.

## 8.3 RESULTATER OG KONKLUSIONER

### 8.3.1 AFLASTNINGSVAND - SØNDER EGE, RY, (fællessystem)

Der er i 1974 aflastet i alt  $7.800 \text{ m}^3$  vand ved i alt 83 aflastninger. Nedbøren var 680 mm. I 1975 aflastedes i alt  $5.200 \text{ m}^3$  vand ved 57 aflastninger, nedbøren var 420 mm. Aflastning kan

finde sted ved regnskyl større end 0,5 mm og indtræffer ved alle regnskyl større end 6 mm.

Af de undersøgte aflastninger viser det sig, at 90% af aflastningerne svarer til 40% af de samlede udledte mængder vand. Den tilsvarende største enkelte aflastning var ca. 220 m<sup>3</sup>.

Den største registrerede enkelt-aflastning var på ca. 1.800 m<sup>3</sup>.

Analyser af det aflastede vand viser, at der sker et koncentrationsforløb, der skyldes fortynding. Den ofte angivne forureningsseffekt - first flush effekten - er ikke registreret ved målingerne. Dette betyder, at "forureningsproppen" normalt har passeret aflastningsbygværket i Ry inden aflastning finder sted. De højest målte, samt middel- koncentrationer (mg/l) var:

	max	middel
organisk stof (COD <sub>perm</sub> )	70	19
total-fosfor	5	1,6
total-kvælstof	23	5
ammoniak-kvælstof	6,4	1,8
bly	0,3	0,1
zink	0,7	0,3

På grundlag af de gennemførte stoftransportberegninger er års-tilførslerne af total-fosfor og total-kvælstof til recipienten Knud sø beregnet.

I alt udledtes til Knud sø:

total-fosfor	10,5	kg/år
total-kvælstof	35	kg/år

svarende til:

total-fosfor	0,23	kg/ha/år
total-kvælstof	0,8	kg/ha/år

idet mængderne "fordeles" på oplandet. Fosforbelastningen svarer stort set til den tilsvarende belastning fra landbrugsområder i Gudenåoplandet. Kvalstofbelastningen er overraskende lav, idet denne for Gudenåoplandet er ca. 7 - 25 kg N/ha/år.

For udledningen af organisk stof er denne vurderet ved den maksimale udledning over en 15 minutters periode. I alt var stofudledningen ( $COD_{perm}$ ) 5 g/sek svarende til udledningen af urensset spildevand fra ca. 1.200 personer,

### 8.3.2 "NØRREMARKEN", VIBORG, OG "SKVÆTMØLLE", SKANDERBORG, (separatsystemer)

I de to måleoplande var årsnedbøren og antal regnskyl i 1975 således:

Nørremarken	545 mm fordelt på ca. 180 regnskyl
Skvætmølle	442 mm fordelt på ca. 120 regnskyl.

For de undersøgte regnskyl vurderedes sammenhængen mellem en række analysevariable. Der er konstateret god sammenhæng mellem koncentrationer af:

suspenderet stof og fosfor  
suspenderet stof og bly  
samt organisk stof og kvalstof.

Sammenhængen mellem organisk stof og fosfor var mindre god. Desuden viste målingerne, at der var et tydeligt "first flush" udskylningsforløb, således at når 40% af afstrømningen var sket, var 50-60% af stofmængderne passeret. Denne afstrømning skete inden for den første trediedel af afstrømningstiden.

Dette betyder, at såfremt man ønsker at reducere udledningen af fosfor og bly samt tildels organisk stof og kvalstof, vil en tilbageholdelse af suspenderet materiale være en rationel metode.

De fundne maksimale - samt middel - koncentrationer (mg/l) var:

	MAKSIMALKONCENTRATION		MIDDELKONCENTRATION	
	mg/l		mg/l	
	Skvætmølle	Nørremarken	Skvætmølle	Nørremarken
Organisk stof (COD <sub>perm</sub> )	106	92	13	10
Fosfor	4,4	0,9	0,9	0,3
Kvælstof	15	15	2,5	4,8
Suspenderet stof	2200	400	300	95
Bly	0,9	0,45	0,16	0,09
Zink	3,8	0,8	0,2	0,25

NB. På grund af oplandenes topografiske udformning er der for eksempel store forskelle i fosforkoncentrationsværdierne.

For Skvætmølle-oplandet er det konstateret, at såvel maksimal- som middelkoncentrationsniveauet for organisk stof (COD<sub>perm</sub>) øges ca. 10 mg/l, når tørvejrperioden forud for regnhændelsen er større end eet døgn. Ved tørvejrperioder af længere varighed sker der en yderligere forøgelse af koncentrationeniveauet for organisk stof. Dette betyder, at f.eks. hyppig gaderenovation er nødvendig, hvis det ønskes, at koncentrationeniveauet for organisk stof i regnvandsudledningerne nedsættes.

Stofudledningen af fosfor og kvælstof fra oplandene er opgjort således:

	fosfor kg/ha/år	kvælstof kg/ha/år
Skvætmølle	2,9	8
Nørremarken	1	17

og ligger for fosfors vedkommende ca. 3-10 højere end tilsvarende afstrømningsværdier for Gudenåoplandets landbrugsarealer.

Kvælstofbelastningen er på niveau med belastningen fra Gudenå-landbrugsarealer.

Den maksimale registrerede udledning af organisk stof ( $COD_{perm}$ ) svarede til 14 kg i den første time. Sammenlignes denne udledning med udledningen af organisk stof fra et biologisk rensningsanlæg, svarer dette til en udledning af biologisk rensset vand fra ca. 25.000 personer.

Den maksimale registrerede udledning af organisk stof fra Nørremarken svarede til udledning af biologisk rensset vand fra ca. 9.000 personer.

Der kan således fra separatsystemerne tilføres recipienterne store mængder forurenede stoffer. Næringsstofbelastningen er for fosfor ca. 3-10 gange så stor som landbrugsarealernes bidrag, og kvælstofbelastningen er på samme niveau. Kortvarige udledninger af organisk stof kan optræde som meget kraftige stødbelastninger. Hvorledes den enkelte recipient reagerer herpå afhænger naturligvis af recipientens størrelse og dynamik, og stødbelastningseffekten bør således vurderes i hvert enkelt recipienttilfælde.

### 8.3.3 AFSTRØMNING FRA VEJAREALER

De gennemførte undersøgelser af afstrømmende vejvand ved Søsporten - Skanderborg og Bispeengsbuen, København, gav følgende maksimale koncentrationseværdier:

mg/l	"Søsporten"	"Bispeengsbuen"
organisk stof ( $COD_{perm}$ )	54	91
fosfor	1,9	3,5
kvælstof	15	14,7
suspenderet stof	590	1400
bly	1,6	6,4
zink	0,8	3,3

En sammenligning af såvel maksimale som middelkoncentrationsværdier med for eksempel Skvætmølle-resultaterne (8.3.2) viser, at vejvand har et forhøjet indhold af kvælstof, bly samt zink i forhold til regnafstrømning i separatsystemerne. Dette skyldes forbrændingen af benzin (kvælstof og bly) samt dækslid (zink).

Vejvand har ligeledes et forhøjet indhold af fosfor og suspenderet stof i forhold til regnafstrømning i separatsystemerne, (dette ses dog ikke ved sammenligning med Skvætmølle-værdierne, hvilket skyldes de særlige topografiske forhold her).

Afstrømningsforløbet viser, at når 40% af vejvandet er strømmet af, er ca. 55-65% af de forurenende stoffer ligeledes strømmet af. Da der er en lineær sammenhæng mellem indholdet af suspenderet stof og stort set alle de øvrige undersøgte analysevariable betyder det, at man ved at reducere udledningen af suspenderet stof kan begrænse forureningen fra vejarealer. I den sammenhæng kan forøget gaderenovation og/eller regnbassiner have en forholdsvis stor reducerende effekt.

Den samlede stofudledning fra vejvand kan blive betragtelig. Betragtes for eksempel det regnskyl ved "Søsporten", Skanderborg, hvor den maksimale stofudledning fandt sted, svarede den samlede udledning af organisk stof over en time til den tilsvarende udledning af urensset spildevand fra ca. 1.400 personer - eller udledningen af biologisk rensset vand fra ca. 9.000 personer i samme tidsrum.

#### 8.3.4 STOFUDLEDNING FRA RENSNINGSANLÆG UNDER REGN

På Viborg kommunes centralrensningsanlæg, Bruunshåb, gennemførte Viborg kommune i 1974 en belastningsundersøgelse af anlægget under regn, og det konstateredes:

at stoftilførslen af organisk stof ( $BI_5$ ) under regn øgedes fra 160 kg/time til 600 kg/time, og vandmængderne øgedes fra 600 m<sup>3</sup>/time til 2.400 m<sup>3</sup>/time ved et regnskyl på ca. 12 mm.



at stofudledningen af organisk stof ( $BI_5$ ) fra rensningsanlægget steg fra 12 kg/time til 480 kg/time,

at afløbskoncentrationen af organisk stof ( $BI_5$ ) øgedes fra normalt ca. 20 mg/l til maksimalt 200 mg/l. Afløbsindholdet af bundfældeligt materiale steg fra ca. 0 til maksimalt 4 ml/l.

Undersøgelsen viste således, at der under regn dels skylles organisk stof af flader og veje og dels spules sedimenteret materiale ud af kloakledningerne. Den samlede ekstra mængde organisk stof svarede til ca. 1.000 kg (målt som  $BI_5$ ) i en fire timersperiode.

På grund af en hydraulisk overbelastning af anlægget udspuledes aktiveret slam, hvilket konstateredes i indholdet af bundfældeligt materiale. Det høje indhold af organisk stof i afløbet skyldes dels nedsat rensningsevne for anlægget som helhed på grund af den hydrauliske og stofmæssige overbelastning, dels det øgede indhold af bundfældeligt stof i form af aktiveret slam.

I forhold til udledningen under tørvejr - 12 kg  $BI_5$ /time - udledtes der på grund af regnbelastningen 1.200 kg organisk stof i en 5 timers periode og i maksimal timebelastningssituationen var udledningen 400 kg  $BI_5$ /time.

I maksimalbelastningstimen udledtes således 33 gange så meget organisk stof som under normale forhold (tørvejr).

For recipienten Nørreå er det beregnet, at en sådan forureningsudledning vil medføre, at iltindholdet bliver mindre end 1 mg  $O_2$ /l i otte timer ca. 2 - 4 km nedstrøms renseanlægget.

Centralrensningsanlægget blev i 1976 bygget om, således at der i dag ikke skulle kunne indtræffe tilsvarende stofudledninger under regn.

## TEKNIKERGRUPPENS EFTERSKRIFT

Gudenåudvalgets's teknikergruppe finder, at det er vanskeligt at foretage en generalisering af forholdene vedrørende regnafstrømningens størrelse og betydning for recipienterne.

Det fremgår af undersøgelsen, at man ved at sammenholde nedbørs- og aflastningsforhold samt kvaliteten af aflastningsvand kan give god lokal vejledning om en passende bassin størrelse for formindskelse af forureningen af recipienterne.

Desværre kan der endnu ikke angives rationelle beregningsmetoder til beregning af bassin størrelsen ud fra data om opland og regnbelastning. Dels er kendskabet til ledningernes tilløbsforhold for dårligt, og dels er vor viden om gennemløbet i ledningerne for ringe. Variationerne i forureningsmængder, der passerer ledningssystemet afhænger desuden af mange endnu ukendte faktorer.

Der arbejdes mange steder i udlandet og også her i landet på at udvide vort kendskab til disse forhold - men det må påregnes, at der vil gå en årrække før rationelle metoder kan anvises.

Ved etablering af bassiner kan det dog generelt påpeges, at det er væsentligt at optage den særligt forurenende "first fluch" i ledningen og etablere overfaldet sådan, at det i bassinet opmagasinerede vand ikke gennemstrømmes af det derefter aflastede vand.

Det er teknikergruppens håb, at nærværende rapport kan inspirere tekniske forvaltninger til at undersøge problemstillingen lokalt og således medvirke til at fremskaffe ikke blot lokal, men også generel viden om regnafstrømningens betydning for recipientsystemerne.

## 9. REFERENCELISTE

- /1/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV:  
Spildevandsundersøgelser. Gudenåundersøgelsen  
1973-75. Gudenåudvalget 1976.
- /2/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV:  
Nørreå-undersøgelsen. Gudenåundersøgelsen  
1973-75. Gudenåudvalget 1976.
- /3/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV:  
Interkalibreringsrapport. Gudenåundersøgelsen  
1973-75. (Ikke offentliggjort).
- /4/ Levnedsmiddelkontrollen, Silkeborg:  
Cand.pharm. T. Skov, personlig kommunikation.
- /5/ NIVA m.fl.:  
Forurensning i overvann.  
PRA 4.7 0-57/74. Oslo 1976.
- /6/ Heise, Poul B., Vandkvalitetsinstituttet, ATV  
& Teknisk Forvaltning, Birkerød:  
Hvad sker der, når en by tager bad ?  
Særtryk af Stads- og Havneingeniøren 8, 1977.
- /7/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV:  
Stoftransportundersøgelser. Gudenåundersøgelsen  
1973-75. Gudenåudvalget 1976.
- /8/ Malmquist, Per-Arne & Gilbert Svensson:  
Sammanställning av utförda dagvatten-undersökningar  
i Stockholm och Göteborg 1969-1972.  
Geohydrologiska Forskningsgruppen, Chalmers Tekniska  
Högskola, Meddelande nr. 11, Göteborg 1974.
- /9/ Viborg kommune:  
Ing. Leo Dam, personlig kommunikation.

Foruden refererede henvisninger kan der henvises til følgende referencer vedrørende emnet regnvandsafstrømning:

NORDFORSK:

Sjunde nordiska symposiet om Vattenforskning, Jyväskylä.  
Dagvatten, 1972.

Leif Johansen:

Afledning af regnvand.  
Spildevandskomiteen og Vandkvalitetsinstituttet, ATV, 1974.

Lager, A og Smith, W.G.:

Urban storm water management and Technology - an assesment.  
EPA-670/2-74-040, USA, 1974.

Whipple, William:

Urbanization and water quality control.  
Proc. 20, American Water Resources Association, 1975.

Overvannsteknologi:

21.-23. marts 1977.  
Norske Sivilingeniørers Forening, 1977.

Harremoës, P.:

Betydningen af forurening fra regnafstrømning for valg af urbane afløbssystemer. - En oversigt over nordisk litteratur og vurdering af status.  
NORDFORSK-symposium, Røros, 1977.

## A P P E N D I X

Resultaterne fra enkeltprøveudtagningerne ved Nørskovbakke, Silkeborg, er medtaget ved den statistiske behandling og fremgår derfor af BILAG A, BILAG B og BILAG C - men det begrænsede datamateriale er ikke behandlet i nærværende sammenhæng.

I BILAG A og BILAG B er desuden angivet en samlet statistisk behandling af datamaterialet fra de "jyske oplande", og det fremgår heraf, hvad der tidligere er konkluderet, at der er korrelation mellem koncentrationen af suspenderet stof og især fosfor og delvis bly. En eventuel sammenhæng imellem organisk stof og fosfor/kvælstof er ikke registreret, og afhænger således af det enkelte opland.

På grund af BILAG C's omfang er det ved den endelige redaktion besluttet ikke at medtage dette ved mangfoldiggørelsen. BILAG C er derfor kun mangfoldiggjort i et mindre antal eksemplarer, der beror hos Gudenåudvalgets sekretariat.

## B I L A G A

-----

### KORRELATION    MELLEM KONCENTRATIONER AF:

---

SUSPENDERET STOF OG TOTAL FOSFOR

SUSPENDERET STOF OG TOTAL BLY

ORGANISK STOF (COD PERM) - TOTAL FOSFOR

ORGANISK STOF (COD PERM) - TOTAL KVÆLSTOF

FOR FØLGENDE LOKALITETER:

NØRSKOVBAKKE - SILKEBORG

SKVÆTMØLLE - SKANDERBORG

VIBORG - NØRREMARKEN

SØSPORTEN - SKANDERBORG

VIBORG - SKVÆTMØLLE - NØRSKOVBAKKE

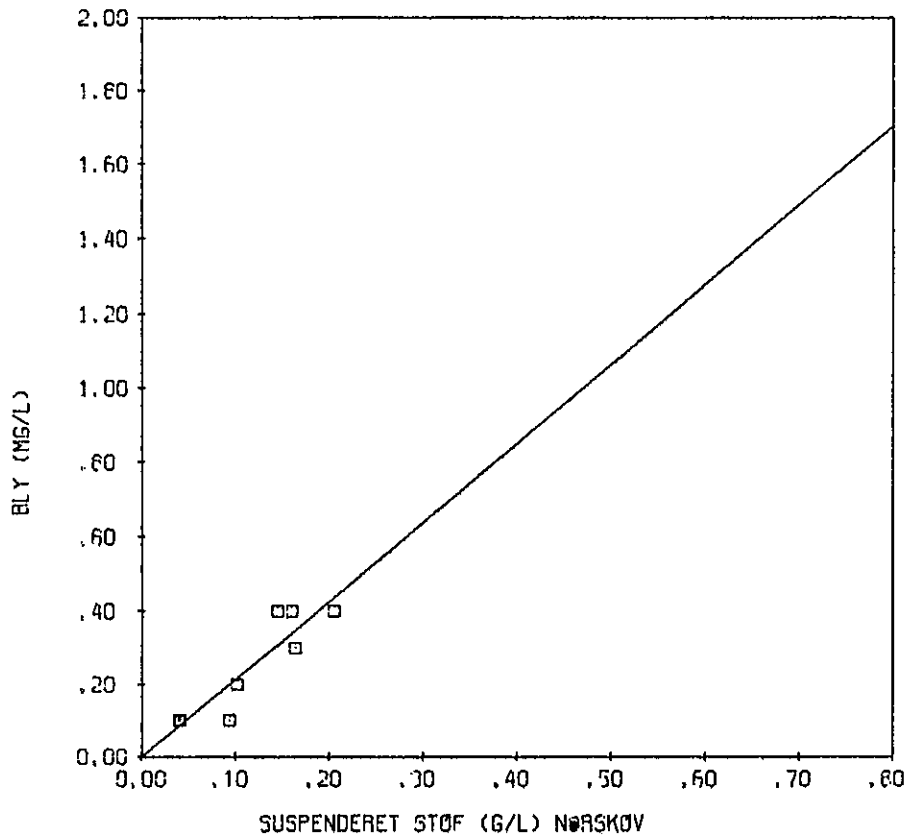
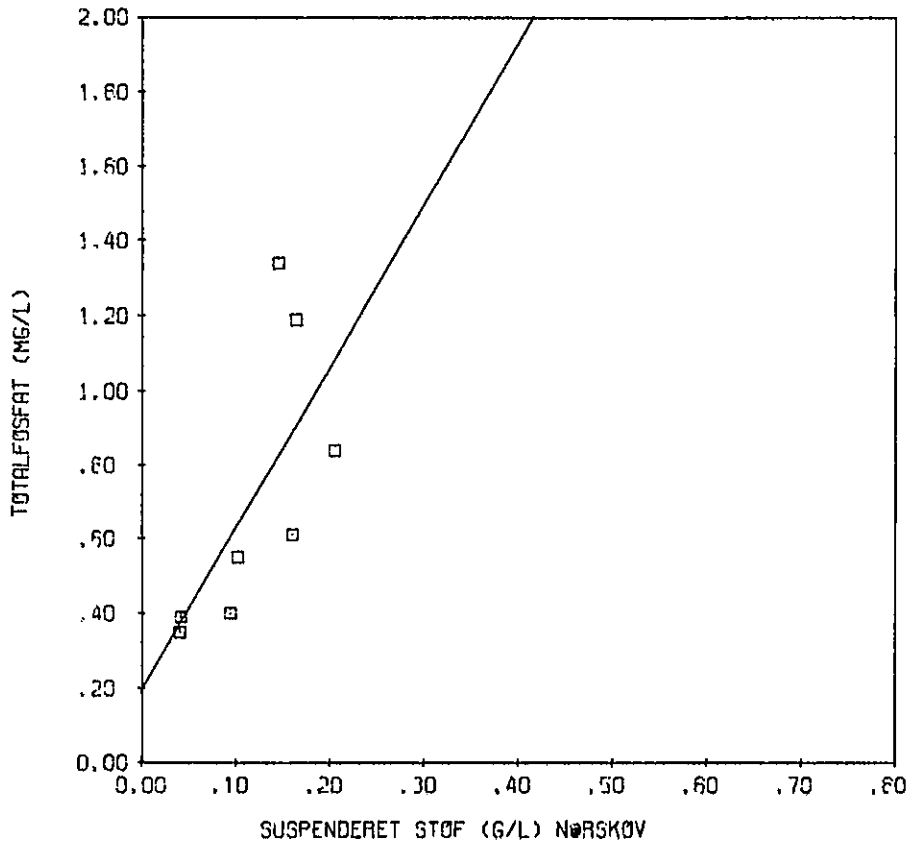
VIBORG - SKVÆTMØLLE - NØRSKOVBAKKE - SØSPORTEN

BISPEENGSBUEN - KØBENHAVN

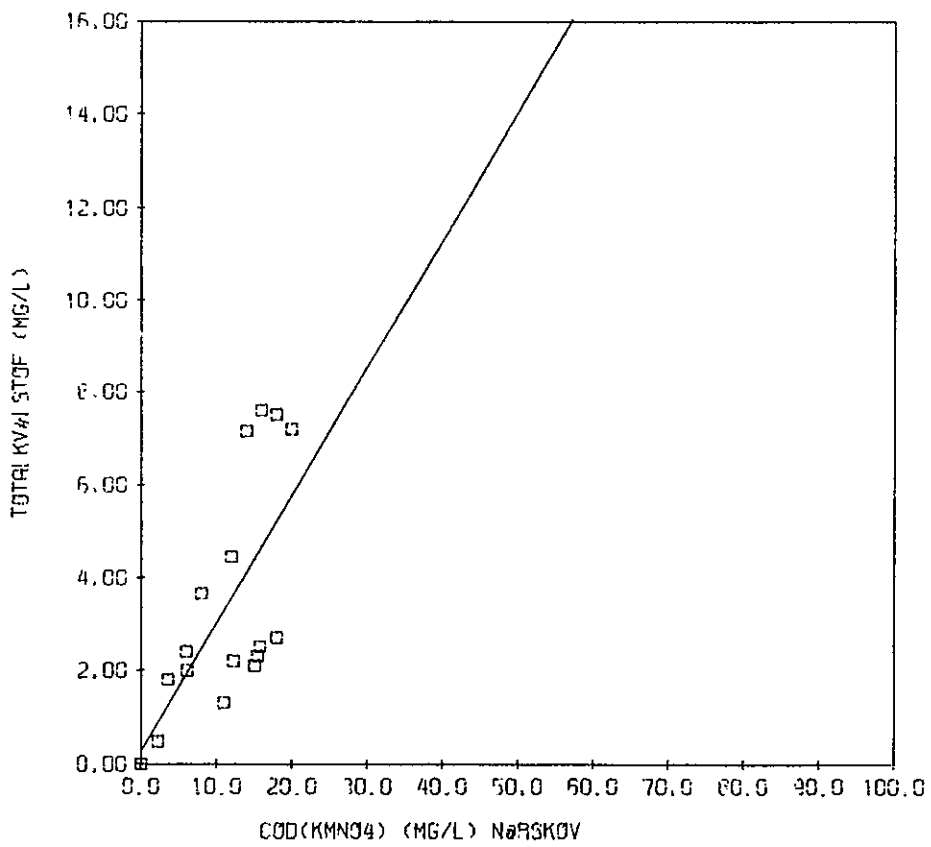
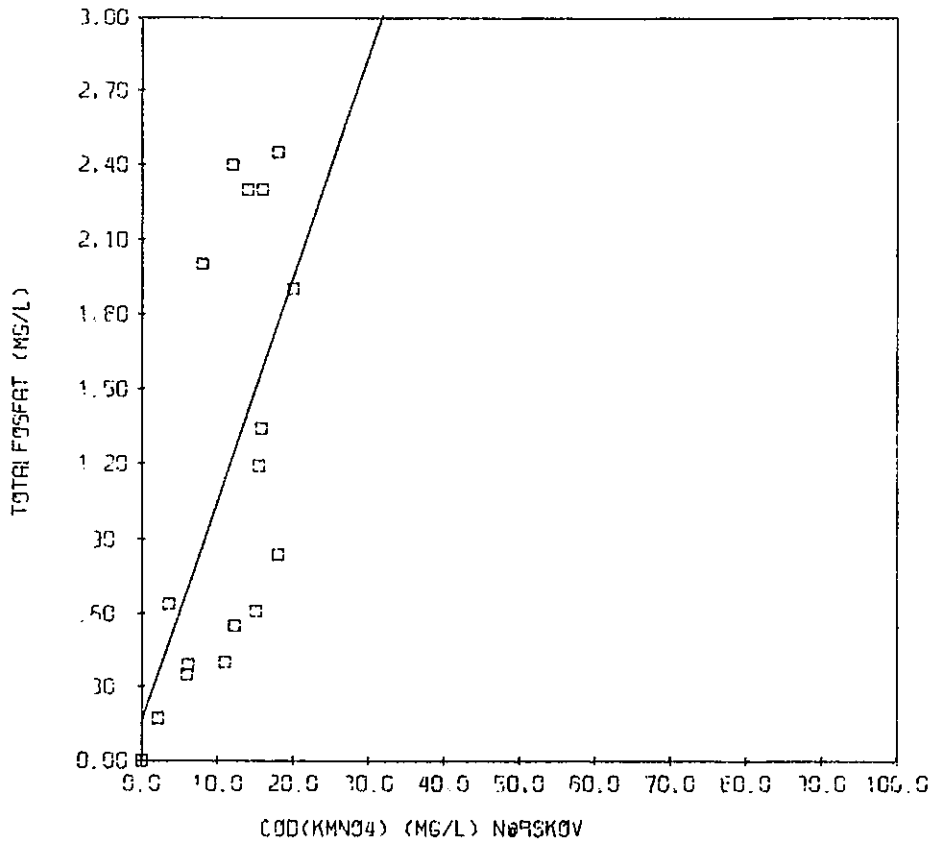
NØRSKOVBAKKE - SILKEBORG

Model	Afskæring A	STD (A)	Hældning H	STD (H)	Korrelations- koefficient
TP = H · SS + A	0,1911*	0,2477	4,3542	1,8854	0,69
PB = H · SS + A	- 0,0035*	0,0549	2,1326	0,4180	0,90
TP = H · PE + A	0,1466*	0,3771	0,0896	0,0294	0,62
TN = H · PE + A	0,2268*	1,0165	0,2762	0,0794	0,67

Tabel A 1 Regressionsligninger og disses koefficienter for udvalgte variabler.



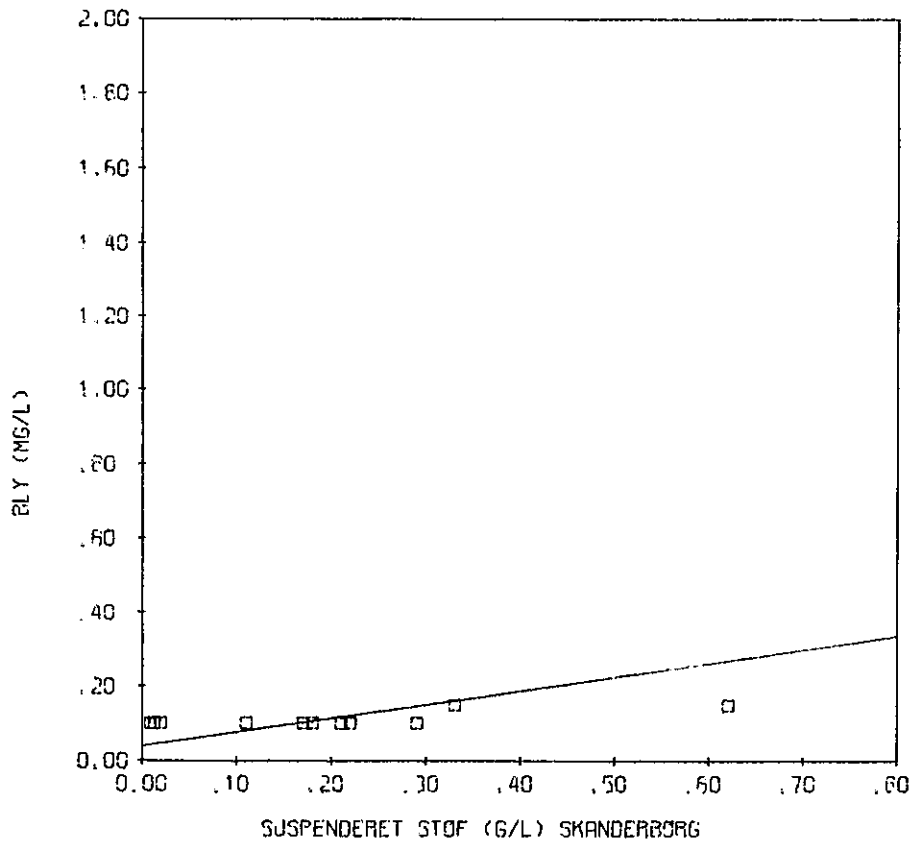
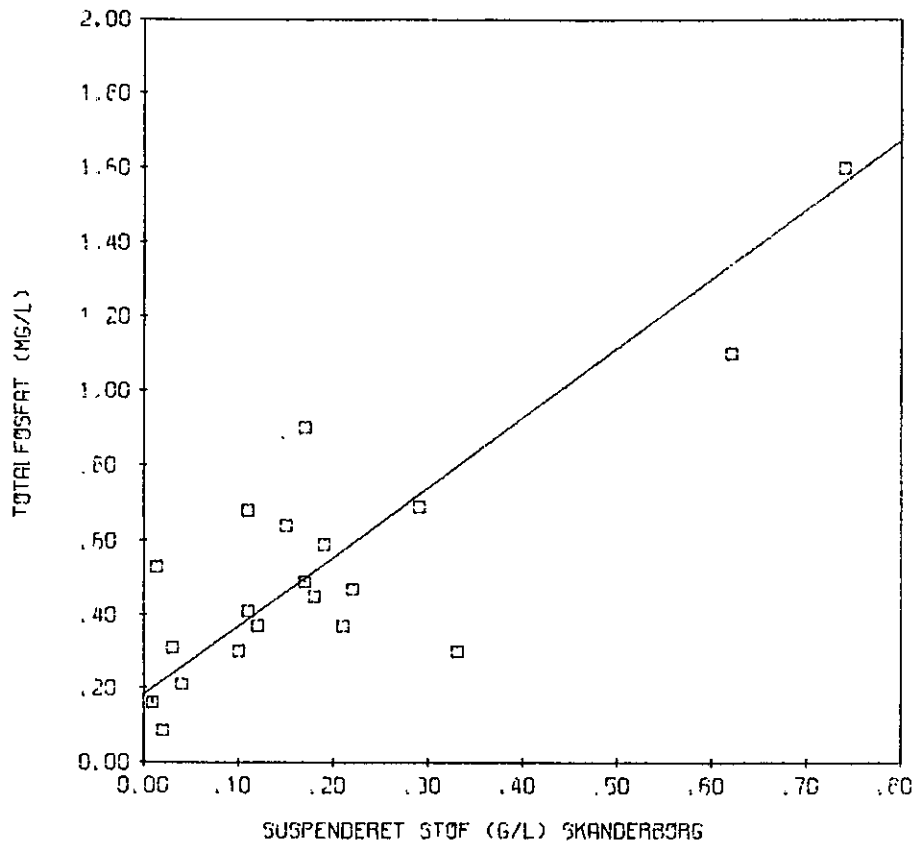


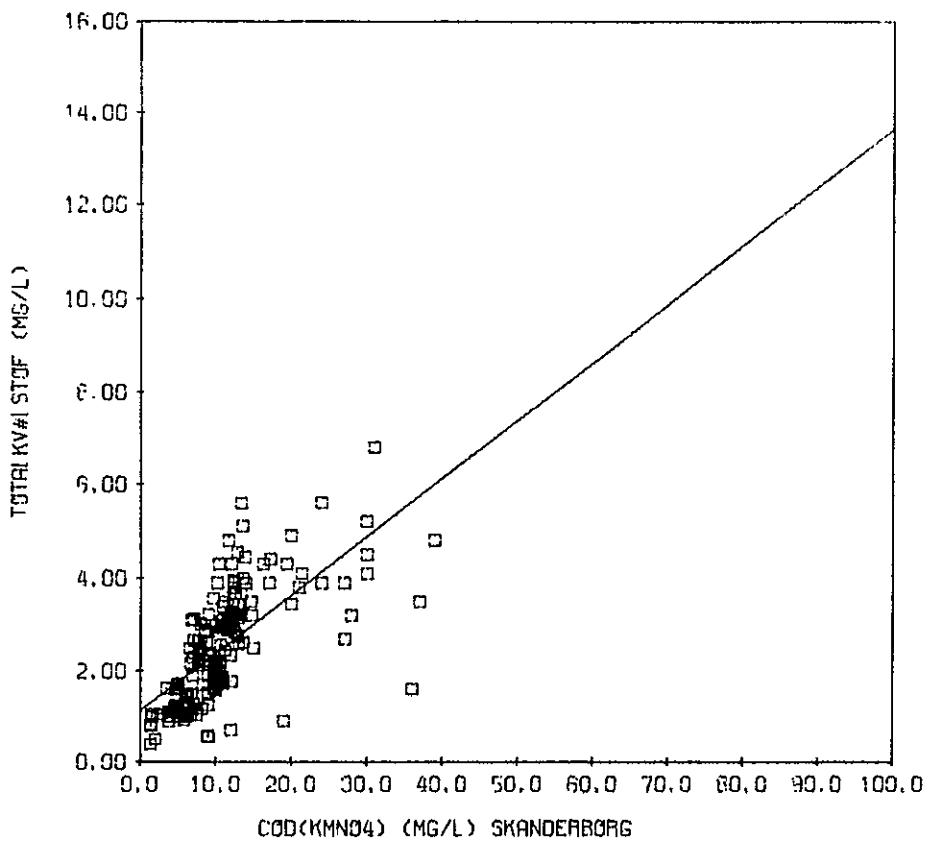
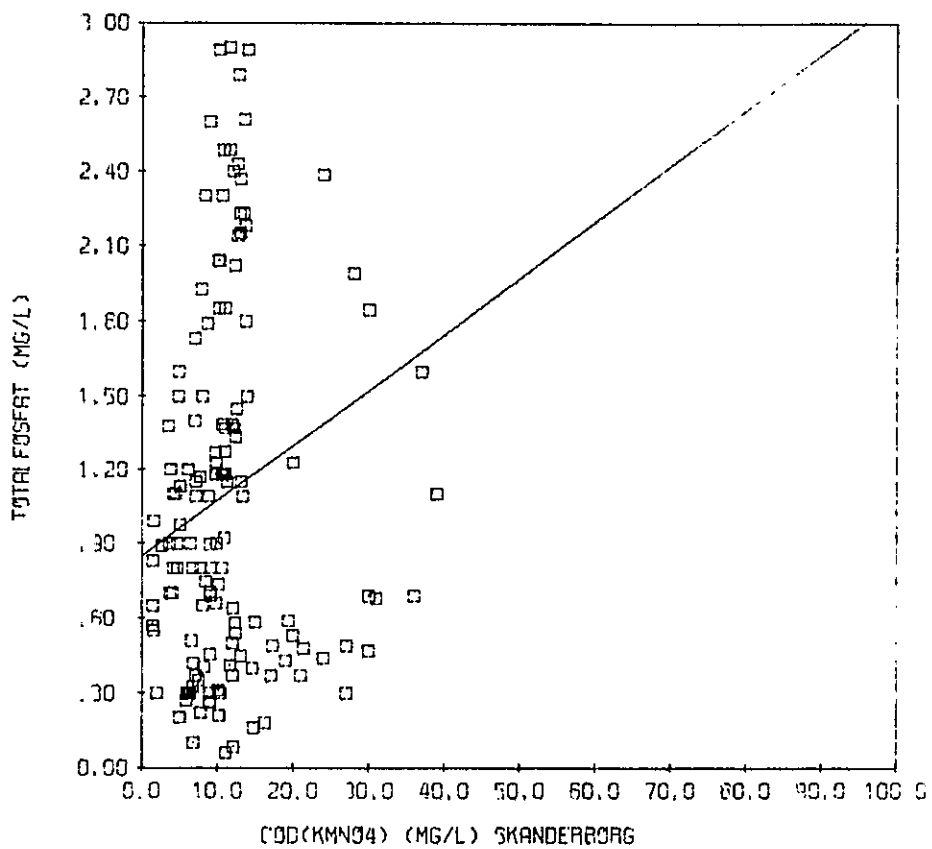


SKVÆTMØLLE - SKANDERBORG

Model	Afskæring A	STD (A)	Hældning H	STD (H)	Korrelations- koefficient
TP = H · SS + A	0,1817	0,0526	1,8663	0,0964	0,98
PB = H · SS + A	0,0399	0,0184	0,3707	0,0269	0,97
TP = H · PE + A	0,8471	0,0974	0,0225	0,0061	0,30
TN = H · PE + A	1,1291	0,1247	0,1250	0,0078	0,81

Tabel A 2      Regressionsligninger og disses koefficienter for udvalgte variabler.

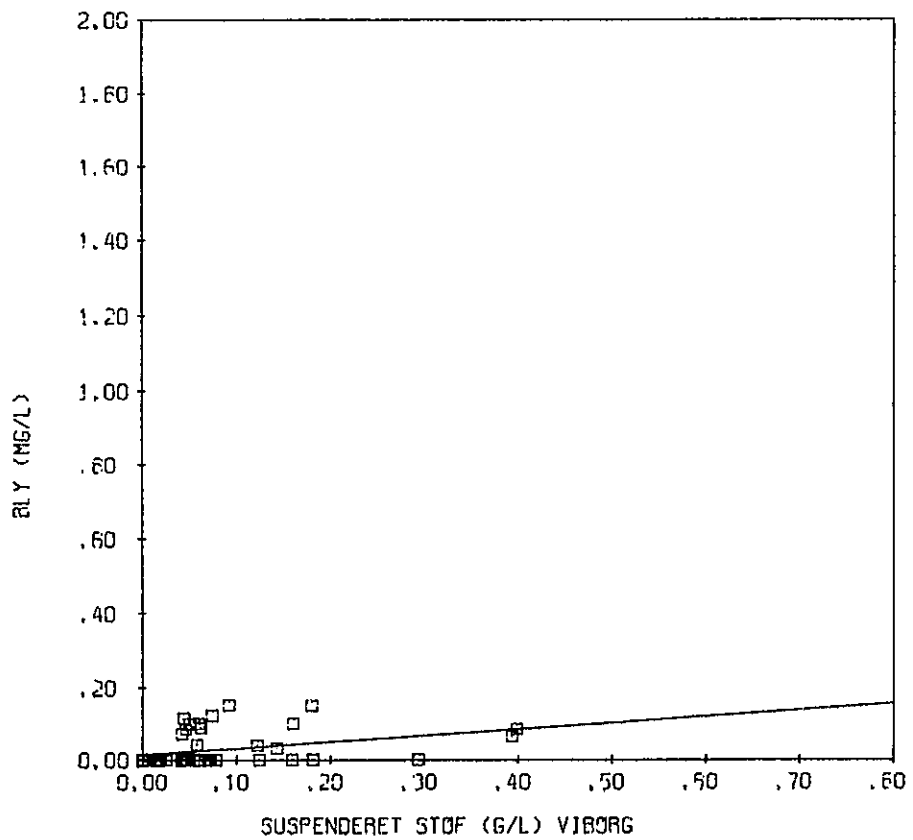
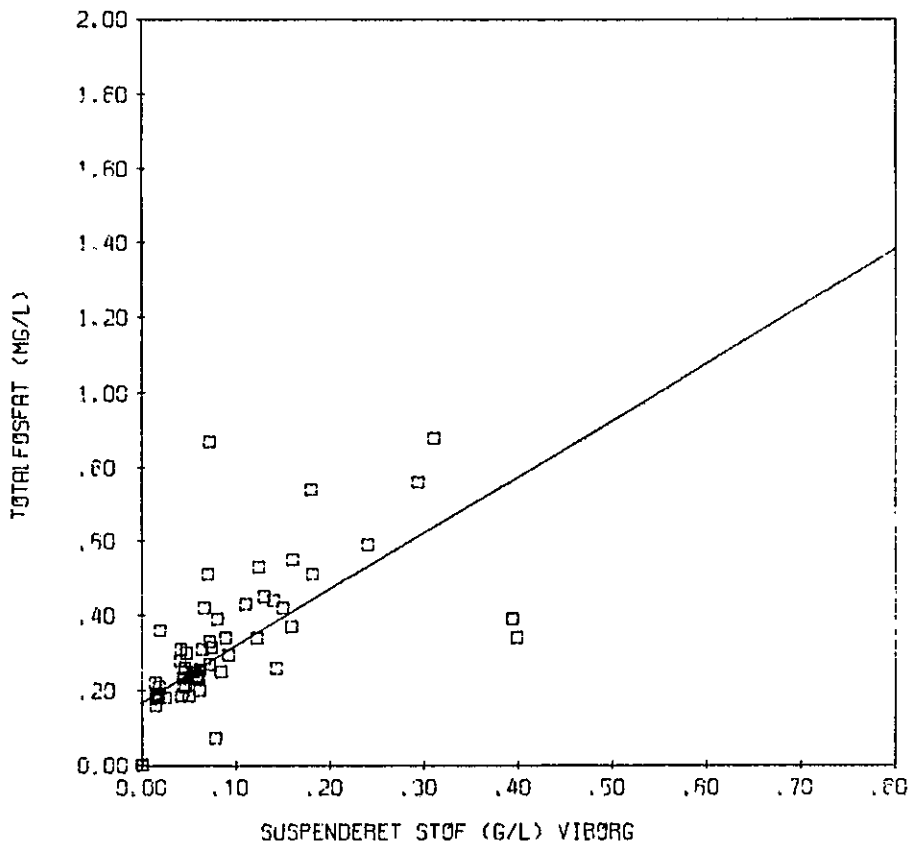


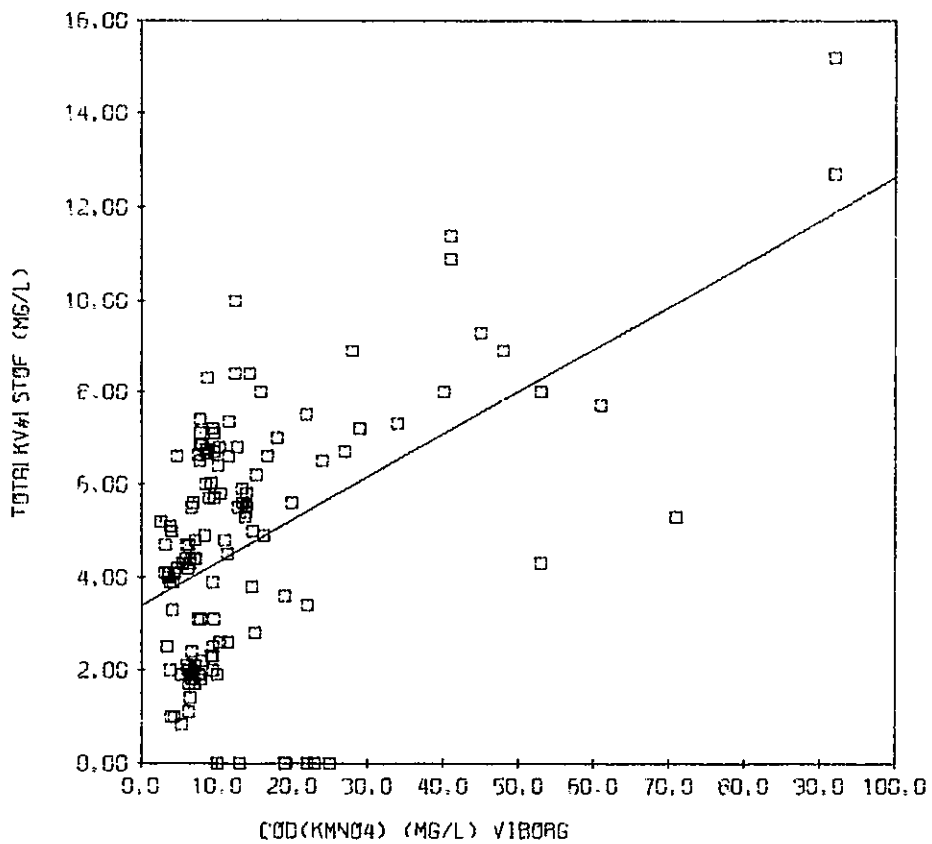
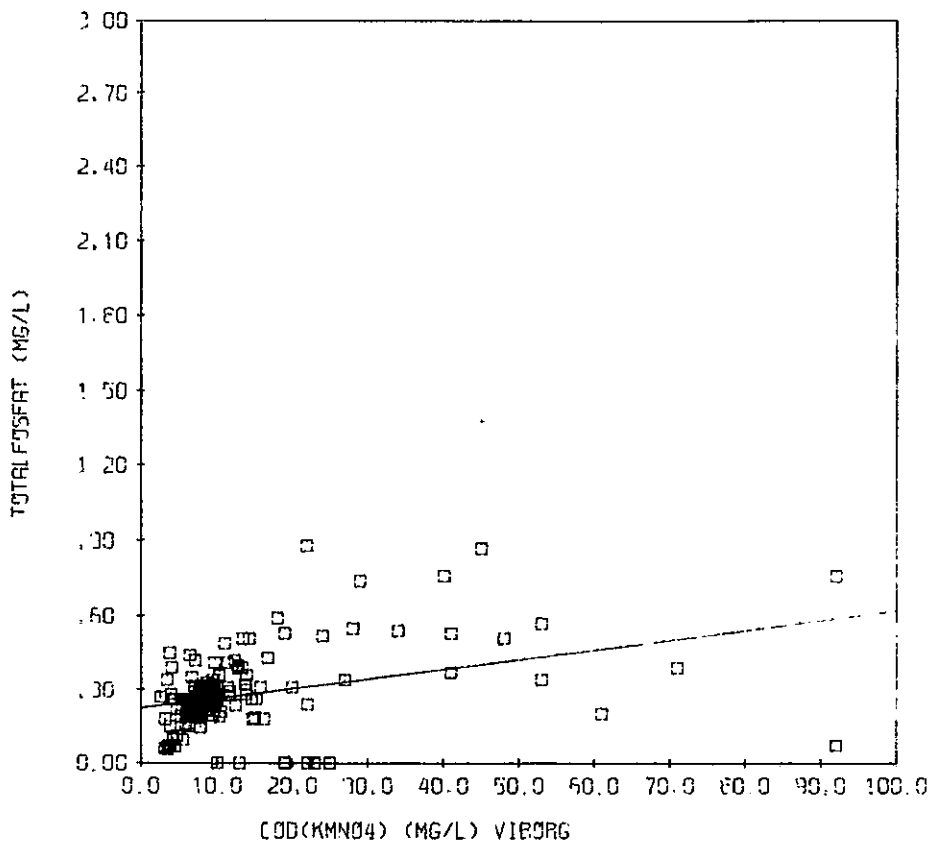


VIBORG - NØRREMARKEN

Model	Afskæring A	STD (A)	Hældning H	STD (H)	Korrelations- koefficient
TP = H · SS + A	0,1669	0,0265	1,5189	0,2192	0,67
PB = H · SS + A	0,0143	0,0080	0,1775	0,0700	0,34
TP = H · PE + A	0,2246	0,0193	0,0040	0,0009	0,36
TN = H · PE + A	3,3817	0,2937	0,0925	0,0138	0,51

Tabel A 3      Regressionsligninger og disses koefficienter for udvalgte variabler.



