

Bearbejdning af målinger af
regnbetingede udledninger af Npo
og miljøfremmede stoffer fra
fællessystemer i forbindelse med
NOVA 2003

Karsten Arnbjerg-Nielsen og Thorkild Hvitved-Jacobsen
PH-consult ApS

Anna Ledin, Karin Auffarth, Peter Steen Mikkelsen
og Anders Baun
Danmarks Tekniske Universitet, Miljø og Ressourcer

Jesper Kjølholt,
COWI Rådgivende Ingeniører A/S

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATTENDE ARTIKEL	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	13
1 INDLEDNING	15
2 PRAKSIS FOR BEREGNING AF AFLASTEDE MÆNGDER	17
2.1 KILDER OG PROCESSER	17
2.2 BEREGNINGSMETODER	18
2.3 OPERATIONELLE BEREGNINGSMETODER	19
3 DATAMATERIALE	20
3.1 GENNEMGANG AF MÅLEOPLANDE	20
3.2 NPO-STOFFER	21
3.2.1 <i>Bearbejdning af data fra Frejlev</i>	21
3.2.2 <i>Betydning for fremtidig vurdering af belastning</i>	25
3.3 TUNGMETALLER OG ORGANISKE MILJØFREMMEDE STOFFER	27
4 ØVRIGE DANSKE MÅLINGER	31
4.1 REGNAFSTRØMNING	31
4.1.1 <i>Organiske miljøfremmede stoffer</i>	31
4.1.2 <i>Tungmetaller</i>	32
4.2 UDLEDNINGER FRA FÆLLESSYSTEMER	34
4.3 SPILDEVAND	36
4.3.1 <i>Organiske miljøfremmede stoffer</i>	36
4.3.2 <i>Tungmetaller</i>	38
4.3.3 <i>Sammenfatning</i>	39
5 INTERNATIONALE ERFARINGER	40
5.1 REGNAFSTRØMNING	40
5.2 UDLEDNING FRA FÆLLESSYSTEMER	43
5.3 BIOFILM OG SEDIMENTER	48
5.3.1 <i>Karakteristika af biofilm i afløbsledninger</i>	49
5.3.2 <i>Karakteristika af sedimenter i afløbsledninger</i>	49
5.3.3 <i>Stofindhold i biofilm og sediment fra afløbssystemer</i>	50
5.3.4 <i>Sammenfatning og vurdering</i>	53
6 SAMMENSTILLING AF RESULTATER	54
6.1 NPO STOFFER	54
6.2 METODE TIL SKØN AF KONCENTRATIONSINTERVALLER FOR ANDRE STOFFER	54
6.3 SKØNNEDE INTERVALLER	58
6.4 DISKUSSION	60
7 KONKLUSION	62
8 LITTERATUR	63

Bilag A: Oversigt over koncentrationer af relevante tungmetaller og miljøfremmede stoffer i regnafstrømning fra byområder, jf. NOVA 2003.
Bilag B: Fremgangsmåde ved litteraturstudie.
Bilag C: Kategorisering af stoffer og skønnede koncentrationsintervaller

Forord

Nærværende rapport udgør afrapportering af projektet: "Bearbejdning af målinger af regnbetingede udledninger af NPO- og miljøfremmede stoffer fra fællessystemer i forbindelse med NOVA2003". I projektet er måledata gennemgået fra en række regnhændelser fra 2 fælleskloakerede systemer. Formålet er at opdatere stofkoncentrationer af NPO-stoffer samt, om muligt, at skønne stofkoncentrationer af miljøfremmede stoffer i forbindelse med regnbetingede udledninger fra fælleskloakerede afløbssystemer i Danmark.

Ved vurderingen af stofkoncentrationer fra miljøfremmede stoffer er bearbejdning af de målte data ikke alene tilstrækkeligt til at skønne stofkoncentrationer af miljøfremmede stoffer. En væsentlig del af projektet er derfor et litteraturstudie rettet mod at bestemme koncentrationer af udledninger af miljøfremmede stoffer fra fælleskloakerede afløbssystemer.

Undersøgelsen er udført som et samarbejdsprojekt mellem Miljøstyrelsen og følgende institutioner og firmaer:

- PH-Consult ApS (PHC)
Projektledeelse, databearbejdning, litteraturstudie på NPO-stoffer, spildevand og biofilm og sedimenter samt sammenstilling af resultater.
- Miljø & Ressourcer DTU, Danmarks Tekniske Universitet (M&R)
Internationalt litteraturstudie på fællessystemer og separate regnvandssystemer, skønnede intervaller for stoffer og sammenstilling af resultater
- COWI A/S (COWI)
Litteraturstudie på danske målinger af regnafstrømning

Projektgruppen har haft følgende sammensætning:

Karsten Arnbjerg-Nielsen, PHC
Thorkild Hvitved-Jacobsen, PHC
Anna Ledin, M&R
Karina Auffarth, M&R
Peter Steen Mikkelsen, M&R
Anders Baun, M&R
Jesper Kjølholt, COWI

Miljøstyrelsens kontaktperson er Mogens Kaasgaard, 8. kontor. Spildevandskomitéens udvalg vedr. regnafledning fra byer har fungeret som følgegruppe.

Sammenfattende artikel

BEDRE VIDEN OM FORURENING FRA REGNUDLEDNINGER FRA FÆLLESSYSTEMER

MANCHET:

I forbindelse med måleprogrammet NOVA 2003 er der målt på 146 stoffer i regnafstrømningen fra fællessystemer, dvs. afløbssystemer der afvander både regn- og spildevand. De nye danske målinger er vurderet og suppleret med andre danske og internationale undersøgelser. På den baggrund er der skønnet typiske koncentrationsintervaller for 8 tungmetaller og 16 miljøfremmede organiske stoffer. Koncentrationsintervallerne kan bruges til at beregne hvad man må forvente vil blive udledt fra typiske fællekloakerede oplande i Danmark. For de øvrige stoffer er den tilvejebragte viden opstillet og systematiseret så den kan bruges til beregning af konkrete scenarier, men den eksisterende viden tillader ikke opstilling af typiske intervaller af koncentrationer for disse stoffer.

BAGGRUND OG FORMÅL: NY VIDEN OM STOFKONCENTRATIONER

Det er kendt, at stofkoncentrationer i afstrømning i fællessystemer under regn varierer kraftigt og at en væsentlig del af variationen ikke kan forklares deterministisk men må fortolkes statistisk som en tilfældig variation. I forbindelse med det nationale overvågningsprogram for vandmiljøet, NOVA 2003, var det planlagt at udtage prøver af i alt 27 regnvandshændelser i afløbssystemer til både regn- og byspildevand fordelt på tre oplande i perioden 1997-2000. Prøven skulle analyseres for de 146 stoffer nævnt i NOVA 2003s program for spildevand foruden NPO-stoffer.

Selv under optimale forhold vil der være store usikkerheder ved en så begrænset prøvetagning. Dette projekt har bearbejdet de indsamlede måledata og sammenstillet dem med andre måledata i dansk og international litteratur for at kunne opstille så repræsentative koncentrationsintervaller for stofafstrømning som muligt. Ønsket er at kunne opstille koncentrationsintervaller for så mange NOVA 2003 stoffer som muligt, således at man kan udregne forureningen fra danske fællessystemer under regn så godt som muligt. Det er fra starten klart, at koncentrationsintervallerne i nogle tilfælde vil være endog meget store fordi der er tale om stoffer hvor der ikke forefindes ret mange målinger.

UNDERSØGELSEN: BRUG AF BÅDE DANSKE OG UDENLANDSKE UNDERSØGELSER

Alle relevante danske data om regnbetingede udledninger fra afløbssystemer og nyere undersøgelser om tungmetaller og miljøfremmede organiske stoffer fra begge typer af afløbssystemer og sedimenter er blevet indsamlet, kvalitetskontrolleret og bearbejdet.

Herudover er der gennemført et litteraturstudie for at inddrage udenlandske erfaringer og stofkoncentrationer. På baggrund af den indsamlede information er opstillet forventede koncentrationsintervaller for regnafstrømning og

overløb fra fællessystemer under regn for alle de stoffer hvor den nødvendige viden skønnes at være til stede.

HOVEDKONKLUSIONER: DET ER MULIGT AT OPSTILLE KONCENTRATIONSINTERVALLER FOR 24 STOFFER.