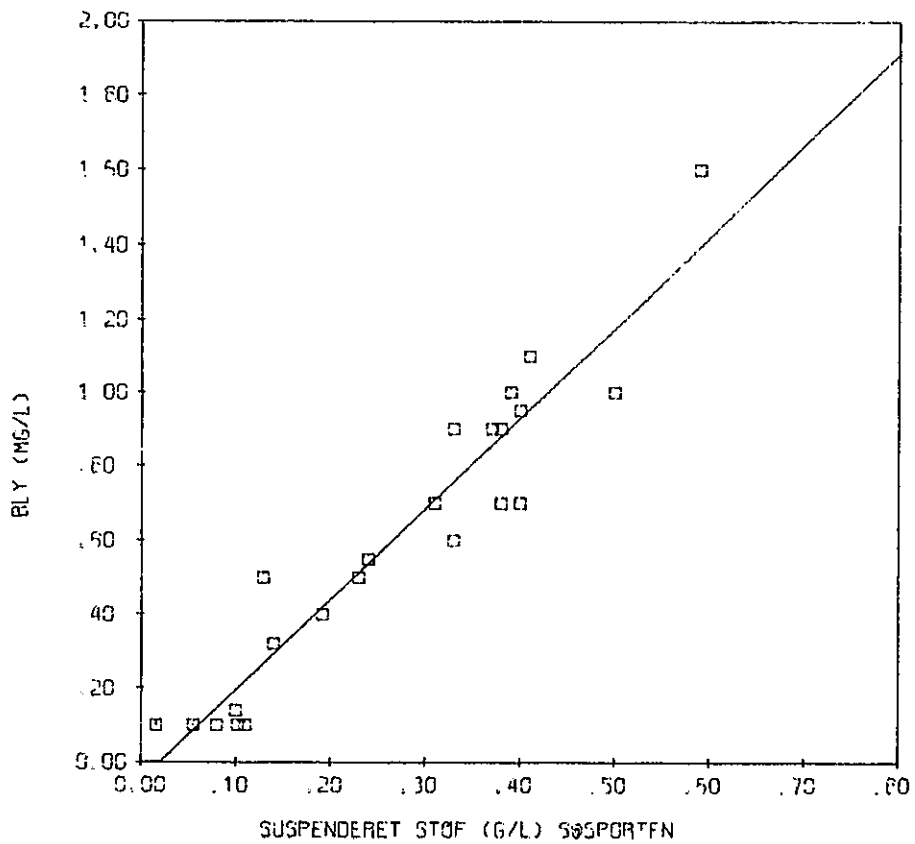
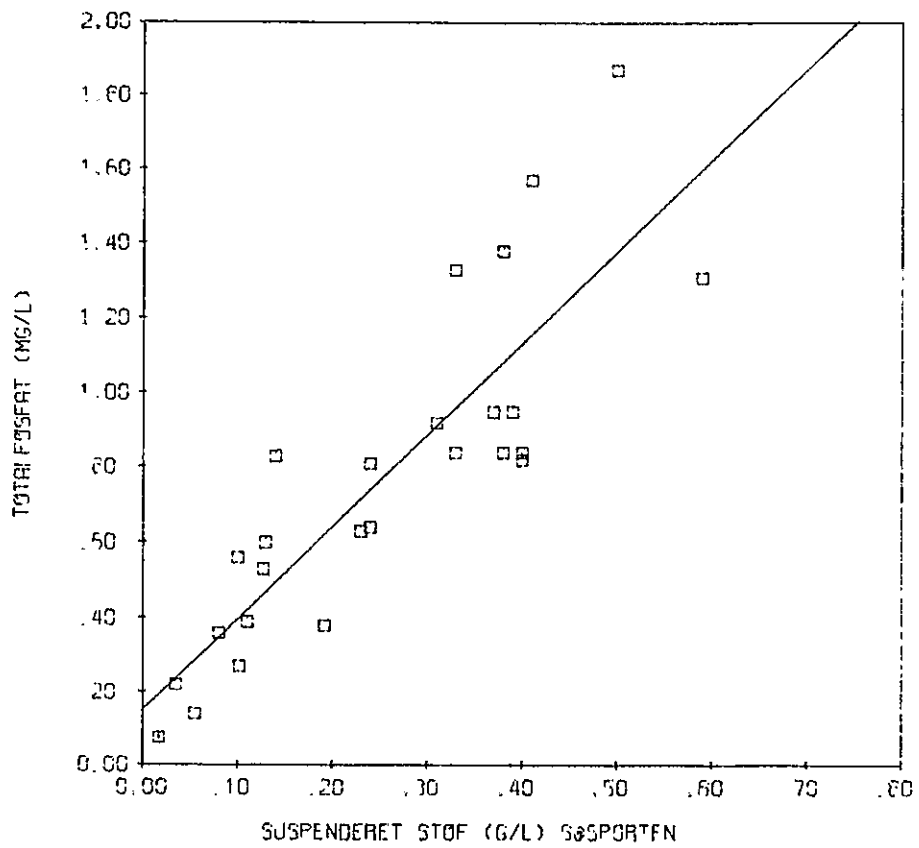


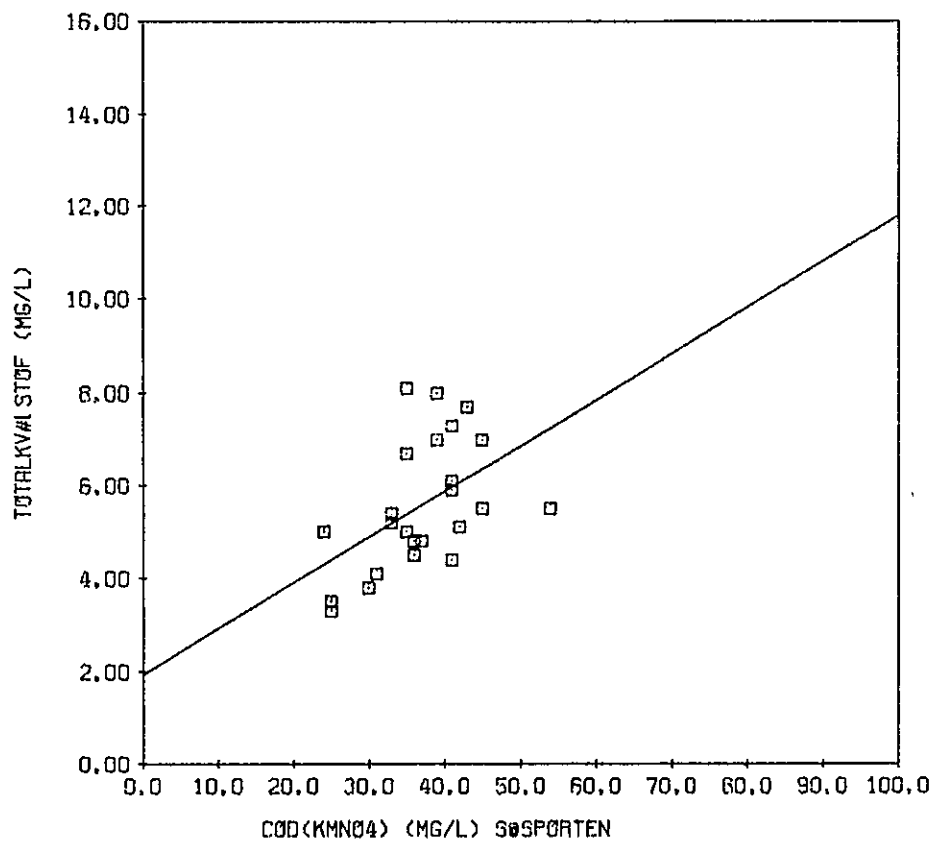
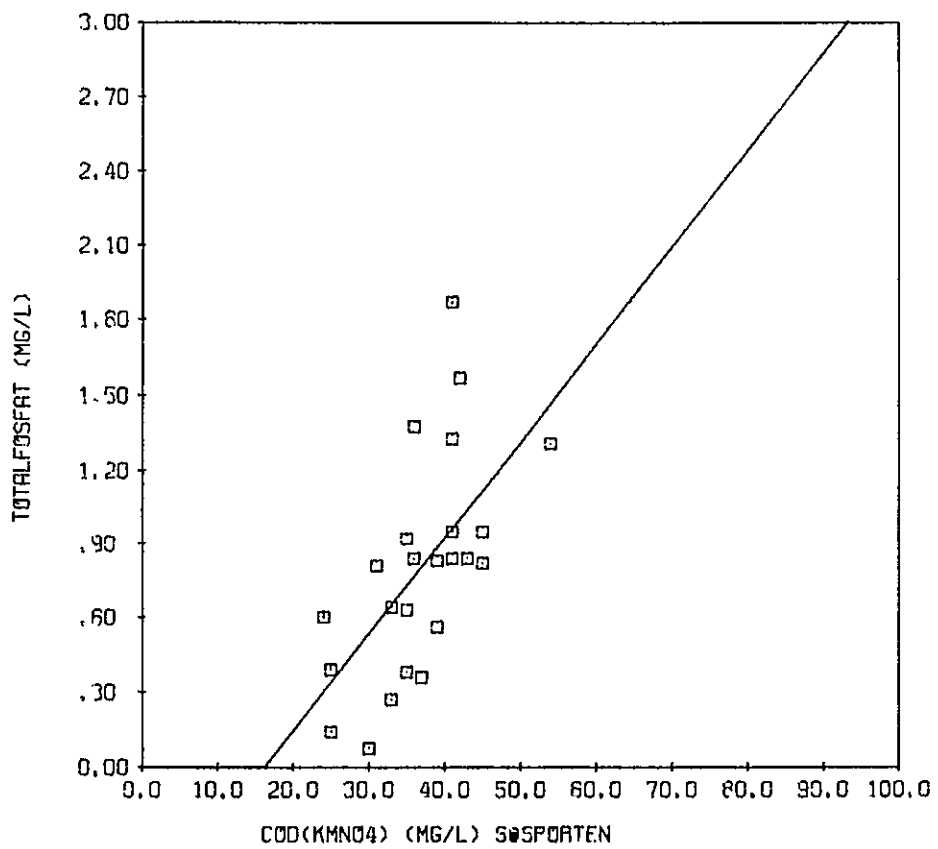
SØSPORTEN - SKANDERBORG

Model	Afskæring A	STD (A)	Hældning H	STD (H)	Korrelations- koefficient
TP = H · SS + A	0,1486	0,0885	2,4588	0,2989	0,86
PB = H · SS + A	- 0,0523*	0,0514	2,4540	0,1675	0,95
TP = H · PE + A	- 0,6366*	0,4029	0,0390	0,0107	0,61
TN = H · PE + A	1,9357*	1,3848	0,0985	0,0369	0,49

Tabel A 4      Regressionsligninger og disses koefficienter for udvalgte variabler.



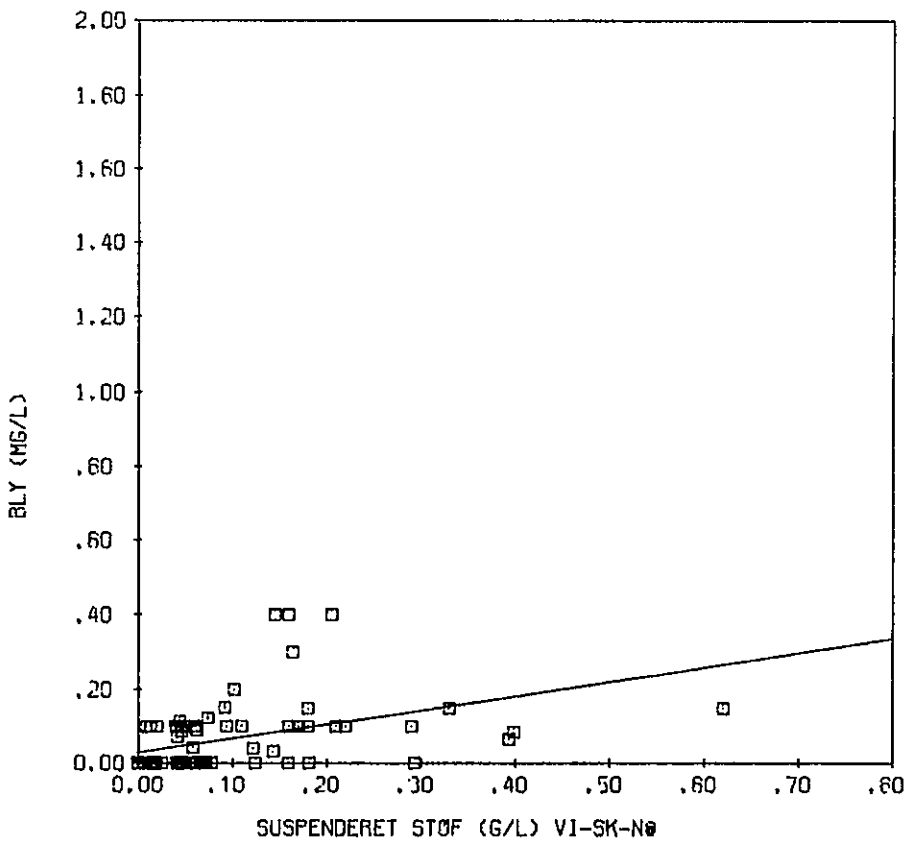
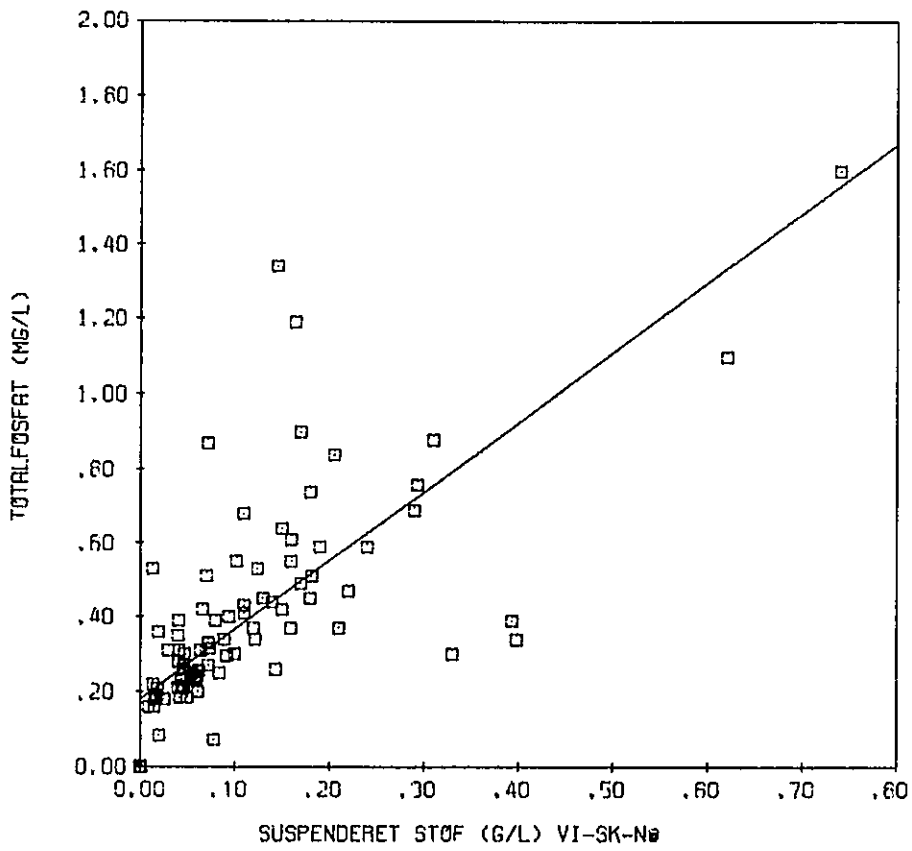


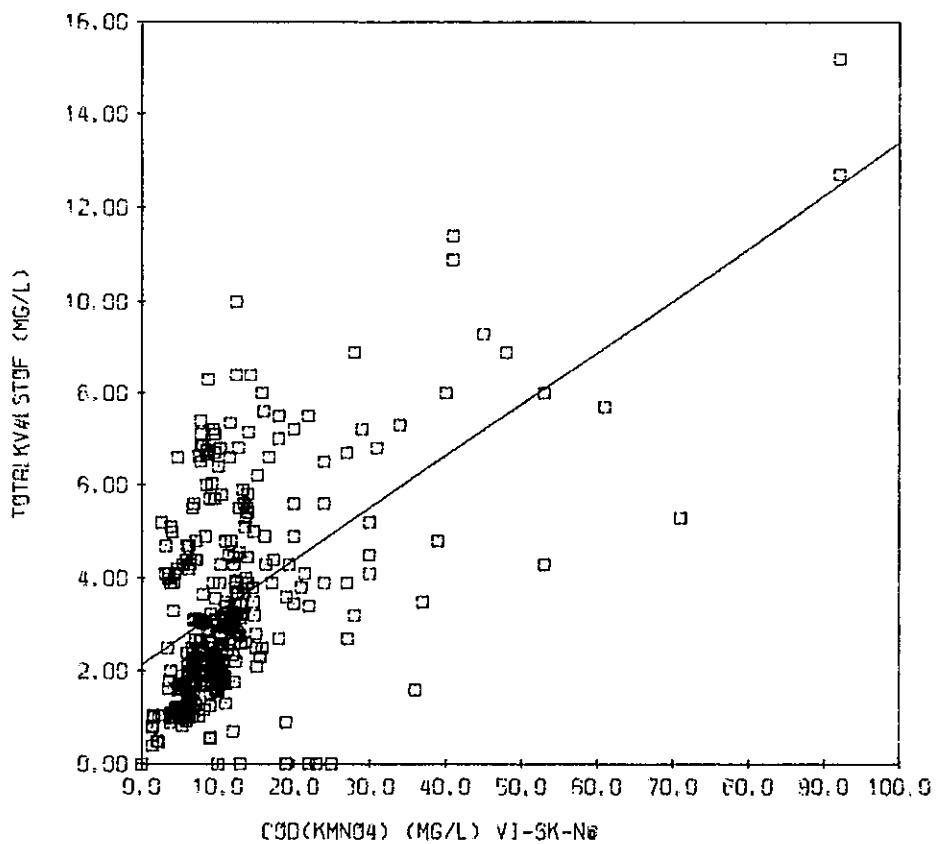
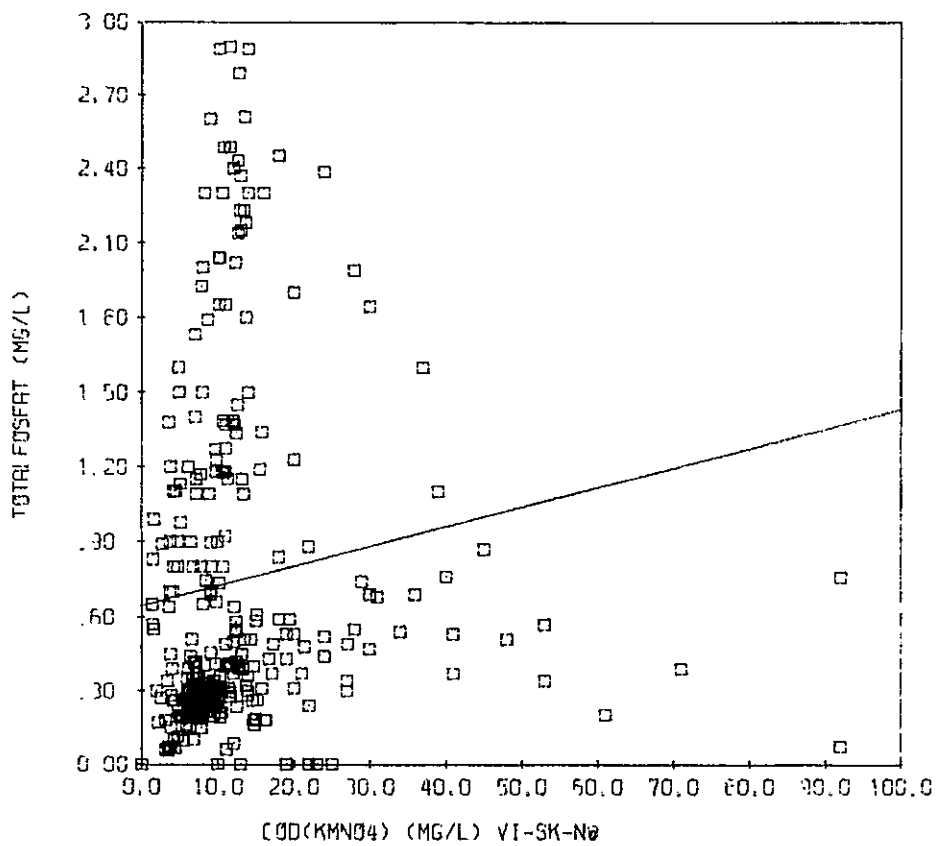


VIBORG - SKVÆTMØLLE - NØRSKOVBAKKE

Model	Afskæring A	STD (A)	Hældning H	STD (H)	Korrelations- koefficient
TP = H · SS + A	0,1790	0,0245	1,8656	0,0866	0,92
PB = H · SS + A	0,0291	0,0116	0,3836	0,0386	0,77
TP = H · PE + A	0,6452	0,0619	0,0079	0,0034	0,14
TN = H · PE + A	2,1353	0,1713	0,1125	0,0093	0,58

Tabel A 5      Regressionsligninger og disses koefficienter for udvalgte variabler.

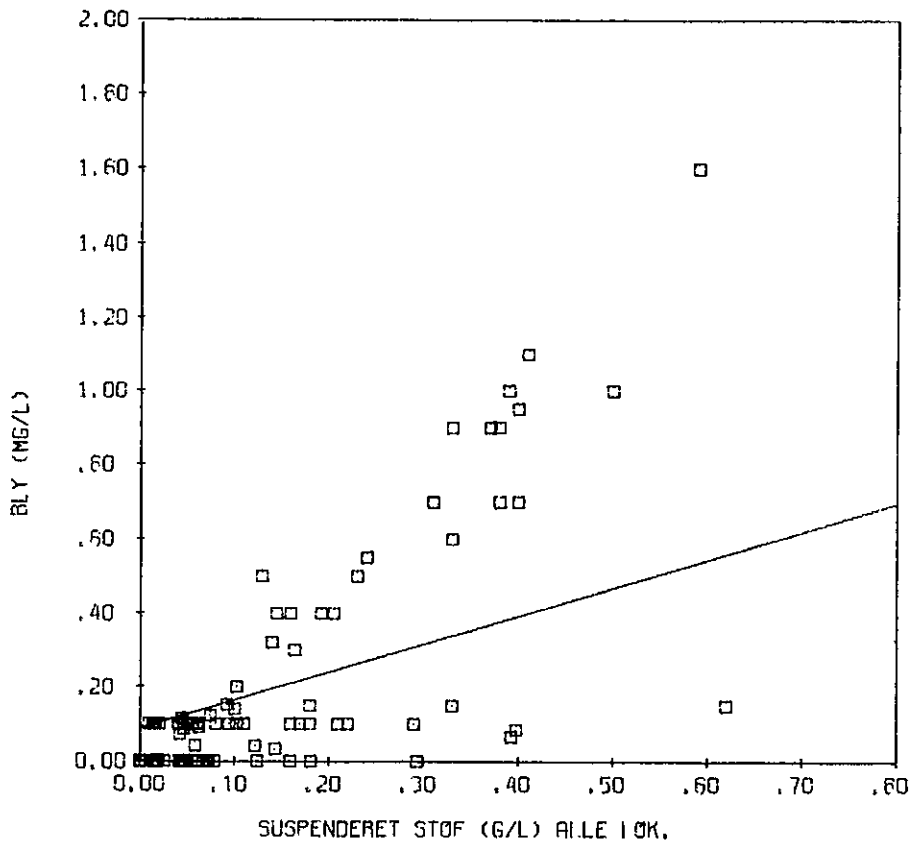
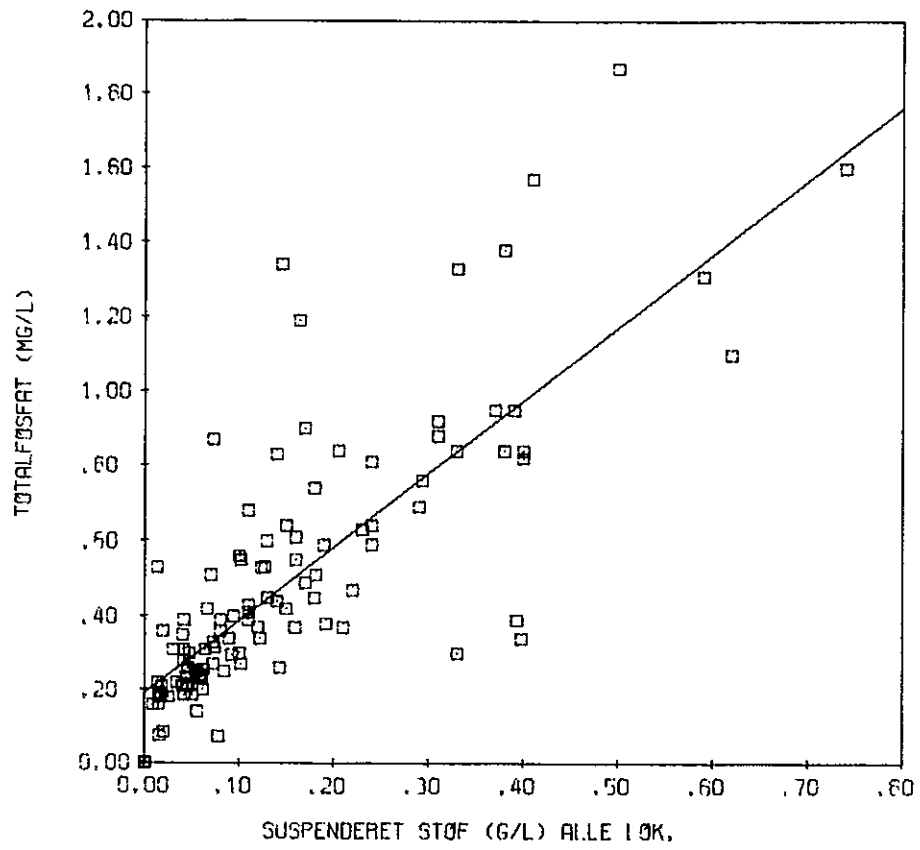


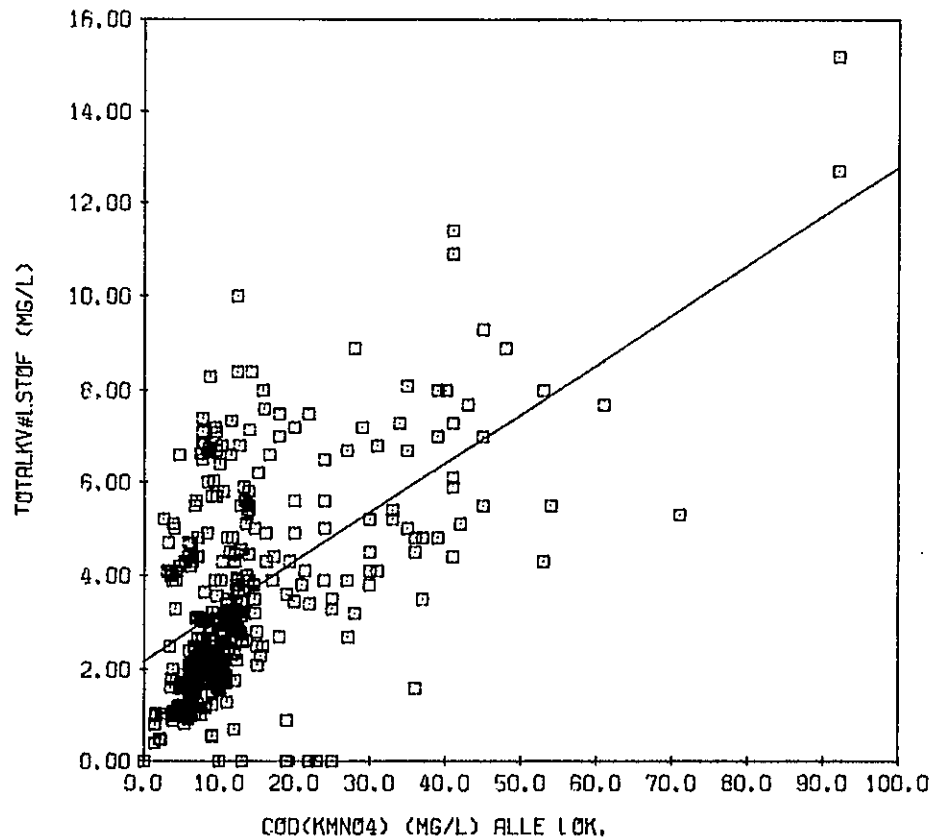
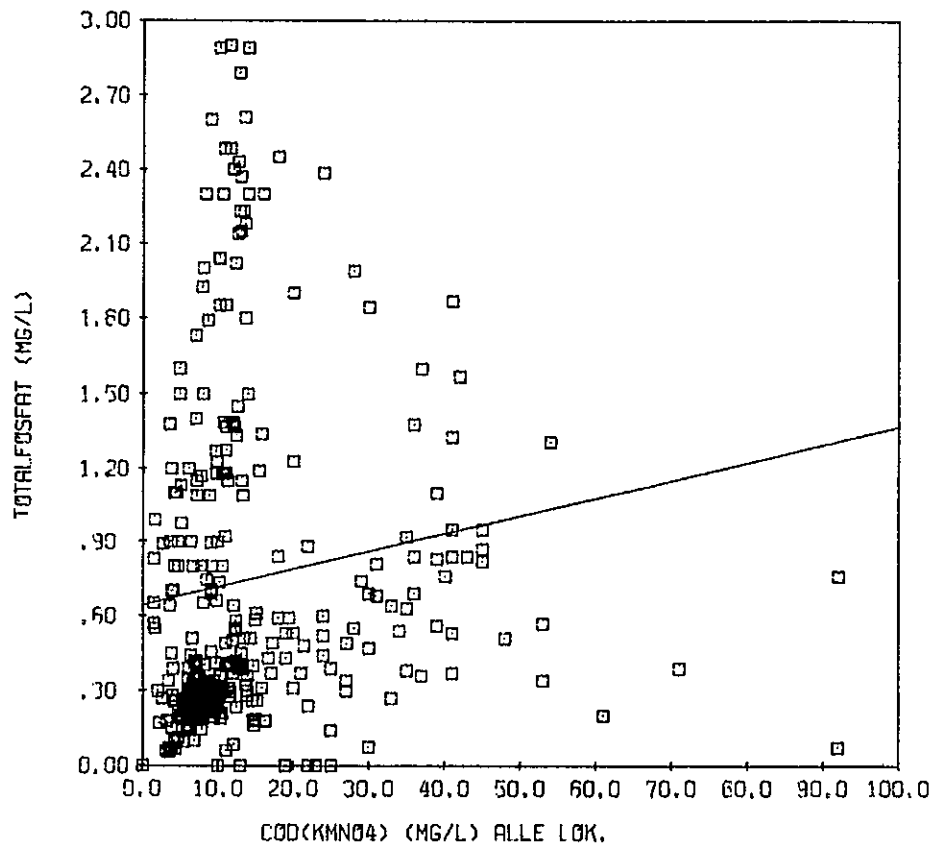


VIBORG - SKVÆTMØLLE - NØRSKOVBAKKE - SØSPORTEN

Model	Afskæring A	STD (A)	Hældning H	STD (H)	Korrelations- koefficient
TP = H · SS + A	0,1898	0,0245	1,9647	0,0855	0,91
PB = H · SS + A	0,0884	0,0321	0,7602	0,1058	0,60
TP = H · PE + A	0,6433	0,0593	0,0073	0,0029	0,14
TN = H · PE + A	2,1761	0,1647	0,1061	0,0080	0,60

Tabel A 6      Regressionsligninger og disses koefficienter for udvalgte variabler.



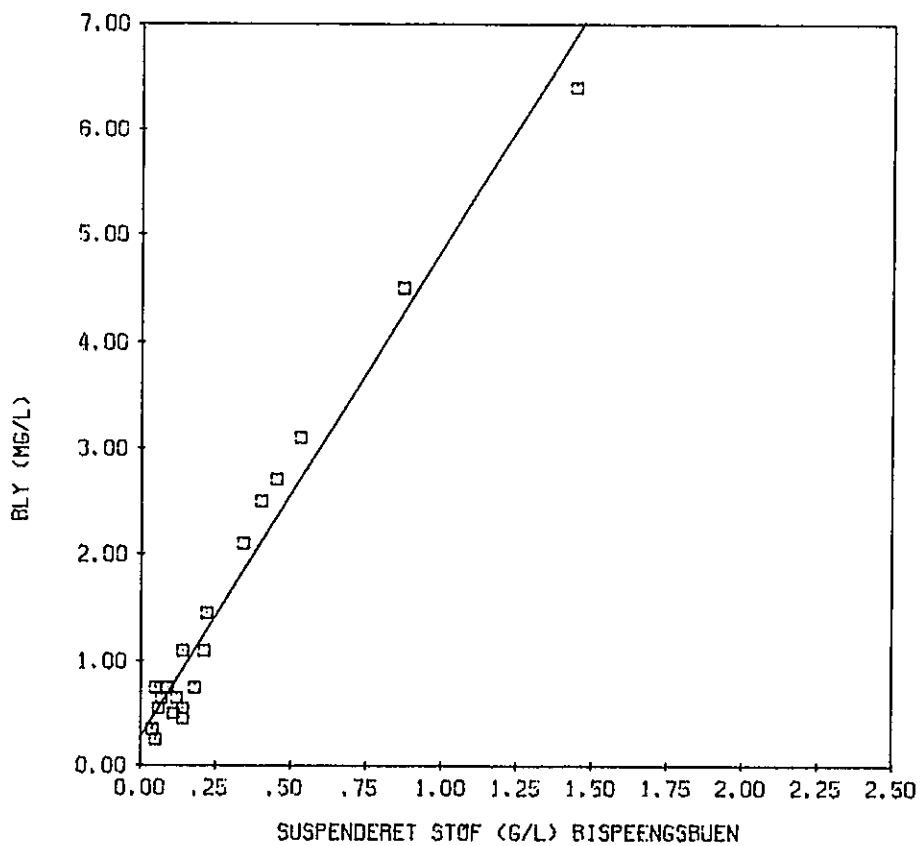
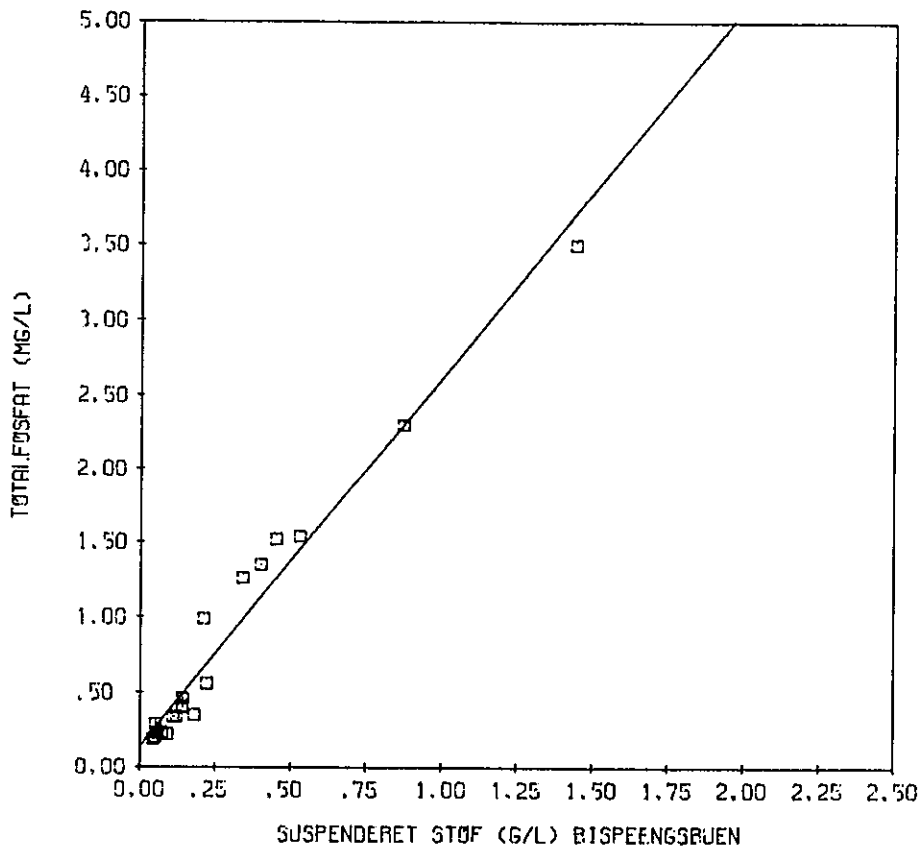


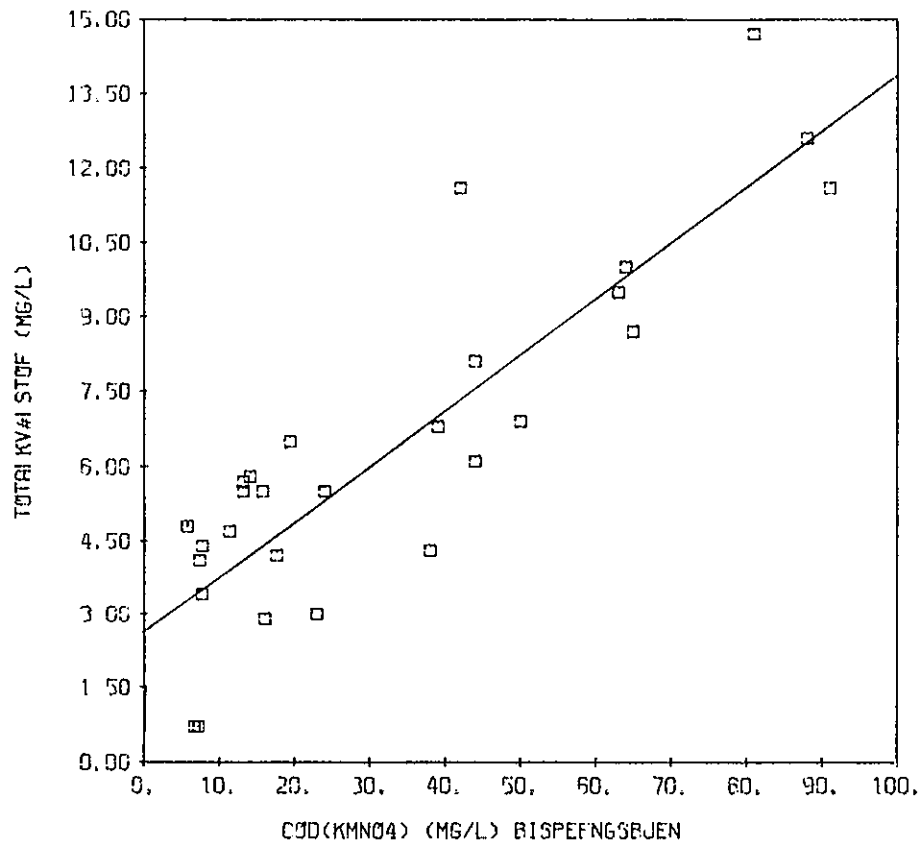
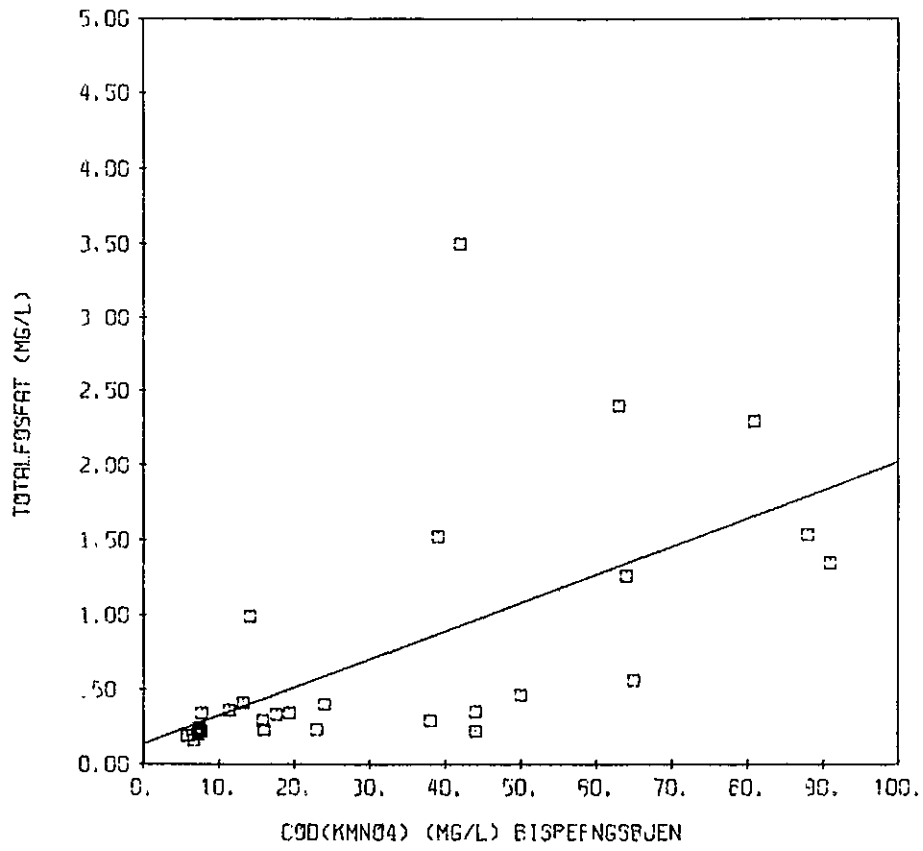


BISPEENGSBUEN - KØBENHAVN

Model	Afskæring A	STD (A)	Hældning H	STD (H)	Korrelations- koefficient
$TP = H \cdot SS + A$	0,13	0,05	2,48	0,11	0,98
$PB = H \cdot SS + A$	0,26	0,09	4,59	0,20	0,98
$TP = H \cdot PE + A$	0,13	0,20	0,19	0,01	0,60
$TN = H \cdot PE + A$	2,69	0,53	0,11	0,01	0,87

Tabel A 7 Regressionsligninger og disses koefficienter for udvalgte variabler.





## B I L A G B

---

STOF AFSTRØMNINGSMÆNGDER (%) SOM FUNKTION AF  
AFSTRØMMET VANDMÆNGDE (%) OG AFSTRØMNINGSTID (%)

---

ANGIVET FOR MÅLEOPLANDENE:

NØRSKOVBAKKE - SILKEBORG

SKVÆTMØLLE - SKANDERBORG

VIBORG - NØRREMARKEN

SØSPORTEN - SKANDERBORG

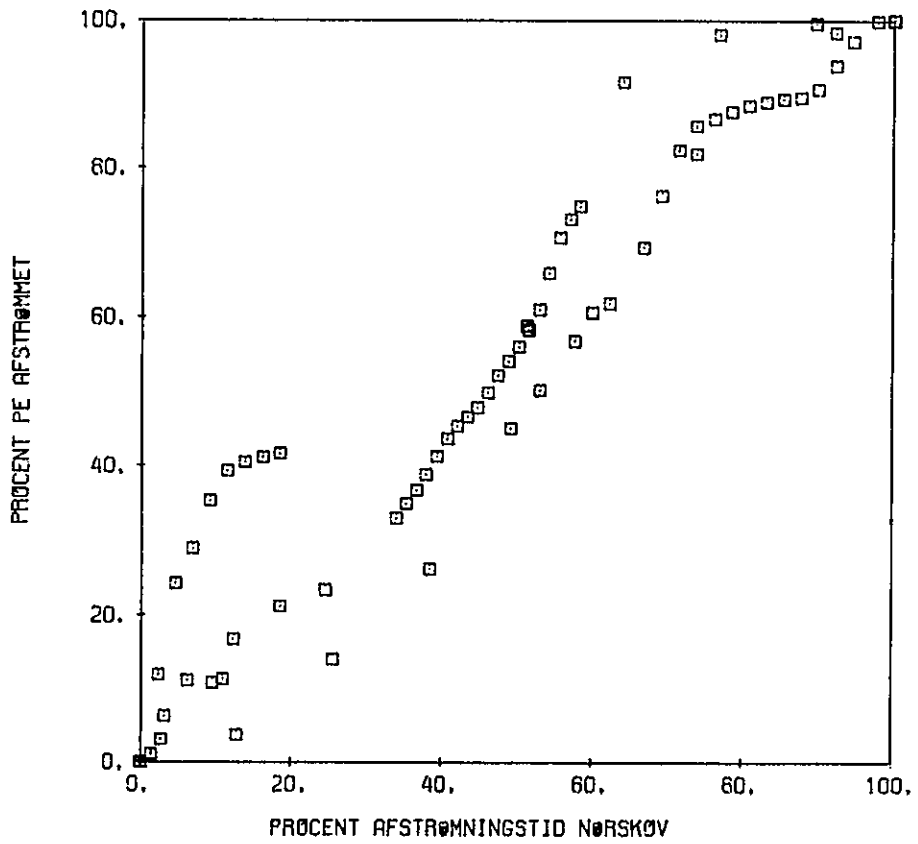
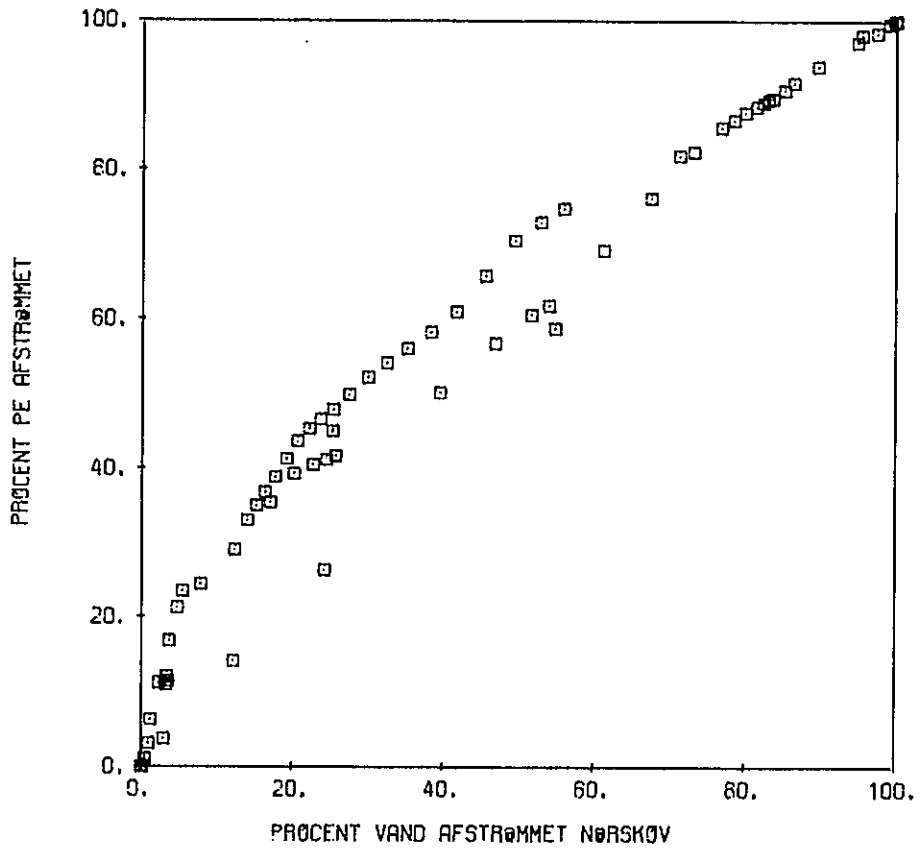
VIBORG - SKVÆTMØLLE - NØRSKOVBAKKE

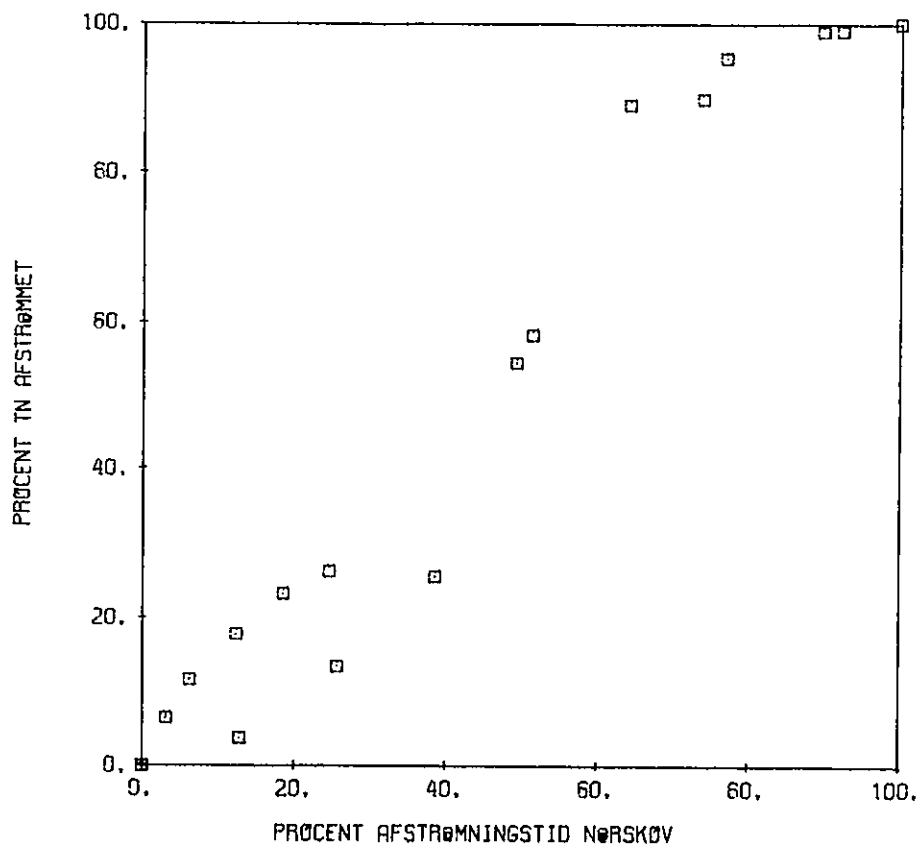
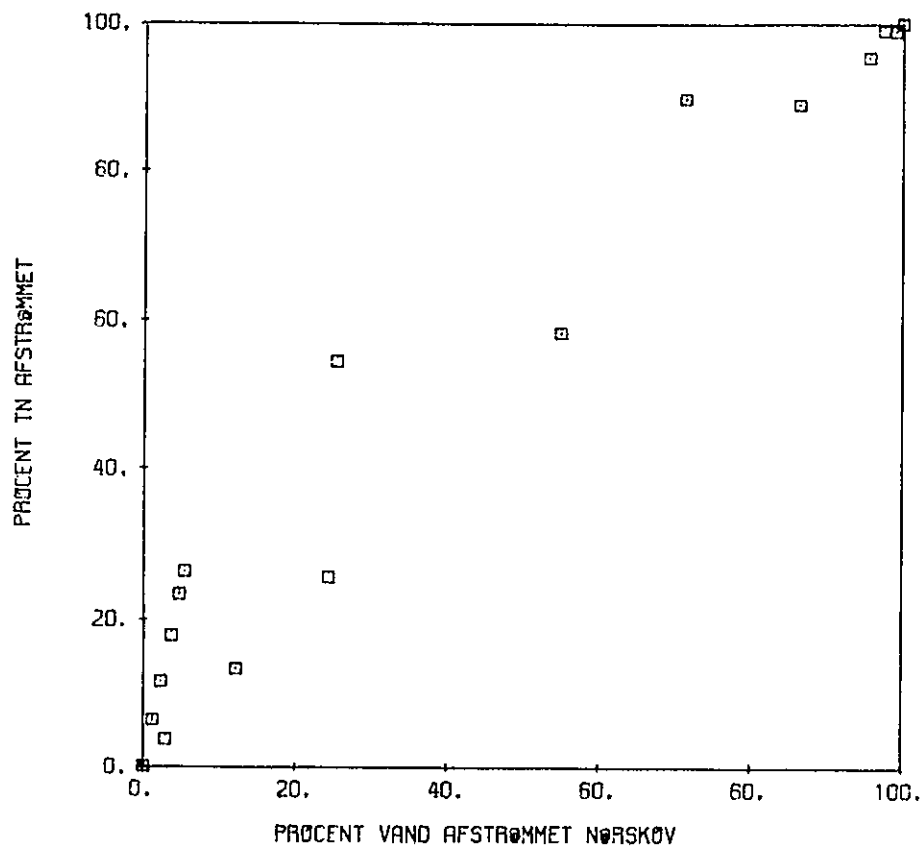
VIBORG - SKVÆTMØLLE - NØRSKOVBAKKE - SØSPORTEN

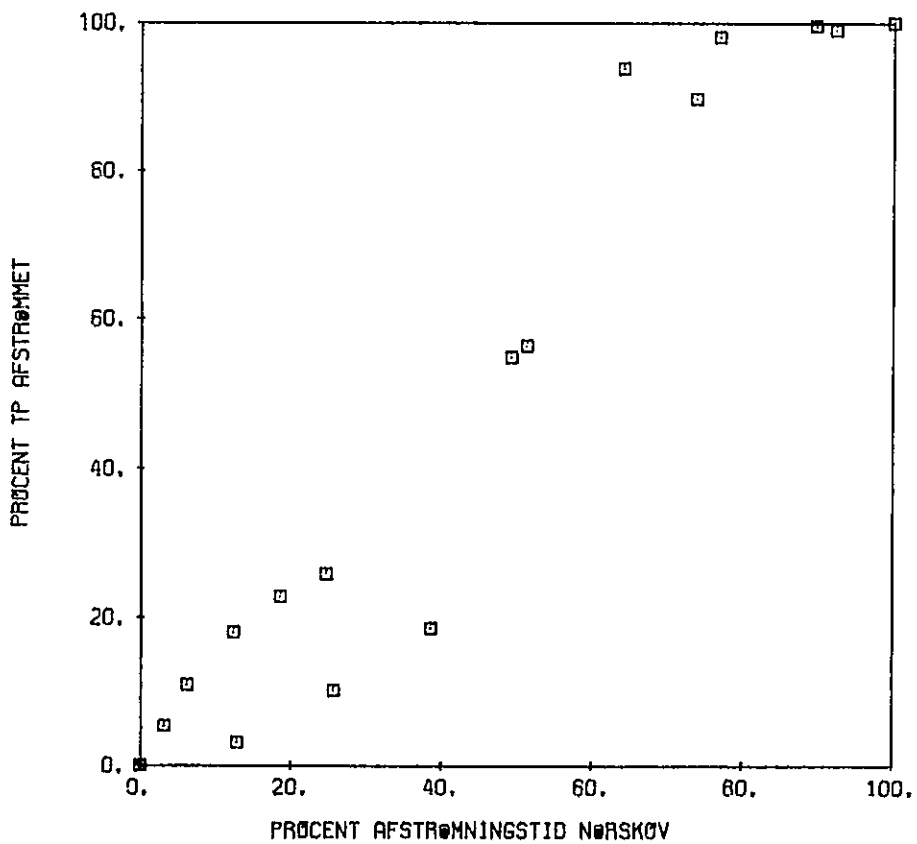
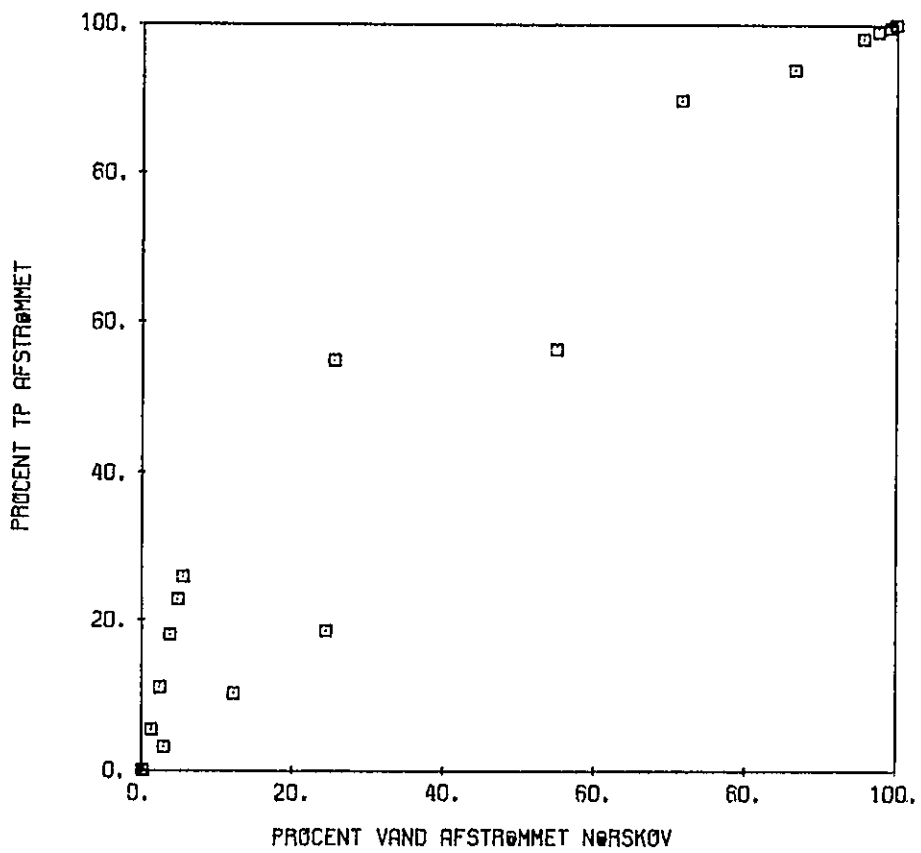
BISPEENGSBUEN - KØBENHAVN

SØNDER EGE - RY

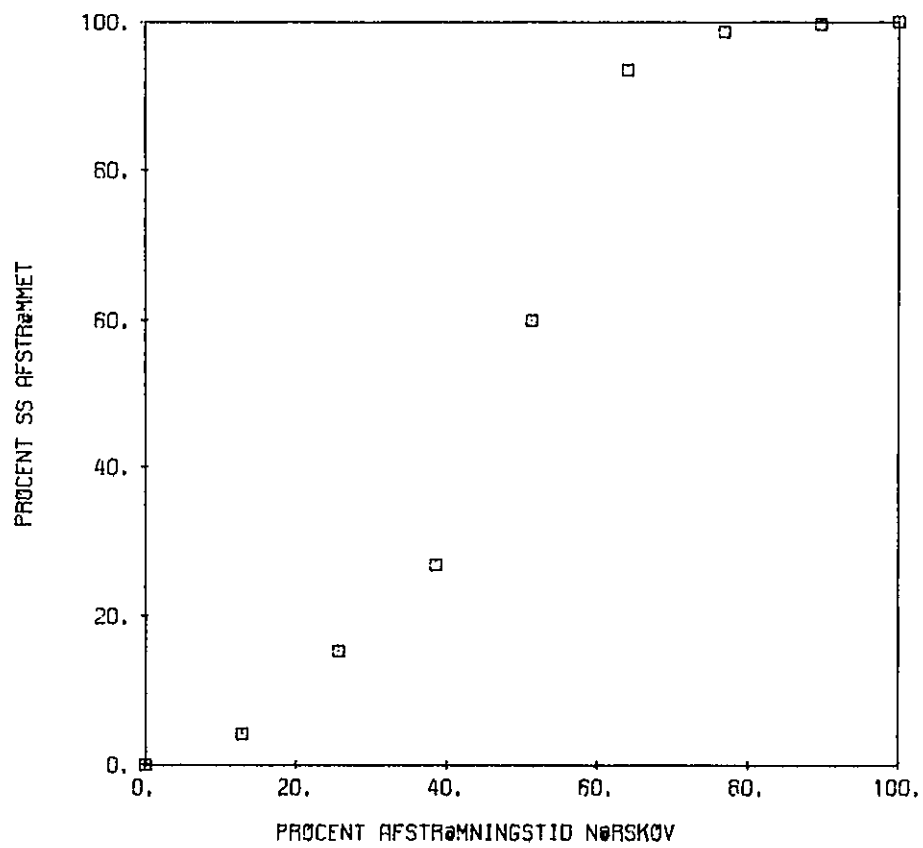
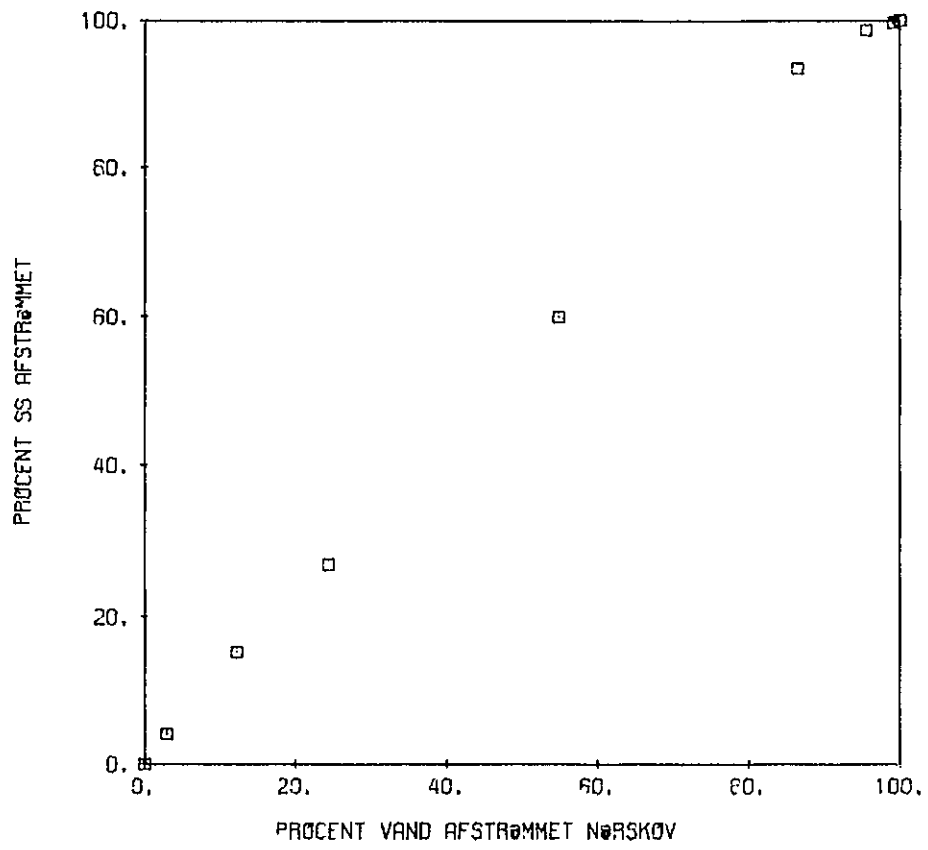
NØRSKOVBAKKE - SILKEBORG

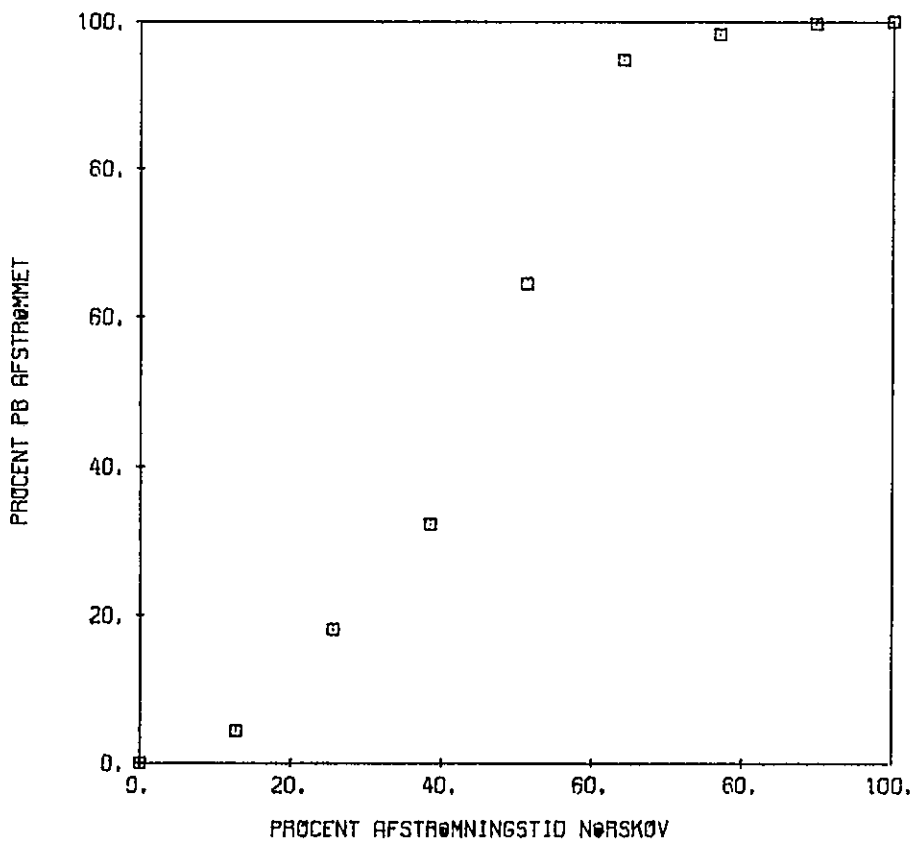
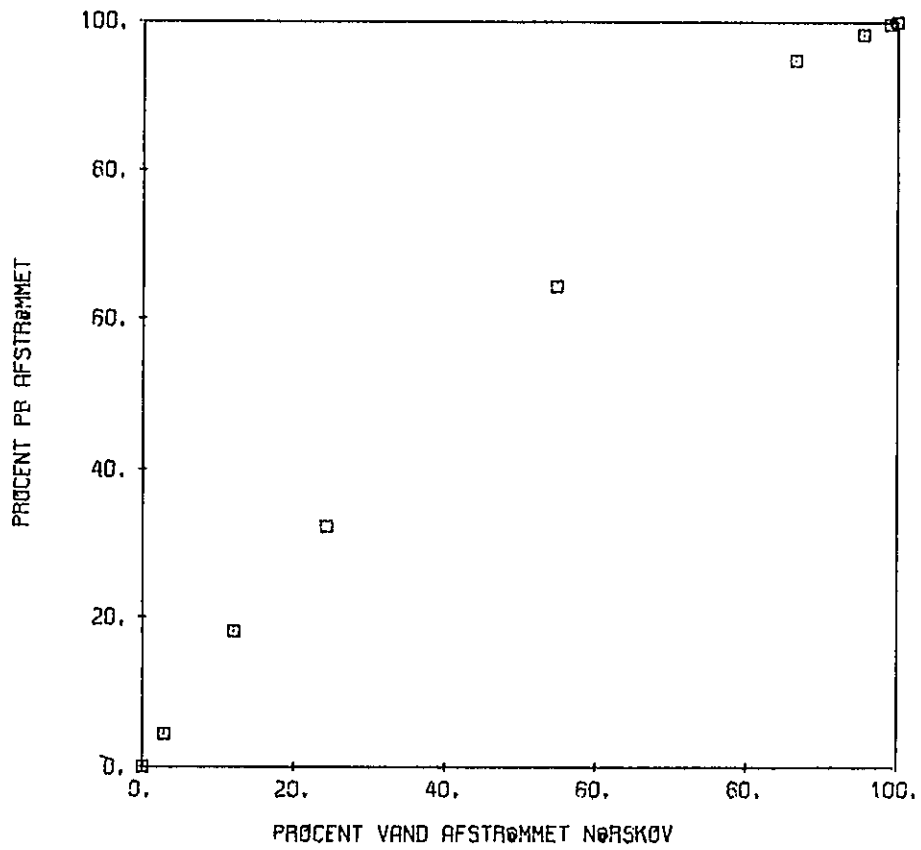


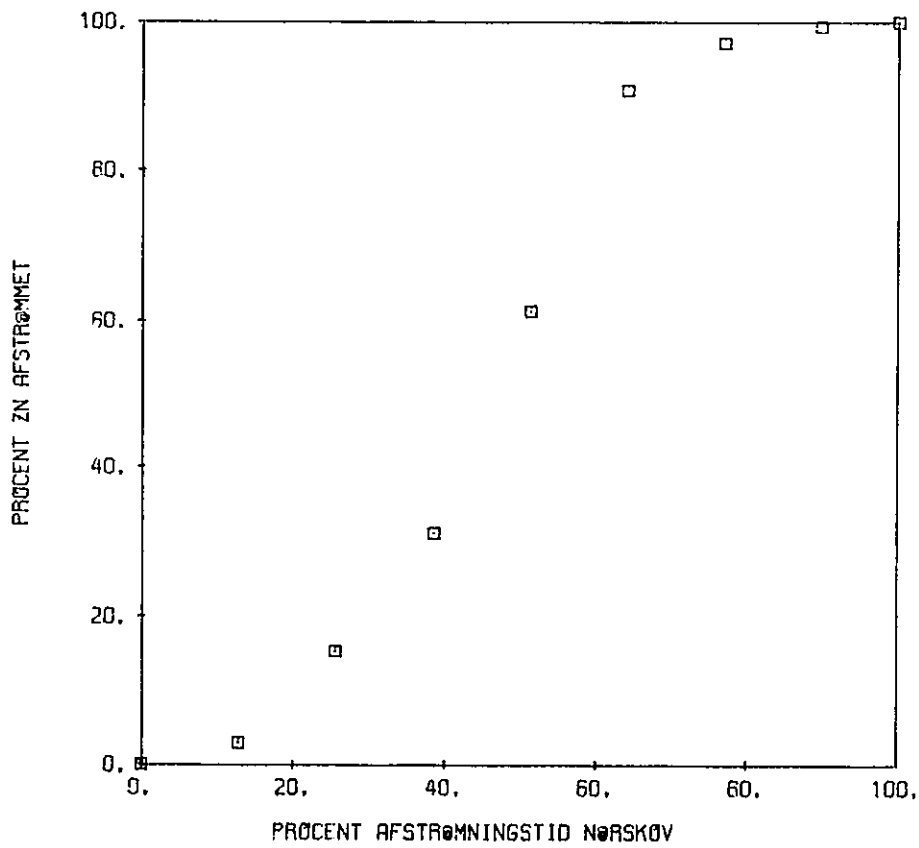
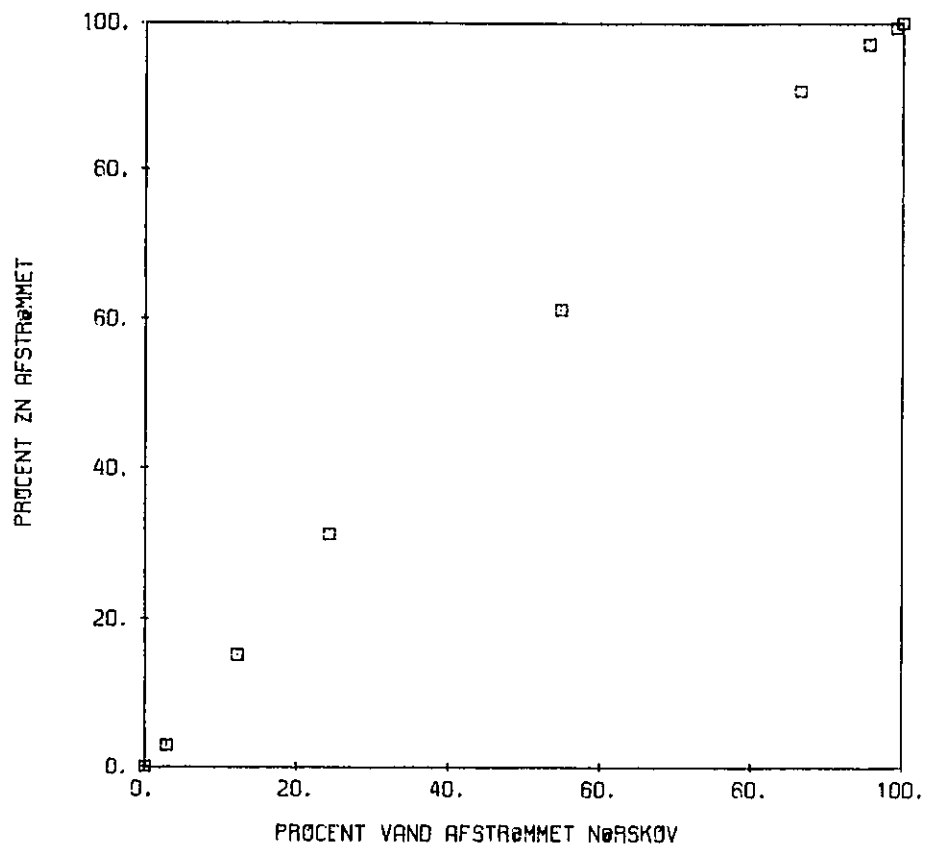


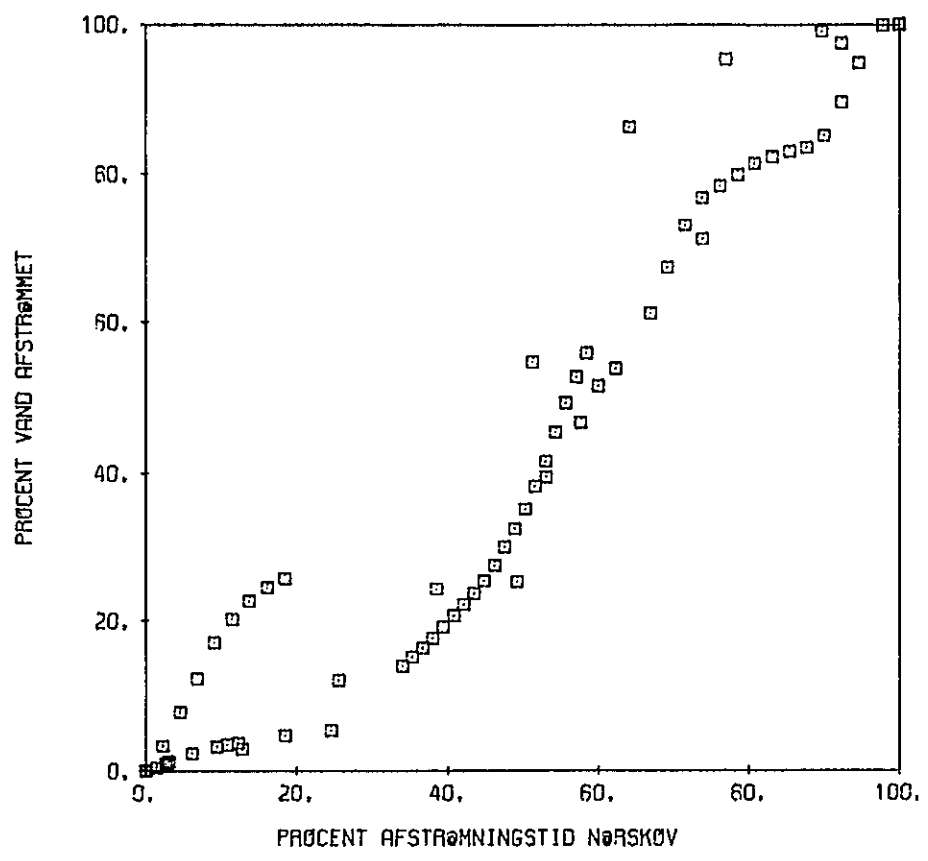




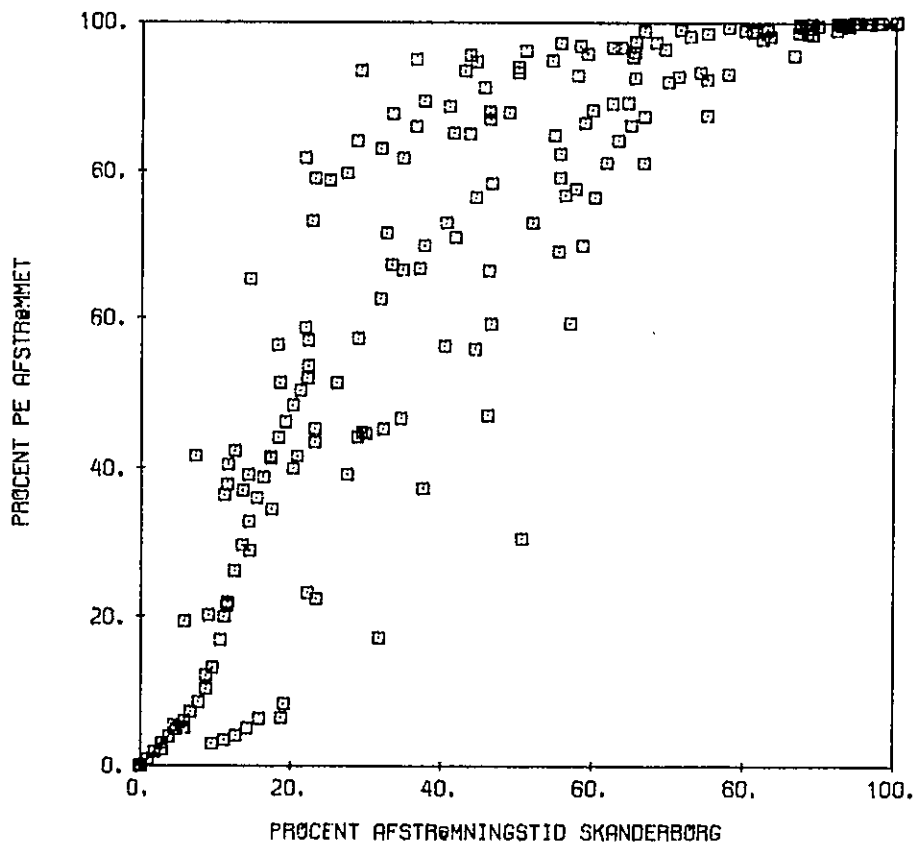
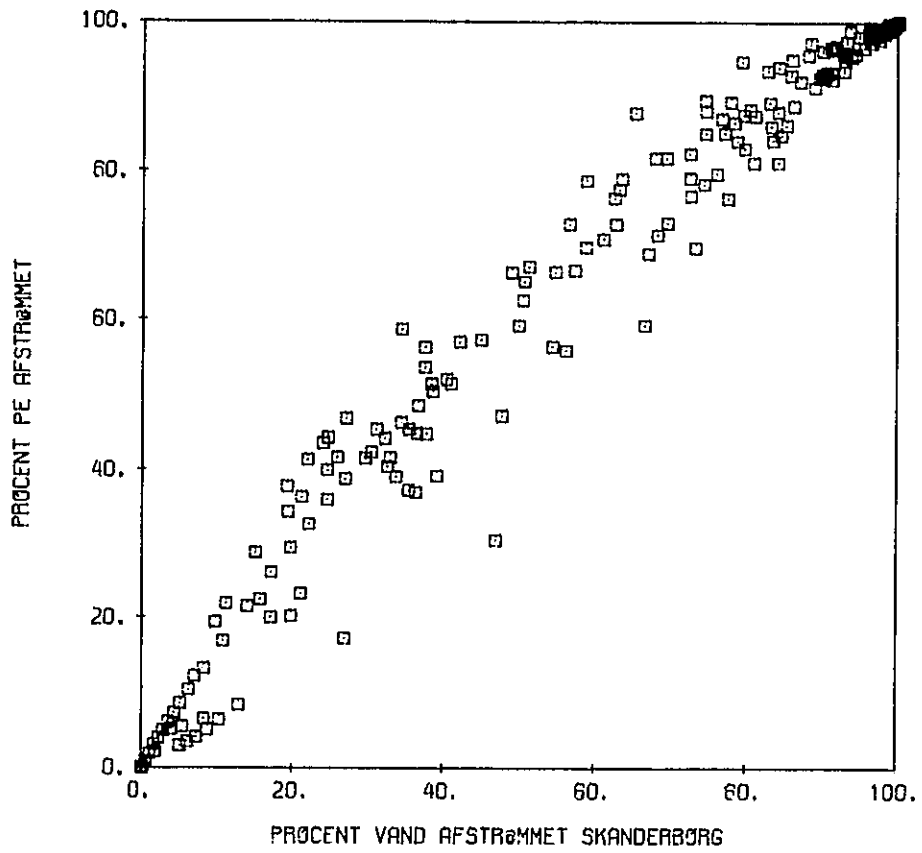


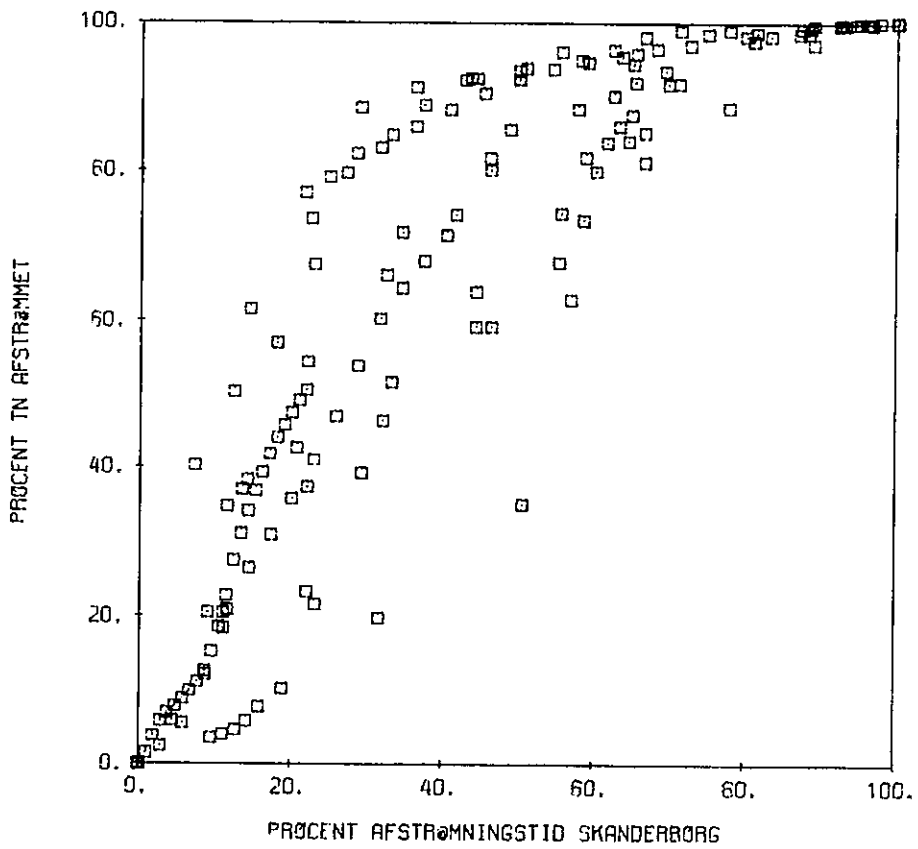
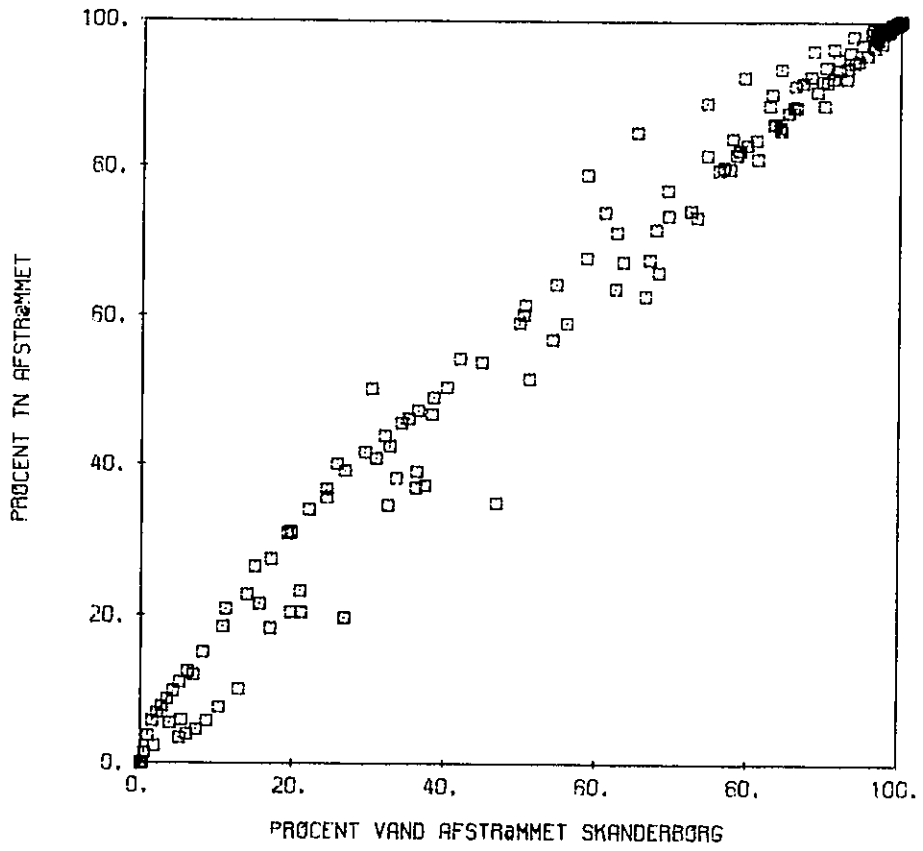


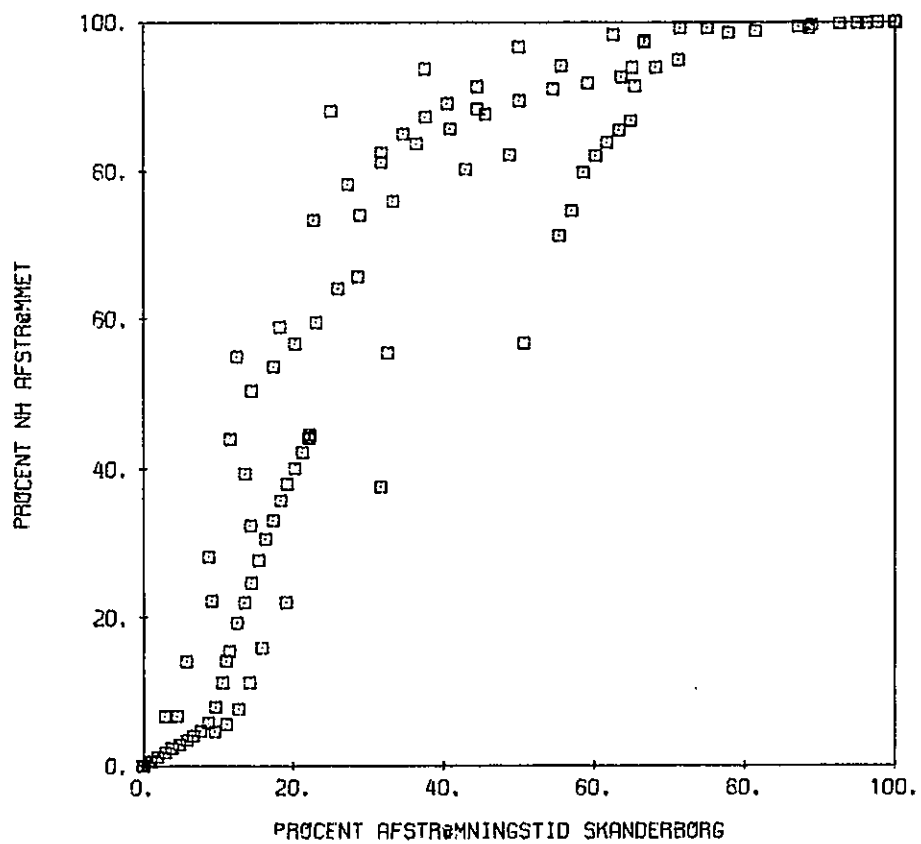
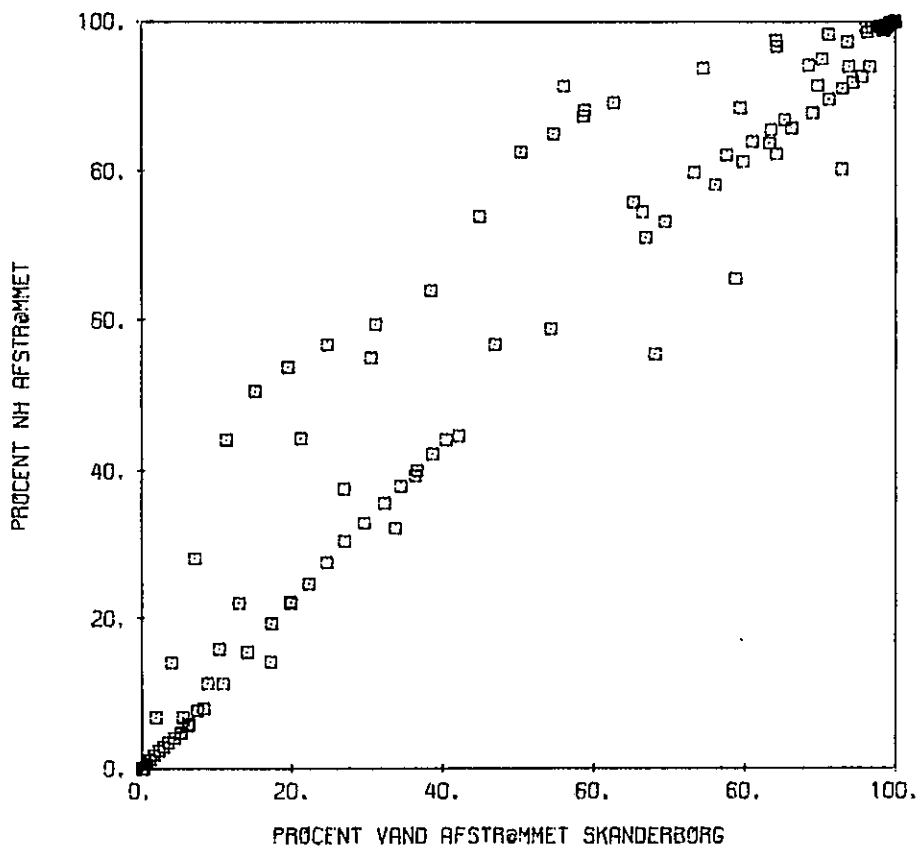




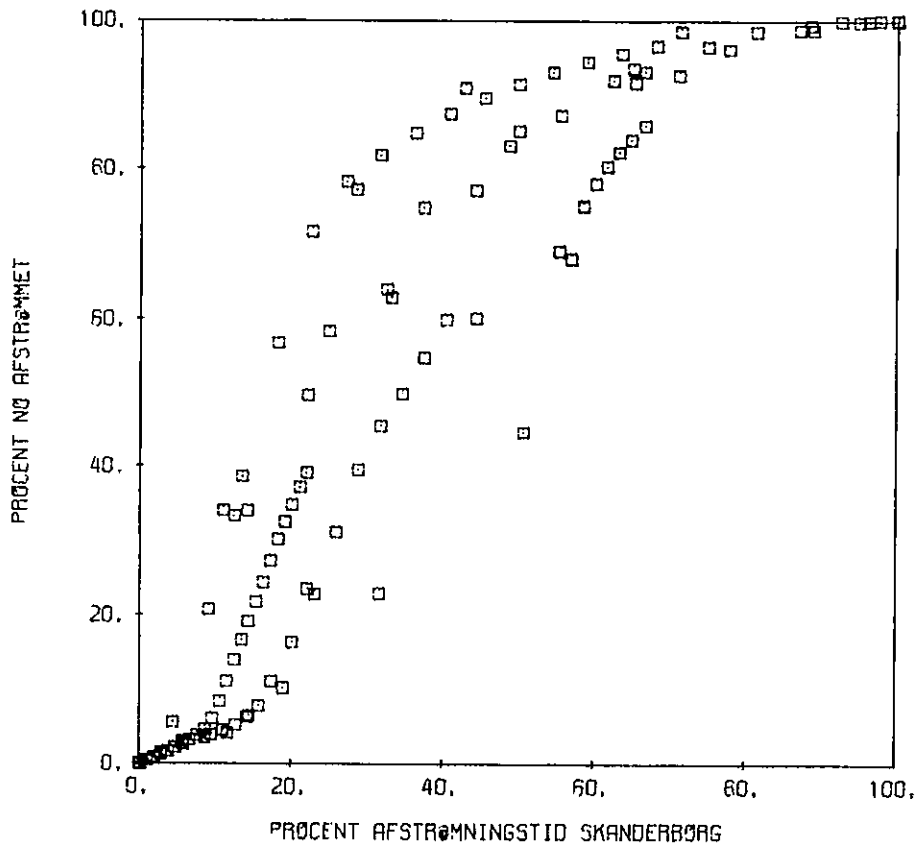
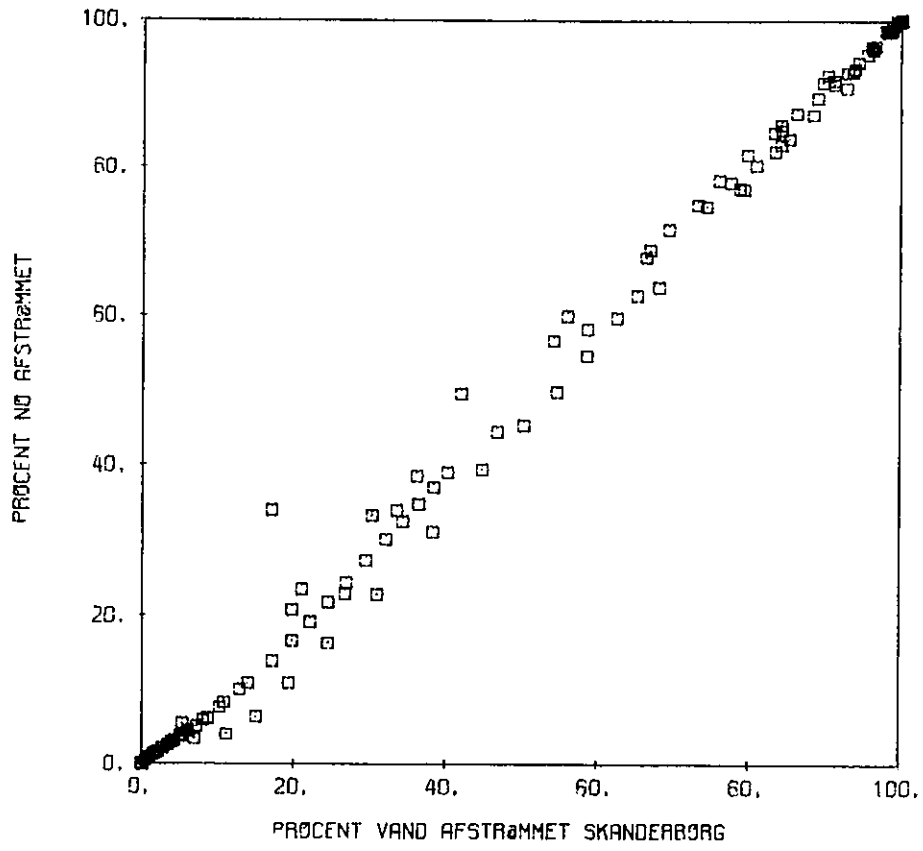
SKVÆTMØLLE - SKANDERBORG