Der er ikke nogle af de tre oplande fra selve NOVA 2003 måleprogrammet, der på alle punkter lever op til kravene til prøvetagning og repræsentativitet af oplandet. De væsentligste mangler ved hvert opland er:

- Analyseresultaterne er ikke blevet bearbejdet og udleveret
- Prøverne har ikke været udtaget flowproportionalt og består stort set af spildevand
- Afløbssystemet har områder hvor regnvand og spildevand afledes hver for sig, hvilket påvirker koncentrationsniveauet

Det sidstnævnte opland er bearbejdet detaljeret alligevel fordi der da er tale om prøver fra en oplandstype, der er hyppigt forekommende i Danmark; oplandet består af et ældre afløbssystemer med fælles afledning af regnvand og spildevand med nyere separatvloakerede oplande tilknyttet. Dette opland ligger i Frejlev, en forstad til Aalborg.

De to øvrige oplande er ikke benyttet i opstilling af skønnede intervaller for koncentrationer. Derfor er data fra en række andre undersøgelser inddraget for at kunne supplere oplysningerne fra oplandet i Frejlev. De øvrige (få) danske undersøgelser af regnafstrømning fra fællessystemer er inddraget, mens fokus har været på at søge at få kendskab til kilderne til regnafstrømningen og koncentrationen i afstrømningen fra disse kilder.

Kvaliteten af datamaterialet for hvert stof i NOVA 2003 måleprogrammet er vurderet med henblik på at klassificere det efter hvilken type af data der er tilgængelige og hvilken type af beregning der ideelt set kan foretages med den tilgængelige viden.

For 24 stoffer opstilles koncentrationsintervaller, der dækker det interval, som det forventes, at der bliver udledt via regnbetingede udledninger fra typiske fællesvloakerede oplande i Danmark. Disse koncentrationsintervaller er angivet i tabel 1. Koncentrationsintervallerne er i praksis så store, at de ikke kan bruges til at udregne den konkrete udledning fra et enkelt opland. Det der er muligt at beregne er for disse stoffer enten et bud på den årlige nationale udledning via overløb fra fællessystemer under regn eller lave scenarieberegninger på en konkret opland for at sammenligne med andre kilder til en konkret forurening. Intervallerne gælder for overløbsvand og koncentrationerne er dermed ikke direkte sammenlignelige med koncentrationsintervaller for NPO-stoffer. I faktaboksen er forskellen mellem overvand og overløbsvand defineret.

For de øvrige stoffer er viden endnu mindre end for de 24 stoffer. Ved beregninger på disse stoffer skønnes det at være muligt at foretage beregninger af udledningen for forskellige scenarier på nationalt niveau, mens beregninger på det enkelte konkrete opland vil være forbundet med endog meget stor usikkerhed.

Tabel 1 Skønnede koncentrationsintervaller for overløbsvand for de stoffer, hvor det skønnes muligt at opgive intervaller.

Stofgruppe	Skønnet interval µg/l
Tungmetaller	
Arsen (As)	1,5-15
Bly (Pb)	10-70
Cadmium (Cd)	0,1-1,5
Chrom (Cr)	0,5-40
Kobber (Cu)	4-200
Kviksølv (Hg)	0,05-0,2
Nikkel (Ni)	1-20
Zink (Zn)	100-500
Aromatiske kulbrinter	
Dimethylnaphthalenes	0,1-0,5
1- Metylnaphthalen	0,01-0,1
2-Metylnaphthalen	0,01-10
Naphthalen	0,05-5
Trimethylnaphthalenes	0,1-1
Phenoler	
Nonylphenoler	0,1-5
Polyaromatiske kulbrinter (PAH)	
Acenaphthen	0,01-1
Benzo(a)pyren	0,01-0,5
Benzo(e)pyren	0,01-0,5
Benzo[b+j+k]fluoranthene	0,01-0,5
Fluoren	0,01-1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,02-0,5
Phenanthrene	0,01-0,5
Blødgørere	
Butylbenzylphthalat (BBP)*	0,1-5
Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	1-20
Dibutylphthalat (DBP)*	0,1-10

PROJEKTRESULTATER: OVERSIGT OVER KILDER OG DERES BIDRAG

Der er i Danmark foretaget en del undersøgelser af separat kloakeret vejvand, ikke mindst fra motorveje. Undersøgelserne har fokuseret på tungmetaller, men der er også enkelte undersøgelser af organiske miljøfremmede stoffer og toksicitet. I forbindelse med denne undersøgelse er det skønnet, at disse undersøgelser som udgangspunkt er af et væsentligt omfang, og at de for nogle stoffer kan danne basis for vurdering af selve regnafstrømningen inden opblandingen med spildevand i fællessystemet.

På tilsvarende vis vurderes, at der er foretaget tilstrækkelige undersøgelser af dansk spildevand til at det ikke vil bidrage væsentligt at inddrage udenlandske undersøgelser; den ekstra information vil være usikker idet sammensætning af spildevand varierer kraftigt mellem forskellige lande på grund af forskelle i forbrugsmønstre. Der er dog stadig mange stoffer, hvor der kun er meget få målinger.

Der foreligger et omfattende internationalt litteraturstudie på regnafstrømning fra separate regnvandssystemer fra små overflader og vejvand. Dette litteraturstudie afrapporteres særskilt som et Miljøprojekt, men resultaterne har været inddraget i nærværende undersøgelse.

I forbindelse med nærværende projekt er der også søgt målrettet i den åbne litteratur efter undersøgelser af primært miljøfremmede organiske stoffer, men også tungmetaller i overløb fra fællessystemer under regn. Endelig er den

sparsomme litteratur på undersøgelser af biofilm og sedimenter i fælleskloakerede afløbssystemer gennemgået.

Der er to hovedresultater fra oversigten over kilder og deres bidrag:

- Der er generelt tale om meget store variationer på de samme stoffer, såvel mellem forskellige undersøgelser, men også ved flere målinger på samme opland.
- Det er vanskeligt at opstille sædvanlige massebalancer for stofferne baseret på de enkelte bidrag. For de stoffer hvor der forefindes væsentlig information om koncentrationer i udledningen overvurderes udledningen når de enkelte bidrag adderes.

OPSTILLING AF TYPISKE KONCENTRATIONSINTERVALLER

Alle stofferne klassificeres i forskellige kategorier afhængigt af den tilgængelige information. Der er lavet en opdeling i følgende kategorier:

Kategori 1: Stoffer eller stofgrupper, for hvilke typetal for overvand kan beregnes ud fra danske målinger i tilløb til overløbsbygværker i overensstemmelse med de etablerede retningslinier. Eksempler på stoffer i kategori 1 er NPO-stoffer.

Kategori 2: Stoffer eller stofgrupper, for hvilke typiske koncentrationsintervaller vil kunne skønnes ud fra danske målinger direkte på overløbsvand fra fælleskloakerede områder. Eksempler på stoffer i kategori 2 er tungmetaller og de fleste pesticider.

Kategori 3: Stoffer eller stofgrupper, for hvilke typiske koncentrationsintervaller vil kunne skønnes ud fra data, som findes i den åbne internationale litteratur vedrørende koncentrationsniveauer i udledninger fra fælleskloakerede områder. Der er kun enkelte stoffer i kategori 3 fordelt med eet stof i hver stofgruppe.

Kategori 4: Stoffer eller stofgrupper, for hvilke typiske koncentrationsintervaller vil kunne skønnes på baggrund af data, som findes i dansk og international litteratur vedrørende koncentrationsniveauer i kilderne samt de processer som styrer opblandingsforhold mv. i kloaksystemet. Eksempler på stoffer i kategori 4 er de halogenerede alifatiske kulbrinter og chlorphenoler.

Kategori 5: Stoffer eller stofgrupper, for hvilke koncentrationsintervaller ikke kan skønnes på baggrund af nuværende viden. Eksempler på stoffer i kategori 5 er de fleste aromatiske kulbrinter og halogenerede aromatiske kulbrinter.

Viden om stoffet er mest detaljeret ved kategori 1 og mindst ved kategori 5, også fordi der for stoffer i kategori 1 også findes information svarende til de lavere kategorier. Det er væsentligt at pointere, at "typetal for overvand" kun kan beregnes for kategori 1 stofferne. For de øvrige stoffer er der tale om koncentrationsintervaller med et variationsområde så stort, at der ikke er mening i at skelne mellem overvandskoncentrationer og overløbsvandskoncentrationer.

Principielt kan de forskellige kategorier benyttes til forskellige niveauer af beregninger, således at en god viden om et stof i kategori betyder, at man kan foretage beregninger i et konkret opland. I praksis er det dog ikke lykkedes at opstille koncentrationsintervaller der er relevante til brug for beregning af

udledninger i konkrete enkelte oplande; dertil er usikkerheden for stor. At et stof tilhører kategori 2 betyder derfor i praksis blot, at der foreligger nogle danske målinger af en vis kvalitet, se tabel 2.

Tabel 2 Skønnede mulige beregninger med de forskellige kategorier. Usikkerheden bliver væsentligt mindre når man rykker en søjle til højre. Parenteserne angiver, at sådanne beregninger kan foretages med rimelighed, såfremt den store usikkerhed på resultatet indgår i vurderingen.

	Oplandsniveau		Nationalt niveau	
	Enkelthændelser	Årlig udledning	Årlig udledning	Relativ vurdering af kildestyrke
Kategori 1: DK Overvand	(X)	X	X	X
Kategori 2: DK overløbsvand		(X)	X	X
Kategori 3: Internationalt overløbsvand			(X)	X
Kategori 4: Data om kilder				(X)
Kategori 5: Ingen målinger				

SAMMENLIGNING MED TIDLIGERE UNDERSØGELSER

I forvejen eksisterer kun sådanne koncentrationsintervaller for 4 tungmetaller, bly, kobber, zink og cadmium. Disse koncentrationsintervaller er opstillet i Miljøprojekt 136 fra 1990. Inden projektet blev påbegyndt var forventningen, at koncentrationen af bly var faldet fordi brugen af blyholdig benzin er ophørt og at koncentrationen af kobber er steget på grund af introduktionen af asbestfri bremses. Der var ikke nogle forventninger til, at indholdet af de to sidste tungmetaller skulle have ændret sig. Disse antagelser har vist sig at holde stik.

Miljøstyrelsen (1990): Bearbejdning af danske måledata af regn og stoftransport. Miljøprojekt 136. Miljøstyrelsen, København.

FAKTABOKS TIL FORKLARING AF FAGUDTRYK UNDER OVERSKRIFTEN PROJEKTRESULTATER: FORSKEL PÅ OVERVAND OG OVERLØBSVAND

Ved udledninger fra fællessystemer skelnes normalt mellem overløbsvandskoncentrationer og overvandskoncentrationer.

Overløbsvandskoncentrationen er den gennemsnitlige koncentration i det vand, der faktisk udledes i en konkret situation. Overvandskoncentrationen derimod kan ikke måles direkte, men er den koncentration der fremkommer ved at man måler den totale stofafstrømning under en regnhændelse og fratrækker den stofafstrømning, der ville være afstrømmet, hvis det havde været tørvejr. Overvandskoncentrationen repræsenterer dermed principelt summen af regnafstrømningen fra byoverflader samt bidraget fra sedimenter og biofilm i afløbssystemet.

Summary and conclusions

This project is concerned with collection, quality control and analysis of runoff concentrations during wet weather in combined sewer systems in Denmark. More than 150 parameters are analyzed, of which 146 are heavy metals and organic pollutants. The parameters are defined in the Danish Aquatic Environment Monitoring and Assessment Programme, normally known as NOVA 2003.

One of the important aims of the monitoring program is to assess the importance of different contributions to receiving waters. The primary goal of this project is to support the overall aim by establishing intervals of typical concentrations for as many of the 146 substances as possible. A total of three catchments have been monitored. However, only in one of the three catchments the measurement campaign was successful. This catchment consists of both combined sewer systems and separate sewer systems and is thus not suited to be used as the only source of information. Further, only nine storm events have been analyzed.

From studies of nutrient pollutants it is known that there is a high variation in the concentration levels in the runoff and discharges from combined sewer systems during wet weather. The information from the national surveillance program must be supported by other studies, both from national and international sources. The other studies focus both on measurements directly in discharges from combined sewer overflows and on measurements on the three primary sources of pollution: rain runoff from roofs and streets, sewage, and resuspension of material in the sewers.

There are two main findings of the review of the different studies:

- Generally the concentration levels for the same substance varies greatly, not only between catchment and countries, but also between different events. The aim of the study is therefore to establish concentration intervals for average discharges from a catchment, not to assess the overall variation.
- Traditional mass balances are difficult to apply. For some of the heavy metals the mass balance can be checked, i.e. the contributions from the primary sources can be added and compared to the measured discharge. The discharge was in some cases significantly lower than expected. If mass balances are applied, greater care must be taken with respect to the behaviour of the substances, i.e. sorption, complex binding etc.

Concentration intervals were established for 24 substances, of which eight are heavy metals and 16 organic pollutants, see Table 1. The intervals are constructed in order to cover what is expected to be the variation of average concentrations in typical catchments in Denmark. The intervals are large and are thus difficult to apply on individual catchments. However, the intervals may be used to evaluate the importance of combined sewer overflow relative to other contributions. For the remaining 122 substances it has not been possible to construct concentration intervals as such; for most of these substances, however, some information has been found. This information

may be used in scenario evaluations at the national level in order to compare to other sources of the particular substances.

Table 1 Estimates of concentration intervals for combined sewer overflows for substances where sufficient information is available.

Substance	Estimated interval µg/l
Heavy Metal	
Arsenic (As)	1,5-15
Lead (Pb)	10-70
Cadmium (Cd)	0,1-1,5
Chromium (Cr)	0,5-40
Copper (Cu)	4-200
Mercury (Hg)	0,05-0,2
Nickel (Ni)	1-20
Zinc (Zn)	100-500
Aromatic hydrocarbons	
Dimethylnaphthalenes	0,1-0,5
1-Methylnaphthalen	0,01-0,1
2-Methylnaphthalen	0,01-10
Naphthalen	0,05-5
Trimethylnaphthalenes	0,1-1
Phenols	
Nonylphenols	0,1-5
Polyaromatic hydrocarbon (PAH)	
Acenaphthen	0,01-1
Benzo(a)pyren	0,01-0,5
Benzo(e)pyren	0,01-0,5
Benzo[b+j+k]fluoranthene	0,01-0,5
Fluoren	0,01-1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,02-0,5
Phenanthrene	0,01-0,5
Softeners	
Butylbenzylphthalat (BBP)*	0,1-5
Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	1-20
Dibutylphthalat (DBP)*	0,1-10

1 Indledning

Som led i Vandmiljøplanerne i Danmark er etableret et overvågningsprogram af vore recipienter samt de udledninger der sker til dem. Det nuværende måleprogram gælder for måleperioden 1998 - 2003 og er benævnt det Nationale program for Overvågning af Vandmiljø i Danmark, NOVA 2003. Blandt de væsentlige formål med hele programmet er (DMU, 2000):

- at foretage en vurdering af miljøtilstanden, udviklingen heri og påvirkningerne af grundvand, vandløb, søer og havet samt at opgøre størrelsen af stoftilførslerne fra forskellige kilder til grundvand, vandløb, søer og havet gennem en systematisk indsamling af data, og
- at kunne bidrage til at skabe et beslutningsgrundlag for, om der skal iværksættes yderligere forureningsbegrænsende foranstaltninger med henblik på at nå de vedtagne målsætninger for kvaliteten af vandmiljøet.

Måleparametrene i NOVA 2003 er opstillet ud fra både faglige ønsker, internationale konventioner og lovgivning. Der er derfor tale om et meget omfattende program med i alt 283 analyseparametre. For hver recipienttype er angivet hvorvidt det er relevant at analysere den pågældende parameter. For yderligere oplysninger om NOVA 2003 henvises til http://ovs.dmu.dk/2NOVA_2003_ov/

Afrapporteringen af overvågningsprogrammet for de regnbetingede udledninger er dermed et element i at søge at skabe et overblik over de stofstrømme der sker via vandkredsløbet. I nærværende rapport fokuseres på den del af de regnbetingede udledninger der sker som følge af overbelastning og efterfølgende udledning fra fællessystemer.

De stoffer som skal analyseres for i fællessystemer er de samme som ved tilløb til renseanlæg. Der skal derfor analyseres i alt 146 af de 283 parametre. Det er endvidere valgt at supplere med de traditionelle NPO-stoffer, der som udgangspunkt ikke er en del af NOVA 2003.