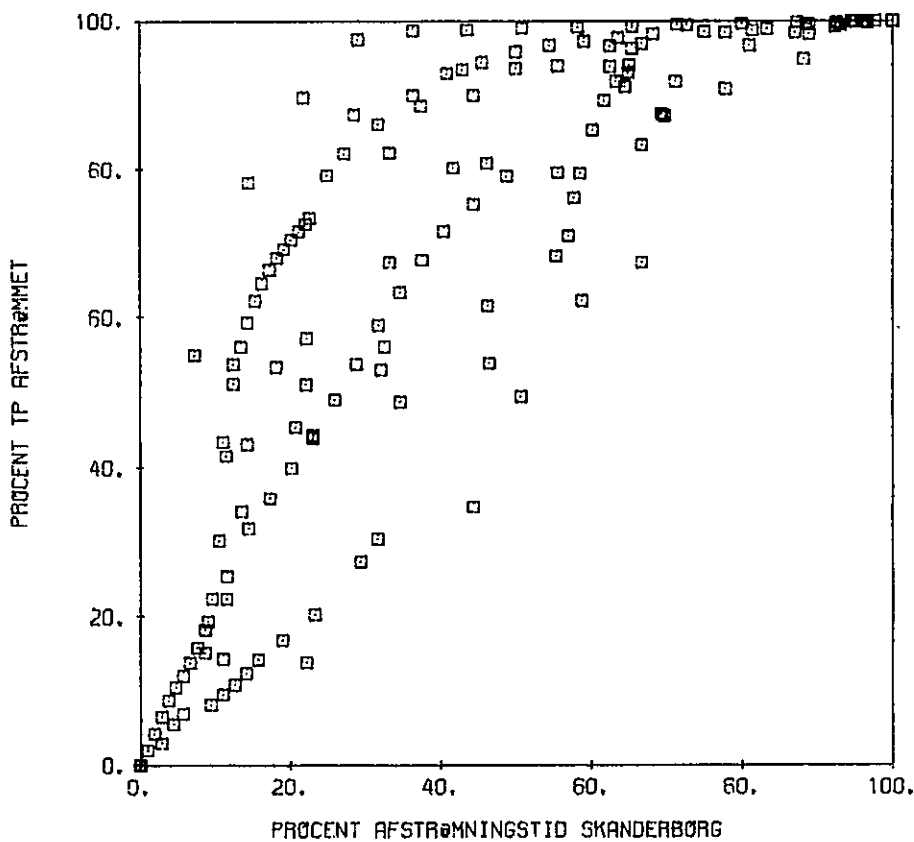
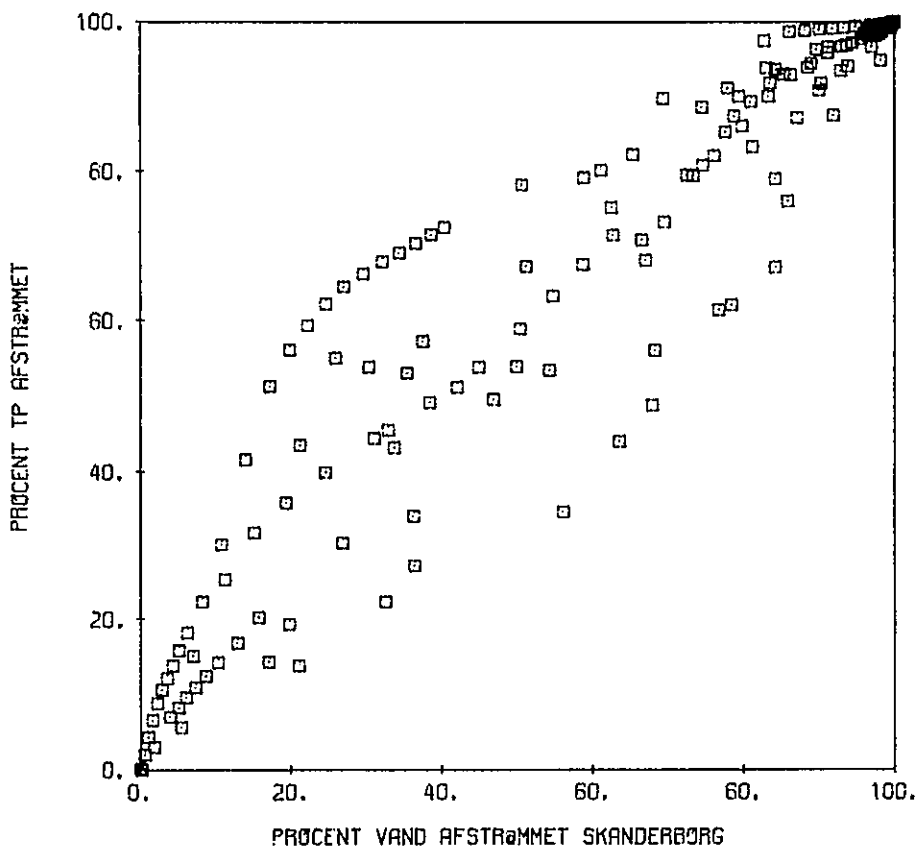


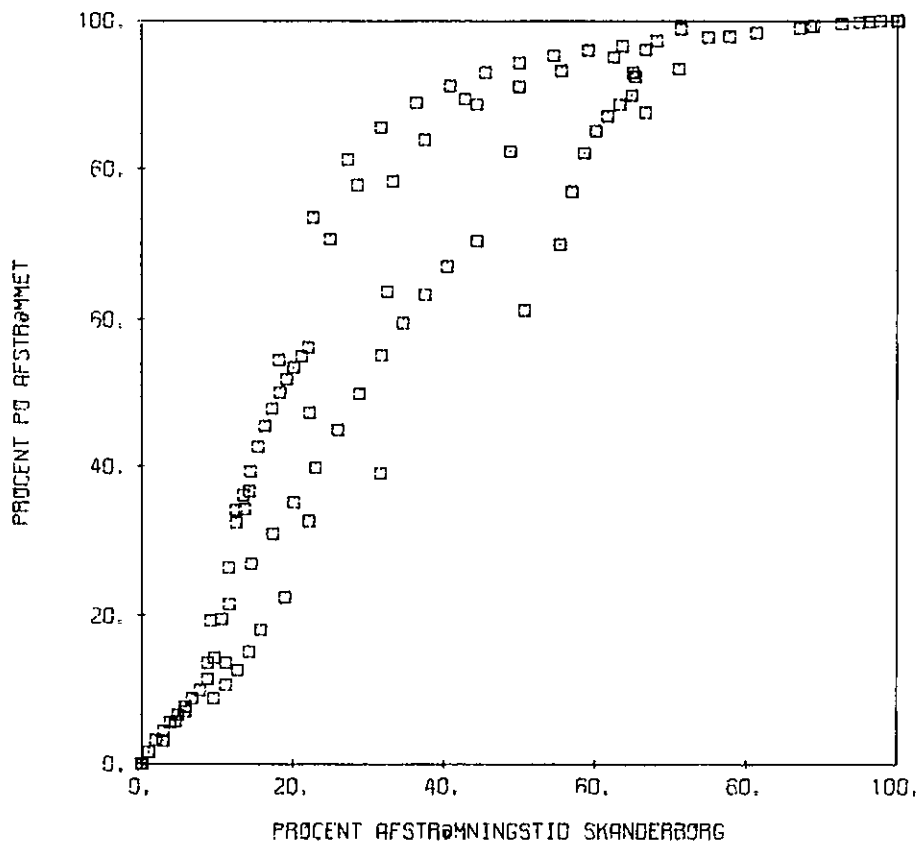
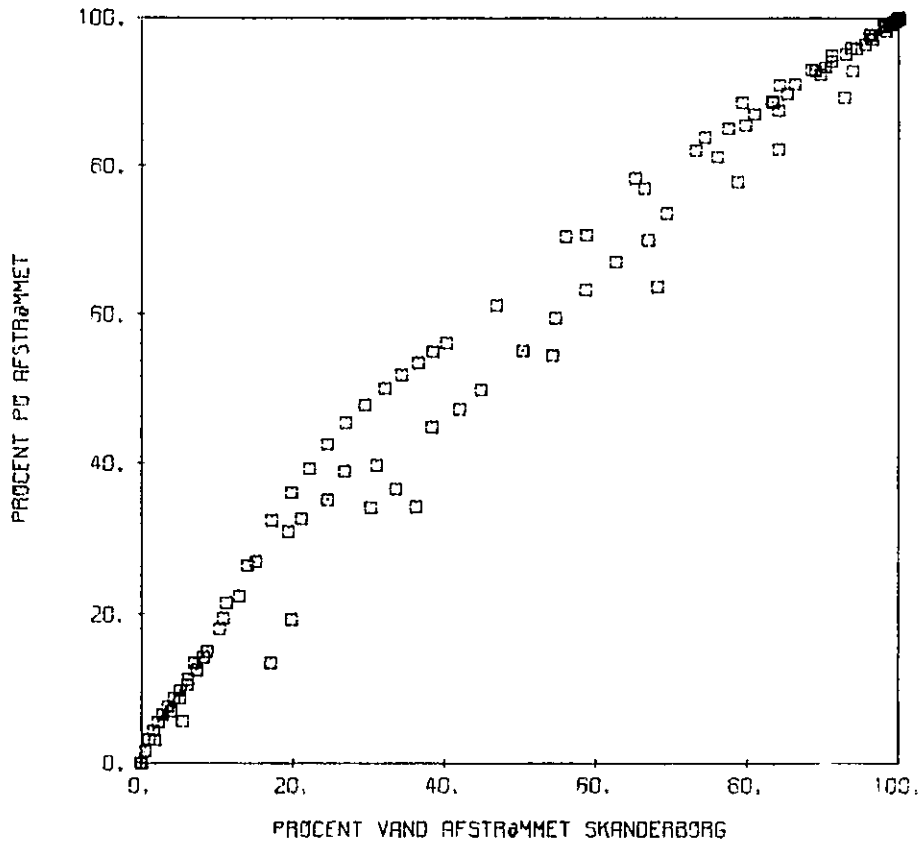


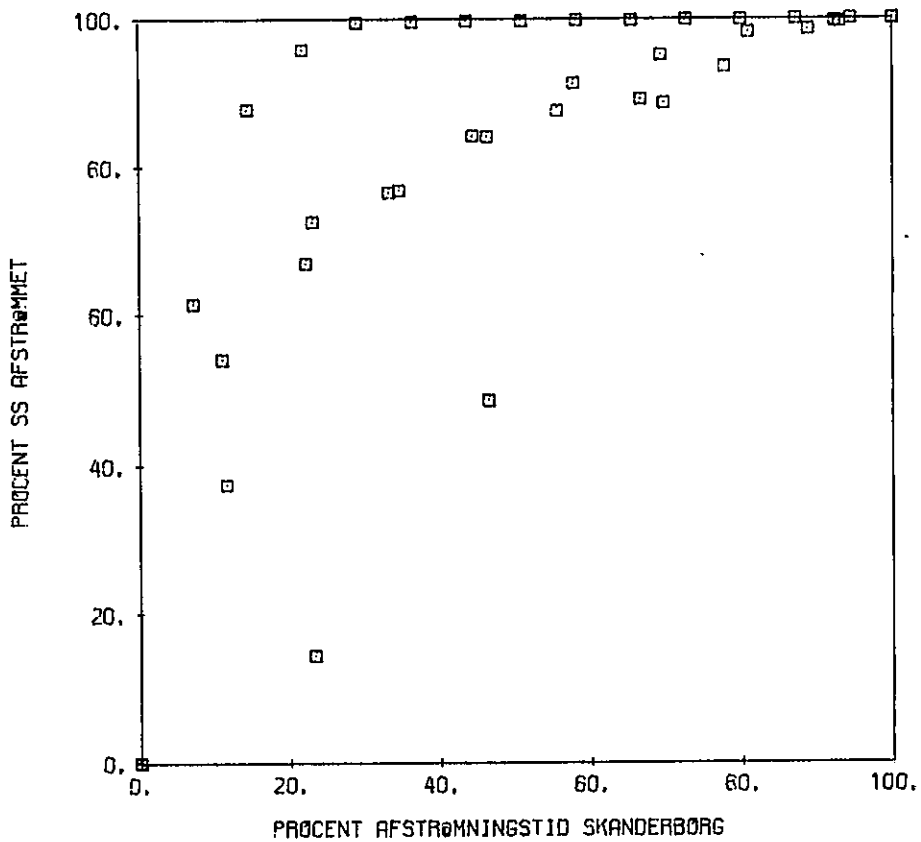
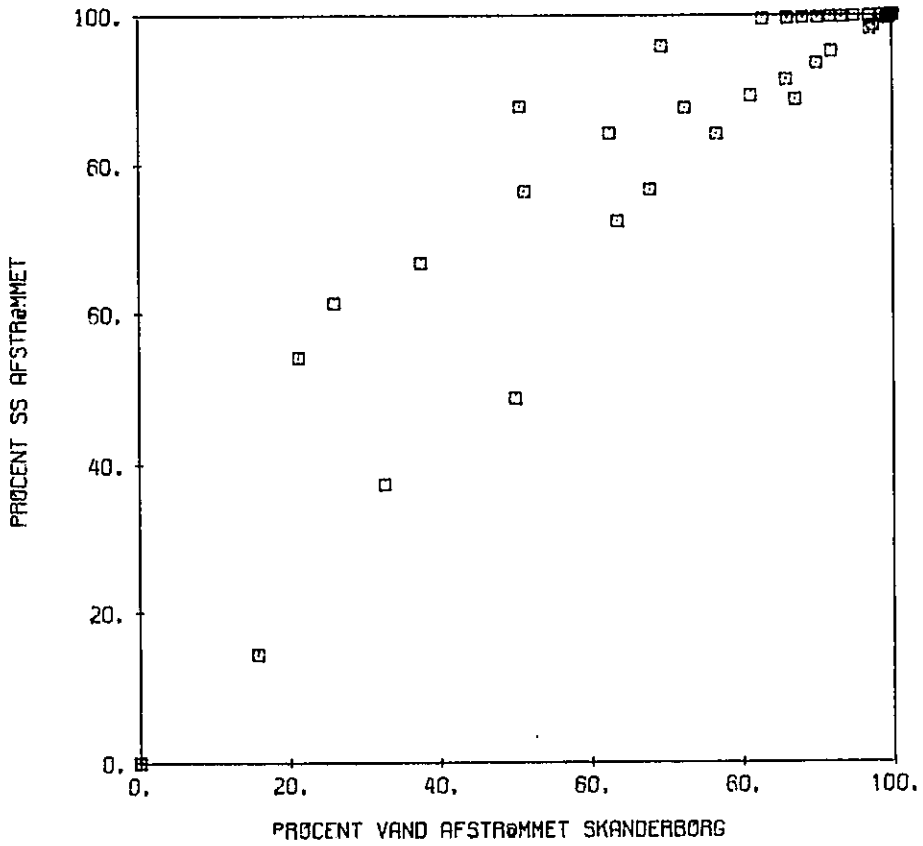


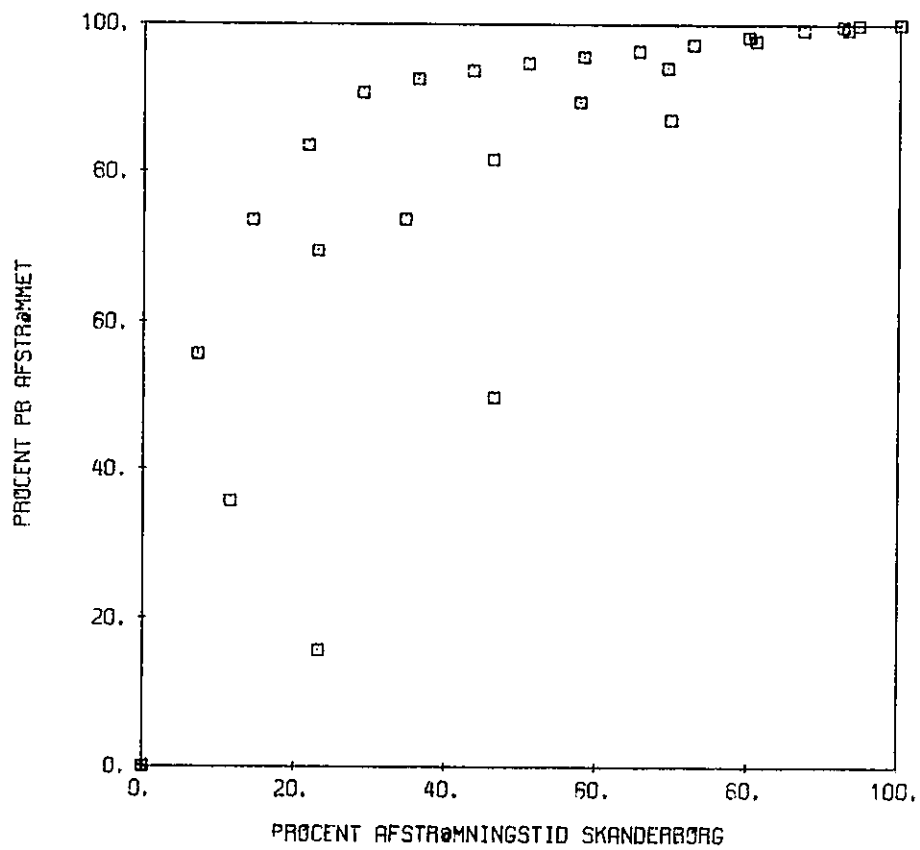
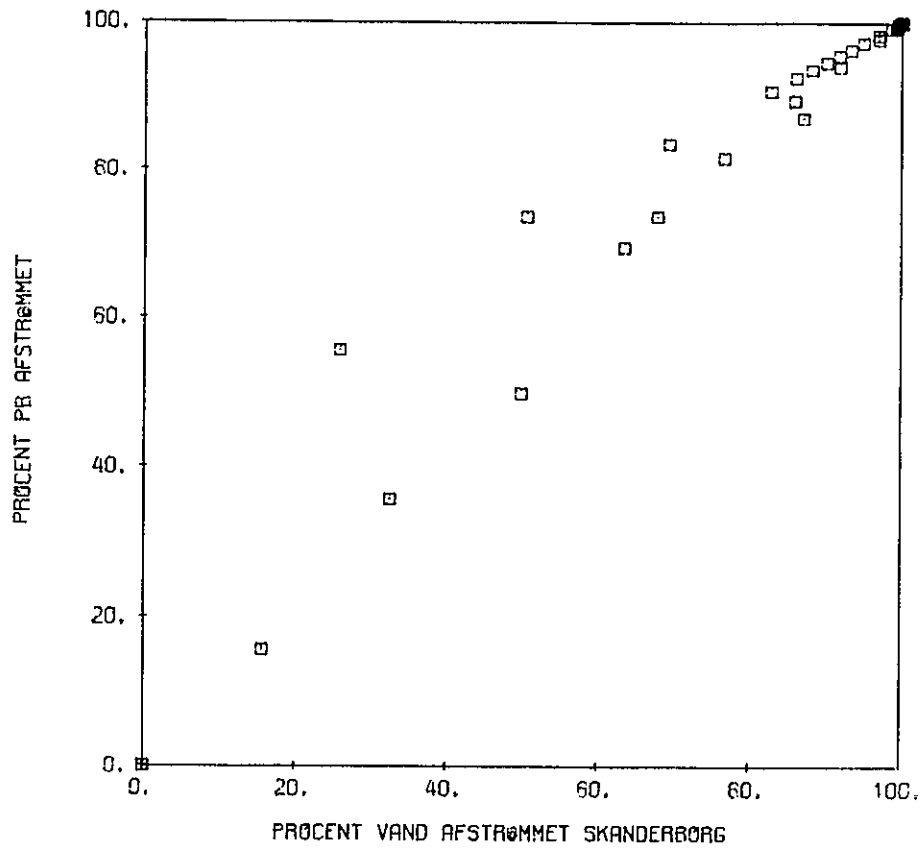


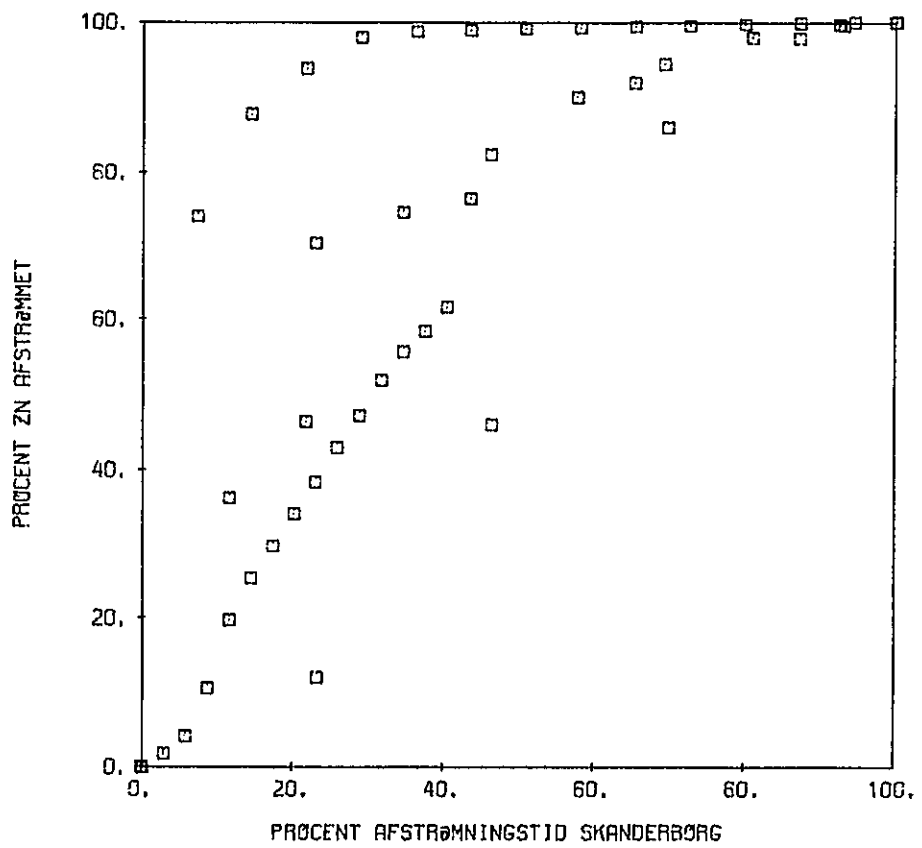
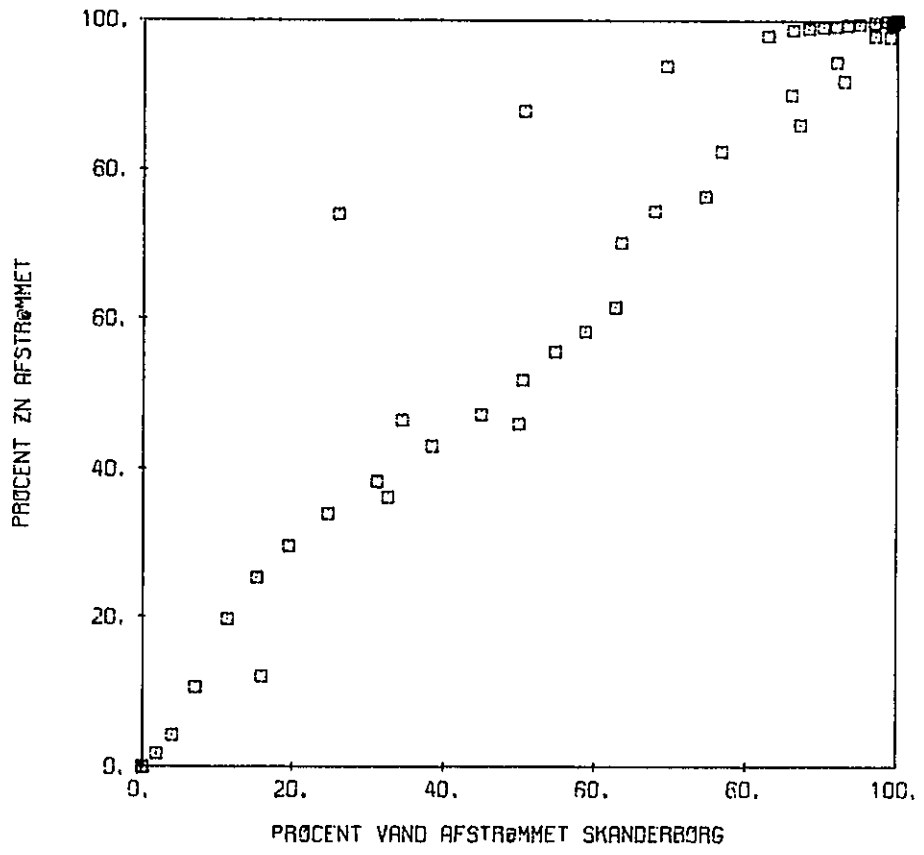


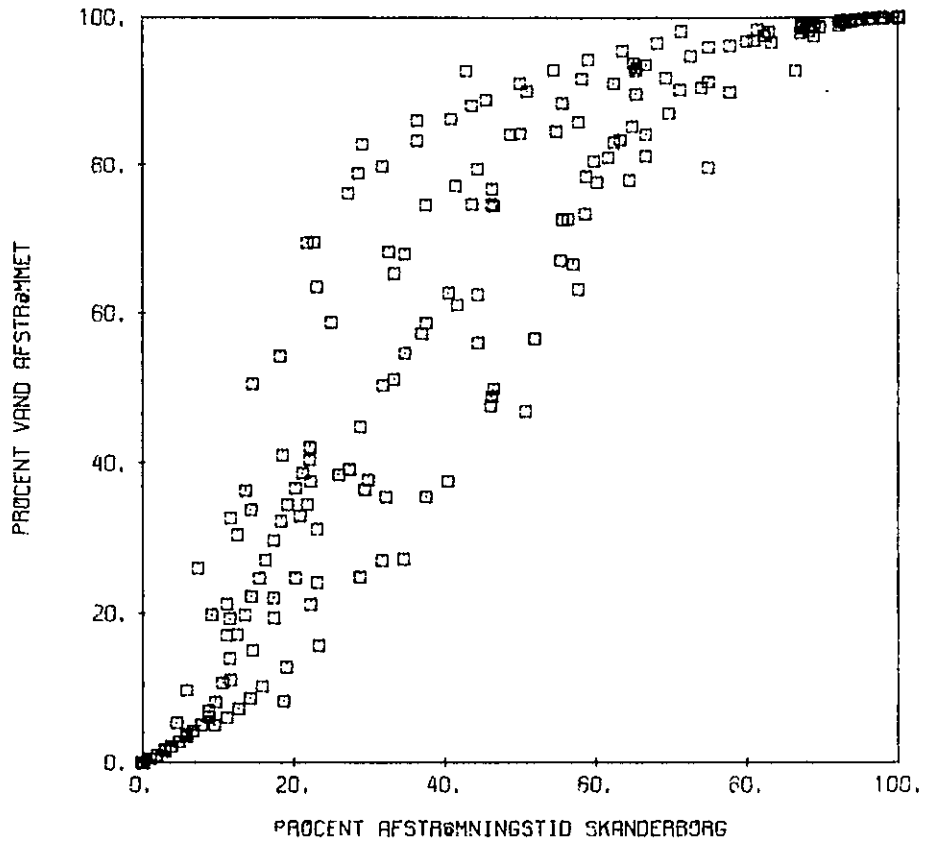






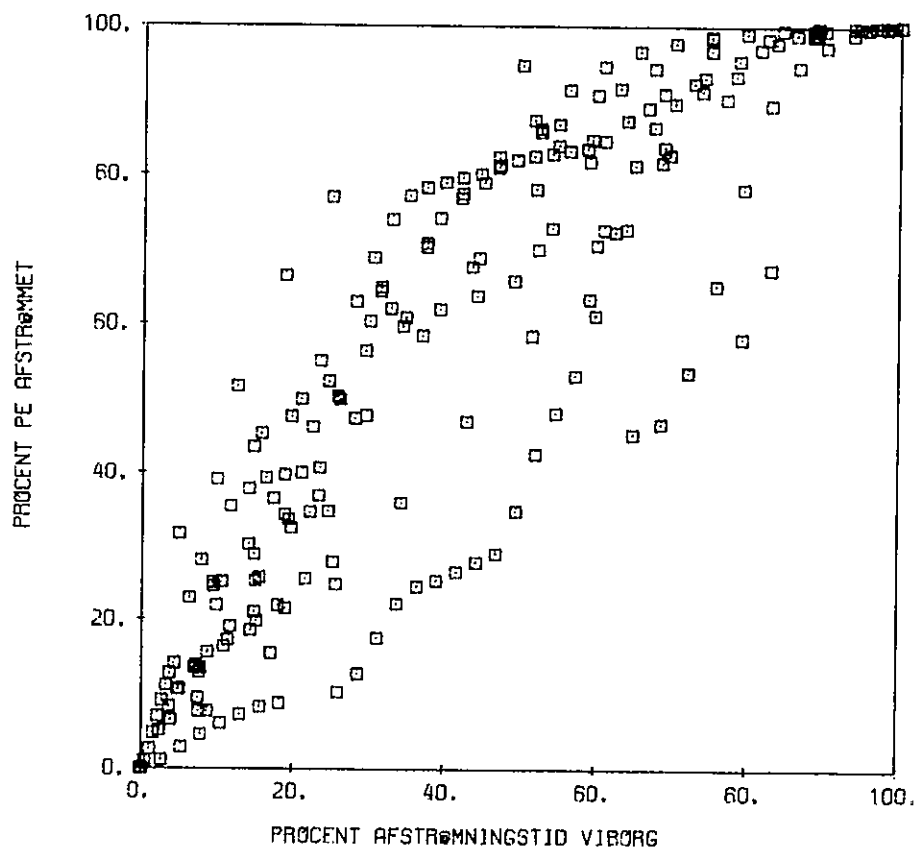
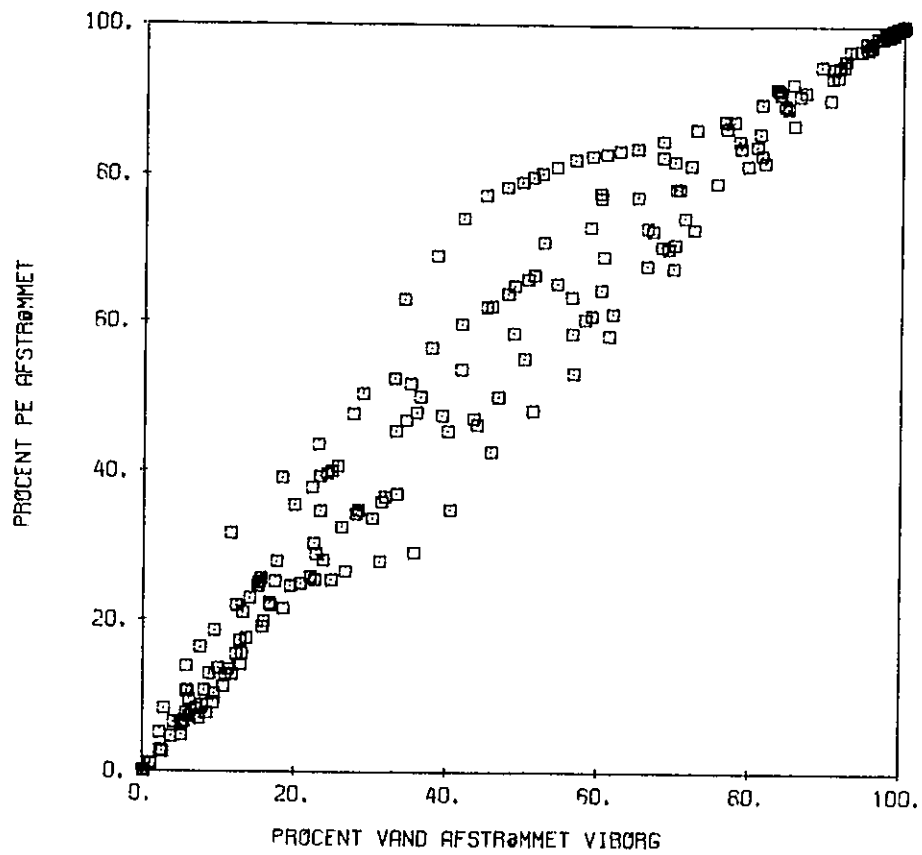


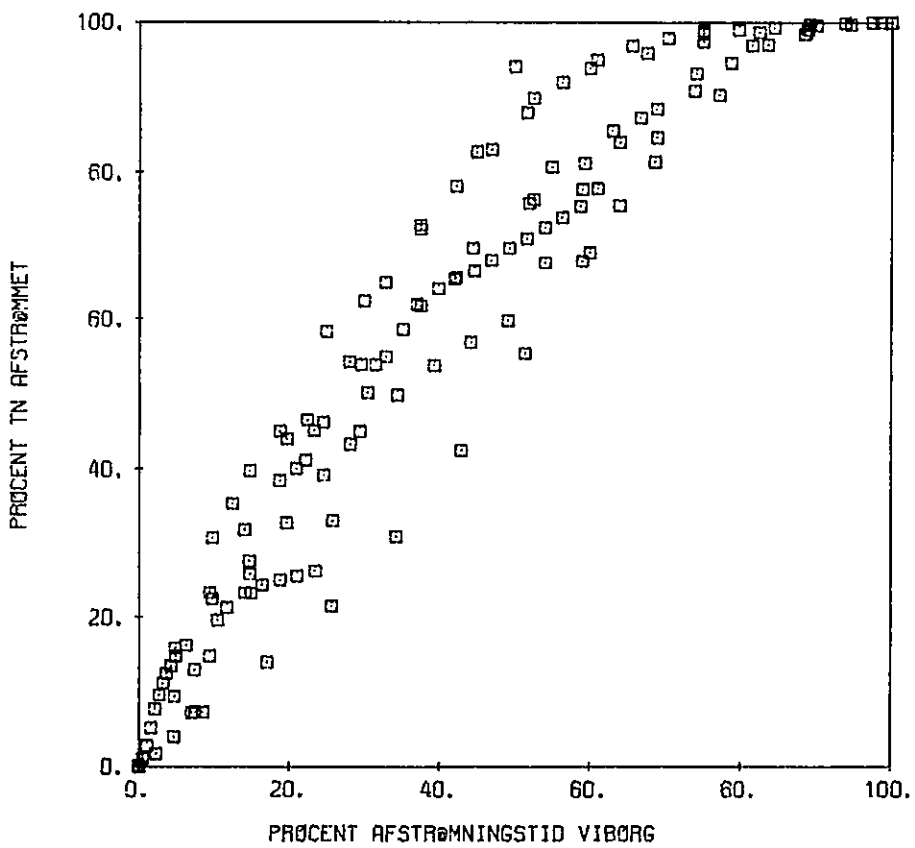
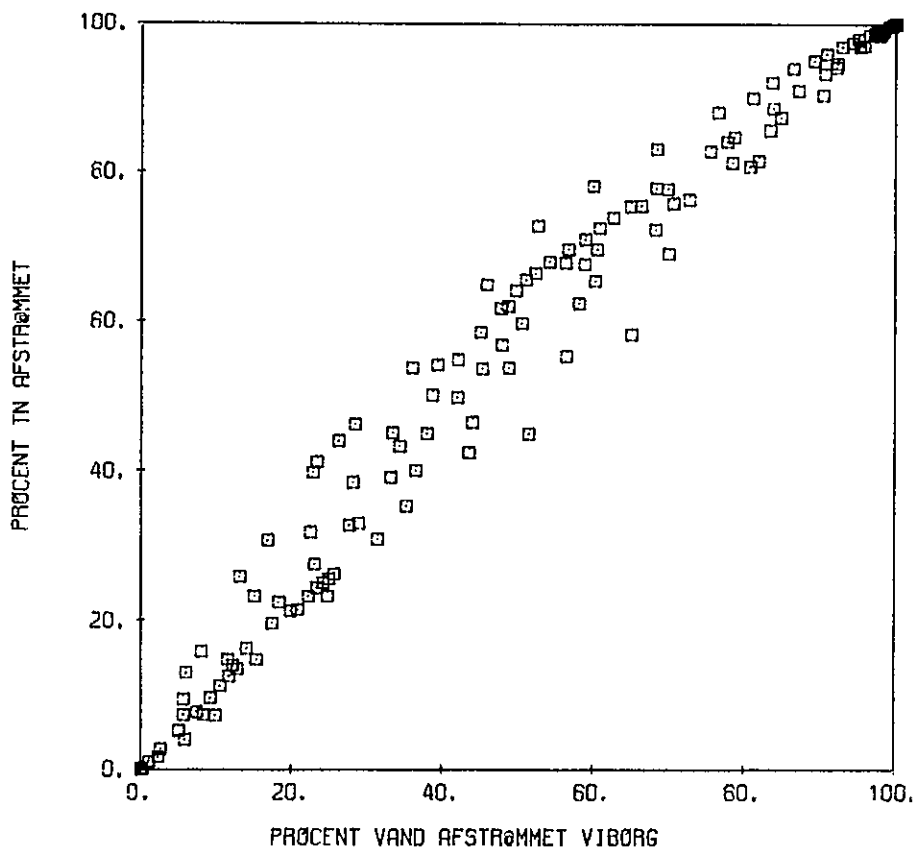


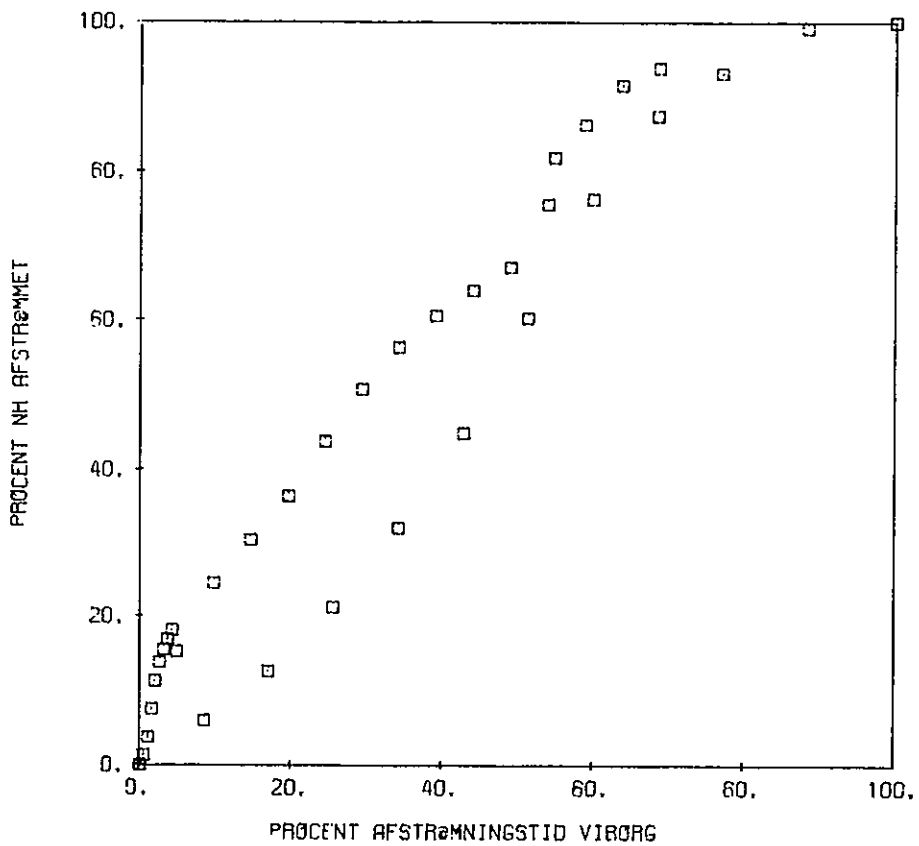
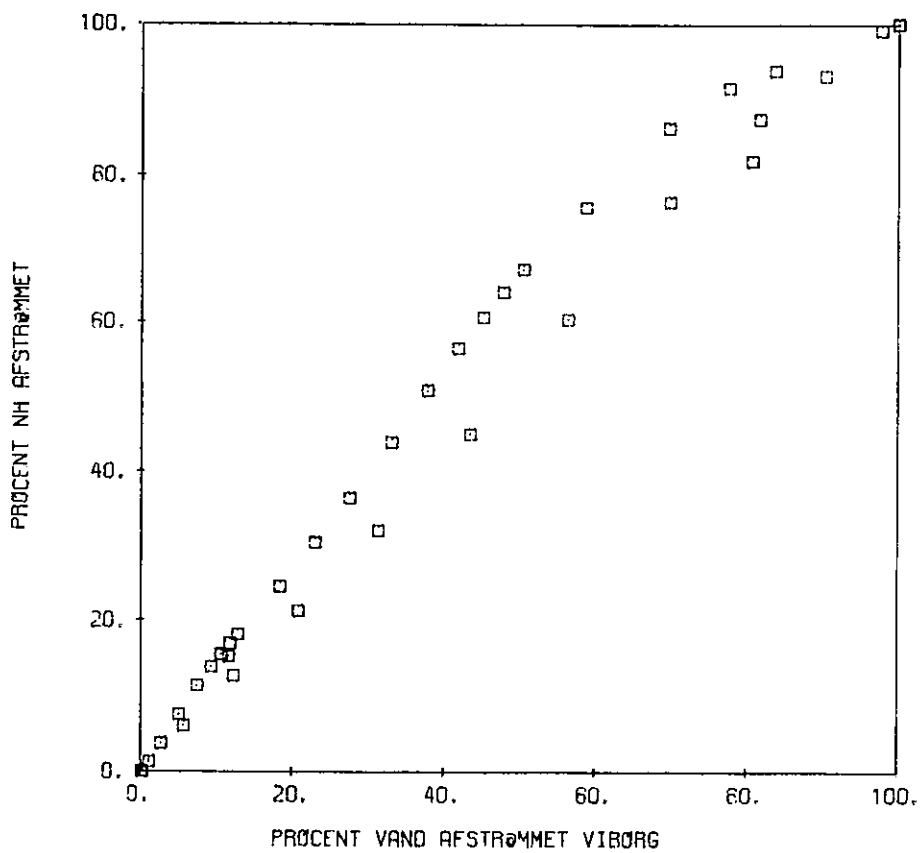


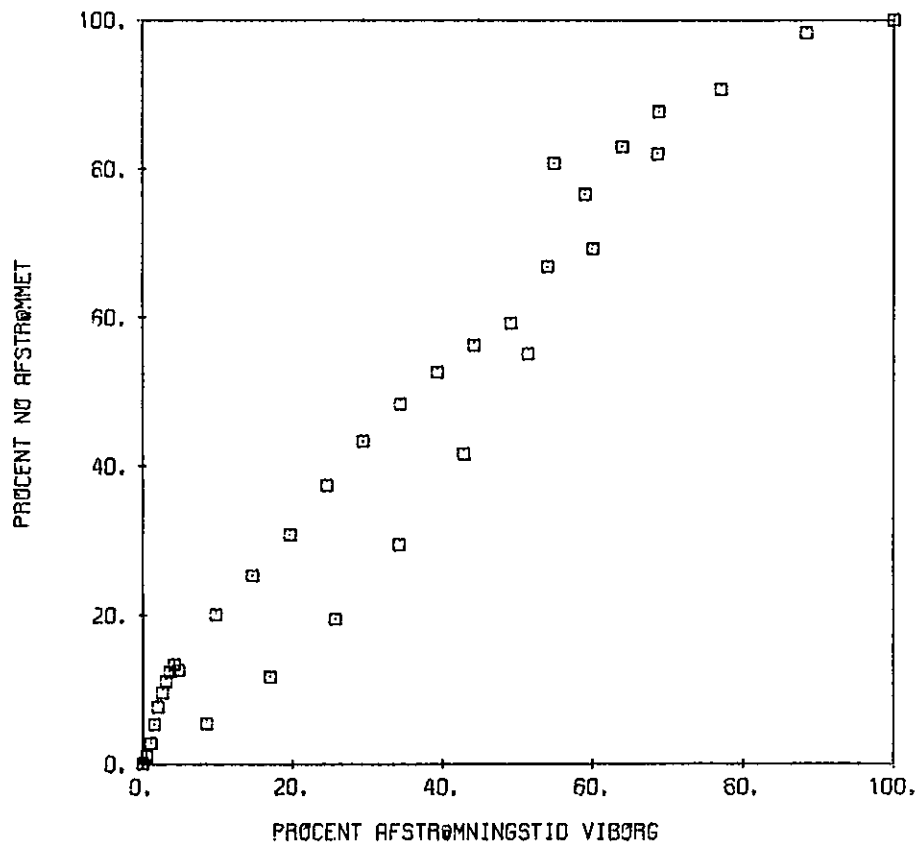
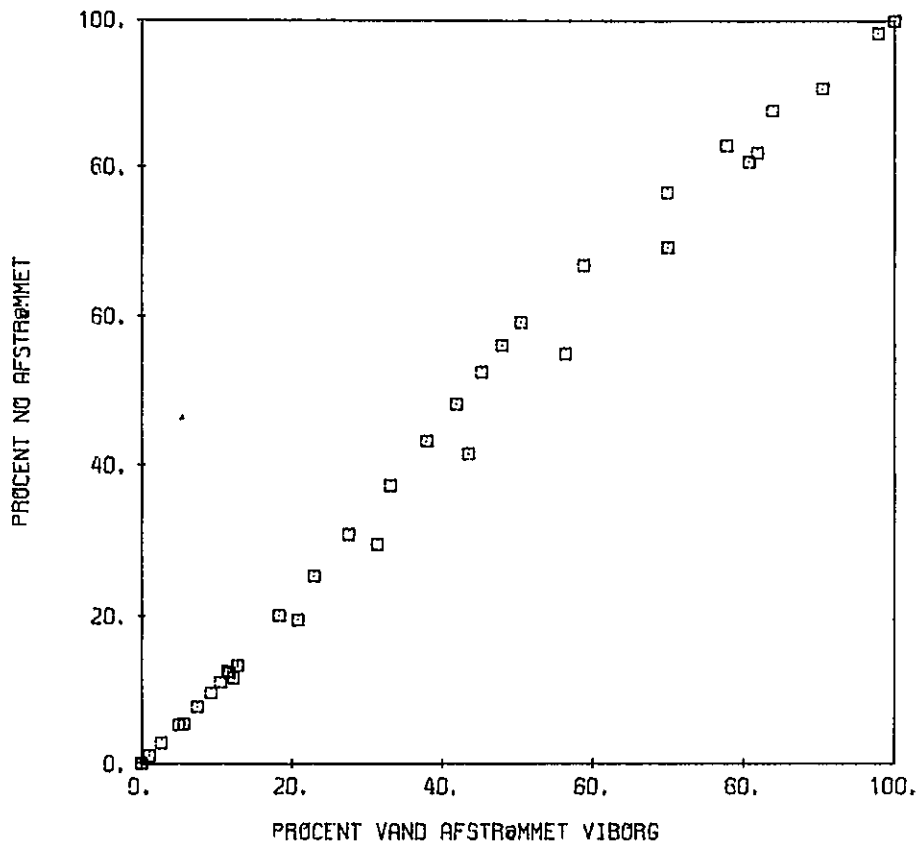
VIBORG - NØRREMARKEN