Der er tre formål med nærværende projekt:

1. At opdatere paradigma for afrapportering af målinger fra regnbetingede udledninger, så det er egnet til også at omfatte de nye stofgrupper i NOVA 2003
2. At bearbejde stofafstrømningsdata for NPO-stoffer fra nye måleoplande med henblik på at opdatere eksisterende typetal til brug i afrapporteringen af punktkildebelastningen fra fællessystemer
3. At bearbejde måledata fra oplande i NOVA 2003 for fællessystemer med henblik på at skønne koncentrationsintervaller for afstrømningen af tungmetaller og miljøfremmede organiske stoffer. I denne forbindelse laves et litteraturstudie over erfaringstal fra udlandet og Danmark.

Punkt 1 og 2 er mindre opgaver og bygger på paradigmaer, der tidligere er opstillet. Specielt skal i den forbindelse fremhæves Miljøprojekt 532 (Miljøstyrelsen, 2000c) hvor der skete en større bearbejdning af måledata for

NPO-stoffer fra fællessystemer. Nærværende rapport er udarbejdet af samme personkreds som udarbejdede Miljøprojekt 532, suppleret med miljøkemikere til vurdering af de nye stofgrupper i nærværende projekt.

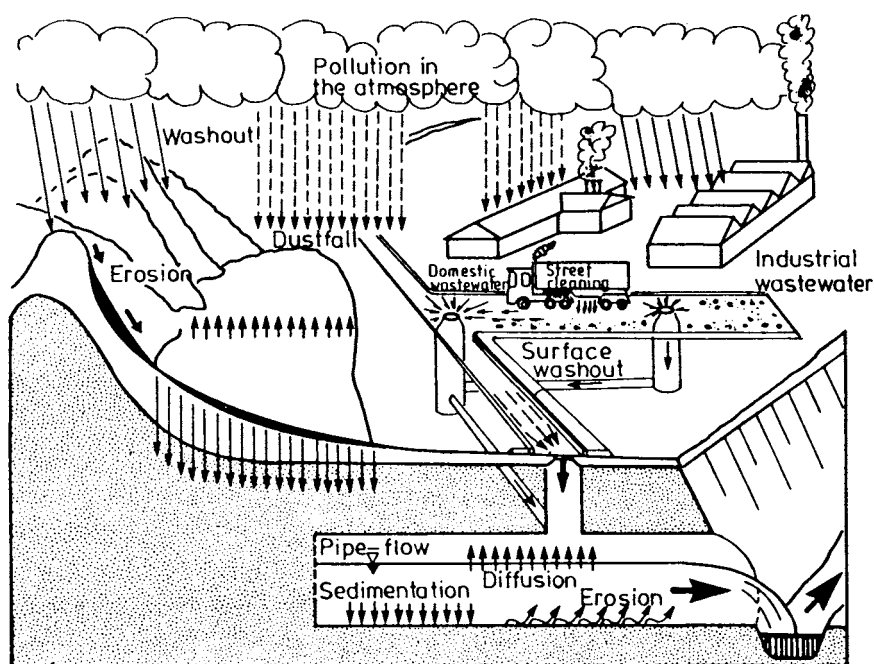
Hovedopgaven er dermed at søge at skønne intervaller for de 146 stoffer/analyseparametre i udledninger fra fællessystemet. For langt de fleste parametre er der tale om de første målinger af sin art i Danmark, og også internationalt er der tale om et begrænset materiale. Det var derfor allerede som udgangspunkt klart, at der ikke kunne etableres typetal som for NPO-stoffer, men at der ville blive tale om at skønne typiske koncentrationsintervaller for udledningerne på nationalt plan. På nationalt plan har man nu for nogle miljøfremmede stoffer det vidensniveau, man var i begyndelsen af 1980'erne havde på NPO-stoffer.

2 Praksis for beregning af aflastede mængder

Regnvandsbetingede udløb omfatter alle regnvandsudledninger til vandløb, søer og havet fra afløbssystemer, undtagen udledninger via renseanlæg (Miljøstyrelsen, 2000b). Denne rapport fokuserer specielt på de afløbssystemer, der både fører spildevand og regnvand, de såkaldte fællessystemer. Fællessystemerne overbelastes i tilfælde af kraftig regn. For at undgå oversvømmelse af byområder er der etableret en række overløbsbygværker, hvorfra der udledes urensset spildevand opspædet med regnvand. Der er på landsplan lidt over 5000 overløbsbygværker, hvorfra der årligt udledes ca. 150 mio. m³ opspædet spildevand (Miljøstyrelsen, 2000b).

2.1 Kilder og processer

Der er mange kilder og processer, der påvirker stofafstrømningen under regn, se figur 2.1. Figuren indeholder endda ikke bassiner, overløb og renseanlæg med deres indvirkning på stofbalancerne.



Figur 2.1 De mange kilder og processer, der påvirker stofafstrømningen fra byer under regn. Figuren mangler endda bassiner og renseanlæg (Göettle, 1978).

For recipienterne er stofafstrømningen under regn af stor vigtighed. Der er overløb fra fællessystemer i skønsmæssigt 2-3% af tiden. For de traditionelle NPO-stoffer udgør udledningerne under regn 10-15% af den totale udledning

(Miljøstyrelsen, 2000b). For nogle stof-grupper er andelen endda væsentligt højere. Netop den stødsvise belastning udgør et selvstændigt problem.

I beregningsmæssig henseende anses indholdet af stoffer i overløbsvand fra fællessystemer at stamme fra følgende tre hovedkilder:

- Spildevandet, svarende til det bidrag, som transporteres gennem afløbssystemet under tørvejr.
- Byoverfladerne, svarende til bidraget, som tilføres afløbssystemet med det afstrømmede regnvand indeholdende stoffer fra regnen, tagflader, vej- og gadearealer mv.
- Biofilm og sediment i afløbssystemet, svarende til det bidrag, som stammer fra afrivning af biofilm (kloakhud) og transport af eroderet kloaksediment.

De første to bidrag kan estimeres relativt simpelt ved at måle på henholdsvis afløbssystemer i tørvejr og separate regnvandssystemer. Det har vist sig, at stoftransporten i fælleskloakerede afløbssystemer er væsentligt større end summen af de to første bidrag. Forskellen mellem de målte stofafstrømninger og summen af de to bidrag skyldes, at der indstilles en ny ligevægt mellem opbygning og afrivning af biofilm i afløbssystemet under regn fordi den hydrauliske belastning øges.

Udformningen af afløbssystemet, herunder bygværker og bassiner, har betydning for, hvordan stofafstrømningen opdeles i videreført, opmagasineret og aflastet materiale. Bassiner og bygværker er ofte udformet, så forskelle i densiteten udnyttes til at dele stofafstrømningen, så det aflastede volumen indeholder så få partikler som muligt, da mange forureningskomponenter er bundet til partikler. Effekten forstærkes af, at overløbene træder i funktion når der er mest regnvand til stede. Ved dimensioneringen søges det dermed at få det aflastede vand til at ligne afstrømmet regnvand mest muligt. Forureningskomponenter med densiteter tæt på rent vand såsom biofilm og opløste miljøfremmede stoffer vil dog betyde, at det aflastede vand på væsentlige områder er forskelligt fra vand fra byoverflader, der er afledt via separate regnvandssystemer.

Efter en regnhændelse vil der ske en ekstra opbygning af biofilm og sedimentation. Tiden der går indtil der er opstået en steady-state tilstand i tørvejr efter en større regnhændelse er under en uge. Afrivningen af biofilm sker primært i løbet af de første 3-5 mm afstrømning (Miljøstyrelsen, 2000c)

2.2 Beregningsmetoder

Den totale stofafstrømning under en regnhændelse, M_{total} , beregnes efter følgende formel:

$$M_{total} = \int CQdt = \bar{C}V_{total} \quad (2.1)$$

hvor C og \bar{C} er henholdsvis den øjeblikkelige og den gennemsnitlige koncentration, Q er den øjeblikkelige vandføring og V er det akkumulerede volumen i afstrømningshændelsen. M_{total} kan beregnes ved at måle den akkumulerede vandmængde, V_{total} , der har passeret målepunktet og måle stofkoncentrationen i en flowproportional prøve, \bar{C} .

Den totale stoftransport kan beregningsmæssigt opdeles i to bidrag, spildevandstilledningen og regntilledningen. Regntilledningen benævnes *overvand* for ikke at sammenblende denne beregnede værdi med faktisk afstrømning fra byoverflader eller separate regnvandssystemer. Den gennemsnitlige koncentration af forureningskomponenter i overvandet i hele hændelsen benævnes *HMK* (*HændelsesMiddelKoncentration*). Dermed kan formel (2.1) omformuleres til:

$$\begin{aligned} M_{total} &= M_{spildevand} + M_{overvand} \\ &= \int C_{spildevand} Q_{spildevand} dt + HMK V_{overvand} \end{aligned} \quad (2.2)$$

For at kunne bestemme *HMK* for en given regnhændelse skal M_{total} (V_{total} og \bar{C}) måles og der skal opstilles en model for variationerne i spildevandskoncentrationer og -vandføringer på baggrund af målinger i tørvejr. $V_{overvand}$ findes ved at trække $\int Q_{spildevand} dt$ fra V_{total} . Dermed er formel (2.2) reduceret til én ligning med én ubekendt, *HMK*.

HMK vil i almindelighed variere væsentligt mellem forskellige afstrømningshændelser på baggrund af f.eks. årstidsvariationer, forudgående tørvejrperiode og egenskaber ved den enkelte hændelse. Derfor beregnes også en stationsmiddelkoncentration, *SMK*, ved at beregne en vægtet overvandskoncentration for alle afstrømningshændelser, hvor det afstrømmede volumen er vægten. Under forudsætning af, at de målte regnhændelser er repræsentative for typen af hændelser i oplandet vil *SMK* være den gennemsnitlige koncentration for årsafstrømningen for det givne punkt.

2.3 Operationelle beregningsmetoder

Definitionen på og brugen af overvandskoncentrationer forudsætter et vist datagrundlag. Dette grundlag er til stede ved vurdering af de traditionelle forureningsparametre såsom NPO-stoffer og formlerne giver et godt grundlag for at overføre målinger fra et opland til andre oplande.

Der er kun meget få målinger af mange af de stoffer som vurderes i denne rapport og det er derfor ikke muligt at benytte formel (2.2) uden yderligere vurderinger. Vurderingerne er rettet mod at skønne de totale aflastede mængder af forureningskomponenterne til omgivelserne fra fælleskloakerede systemer ud fra generelle karakteristika, primært affinitet til partikler samt de dominerende kilder.

3 Datamateriale

Der er tidligere lavet bearbejdningsplaner på nationalt plan på NPO-stoffer. Den seneste er afrapporteret i Miljøprojekt 532, Miljøstyrelsen (2000c): "Stofkoncentrationer i regnbetingede udledninger fra fællessystemer". I rapporten gennemgås målinger fra seks oplande, hvor der er foretaget bearbejdning af 12-26 hændelser. Der er endvidere i bearbejdningen ekskluderet en række mindre undersøgelser, som også fokuserede på udledninger fra fælleskloakerede oplande, men som ikke fuldt ud levede op til kravene til antal og kvalitet af prøveudtagning og/eller bearbejdning. Det nye datamateriale skal derfor vurderes efter samme høje kvalitetskrav hvad angår NPO stoffer som de tidligere bearbejdningsplaner.

Der er ikke tidligere målt på miljøfremmede stoffer i fællessystemer i Danmark. De udtagne prøver repræsenterer derfor et for Danmark unikt datamateriale.

3.1 Gennemgang af måleoplande

Der har været aftaler med tre amter om indsamling af måledata i forbindelse med de regnbetingede udledninger fra fællessystemer i perioden 1997 - 2000, Fyns Amt, Nordjyllands Amt og Københavns Kommune.

Fyns Amt har foretaget en række målinger af et opland i Rynkeby i perioden 1994-1999. Målingerne er ikke blevet bearbejdet og Fyns Amt har ansøgt om at erstatte sit engagement i nærværende måleprogram med andre undersøgelser af recipientpåvirkninger. Datamaterialet fra Rynkeby har ikke været tilgængeligt for nærværende bearbejdning.

Københavns Kommune har iværksat et undersøgelsesprogram ved bygværket ved Toftøjevej i Vanløse. Der er installeret elektromagnetiske flowmålere i den afskærende ledning samt i udløbskanalen. De indsamlede flowmålinger og efterfølgende analyser har givet vigtige informationer om bygværket. Således strømmer der mindre vand til målestedet og den afskærende lednings kapacitet er væsentligt større end hidtil antaget. Denne viden er ikke blevet omsat til en ændring af prøveudtagningen ved stedet. Prøveudtagningen er derfor foregået på en måde, som ikke med rimelighed kan karakteriseres som flowproportional prøveudtagning. Datamaterialet vil derfor ikke indgå i nærværende bearbejdning.

Nordjyllands Amt har benyttet en måleopstilling der er etableret af Aalborg Universitet og Aalborg Kommune i Frejlev, en forstad til Aalborg. Oplandet er oprindeligt fælleskloakeret, men nogle af de nyere boligområder i oplandet er separatkloakeret. De separate regnvands- og spildevandsledninger er forbundet til fællessystemet. I områderne med separatkloakering mangler dermed en væsentlig kilde til forureningskomponenterne, resuspensionen og afrivning af biofilm pga. forøget hydraulisk påvirkning. Det må altså forventes, at oplandet ikke er sammenligneligt med et fælleskloakeret opland for de stoffer, hvor resuspension fra afløbssystemet er væsentligt. Dele af det separat afledte regnvand ledes endvidere gennem et åbent bassin inden

tilledningen til det fælleskloakerede afløbssystem. Ifølge amtets afrapportering er der kun en ringe afstrømning fra disse bassiner hvorfor det tilsluttede befæstede areal fra disse arealer er sat til nul.

Der er således ikke nogle af de valgte oplande, der lever op til de krav der er opstillet for at oplandene kan indgå i NOVA2003. Det er dog ganske hyppigt, at der i ældre afløbssystemer forekommer en blanding af separate regnvandssystemer og fælleskloakerede områder. Data fra oplandet i Frejlev vil derfor blive bearbejdet, men med det forbehold, at målingerne ikke nødvendigvis er repræsentative for fælleskloakerede oplande.

3.2 NPO-stoffer

Der er lavet en grundig analyse af afstrømning af NPO-stoffer fra fællessystemer i Miljøprojekt 532 for 6 oplande. Nærværende bearbejdning sigter mod at opdatere Miljøprojekt 532 for NPO-stoffer ved at inddrage det nye måleopland, Frejlev.

I Miljøprojekt 532 har fem af de seks oplande HMK-værdier der er i god overensstemmelse med hinanden. Det 6. opland, Hasseris i Aalborg, har HMK-værdier, der var væsentligt højere end de øvrige oplande. Aalborg Kommune har efterfølgende som led i sit almindelige renoveringsprogram gennemgået oplandet. Mere end hvert 3. rør er planlagt udskiftet eller omlagt, herunder en større afskærende ledning med kendte sedimentationsproblemer umiddelbart opstrøms for målepunktet. Der var dermed en årsag til de høje stofkoncentrationer i afløbet.

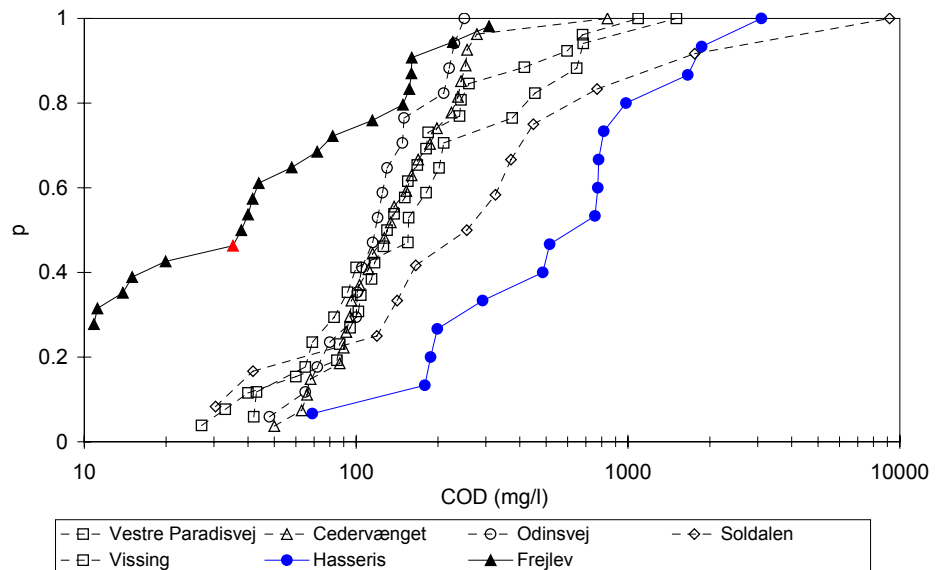
På baggrund af en samlet vurdering af målinger i Danmark er stofkoncentrationerne i Miljøprojekt 532 fastlagt som angivet i tabel 3.1. Der er ved udarbejdelse af tabellen taget hensyn til, at datamaterialet indikerer en tydelig variation i koncentrationsforløbet i løbet af hændelserne, den såkaldte first-flush effekt.