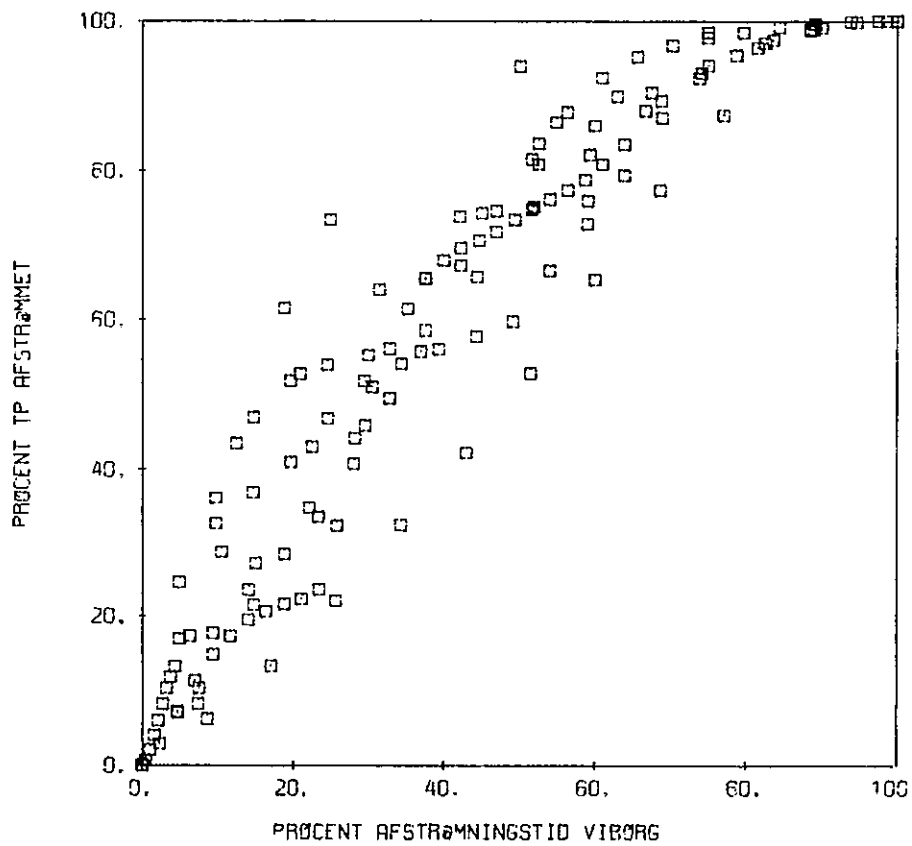
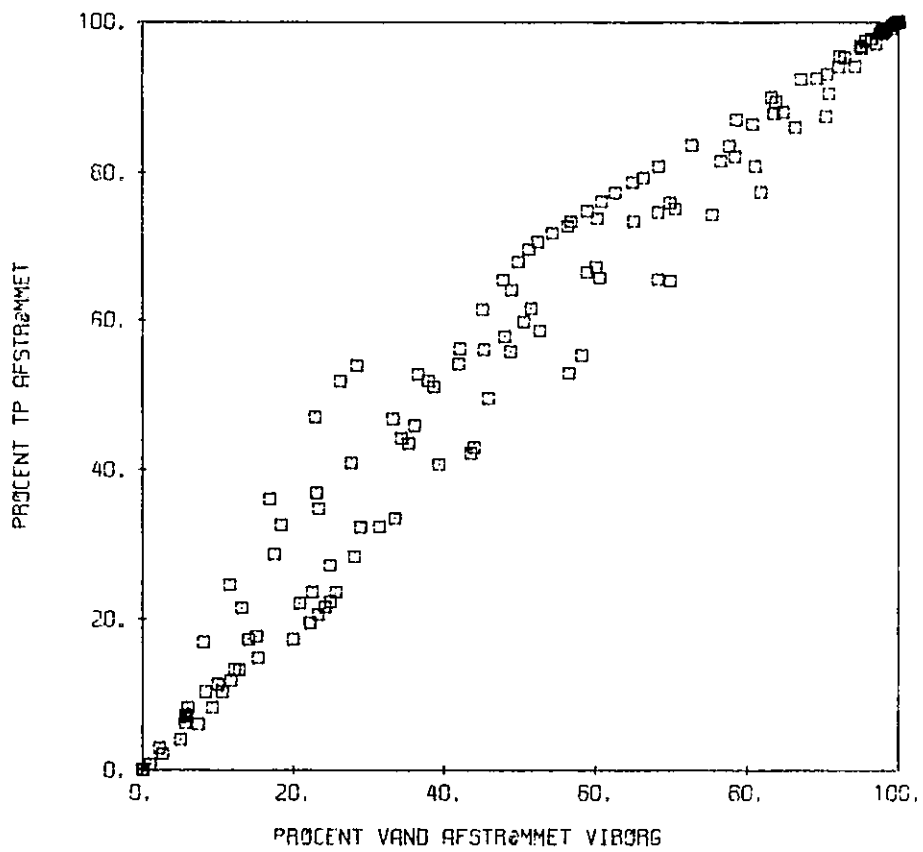


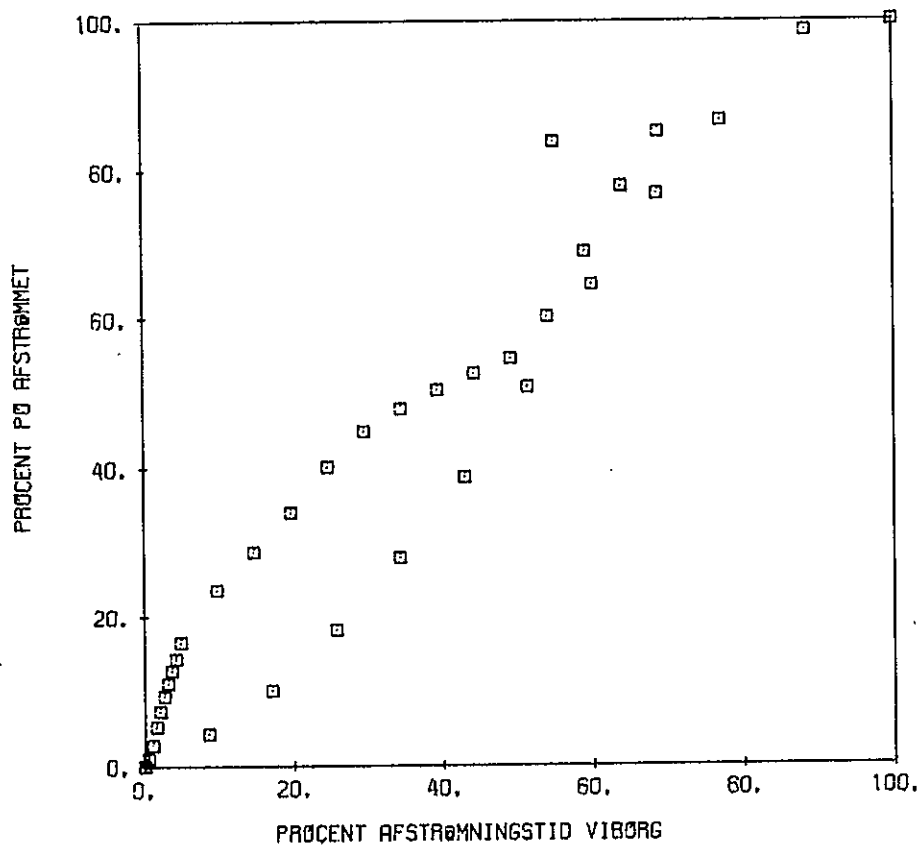
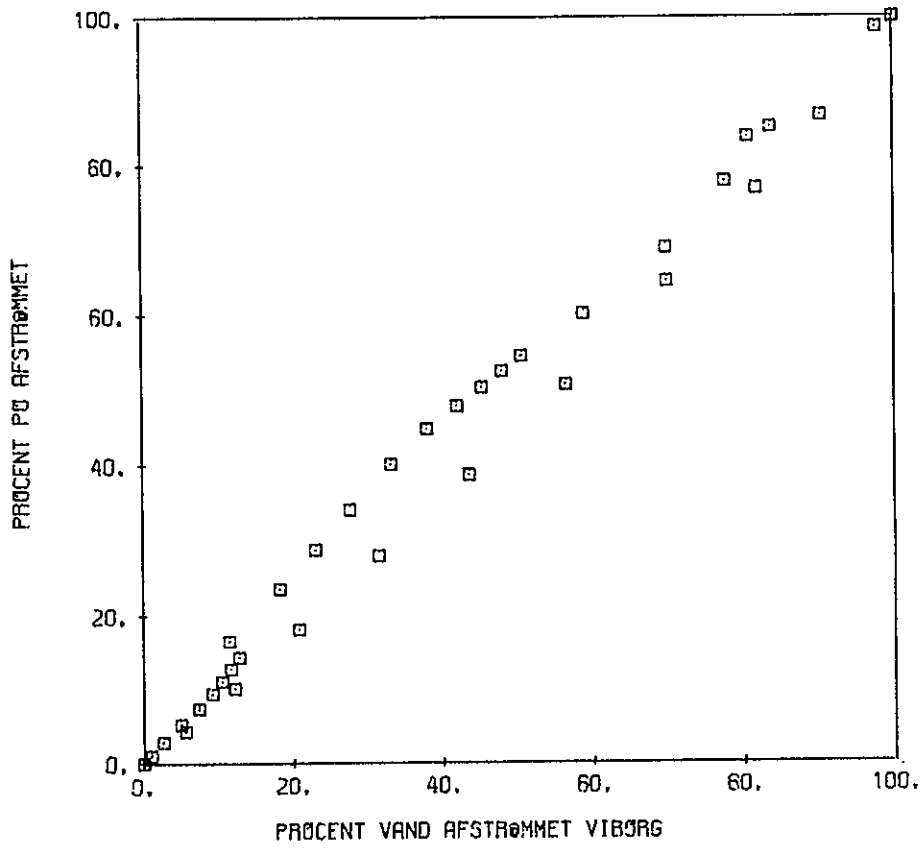


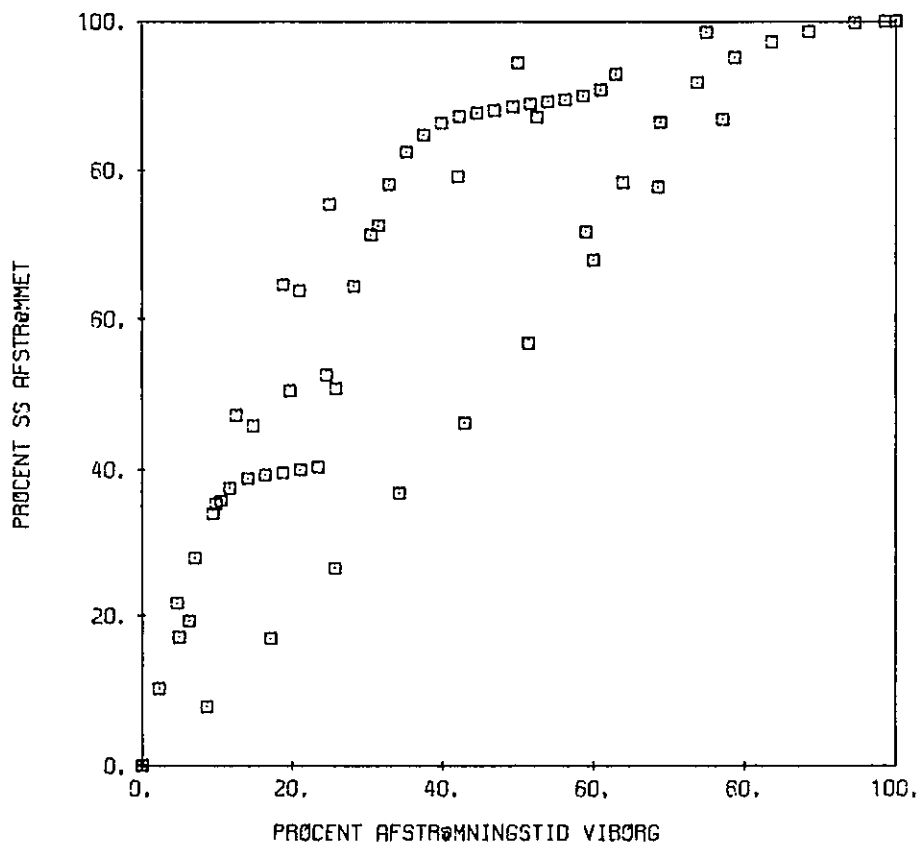
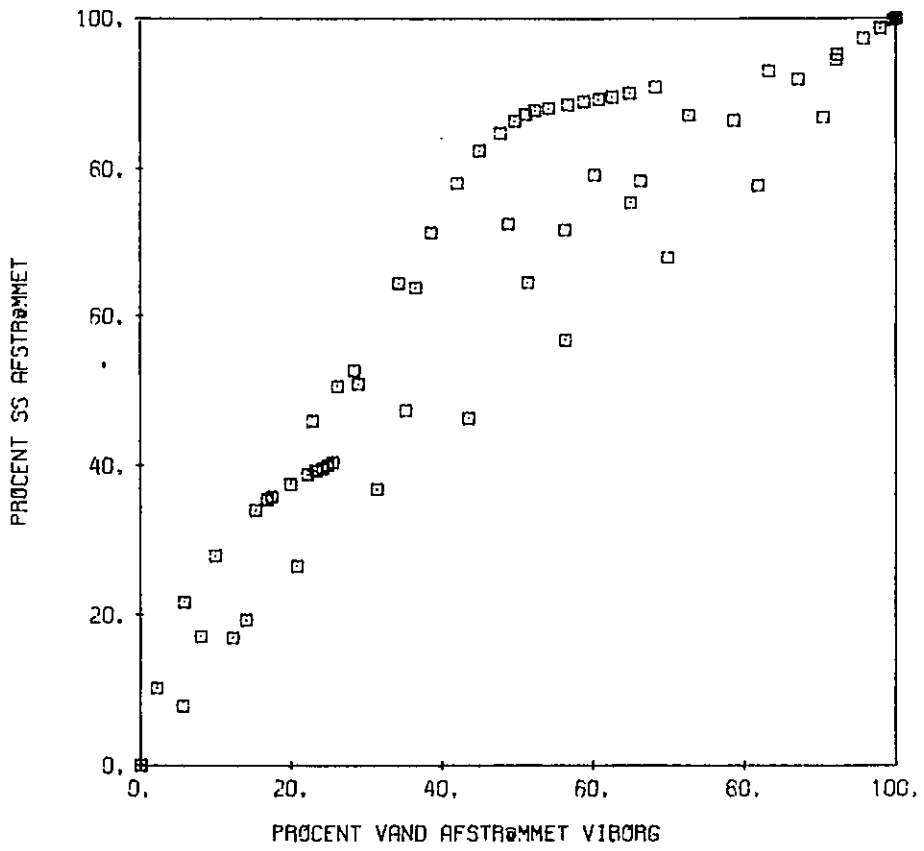


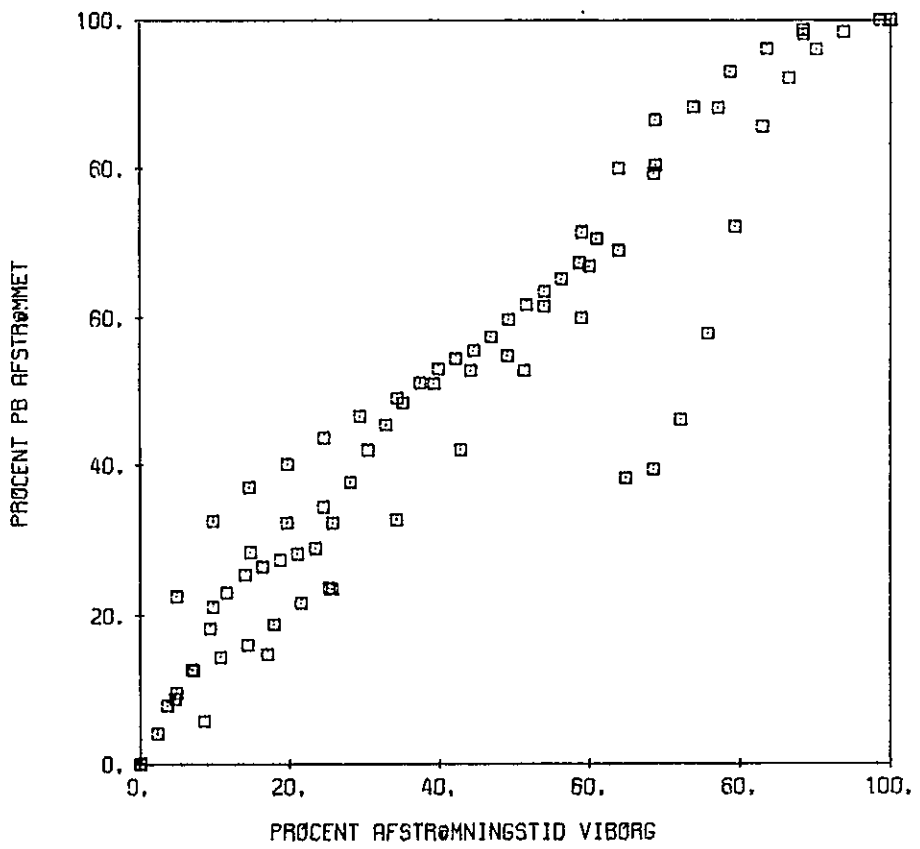
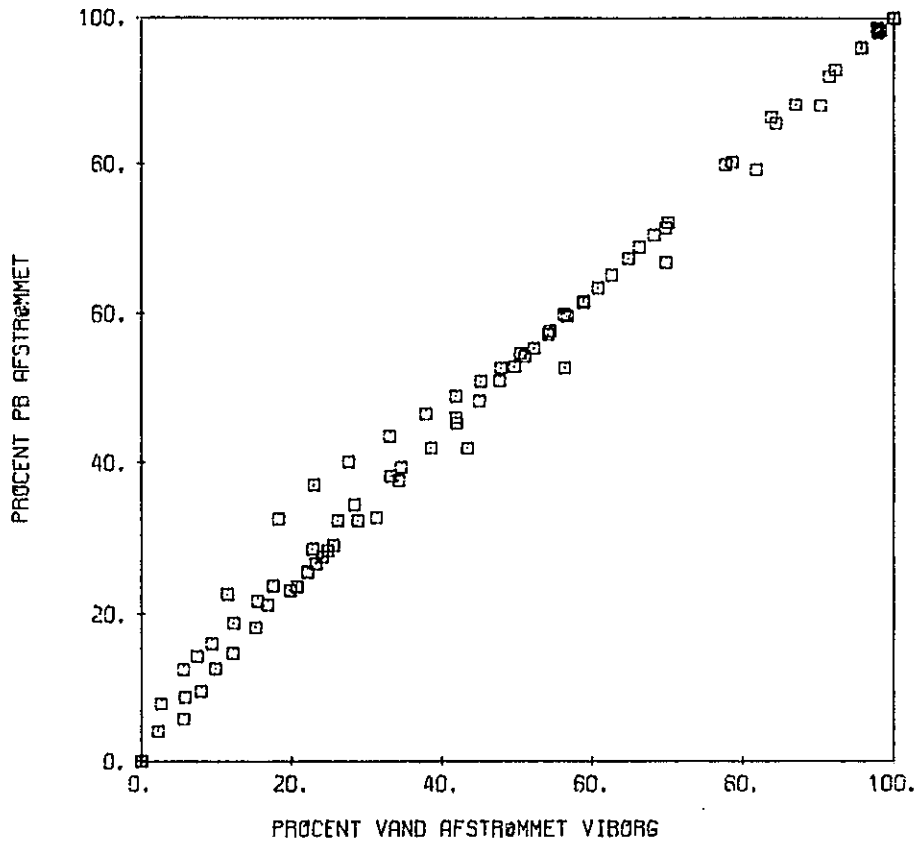




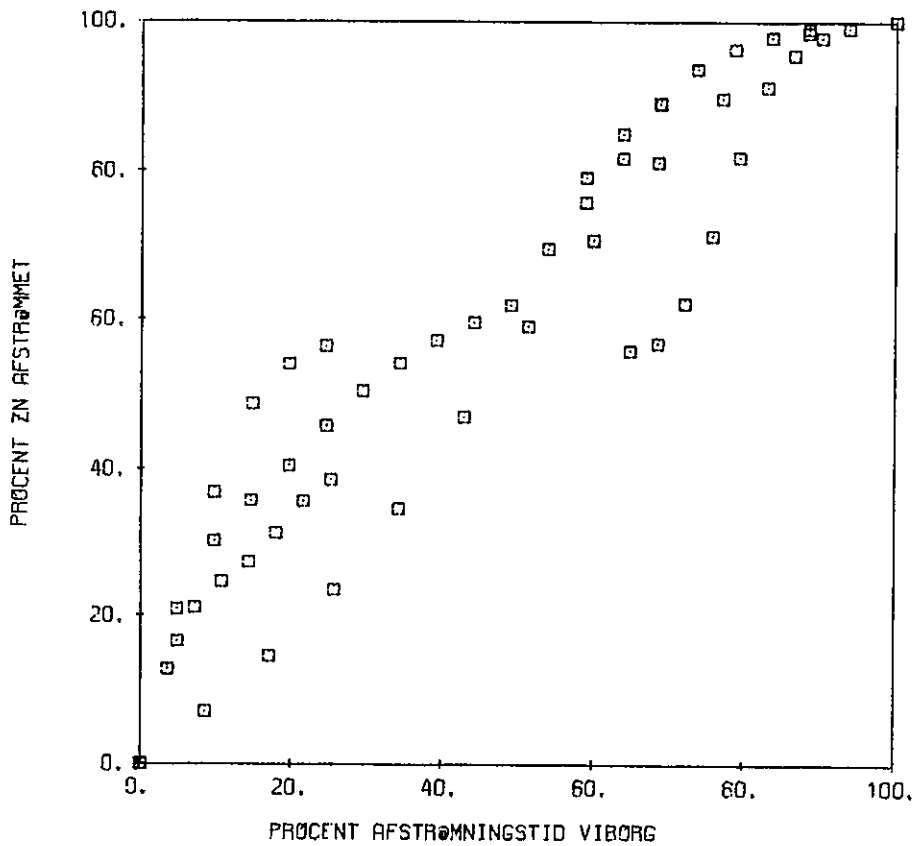
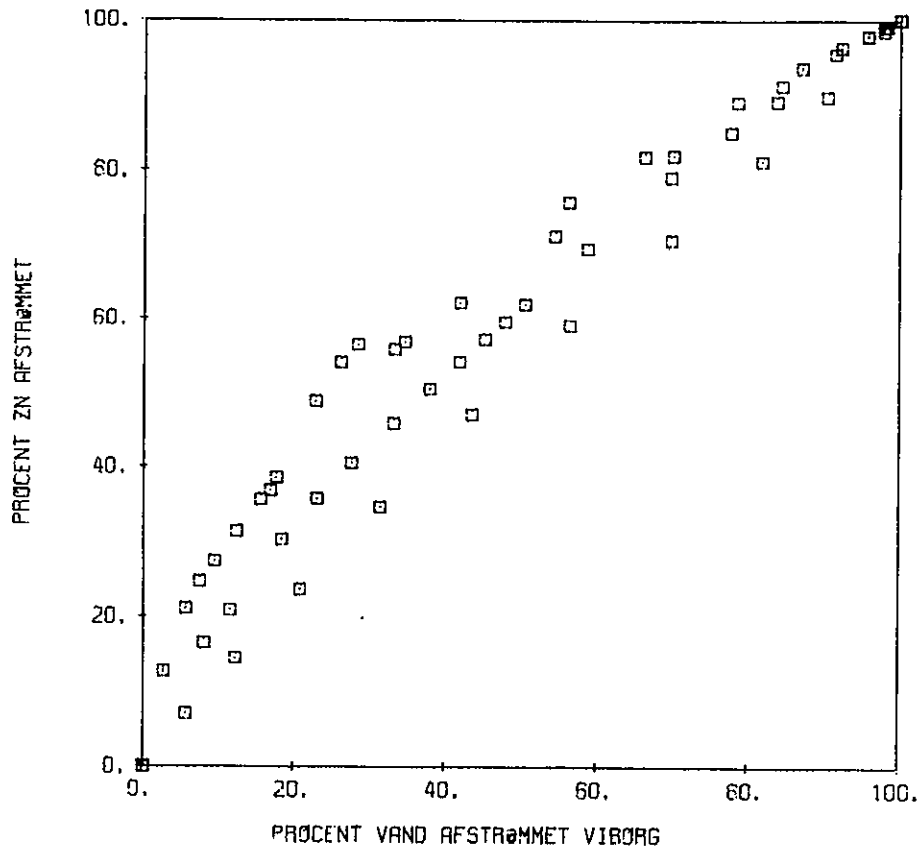


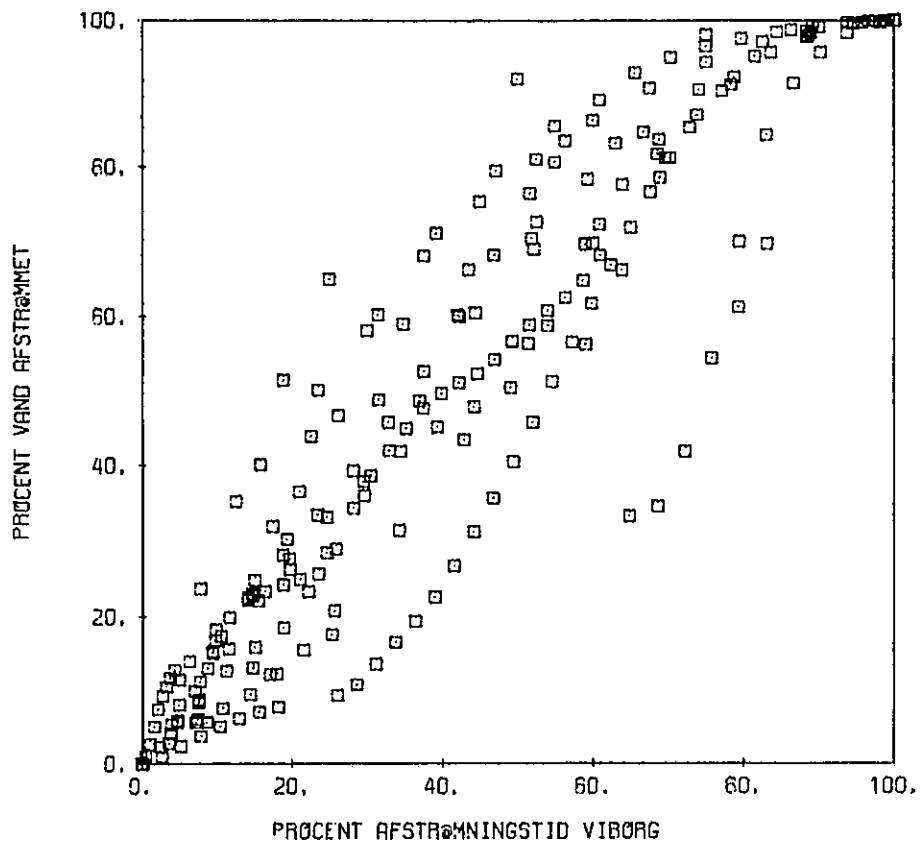




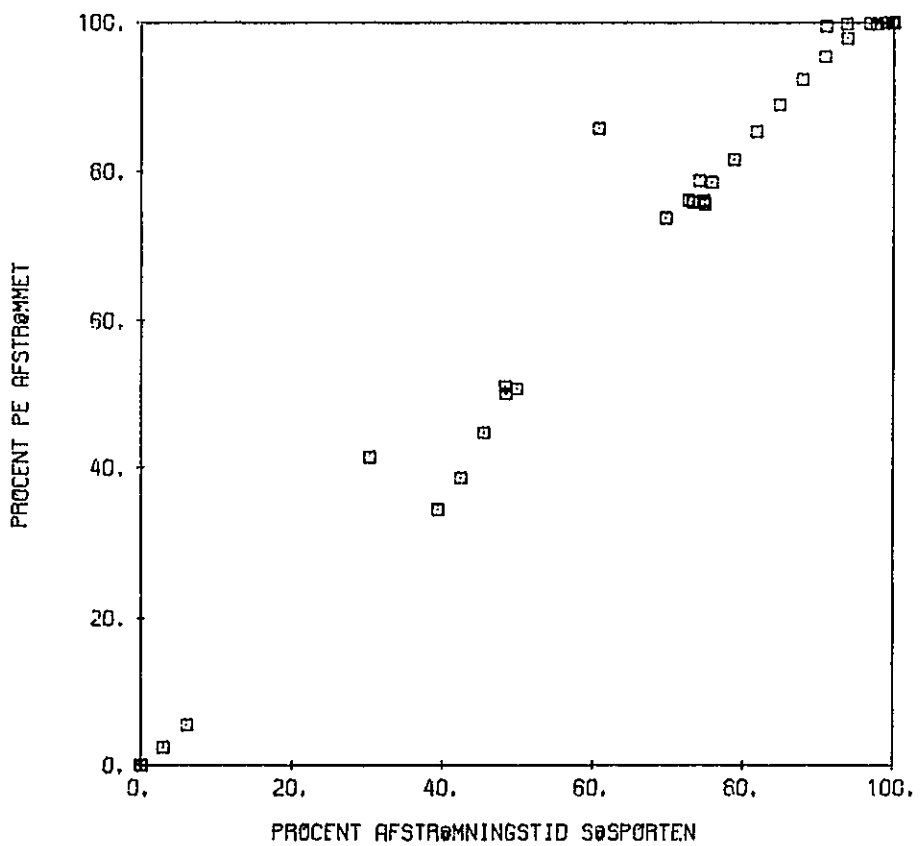
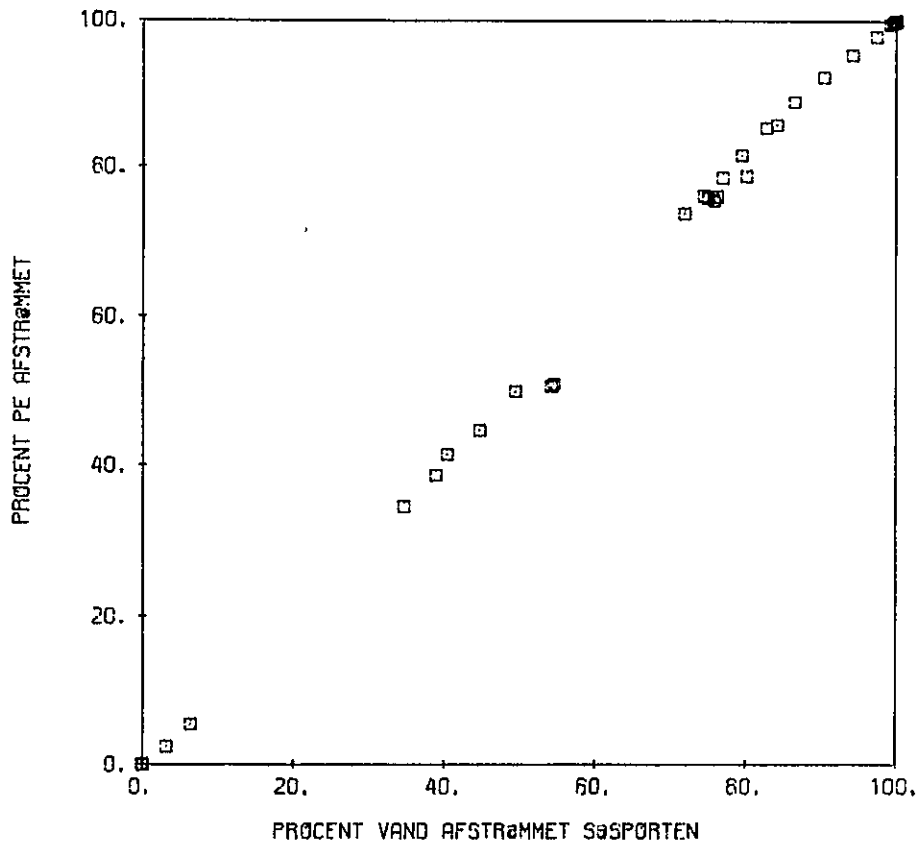


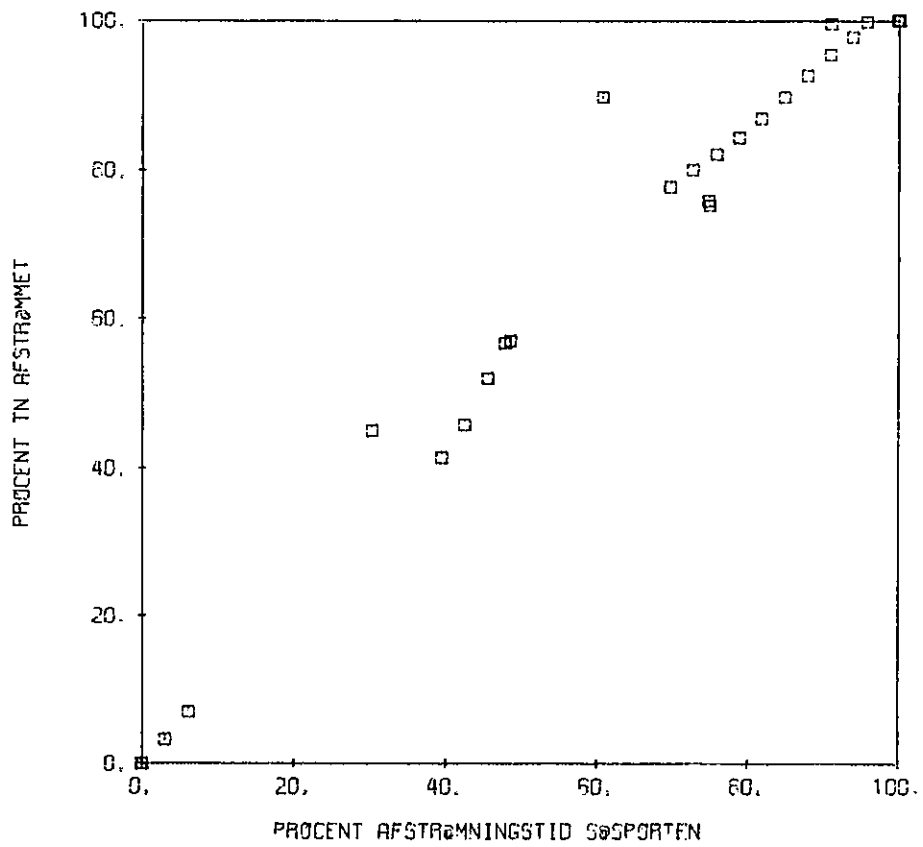
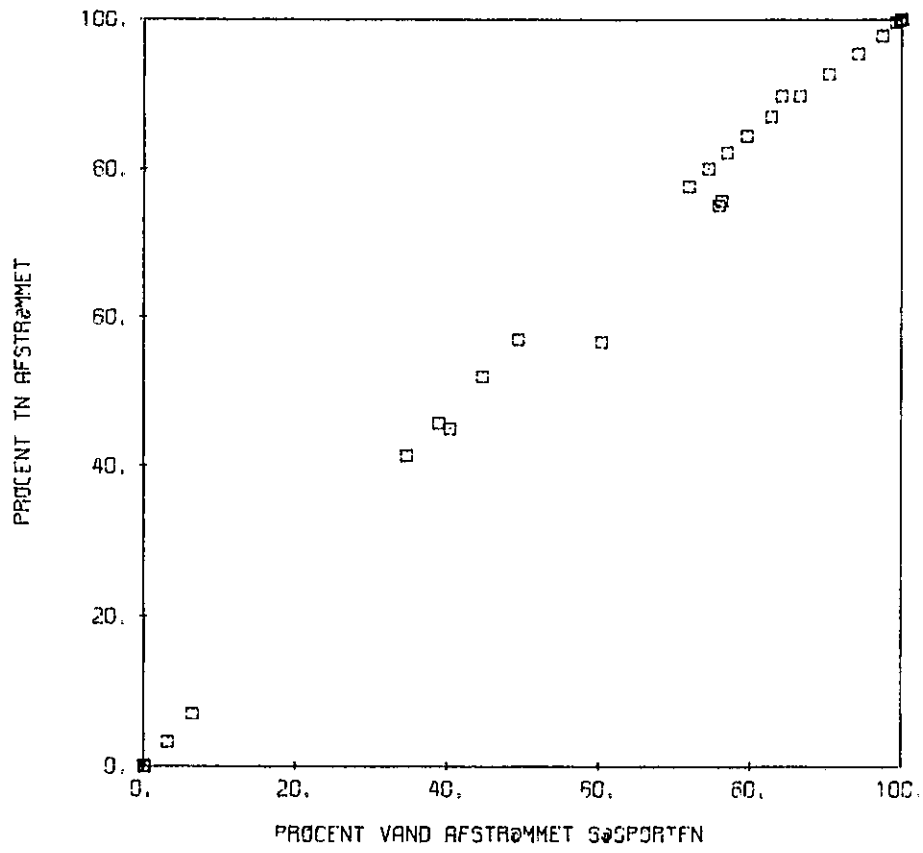


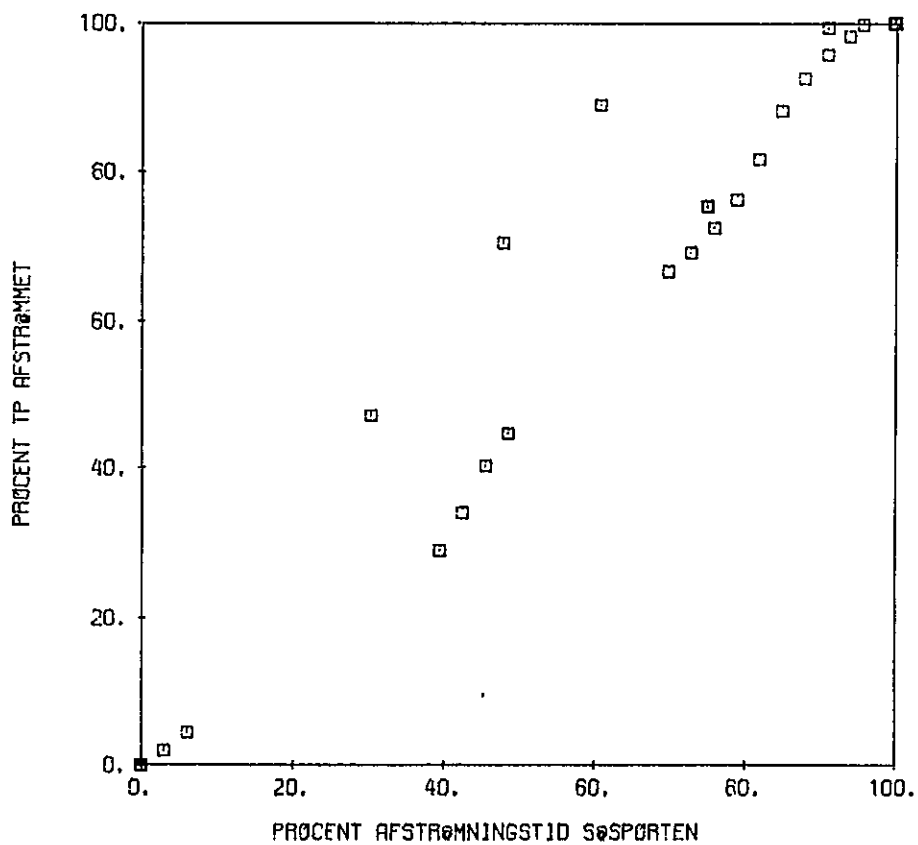
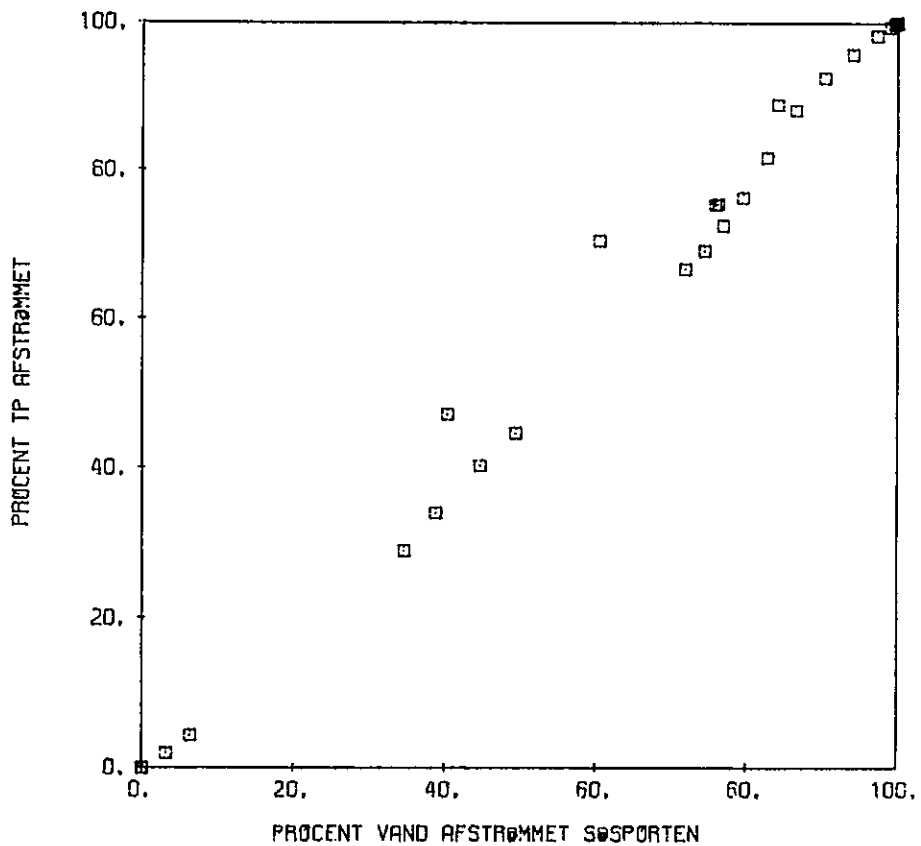


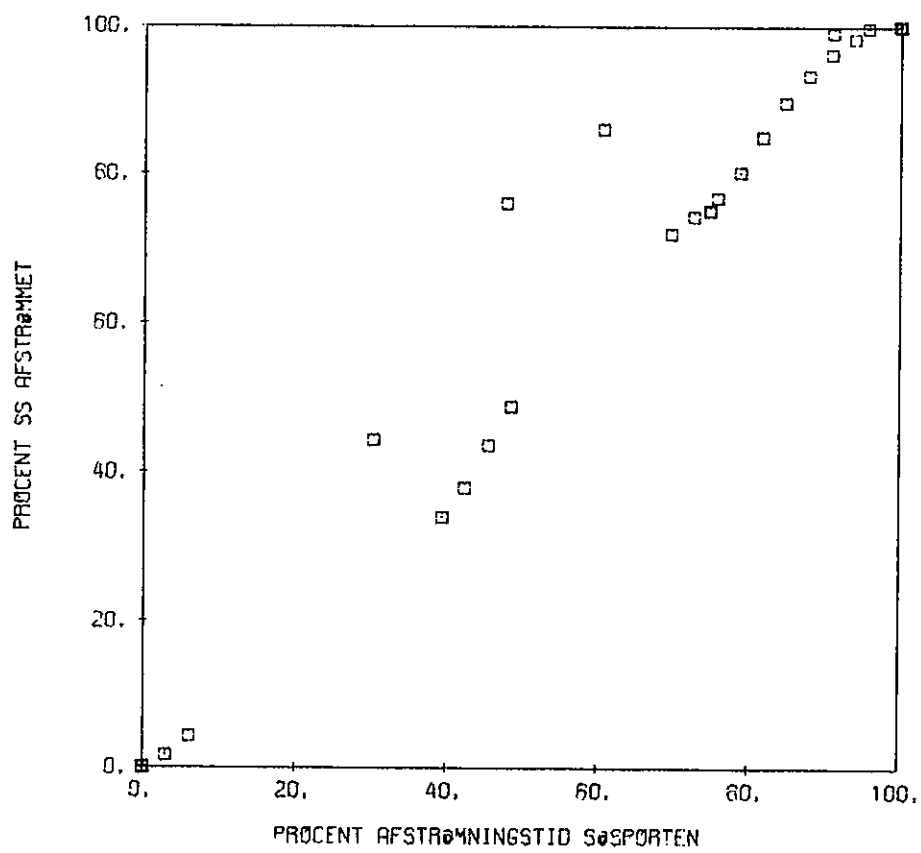
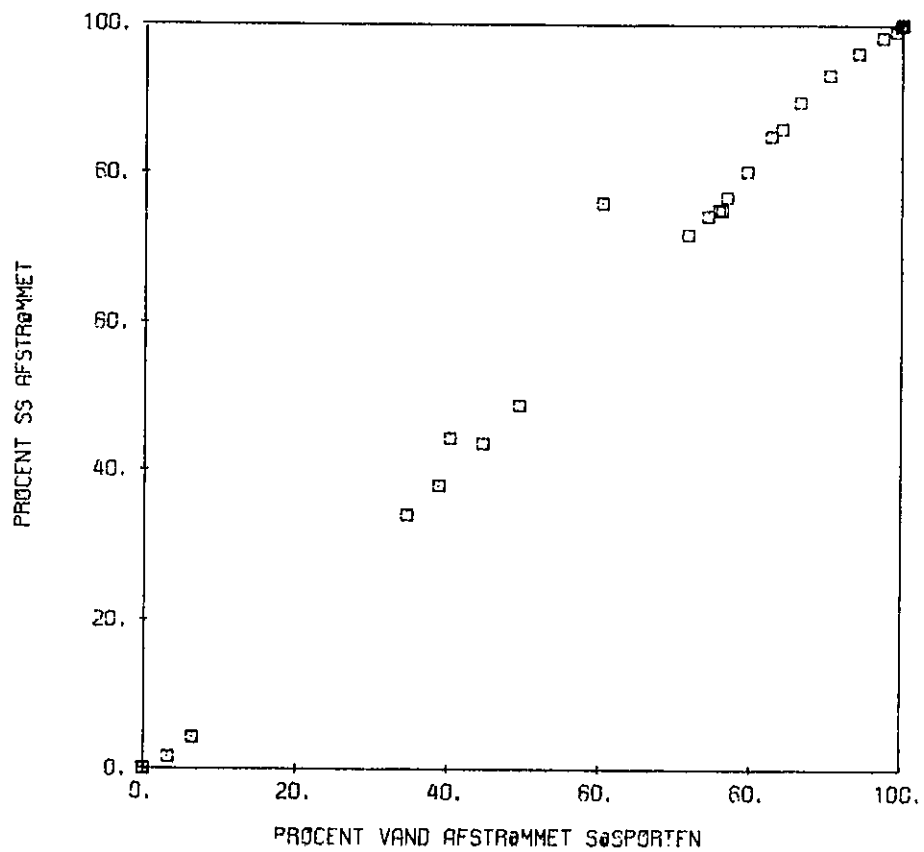