Tabel 3.1 Typiske HMK-værdier for overvand i oplande uden sedimentationsproblemer. Voluminet der henvises til er opmagasineringsvoluminet i afløbssystemet (Miljøstyrelsen, 2000c).

	Off-line volumen i afløbssystem under 3-5 mm		Off-line volumen i afløbssystem over 3-5 mm
	Ekstrembelastning	Årsbelastning	Årsbelastning
P (mg/l)	Ikke relevant	2-3	1,5-2,0
N (mg/l)	Ikke relevant	10	3-7
COD (mg/l)	130-160	160	100-140
SS (mg/l)	150-200	150-200	100-150

3.2.1 Bearbejdning af data fra Frejlev

Koncentrationer af NPO-stoffer fra Frejlev er afrapporteret som værende meget lave (Nordjyllands Amt, 2001). Fordelingen af HMK-værdier for COD er vist på figur 3.1. Koncentrationerne er væsentligt lavere end de oplande, der er bearbejdet i Miljøprojekt 532 og endda lavere end de koncentrationer, der normalt benyttes som typetalskoncentrationer for separate regnvandssystemer (Miljøstyrelsen, 2000b). PH-Consult (1994) undersøgte overløbsvandskoncentrationer fra samme opland og konkluderede ligeledes, at stofafstrømningen fra oplandet er meget lav.



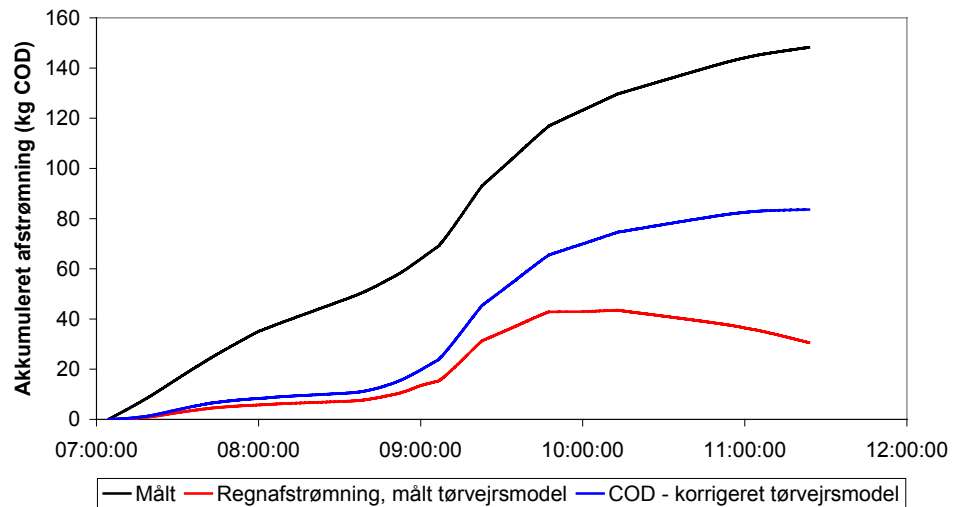
Figur 3.1 Fordelingsfunktion for hændelsesmiddelkoncentrationer for Frejlev sammenlignet med øvrige målinger, afrapporteret i Miljøstyrelsen (2000c).

I forbindelse med beregning af overvandskoncentrationen er også målt stofkoncentrationer i tørvejr. Disse målinger har et meget højt stofindhold, hvilket er med til at gøre HMK-værdierne lave. For COD svinger tørvejrskoncentrationen i dagtimerne mellem 1050 og 1880 mg/l. Dette er væsentligt højere end sædvanligt i dansk spildevand, og andre undersøgelser af samme opland har fundet COD-koncentrationer på 550 - 600 mg/l som en repræsentativ tørvejrskoncentration, se tabel 3.2.

Efter at have gennemgået prøveudtagningsproceduren med amtet vurderes det, at forskellen mellem NOVA 2003 målingerne og de øvrige målinger i samme opland skyldes, at prøveudtagningen i tørvejr har været placeret meget tæt på bunden for at kunne foretage en prøveudtagning om natten, hvor afstrømningen er meget lille, ca. 1 l/s. Derved er der opsuget noget bundsediment som giver de høje stofkoncentrationer i tørvejr. Prøveudtagningen er sket med en blød plastikslange der bøjer ved store vandføringer. Derfor er prøveudtagning under regn ikke tilsvarende påvirket.

For mange af hændelsernes vedkommende er der i perioder negativ stofafstrømning i overvandsdelen af afstrømningen når spildevandsandelen er fratrukket. Det tyder også på, at tørvejrmodellen har for høje stofkoncentrationer. Betydningen af tørvejrmodellen kan illustreres med et eksempel. På figur 3.2 er vist den totale afstrømmede stofmængde for regnhændelsen den 27. marts 1999. Med den opstillede tørvejrsmode er HMK for COD beregnet til 35 mg/l. Hvis der i stedet benyttes en tørvejrsmode med en koncentration på 570 mg/l beregnes i stedet en HMK på 96 mg/l. Hændelsen er markeret med rødt i figur 3.1.

Frejlev 27. marts 1999



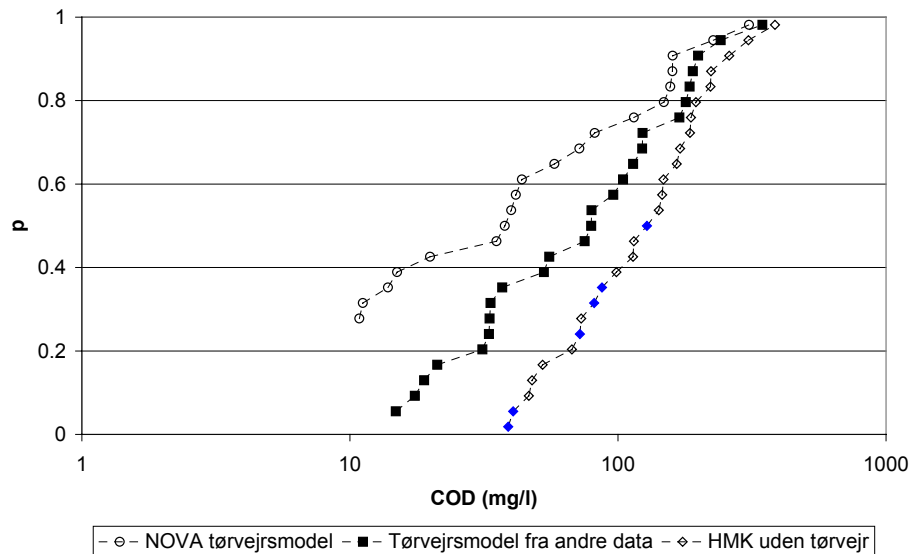
Figur 3.2 Akkumuleret stofafstrømning for COD for Frejlev. Den regnbetingede stofafstrømning er beregnet både ved hjælp af den opstillede tørvejrsmodel samt en antagelse om en mere typisk spildevandssammensætning.

På baggrund af visuel inspektion af flere afstrømningshændelser er det besluttet at benytte en anden tørvejrsmodel for NPO-stoffer end den der er målt i forbindelse med NOVA 2003. Den nye tørvejrsmodel er dog stadig baseret på målinger i Frejlev-oplandet, udtaget og analyseret af Aalborg Universitet. De benyttede koncentrationer er angivet i tabel 3.2. Det er besluttet at anvende målinger af stofkoncentrationer fra dagtimerne til beregning af en koncentration uden døgnvariation. Flowmålingerne fra NOVA2003 anvendes som hidtil til bestemmelse af stofafstrømningen i tørvejr.