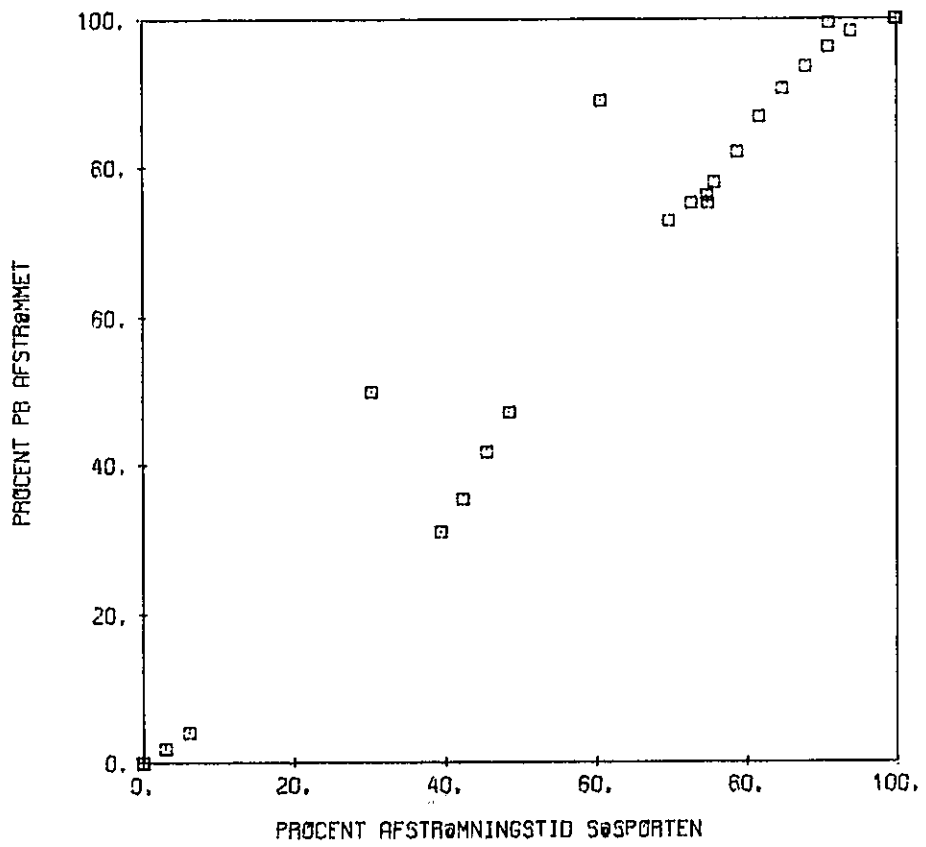
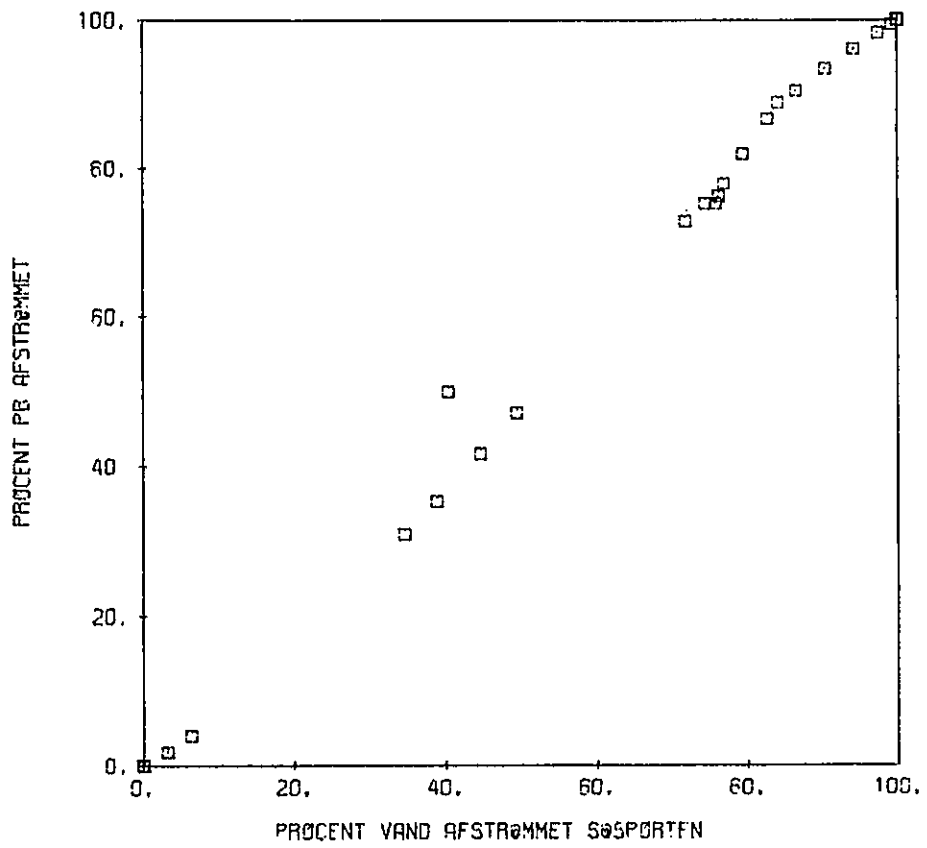
SØSPORTEN - SKANDERBORG



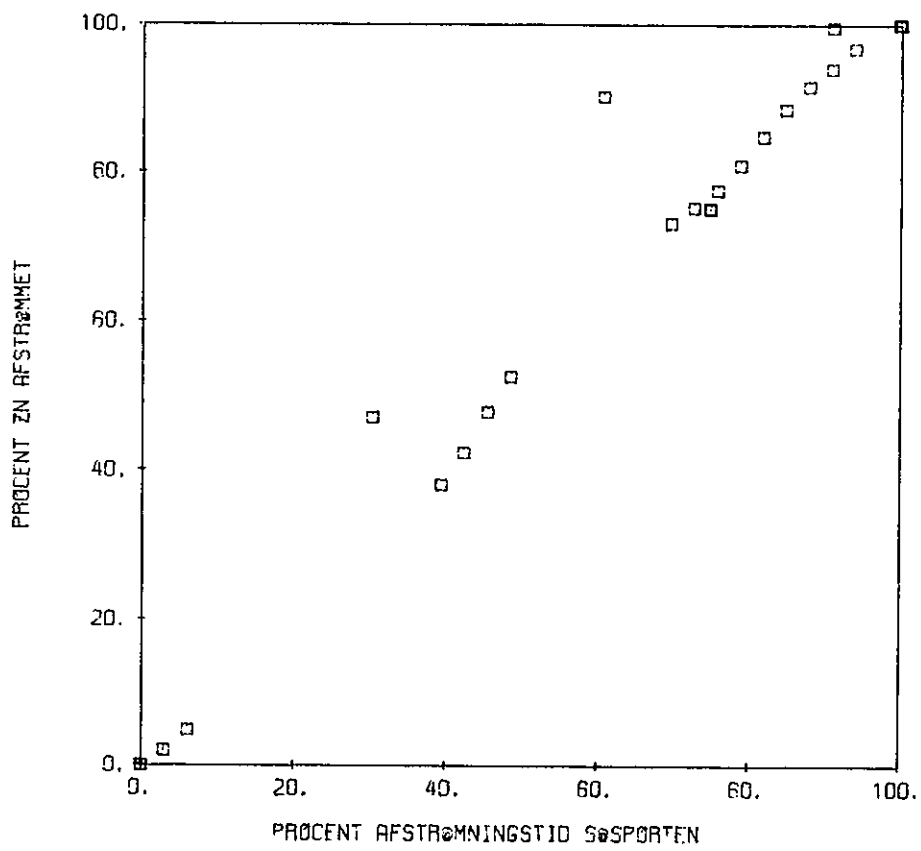
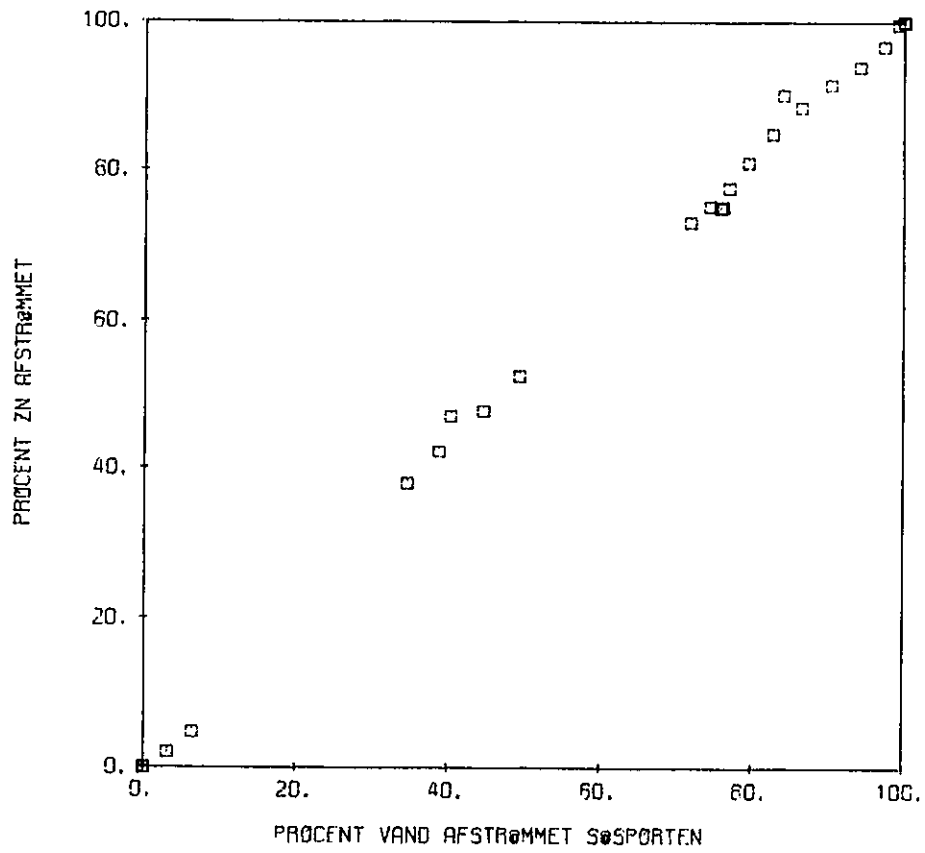


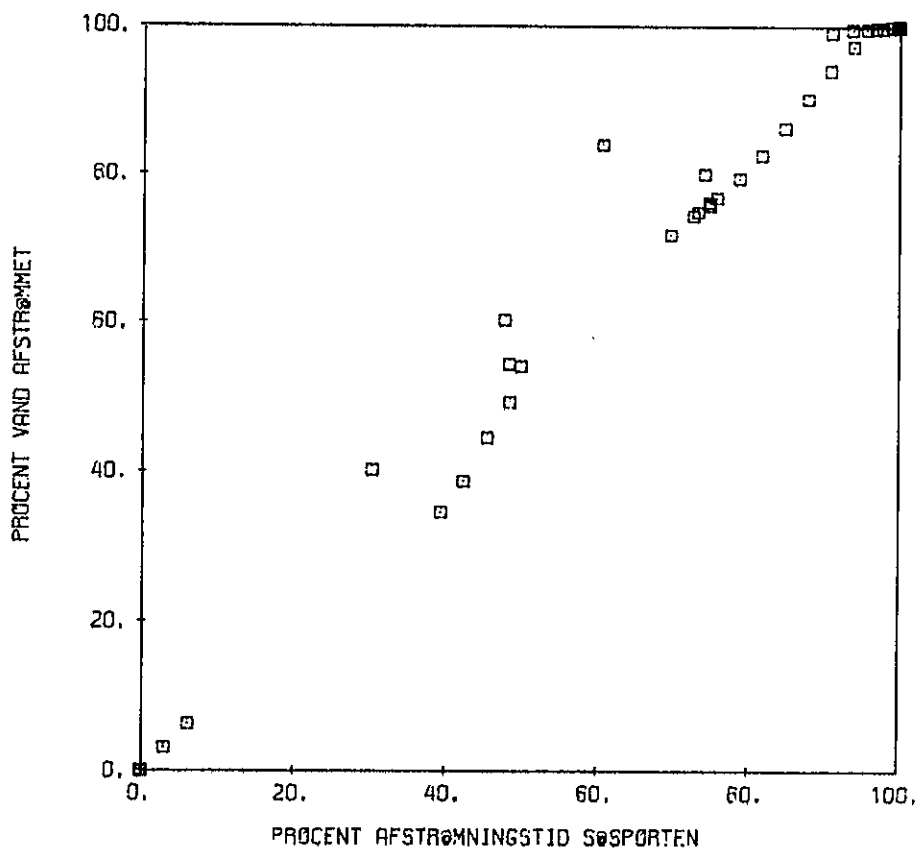




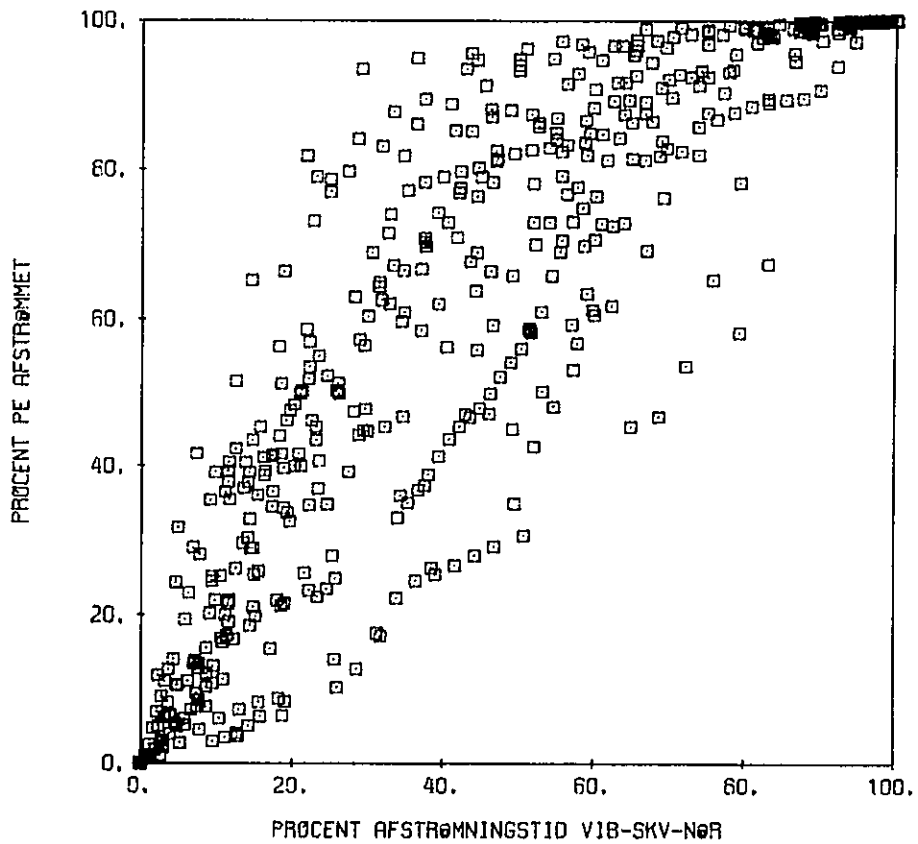
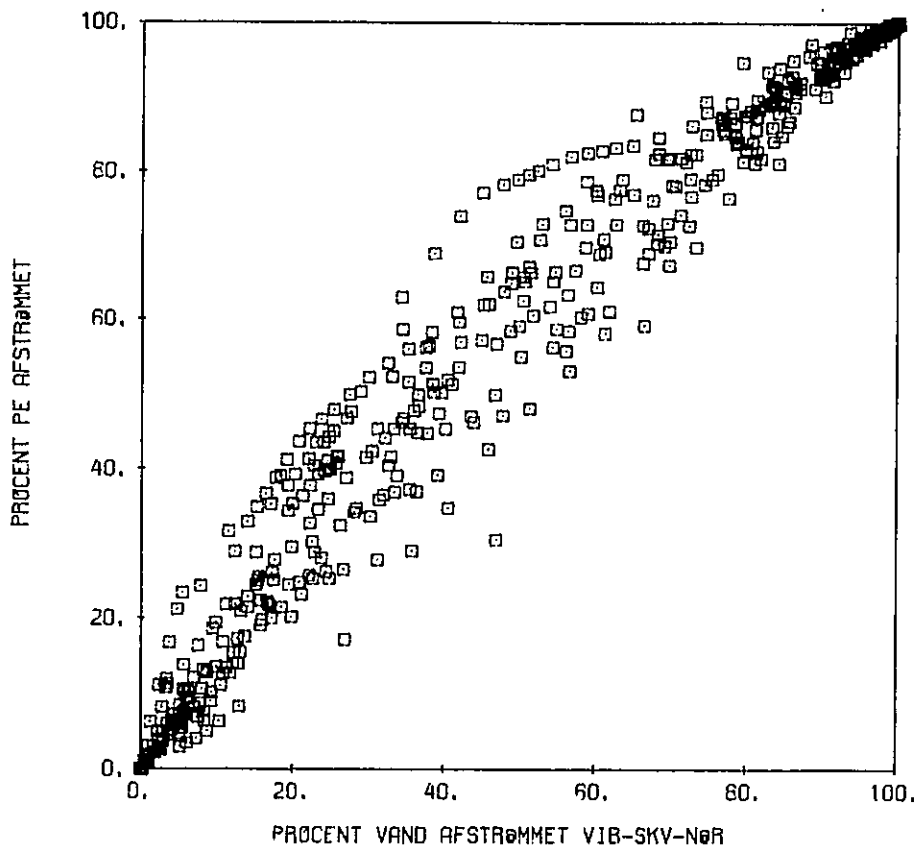


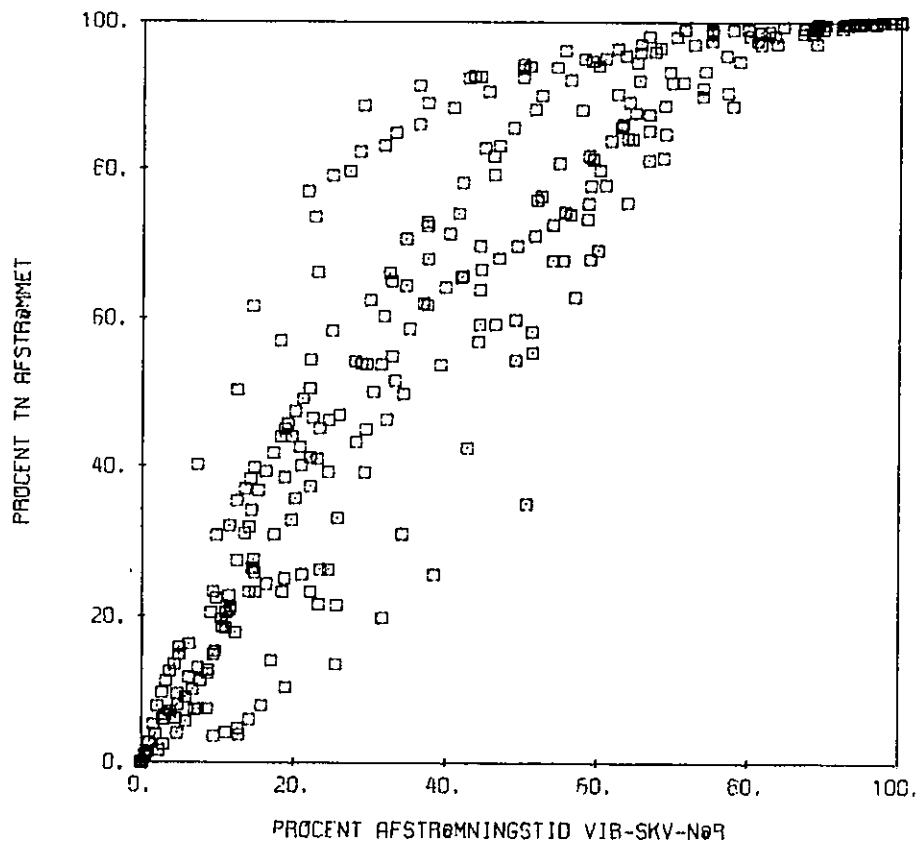
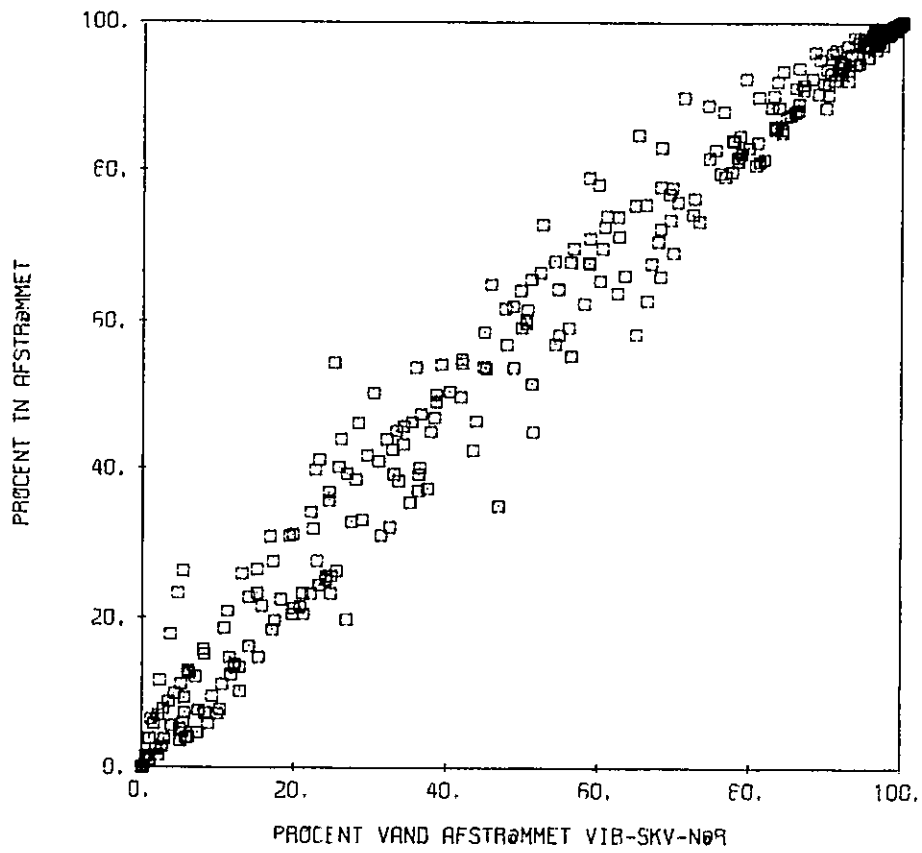


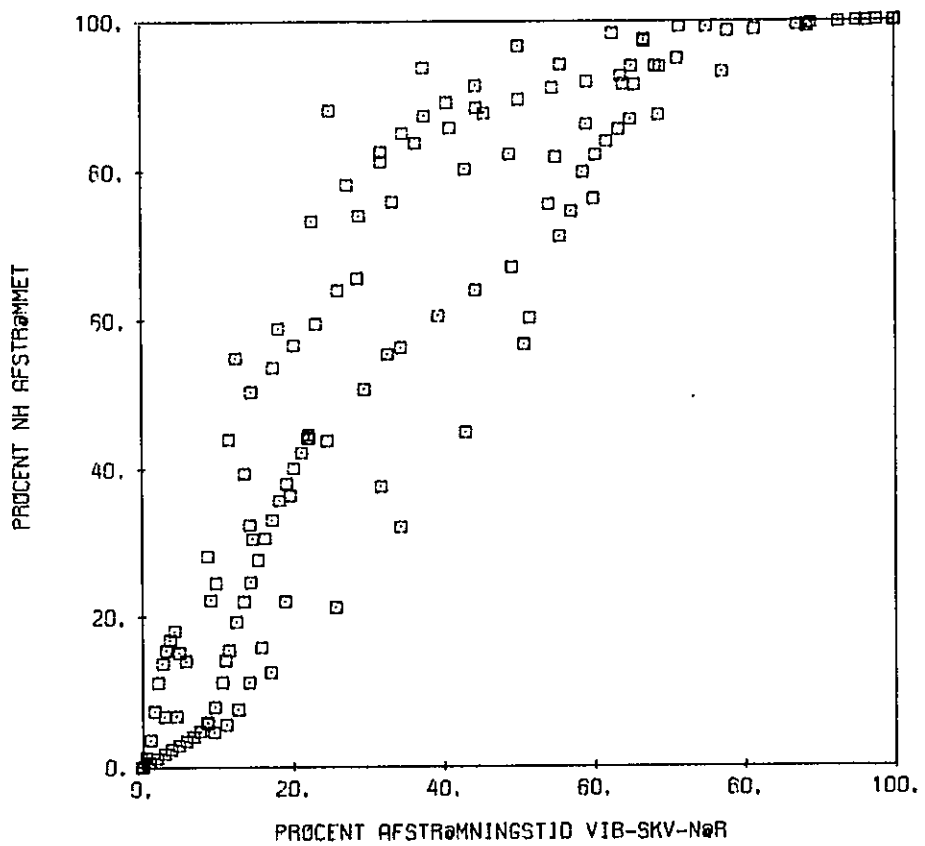
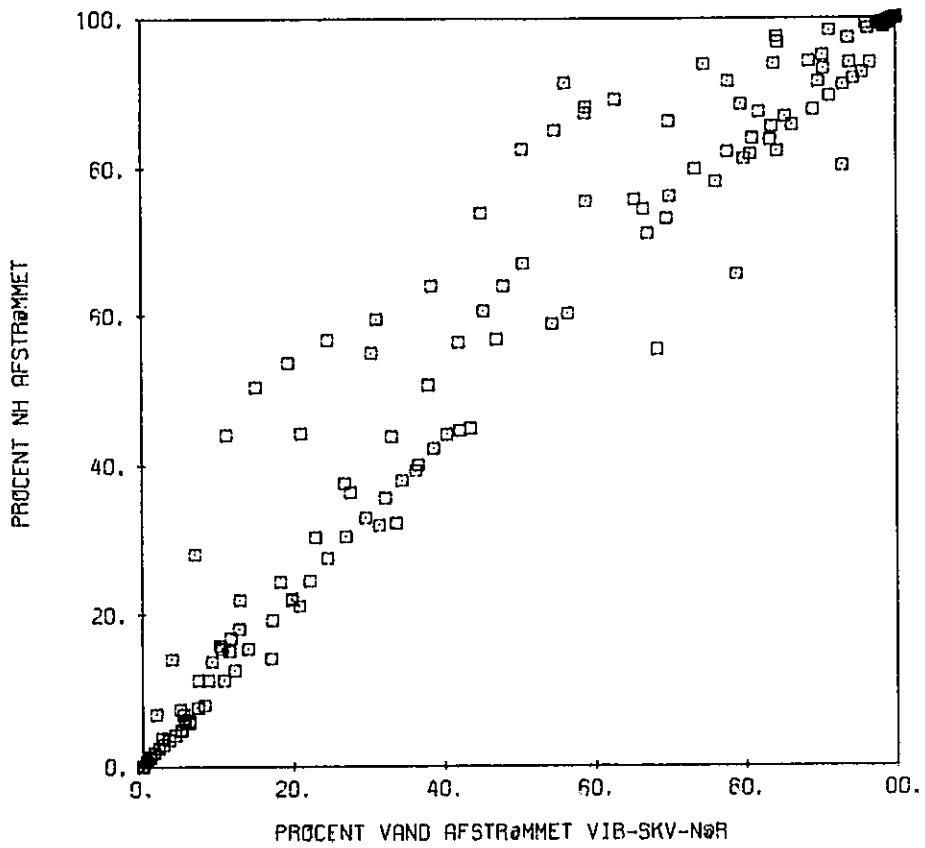


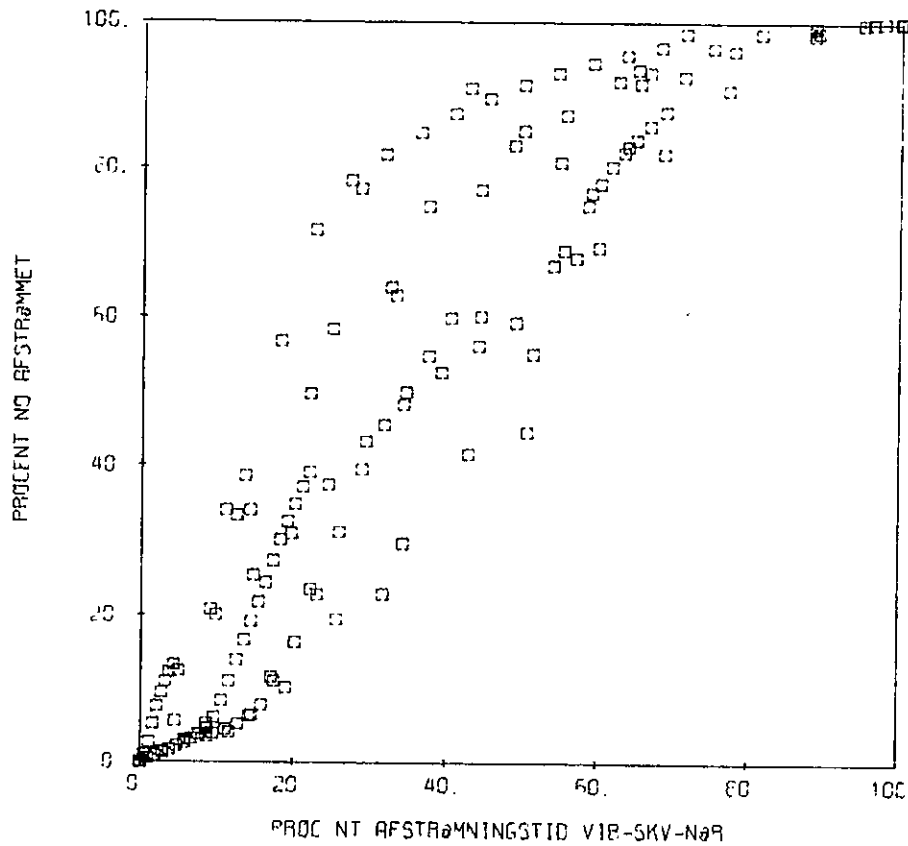
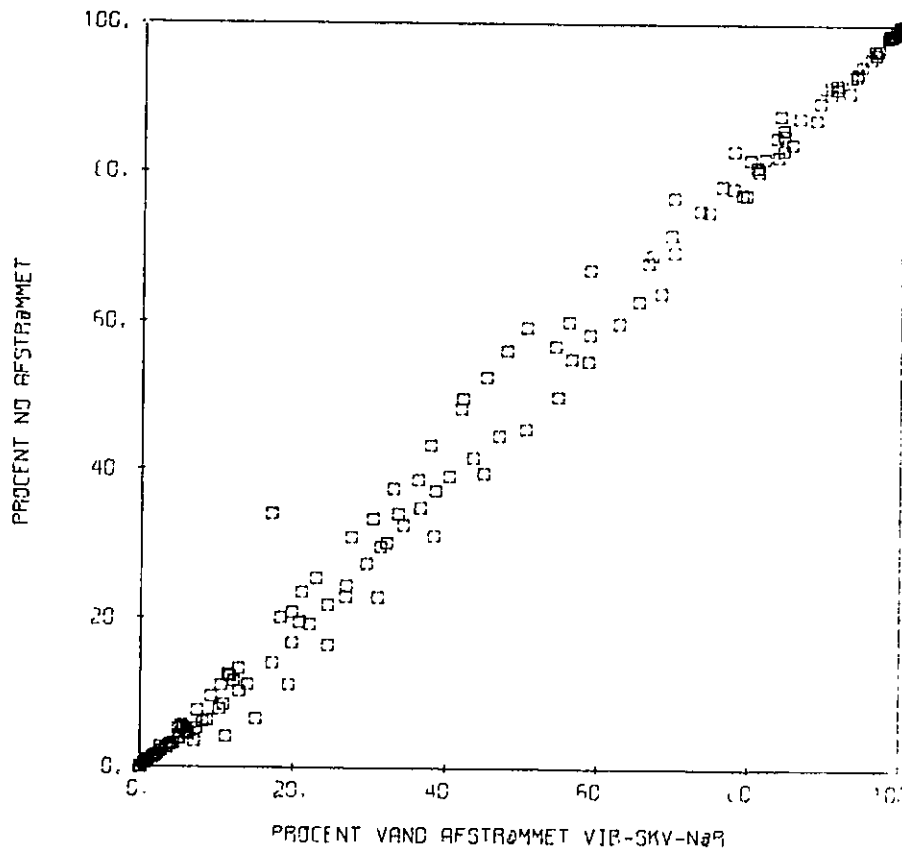


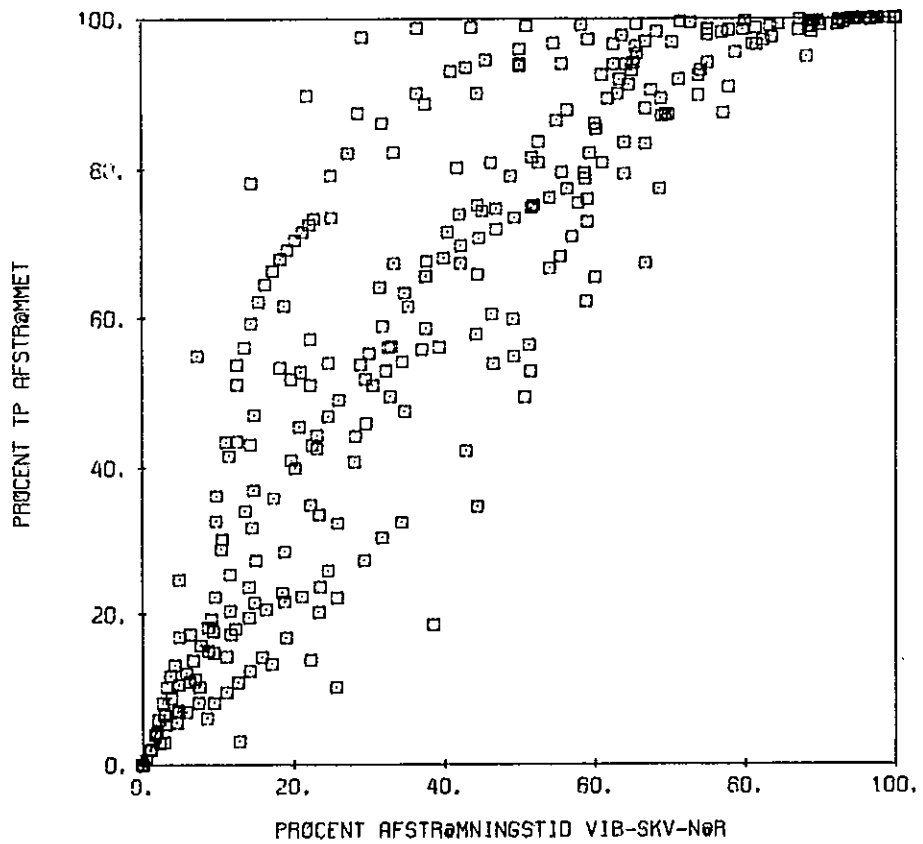
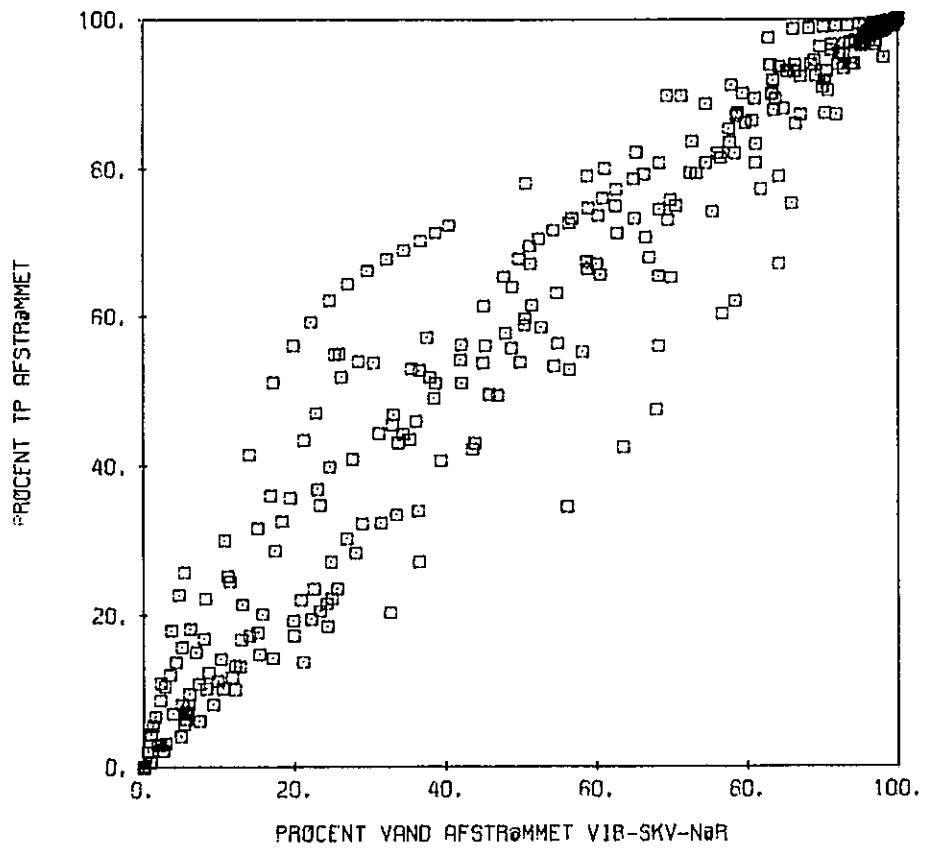
VIBORG - SKVÆTMØLLE - NØRSKOVBAKKE



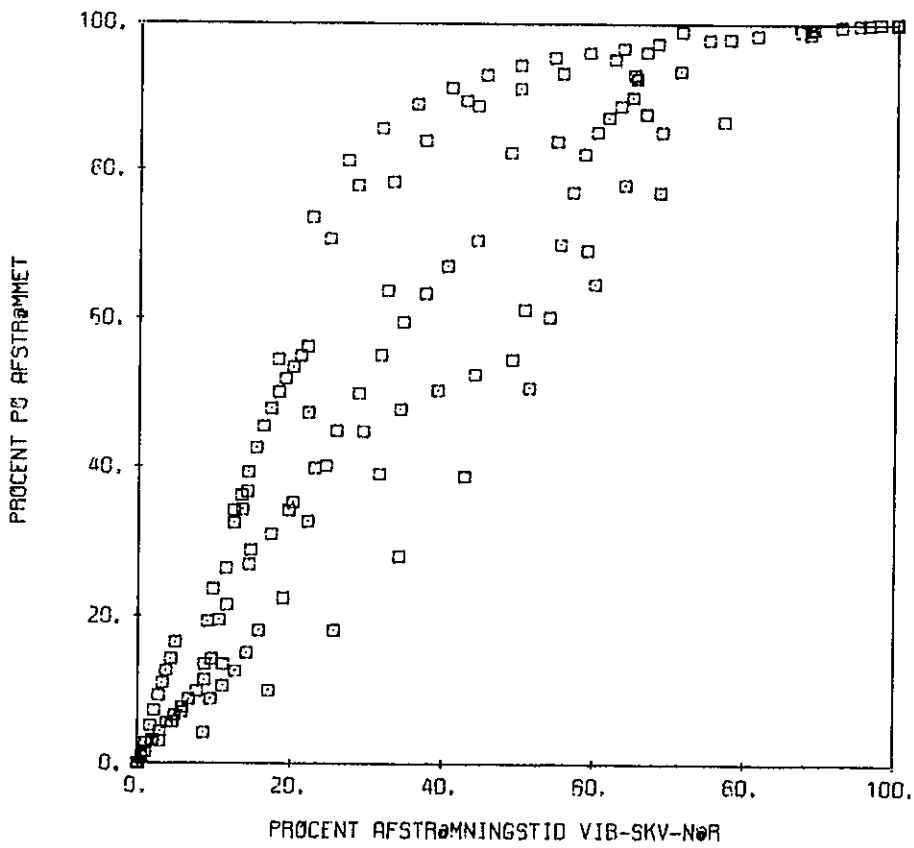
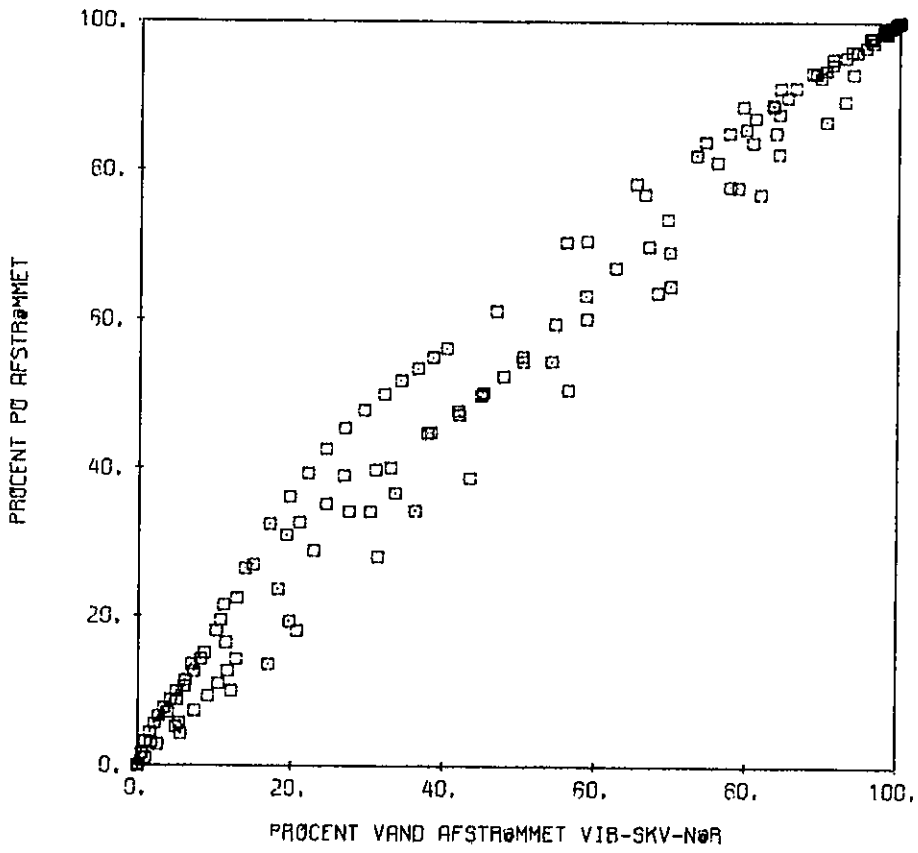


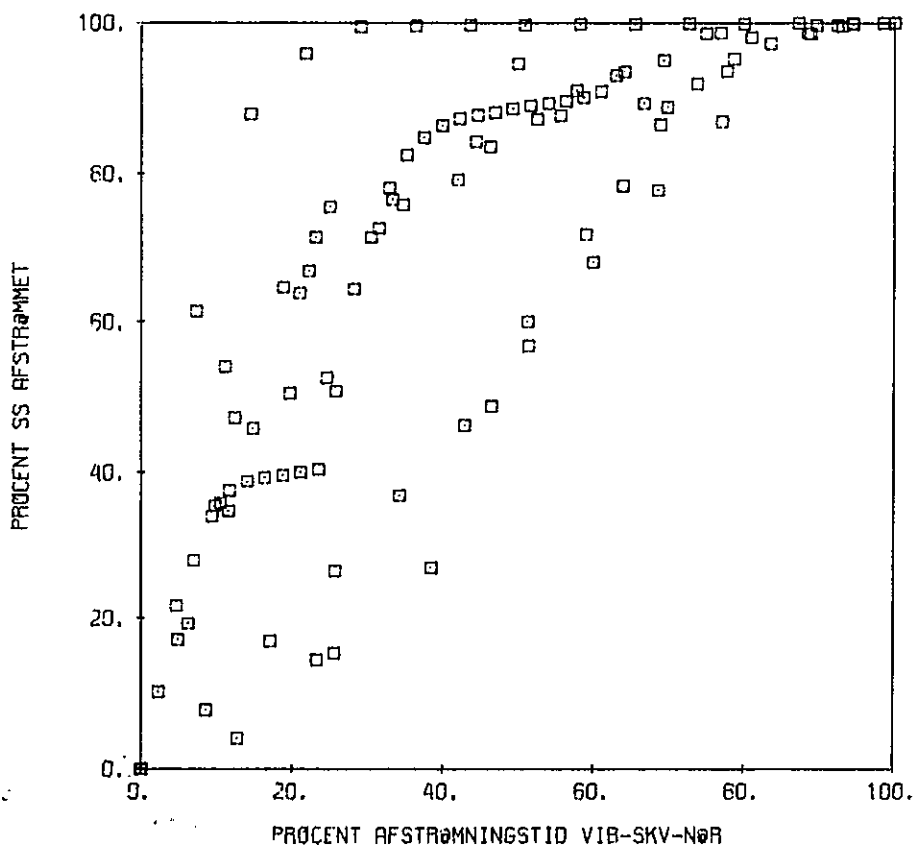
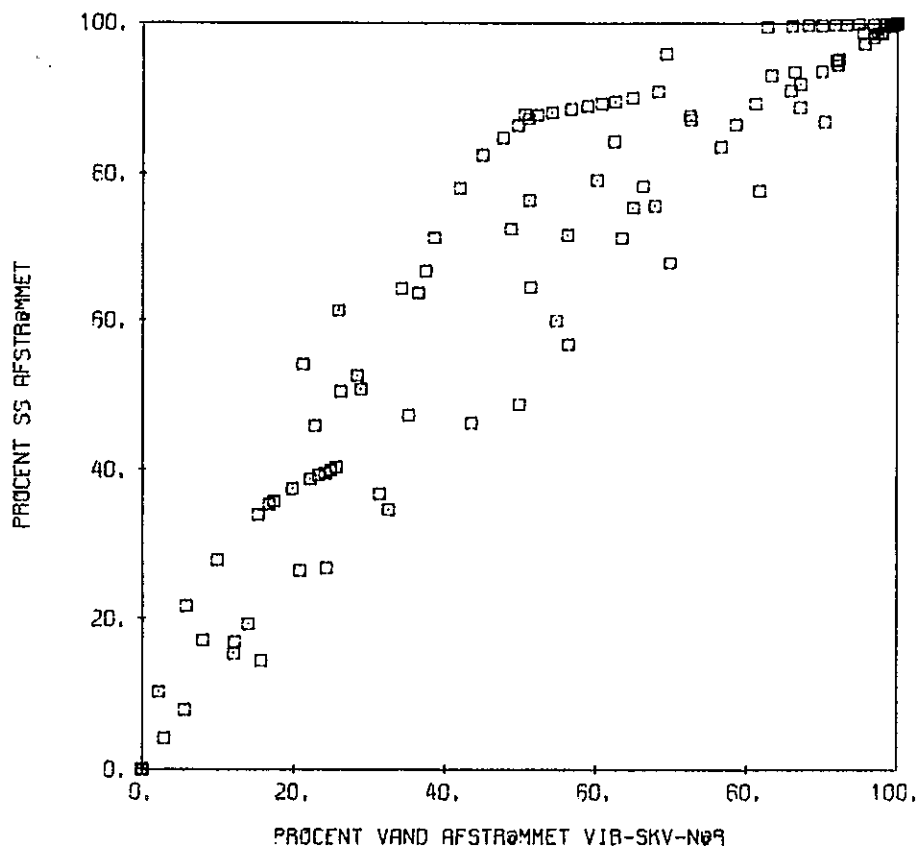


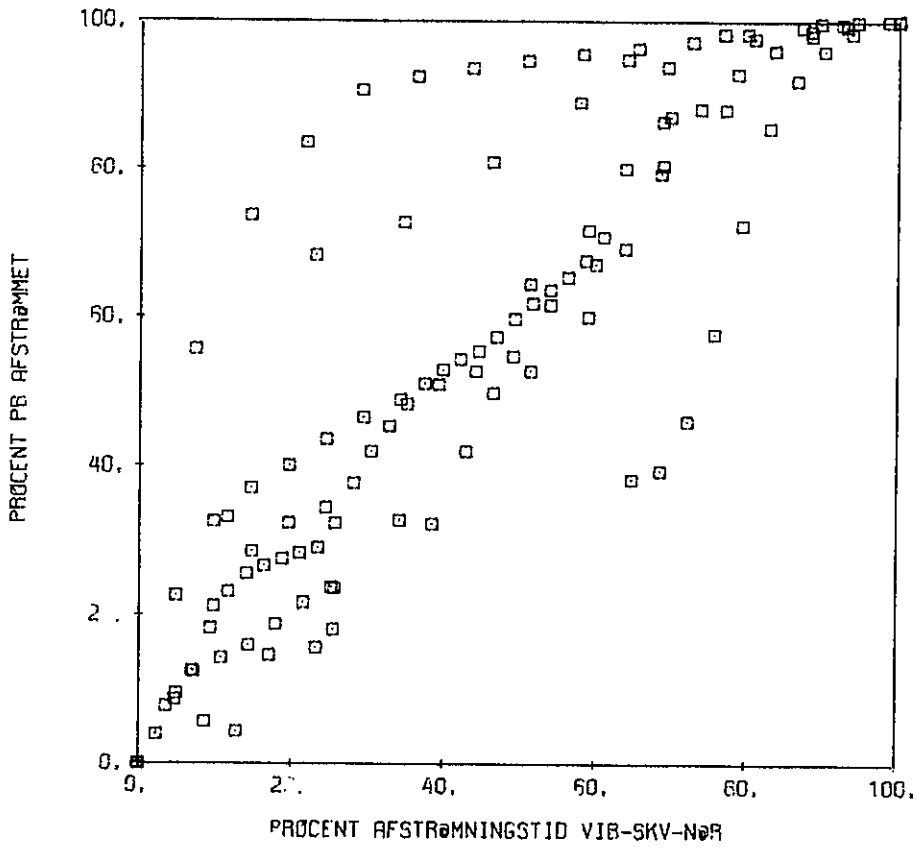
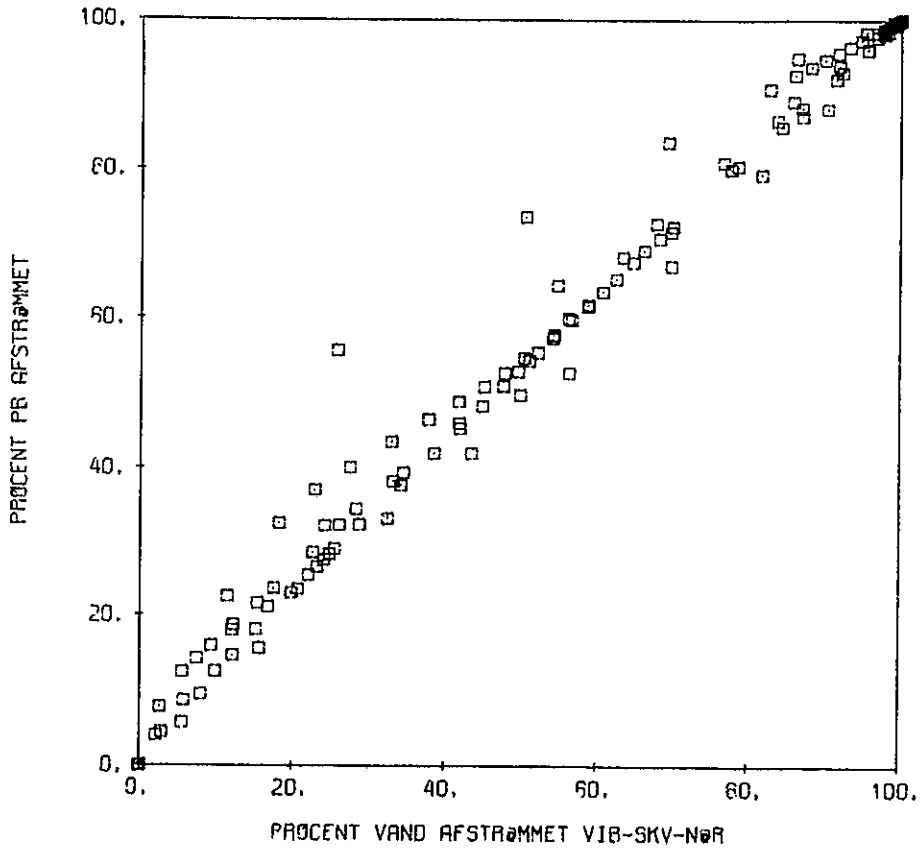


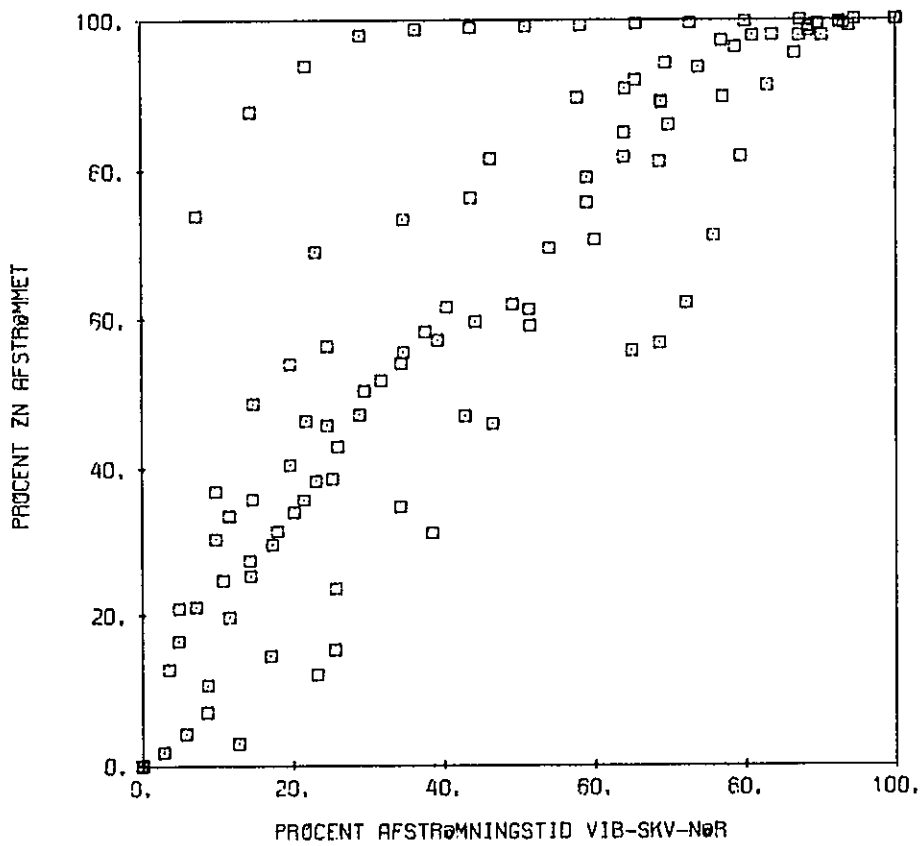
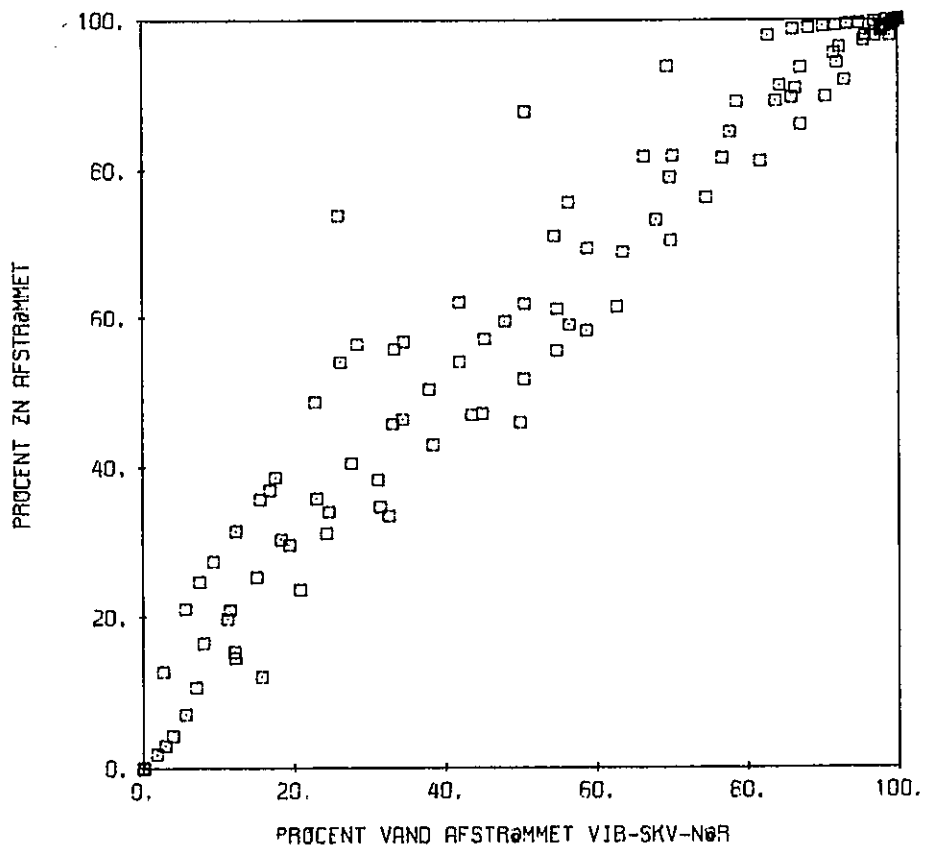


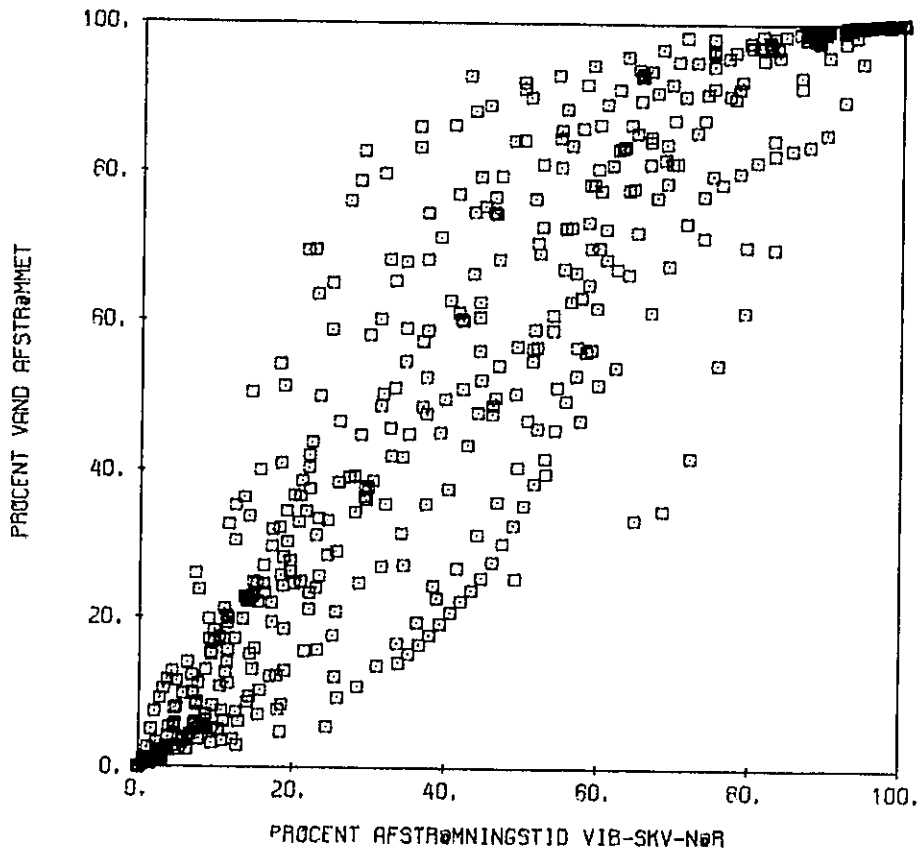




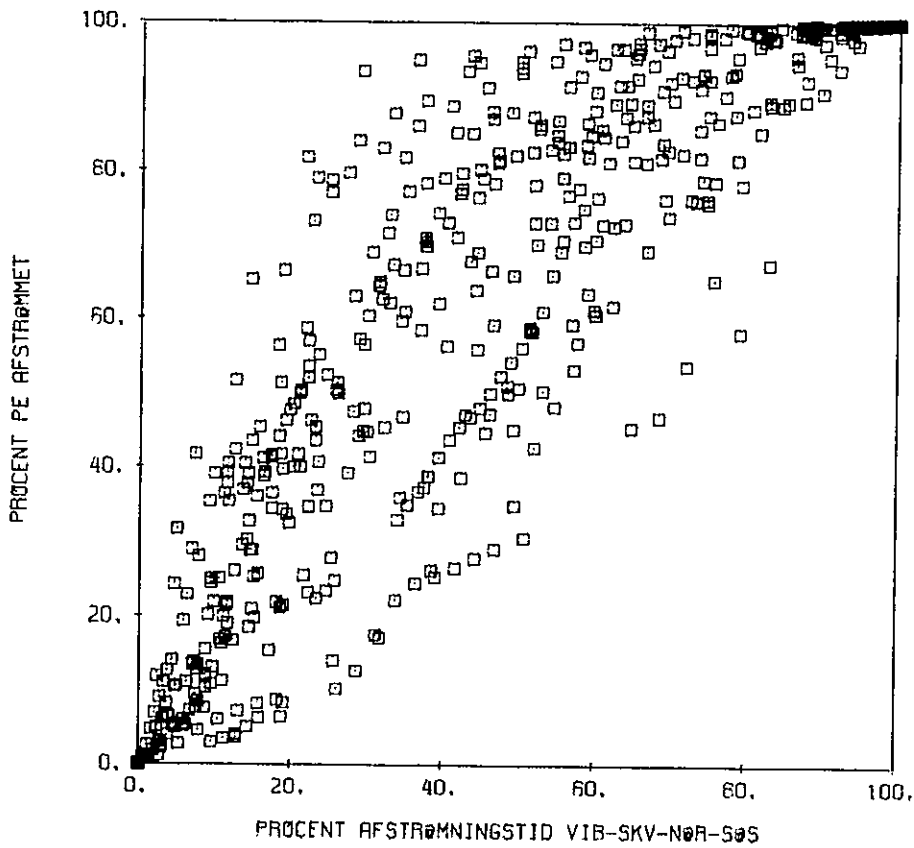
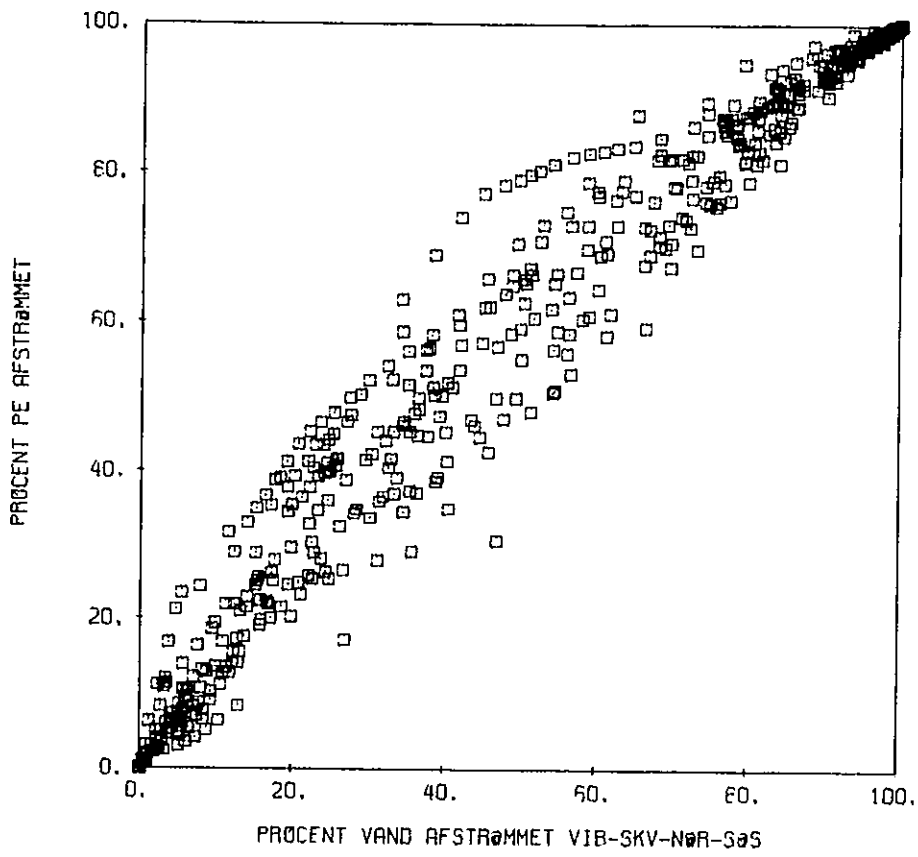


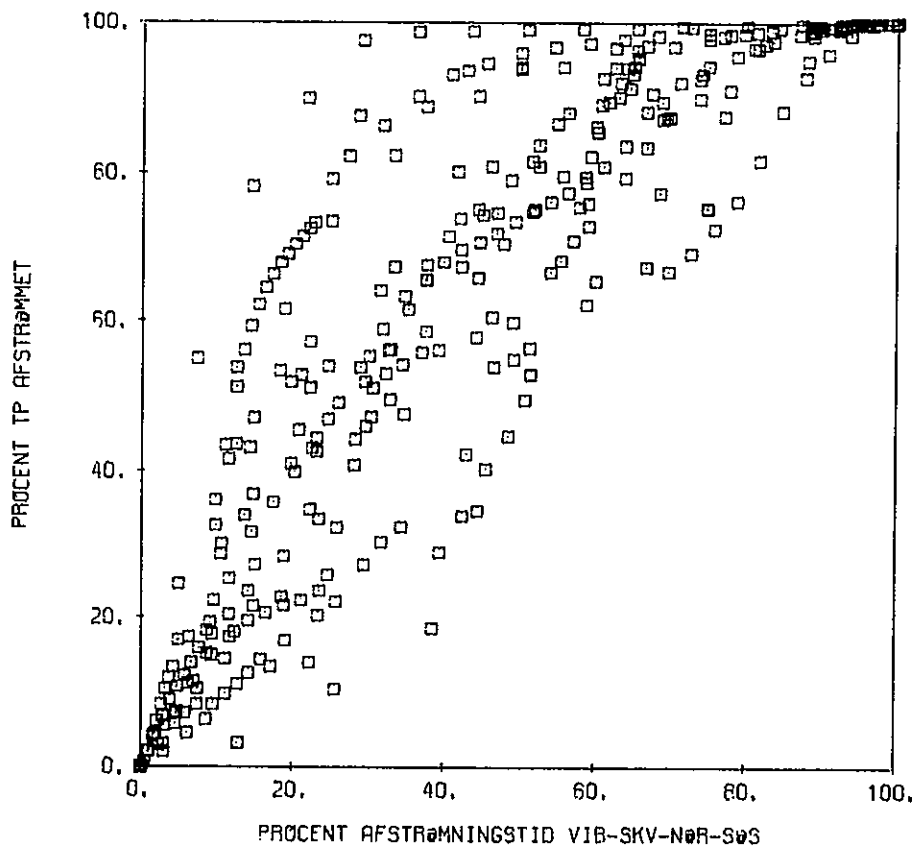
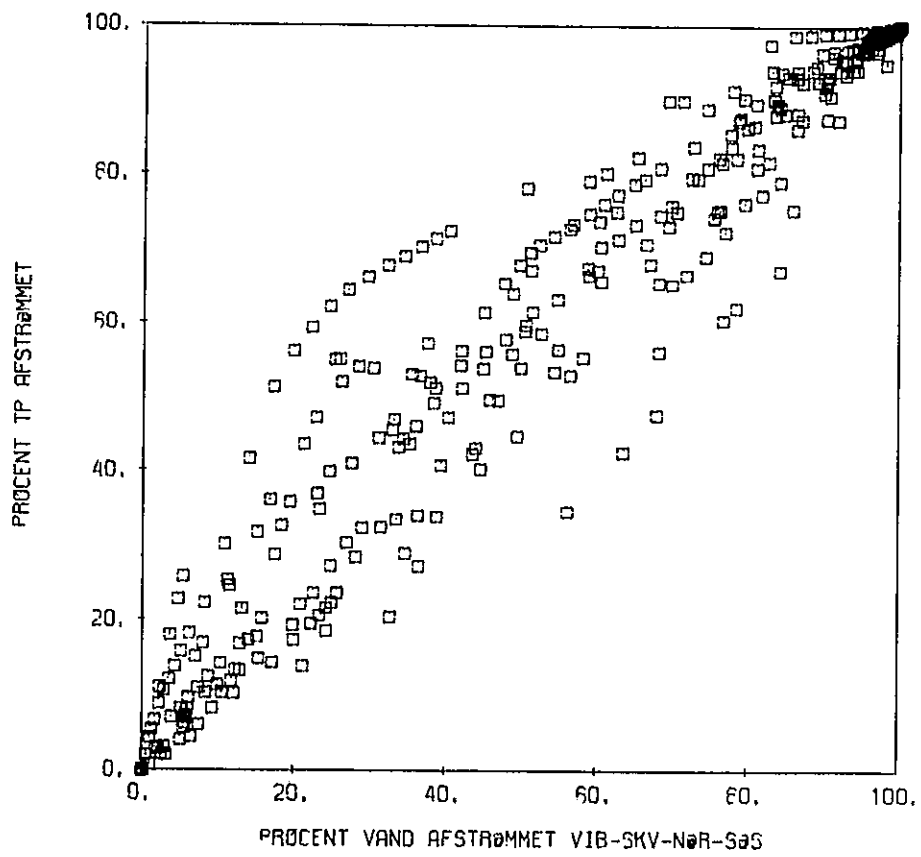




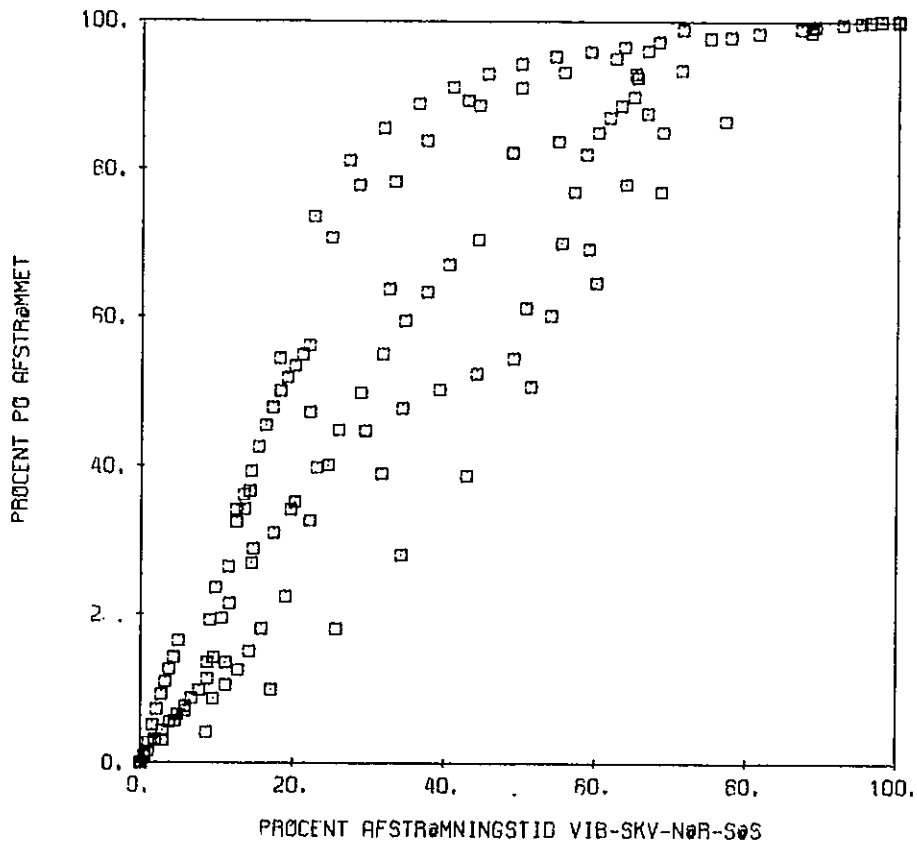
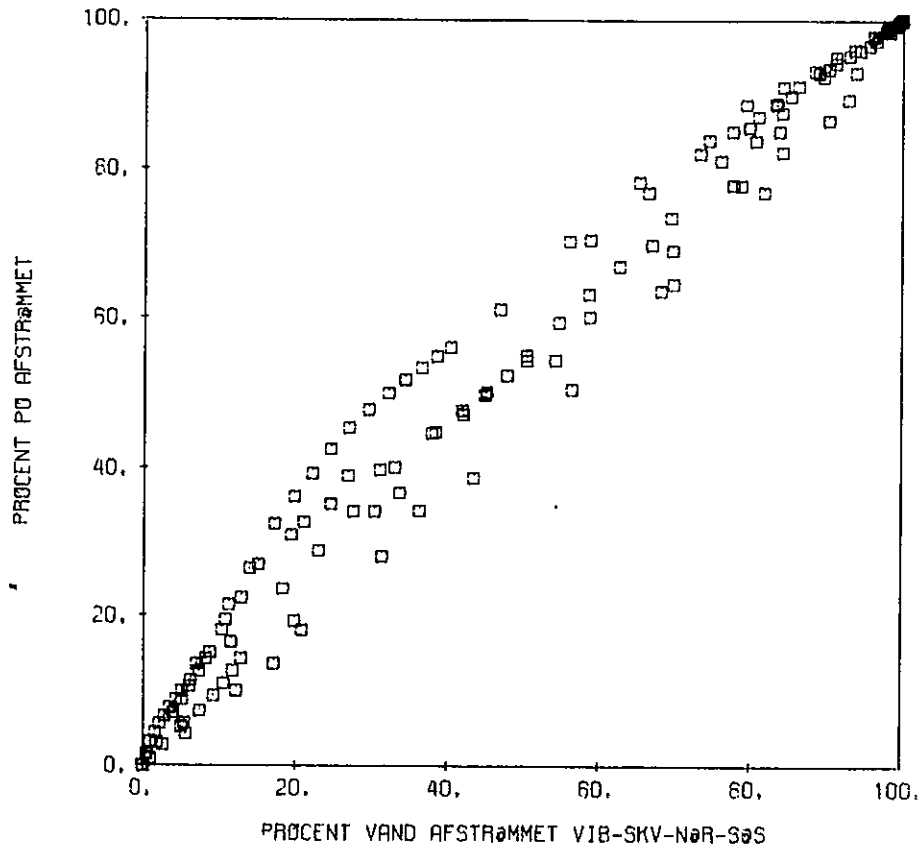


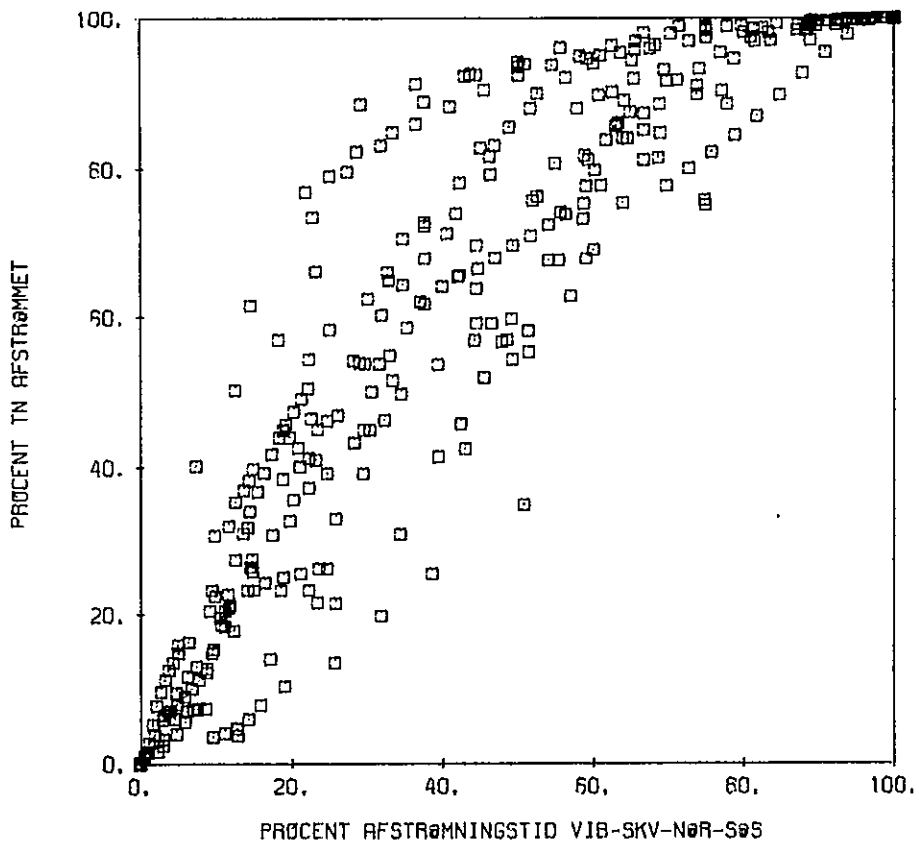
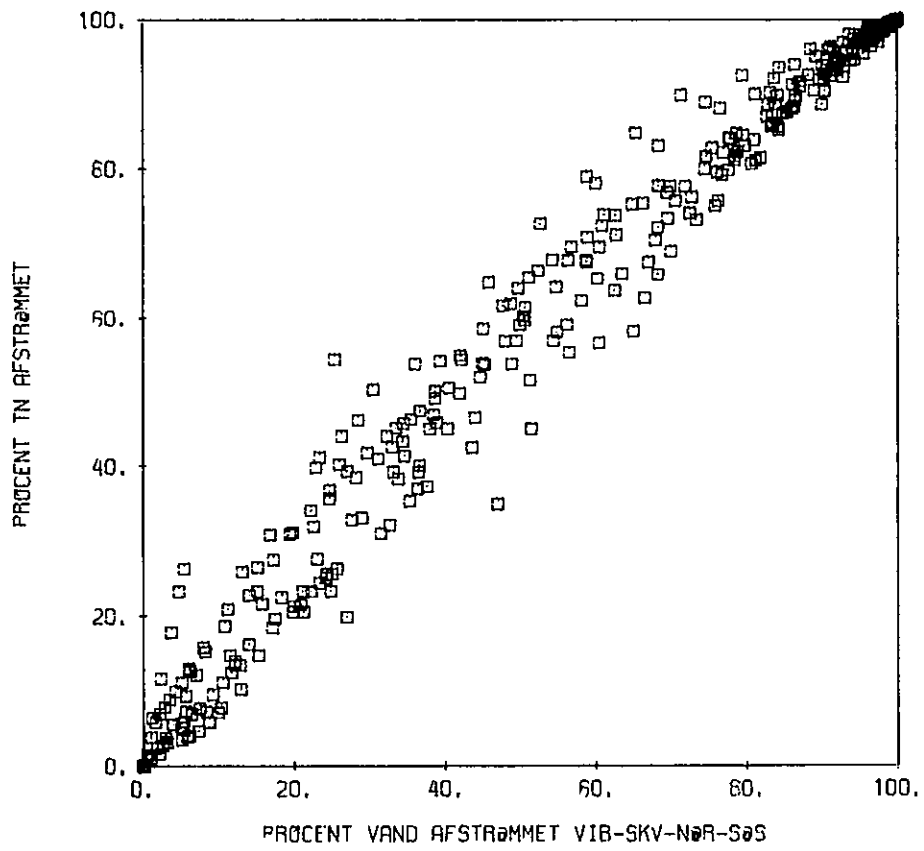
VIBORG - SKVÆTMØLLE - NØRSKOVBAKKE - SØSPORTEN

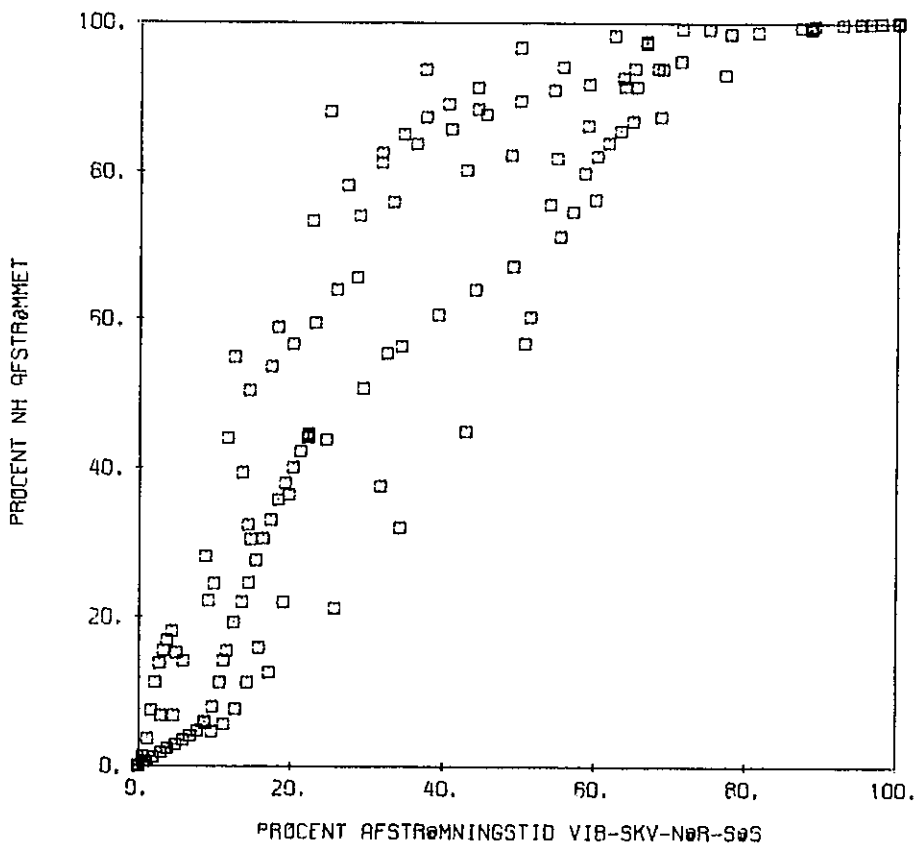
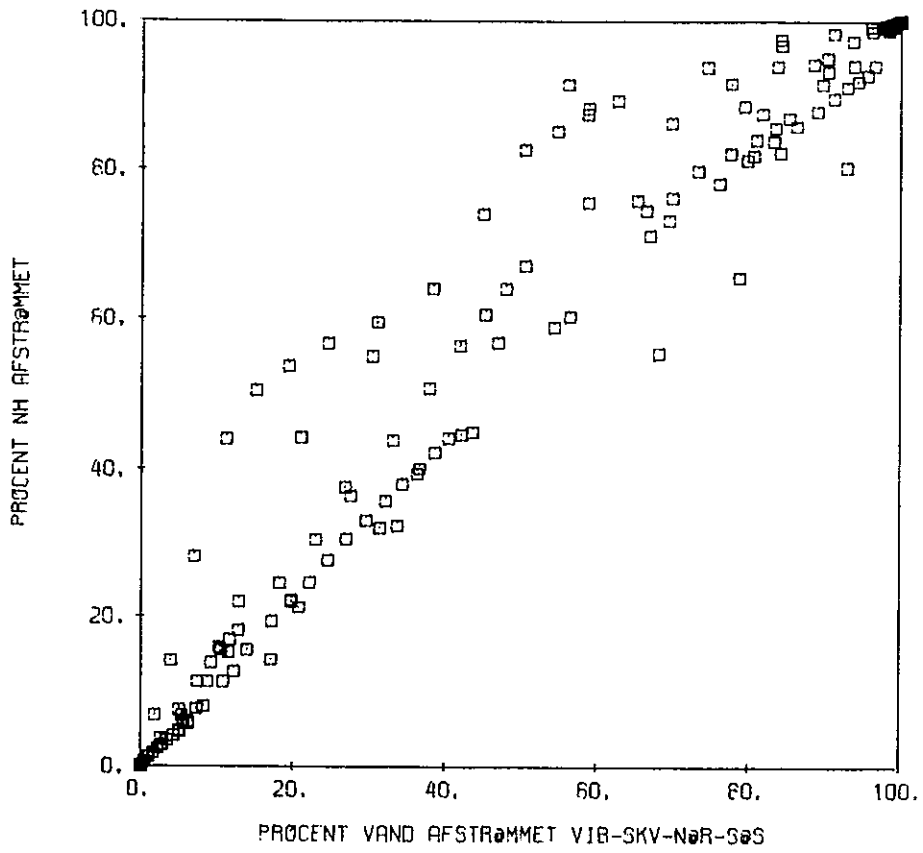


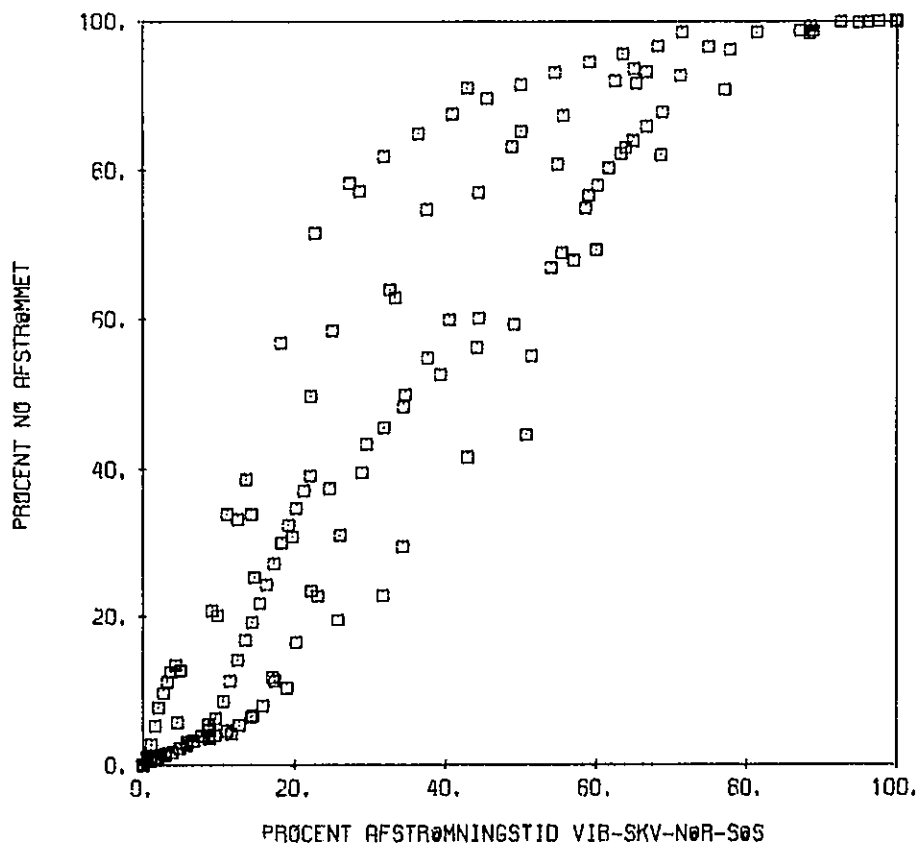
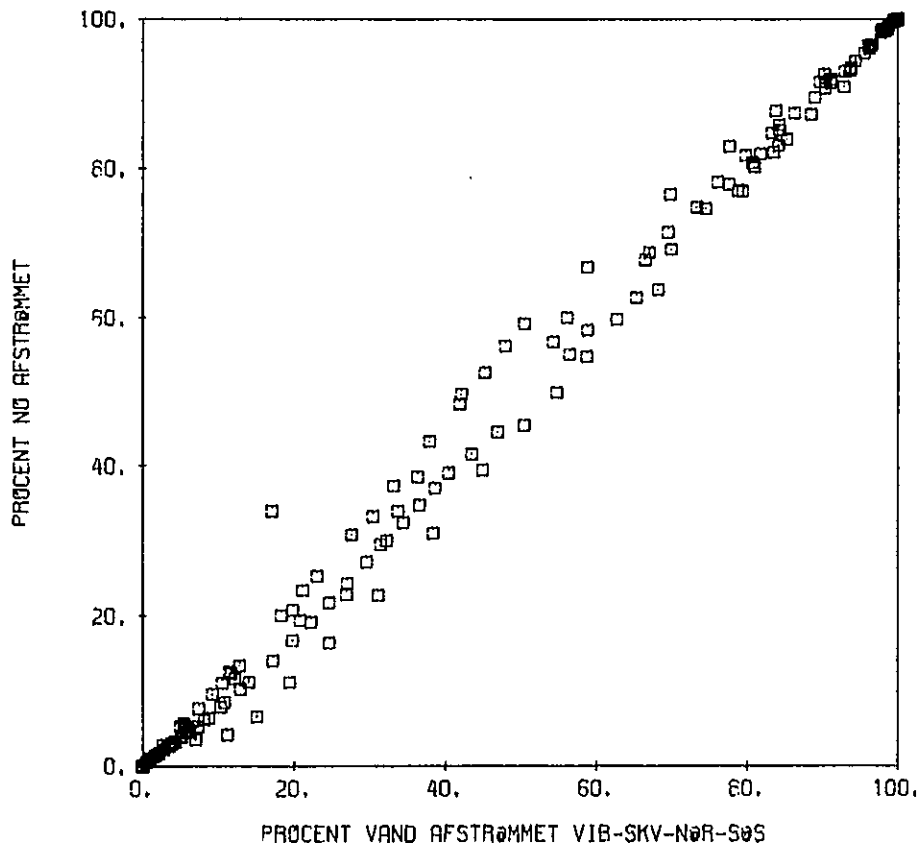


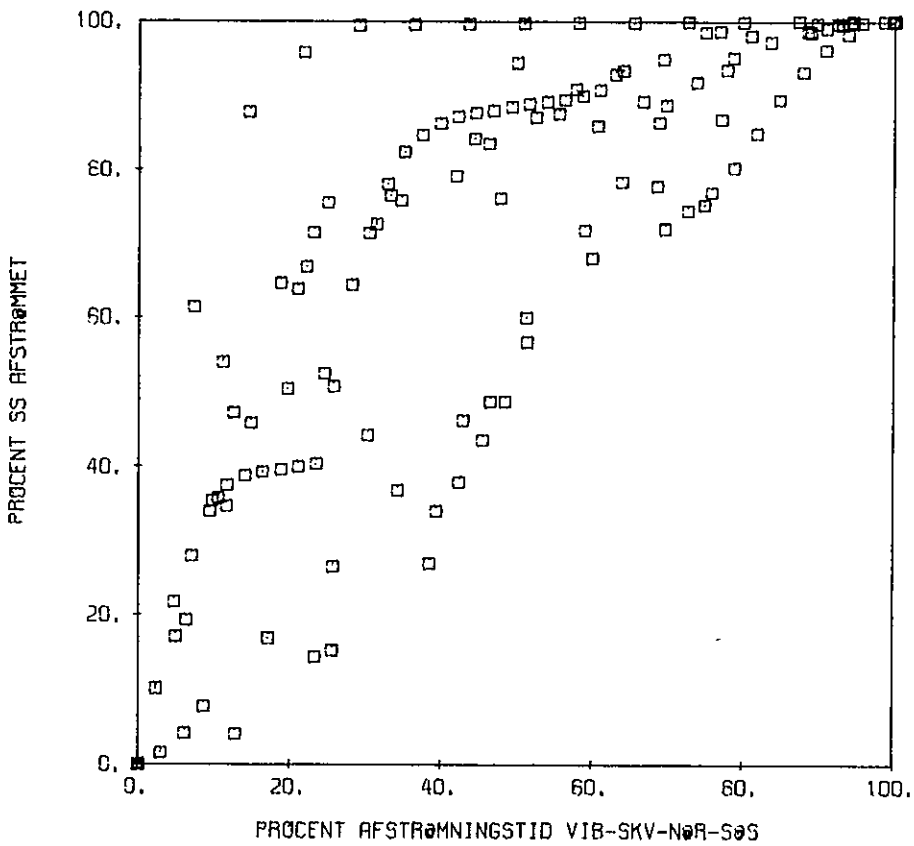
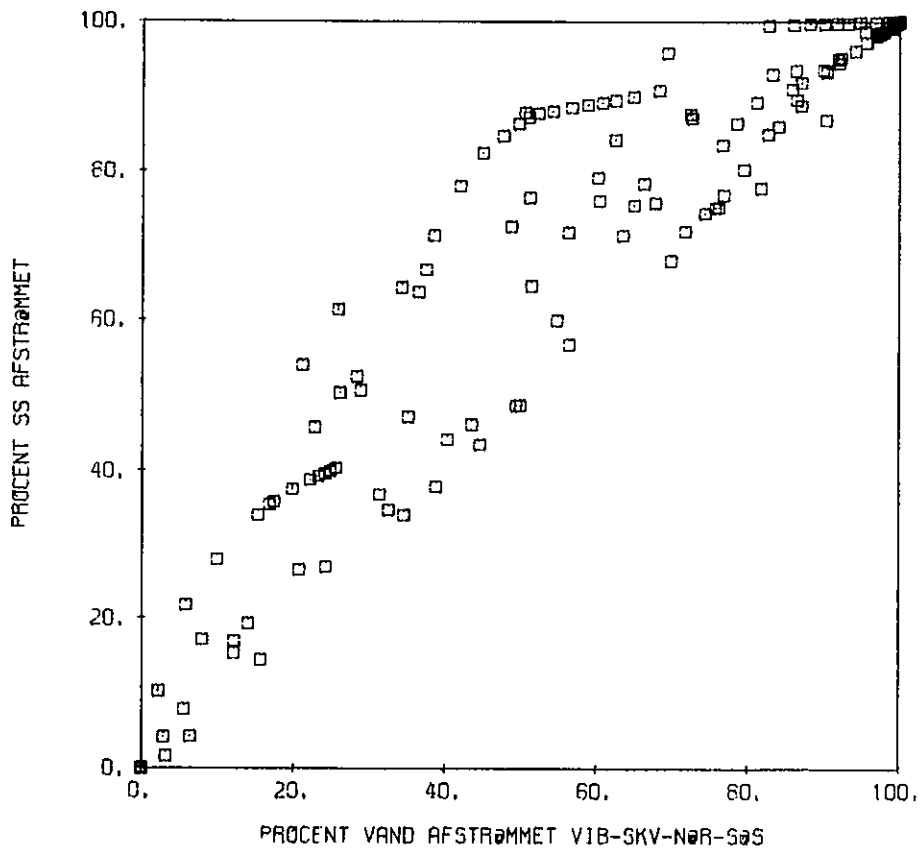