Tabel 3.2 Benyttet og målt tørvejrsmodel for oplandet i Frejlev. Variationen i den målte tørvejrsmodel skyldes at den er opdelt i tid på dagen (to målinger pr. 3-timers interval). Alle enheder er mg/l.

	Målt i NOVA 2003	Benyttet	Kommentar
COD	1050 - 1880	570	Data fra Hvitved-Jacobsen (2001)
N	62 - 72	55	Henze (1990) ud fra niveau af COD og SS i Frejlev
P	16 - 19,4	17,5	Henze (1990) ud fra niveau af COD og SS i Frejlev
SS	525 - 1070	300	Data fra Schlütter (1998)

De mulige *HMK*-værdier for COD er vist på figur 3.3. Som et øvre niveau for de beregnede *HMK*-værdier er angivet den beregnede totale afstrømning for hver hændelse (Det svarer til, at *HMK* beregnes ud fra den øverste, sorte, kurve i figur 3.2). Det nedre niveau for *HMK*-værdierne fås ved at benytte tørvejrsmodellen opstillet som led i det aktuelle måleprogram. Endelig er angivet *HMK*-værdier ved brug af tørvejrsmodellen opstillet i tabel 3.2. Det ses, at betydningen af de forskellige tørvejrsmodeller er betydelig. Den endelige bearbejdning af NPO-stoffer fra oplandet i Frejlev baseres på tørvejrsmodellen angivet i tabel 3.2.



Figur 3.3 Oversigt over betydningen af tørvejrsmodellen for *HMK* for COD i Frejlev. De blå punkter i *HMK uden tørvejr* medfører negative *HMK*-værdier ved brug af tørvejrsmodellen fra NOVA-programmet. Den blå kurve er identisk med kurven vist i figur 3.1. Negative værdier er ikke plottet.

Overvandskoncentrationerne skal endvidere korrigeres for andelen af separat regnvandsafstrømning. For hver enkelt hændelse består den målte *HMK*-værdi af en (ikke målt) *HMK*-værdi for den separate stofafstrømning og en (ikke målt) *HMK*-værdi for stofafstrømningen fra fællessystemet. Begge stofafstrømninger har en væsentlig statistisk variation mellem forskellige hændelser. En lav målt *HMK*-værdi kan dermed opstå som funktion af følgende forhold:

- En lav *HMK*-værdi for separat afstrømning og en normal til høj *HMK*-værdi for afstrømning fra fællessystemet
- En normal til høj *HMK*-værdi for separat afstrømning og en lav *HMK*-værdi for afstrømning fra fællessystemet
- En lav *HMK*-værdi for separat afstrømning og en lav *HMK*-værdi for afstrømning fra fællessystemet

Det er dermed ikke muligt at udregne en *HMK*-værdi for de enkelte hændelsers stofafstrømning fra fællessystemets andel af Frejlev. Det er derimod muligt at udføre korrektion for andelen af separat regnvandsafstrømning på StationsMiddelKoncentrationen, *SMK*, da den er en gennemsnitsværdi af mange hændelser. Som *SMK*-værdi for stofafstrømningen fra den separate regnafstrømning benyttes de generelt anbefalede typetalskoncentrationer (Miljøstyrelsen, 2000c).

Den separate regnvandsafstrømning udgør knap 1/3 af den samlede afstrømning. Median-værdien for *HMK* for COD øges derved fra 75 mg/l til 90 mg/l for oplandet i Frejlev. I tabel 3.3 er opstillet en oversigt over bearbejdede overvandskoncentrationer fra oplandet i Frejlev, sammenstillet med resultaterne fra den tidligere undersøgelse af samme opland samt Miljøprojekt 532.

Tabel 3.3 Oversigt over gennemsnitlige overvandskoncentrationer til beregning af årsbelastninger fra afløbssystemer med ringe magasineringskapacitet. Værdier for N, P og SS er ikke beregnet i PH-Consult (1994), men blot skønnet i forbindelse med nærværende tabel. Tallene er korrigeret for, at dele af oplandet er separatkloakeret.

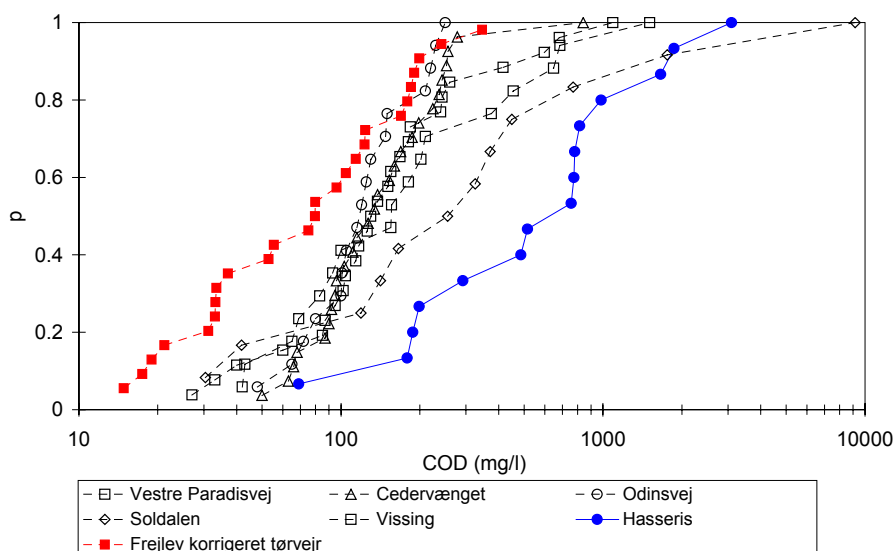
	Undersøgelser af oplandet i Frejlev			Generel anbefaling Miljøstyrelsen (2000c)
	PH-Consult (1994) korrigeret for separat afstrømning	NOVA 2003 baseret på skønnet tørvejrsmodel	NOVA 2003 baseret på skønnet tørvejrsmodel og korrigeret for separat afstrømning	
COD	60	70	90	160
N	(2,5)	3,0	3,5	10
P	(1,0)	0,7	0,8	2-3
SS	(90)	80	90	150-200

3.2.2 Betydning for fremtidig vurdering af belastning

Variation mellem oplande

Som det fremgår af tabel 3.3 og figur 3.4 er overvandskoncentrationerne i Frejlev væsentligt lavere end de generelt anbefalede værdier for overvandskoncentrationer. Der er primært to årsager hertil:

- Dele af oplandet er separatkloakeret
- Der er meget fine faldforhold og afløbssystemet er i fin fysisk tilstand. Dette mindsker muligheden for sedimentation i tørvejr



Figur 3.4 Bearbejdede værdier af HMK for COD. Af figuren og tabel 3.2 fremgår det, at Frejlevs overvand er usædvanlig rent, også taget i betragtning at dele af oplandet er separatkloakeret.

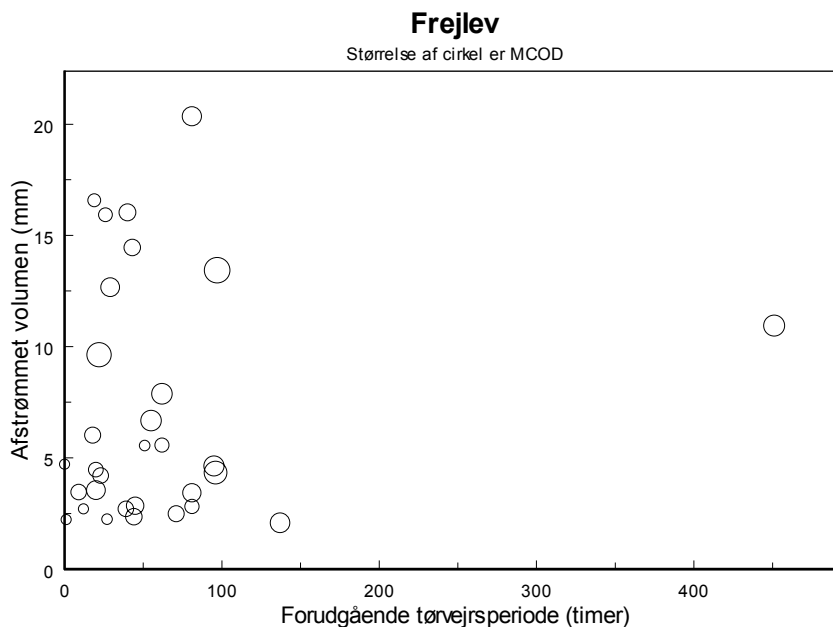
Det fremgår af tabel 3.3, at det første forhold alene ikke forklarer forskellen til de øvrige måleoplande. Oplandet har karakteristika, der gør, at overvandskoncentrationerne er usædvanligt lave. De væsentligste egenskaber

tilskrives det ekstraordinært store fald og systemets fine fysiske tilstand. Nordjyllands amt har ved udvælgelsen af hhv. Hasseris og Frejlev udvidet det kendte bånd af variationer af HMK-værdier mellem forskellige oplande. Det har ikke væsentlig betydning for beregning af den årlige belastning fra overløbsbygværker på nationalt plan, da ingen af oplandene skønnes at være typiske for afstrømning fra danske oplande og de i øvrigt ligger på hver sin side af det, der i Miljøprojekt 532 blev betegnet som typisk. Det er derfor ikke nødvendigt at justere typetal for NPO-stoffer til beregning af punktkildeopgørelserne på nationalt plan.