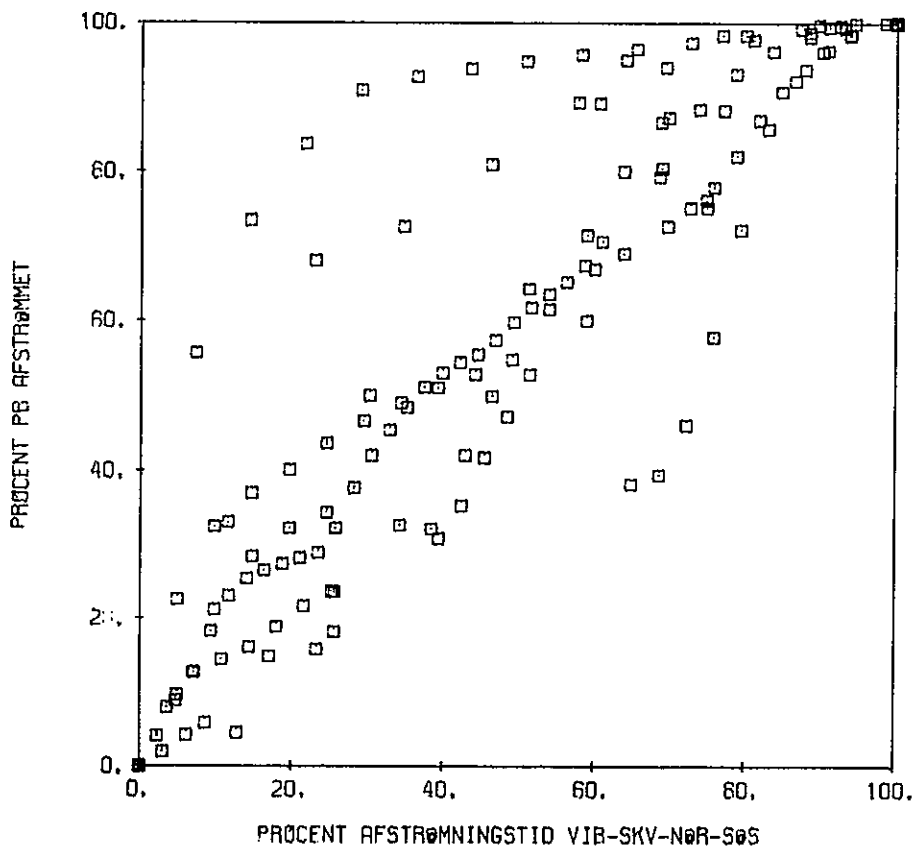
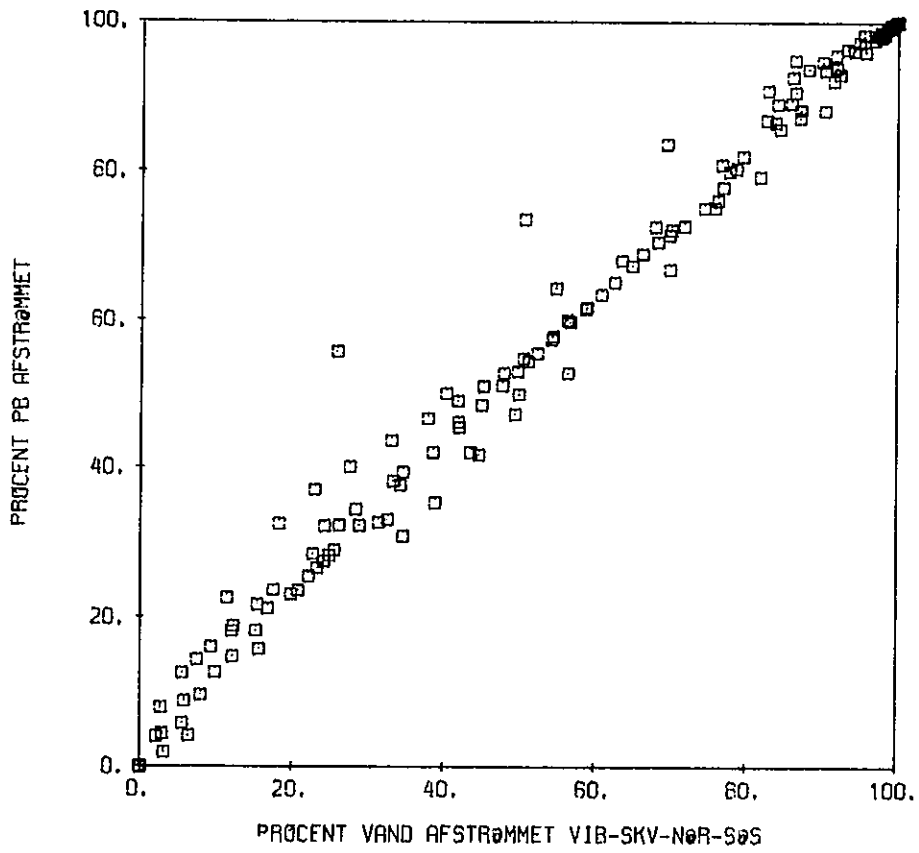


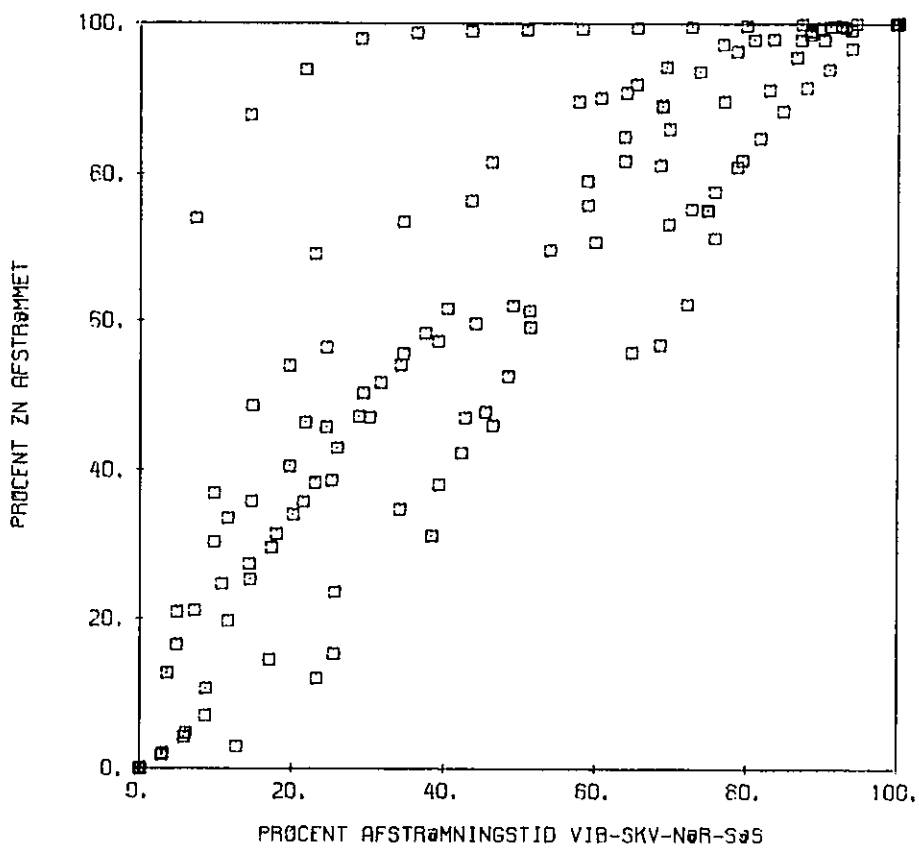
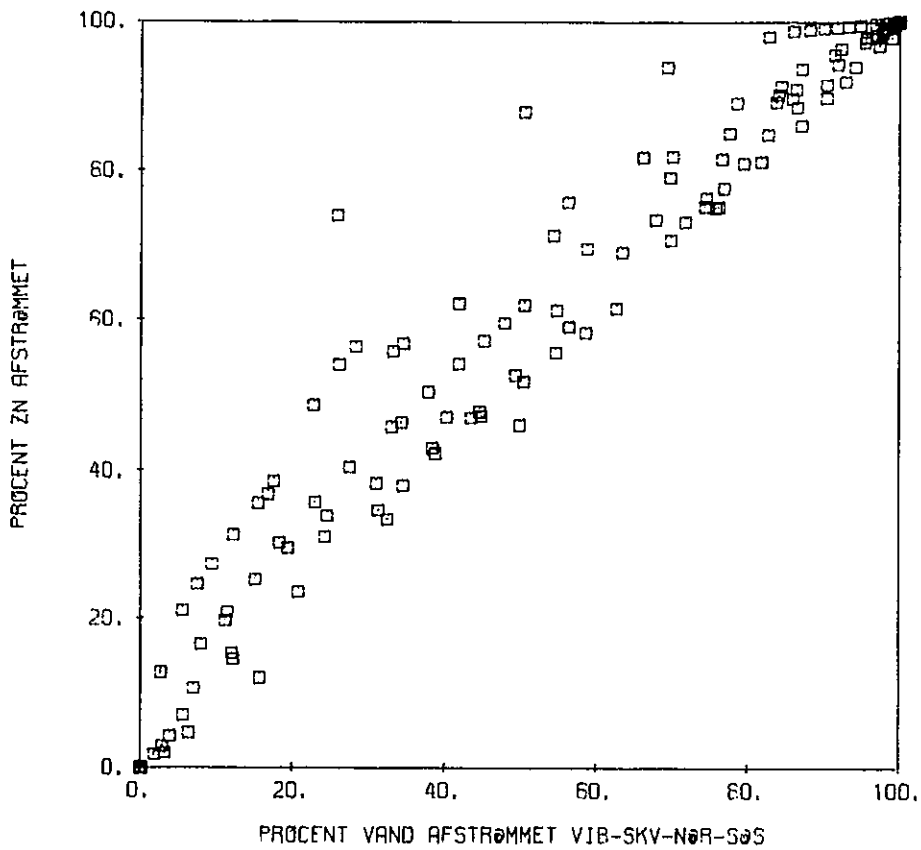


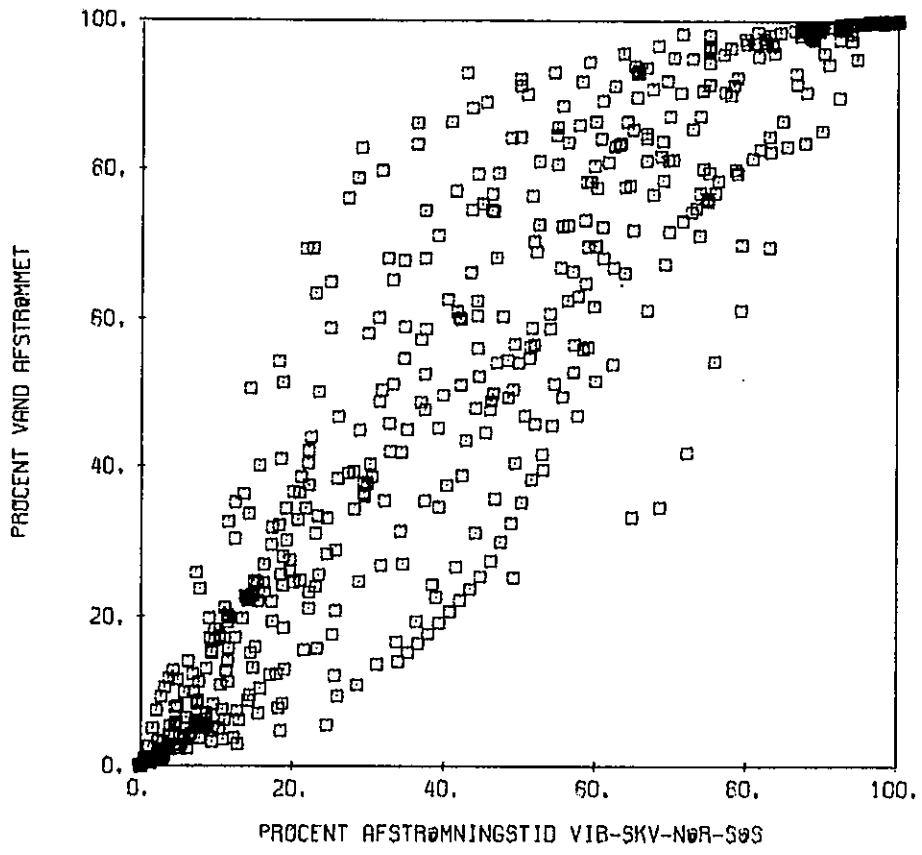






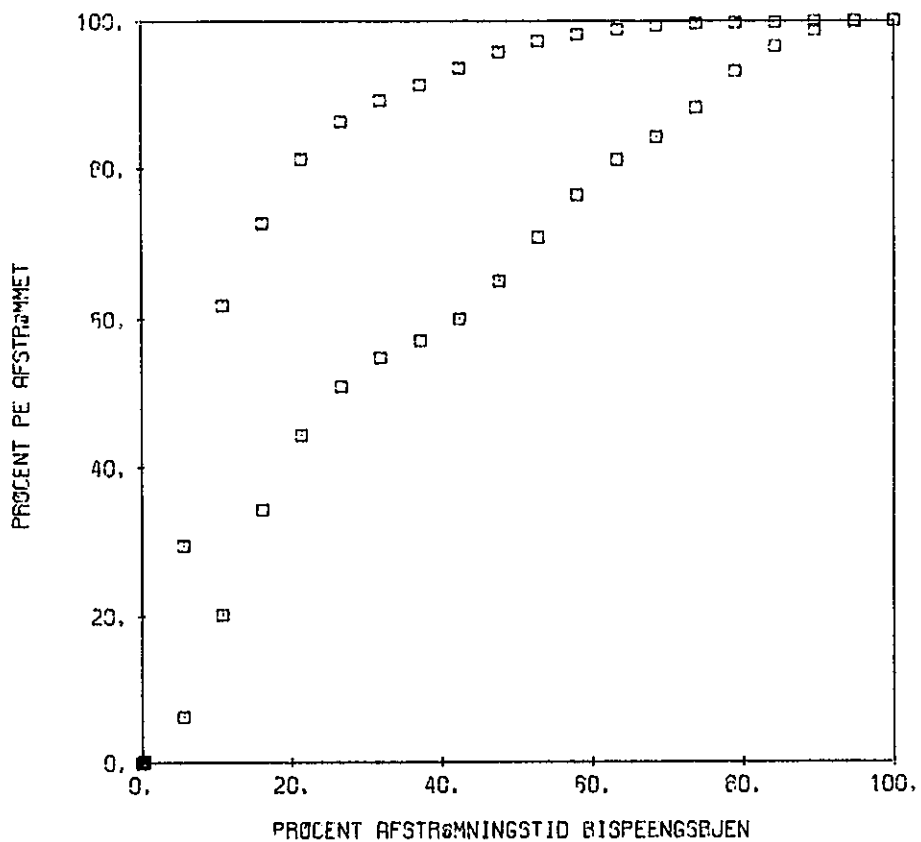
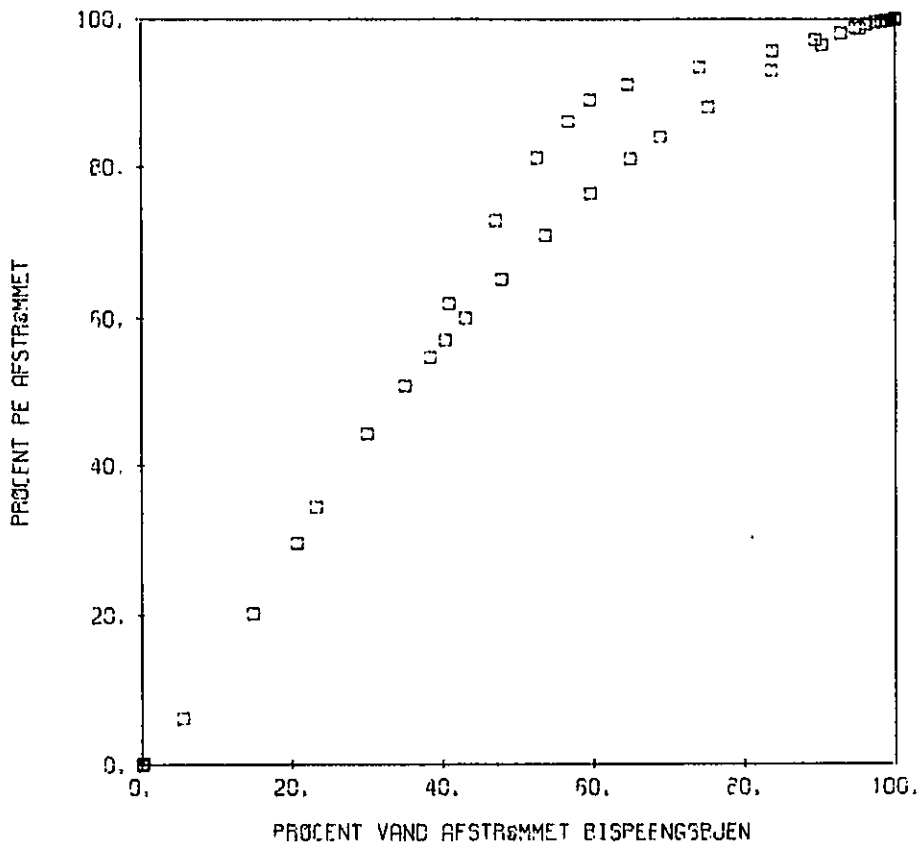


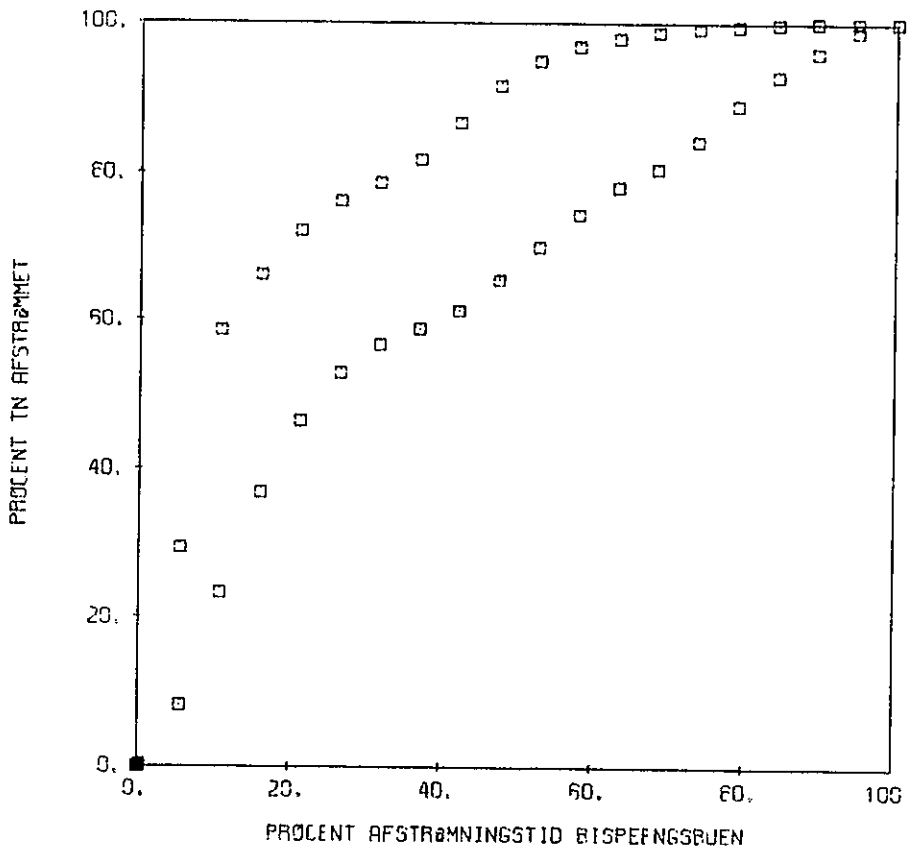
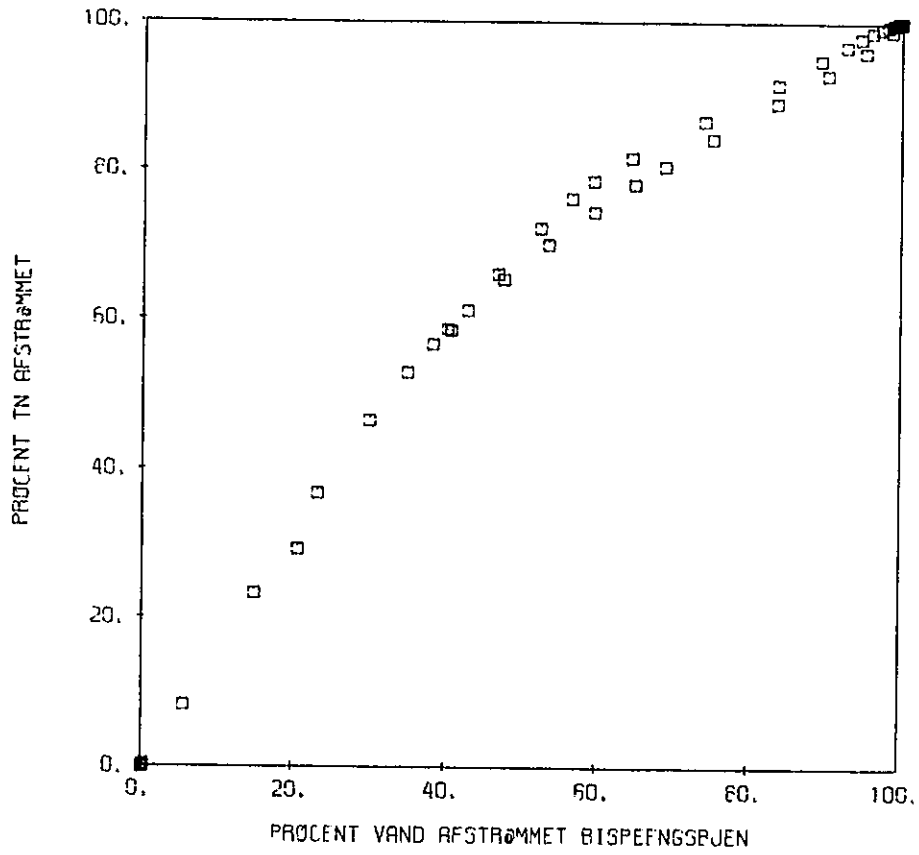


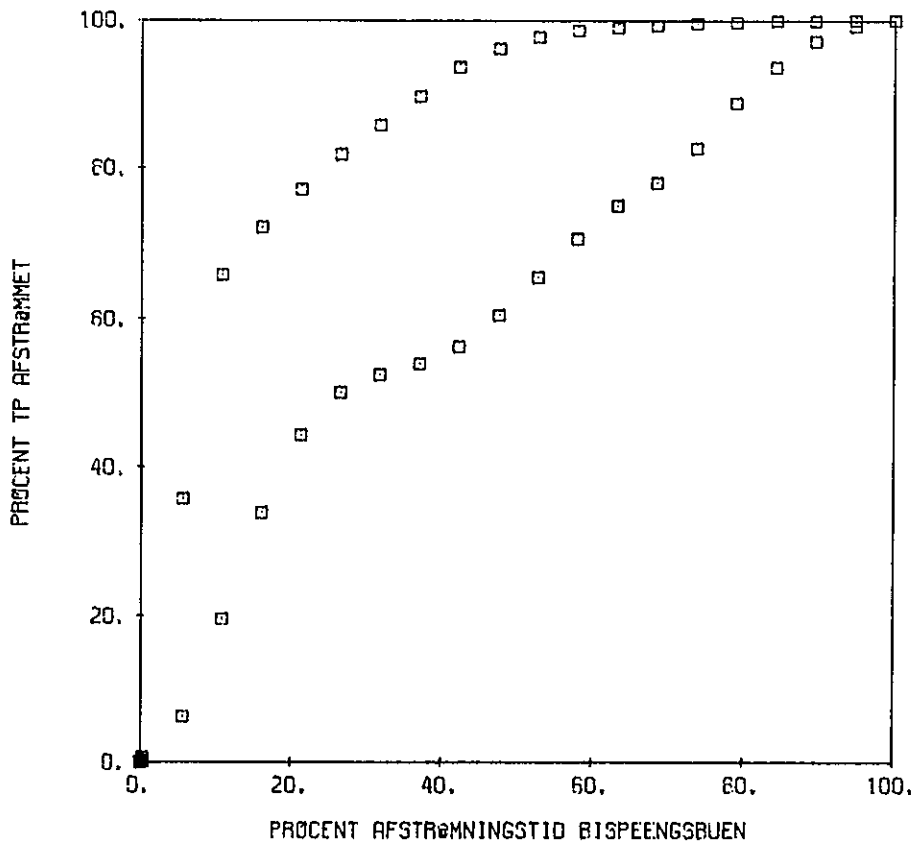
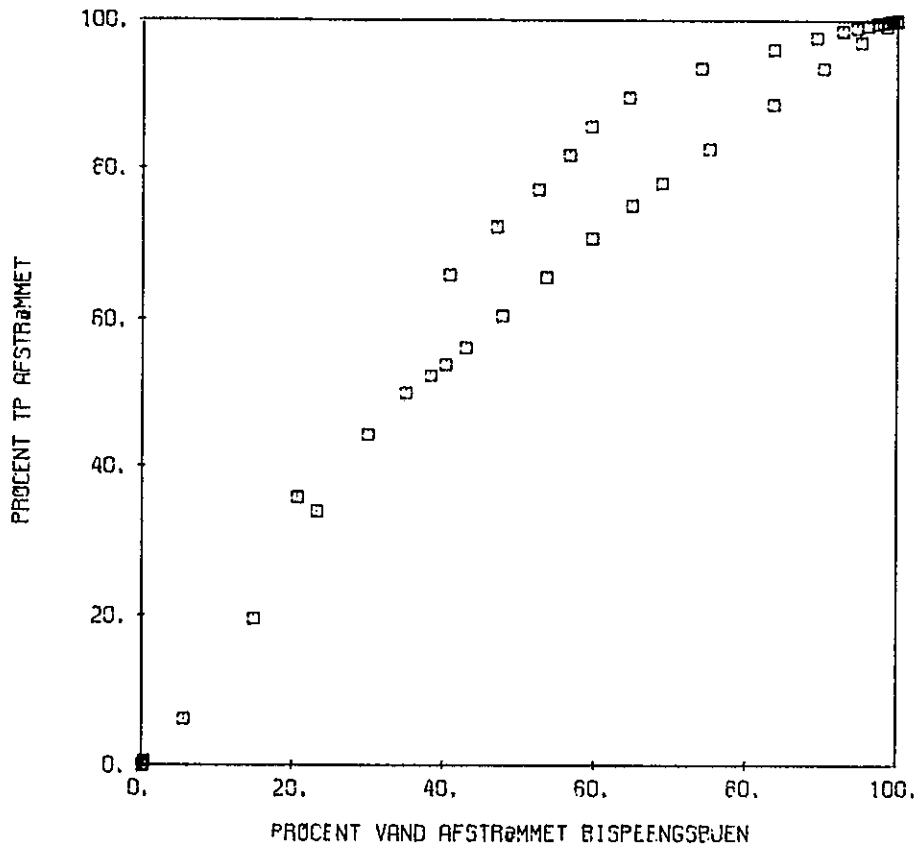


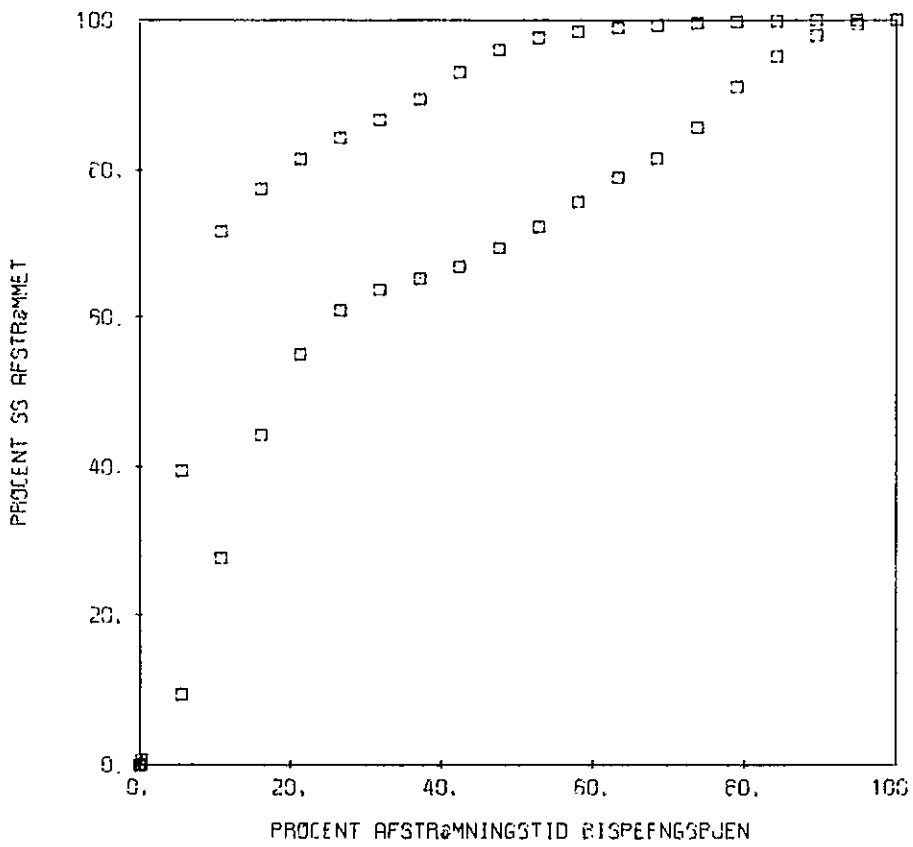
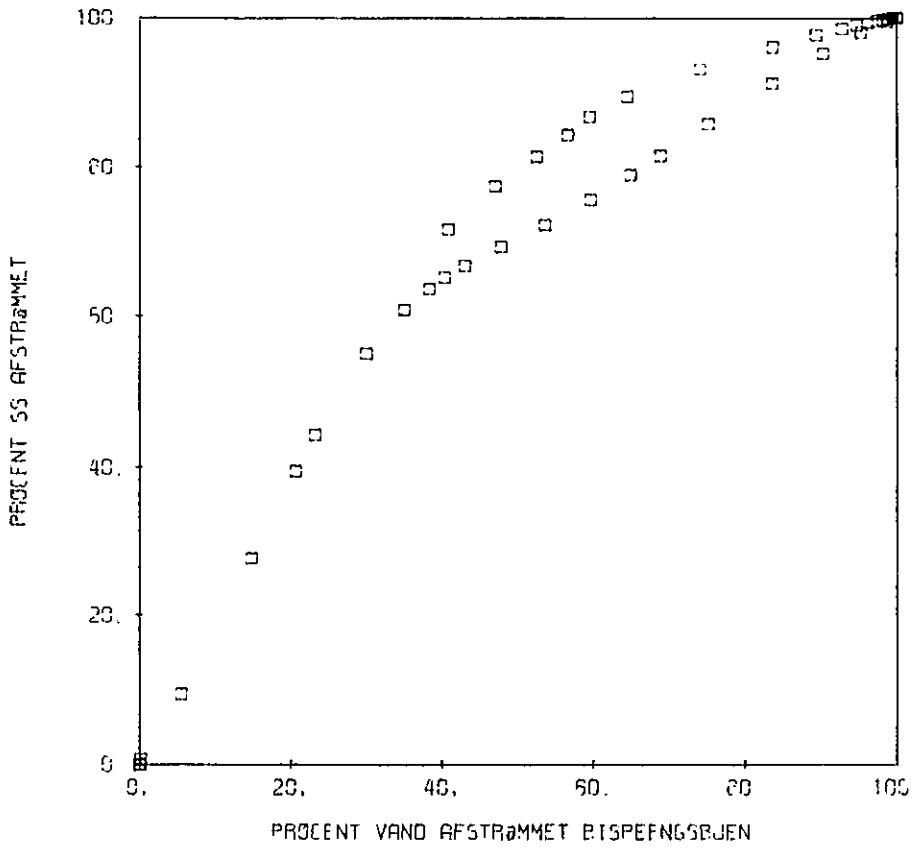


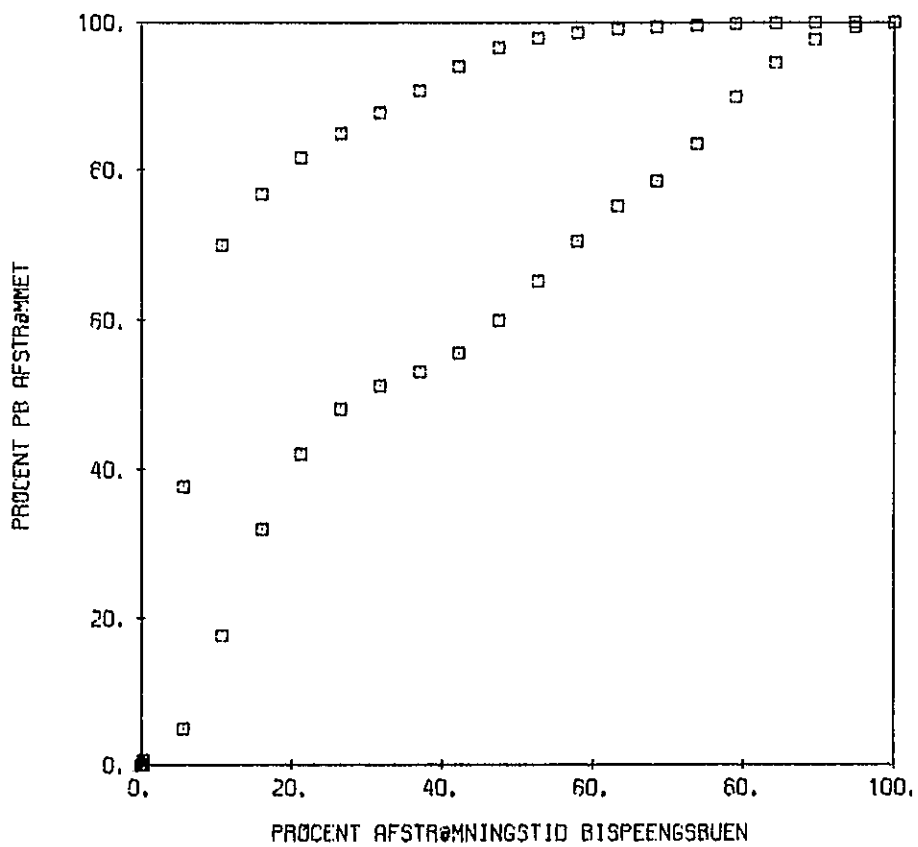
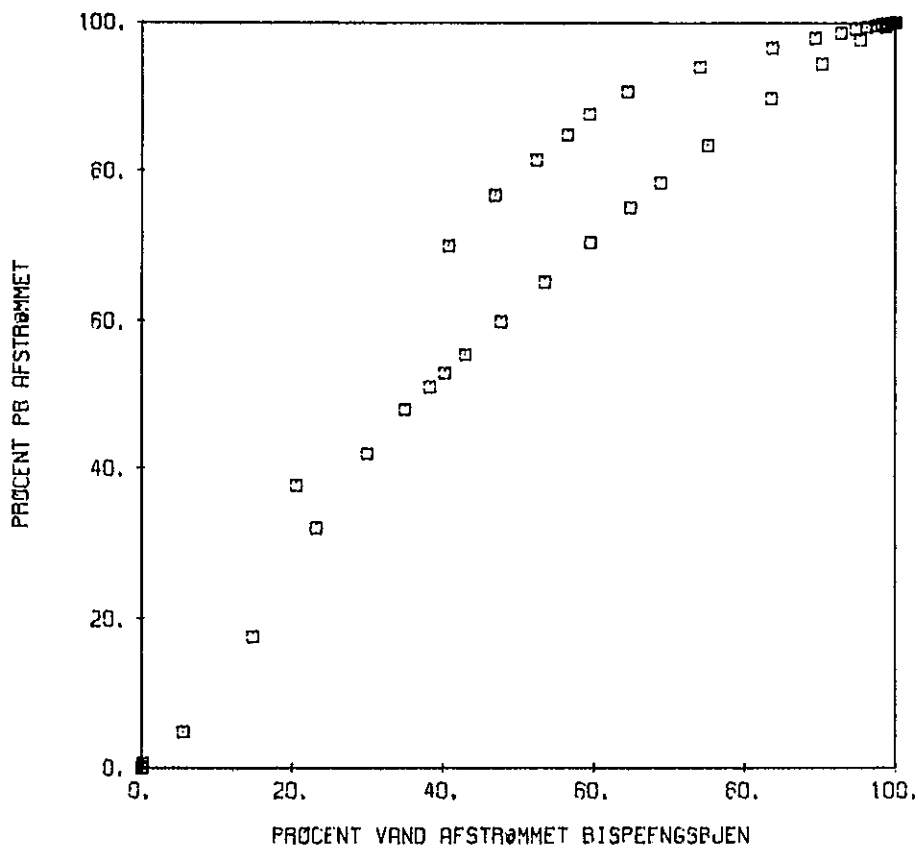
BISPEENGSBUEN - KØBENHAVN

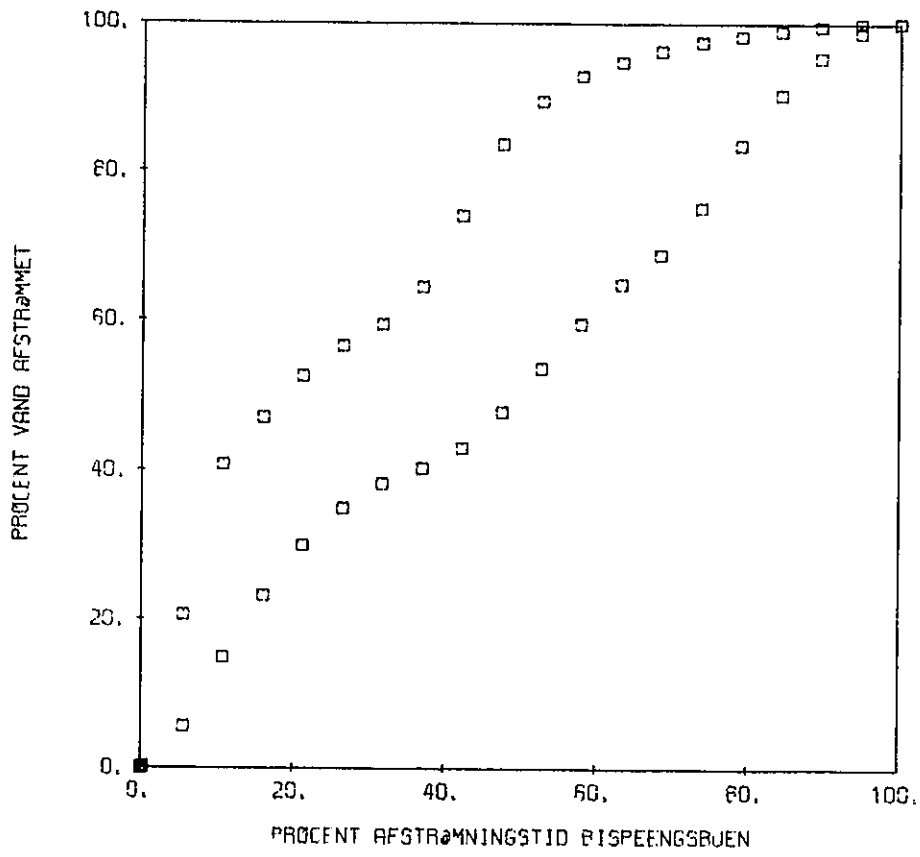


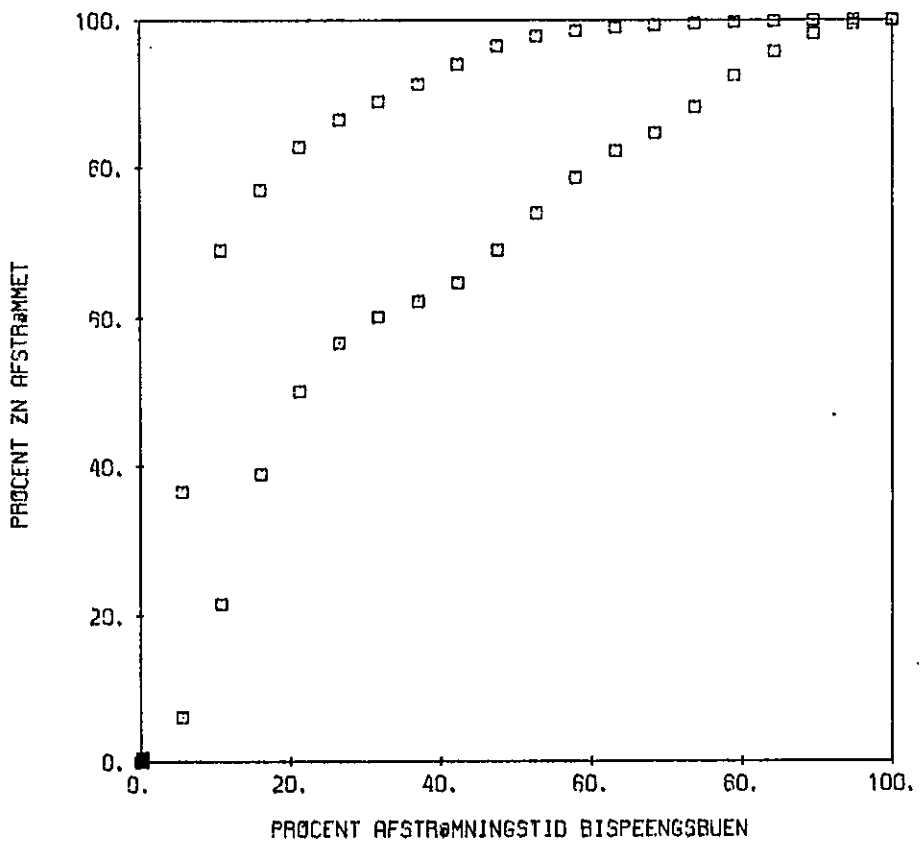
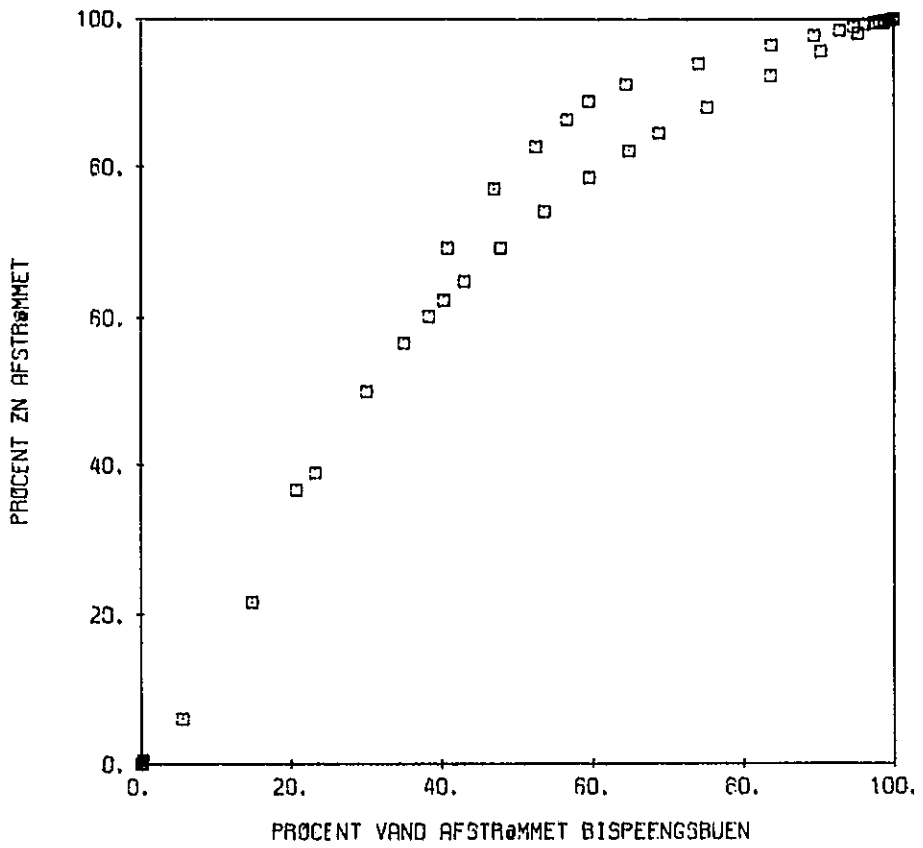














SØNDER EGE - RY