Variationen af stofmængder mellem oplande har derimod en væsentlig betydning i beregning af effekten af overløbet fra et konkret afløbssystem til en konkret recipient. I forbindelse med belastningsopgørelser til en konkret recipient bør afløbssystemets tilstand og faldforhold indgå på lige fod med andre væsentlige kilder til stofafstrømningen.

Betydning af First Flush

I Miljøstyrelsen (1990b) blev konceptet om *StationsMiddelKoncentrationer* anbefalet ud fra en antagelse om, at variationen i stofkoncentration mellem hændelser var langt større end variationen i løbet af hændelsen. Dette koncept blev der sat spørgsmålstegn ved i Miljøprojekt 532 (Miljøstyrelsen, 2000c), hvor det blev påvist, at der med dette koncept blev beregnet for små stofudledninger fra små hændelser og for store udledninger fra store hændelser. En analyse af stofafstrømningen fra det usædvanligt rene opland Frejlev resulterer i en tilsvarende konklusion. Den forudgående tørvejrperiode har en væsentlig betydning for, hvor store stofmængder der afstrømmer. Stofafstrømningen af COD fra Frejlev er vist på figur 3.5. Det tydeligste er den store variation mellem hændelser, som gør en tolkning vanskelig. Dernæst fremgår det af figuren, at såvel det afstrømmede volumen som den forudgående tørvejrperiode har væsentlig betydning.



Figur 3.5 Afstrømmet COD-mængde pr. hændelse fra oplandet i Frejlev, MCOD. Det ses, at såvel størrelsen af regnhændelsen som den forudgående tørvejrperiode har en væsentlig betydning, omend den tilfældige variation er meget stor.

Ændrede dimensioneringskrav og beregningsmetoder

Ovenfor er diskuteret to årsager til, at de nuværende opgørelsesmetoder kan være utilstrækkelige ved vurderinger af en konkret udledning. Der er dog andre og lige så væsentlige årsager til, at ændrede beregningsmetoder bør overvejes til brug for vurdering af konkrete udledninger. Disse er:

- Nedbørsmønsteret har ændret sig, således at der falder mindre regn om sommeren. I stedet falder mere nedbør som meget store efterårshændelser. Stofmængderne i disse store efterårshændelser overvurderes markant med de nuværende beregningsmetoder.
- Ved ændringer eller nybygning designes overløbsbygværker således at der tilstræbes en lagdeling af det opspædede spildevand. Derfor er forudsætningen om ideel opblanding i overløbsbygværket ikke længere korrekt.
- Sedimentation i bassiner og brug af off-line bassiner nedsætter de faktiske udledninger. Denne proces kan til dels tages i regning med de nuværende beregningsværktøjer, men ikke alle inddrager denne reduktion.

Samlet set understreget målingerne fra fællessystemer i NOVA 2003, at der er et væsentligt behov for at undersøge stofstrømme i afløbssystemer under regn.

3.3 Tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer

Der er udtaget i alt 8 prøver under regnvej i Frejlev, der er tilgængelige for nærværende bearbejdning. Der er ikke udtaget prøver, der muliggør at udarbejde en tørvejrsmode for tungmetaller og miljøfremmede organiske stoffer. Derfor er de angivne koncentrationer de totale koncentrationer, der er målt i afstrømningen for hændelsen som helhed.

Det er forsøgt at lave en statistisk bearbejdning af materialet, herunder at undersøge den interne korrelationsstruktur imellem forskellige stoffer og stofgrupper. Det har dog ikke været muligt at påpege væsentlige resultater, som kan gives en tolkning. Dertil er datamaterialet for spinkelt og med for mange målinger under detektionsgrænsen.

Resultatet af den statistiske bearbejdning er derfor begrænset til at opsummere målingerne for hvert enkelt stof/stofgruppe, se tabel 3.4 - 3.12 i form af angivelse af hhv. højeste og mindste analyseværdi samt en median, såfremt der er analyseret minimum 5 prøver. Hvis en analyseværdi er under detektionsgrænsen er det angivet med signaturen "<" samt angivelse af detektionsgrænsen. I nogle tilfælde er opgivet flere detektionsgrænser fordi der har været interferens mellem flere stofgrupper, der har vanskeliggjort analysen.

Følgende stofgrupper er ikke blevet analyseret: Alifatiske aminer (2 stoffer), halogenerede alifatiske kulbrinter (17 stoffer) og halogenerede aromatiske kulbrinter (20 stoffer). De halogenerede alifatiske kulbrinter er så flygtige, at den turbulente afstrømning under regn medfører, at de ikke vil være til stede i prøverne der sendes til analyse. Det er derfor besluttet, at der fremover ikke skal analyseres for denne stofgruppe i forbindelse med regnbetingede udledninger.

De stoffer der er analyseret for er udvalgt enten fordi stoffet vurderes at være relevant eller fordi Danmark har forpligtet sig til at analysere for stoffet i internationale aftaler. Nogle af stofferne optræder i meget lave

koncentrationer i regnafstrømning. Det gælder især for stofgrupperne chlorphenoler og polychlorerede biphenoler, hvor der ikke er fundet koncentrationer, der er over detektionsgrænsen. Dette gælder også for nogle pesticider, hvilket var forventeligt al den stund, at de har været udfaset i Danmark i ganske mange år.

Tabel 3.4 Oversigt over målinger af tungmetaller fra oplandet i Frejlev.

	Enhed	Antal prøver	Minimum	Maximum	Median
Arsen	µg/l	8	0.87	2.2	1.7
Bly	µg/l	8	4.7	59	9.8
Cadmium	µg/l	8	0.12	0.5	0.2
Krom	µg/l	8	0.64	7.9	3.85
Kobber	µg/l	8	4.1	74	16
Kviksølv	µg/l	8	<0.05	0.29	0.16
Nikkel	µg/l	8	1.09	17	4.3
Zink	µg/l	6	110	780	205

Tabel 3.5 Oversigt over målinger af pesticider fra oplandet i Frejlev. Chloredikesyre og floureddikesyre er ikke analyseret. Medianen er ikke opgivet fordi antallet af prøver er for lavt til at kunne skønne en værdi.

	Enhed	Antal prøver	Minimum	Maximum	Median
Aldrin	µg/l	3	<0.01	<0.2	
AMPA	µg/l	2	0.19	0.27	
Dieldrin	µg/l	3	<0.01	27.2	
Endrin	µg/l	3	<0.01	<0.1	
Glyphosat	µg/l	2	0.2	0.25	
Isodrin	µg/l	3	<0.01	<0.2	
gamma-Lindan (HCH)	µg/l	3	<0.1	<0.5	

Tabel 3.6 Oversigt over målinger af aromatiske kulbrinter fra oplandet i Frejlev. Benzen, biphenyl, ethylbenzen, isopropylbenzen, 5-tert-butyl-2,4,6-trinitro-m-xylen, toluen og xyloener er ikke analyseret.

	Enhed	Antal prøver	Minimum	Maximum	Median
Dimethylnaphthalener	µg/l	8	0.02	0.51	0.124
1-methyl-naphthalen	µg/l	8	<0.02	0.12	<0.05
2-methyl-naphthalen	µg/l	8	0.03 - <0.05	0.12	<0.05
Naphthalen	µg/l	8	0.04 - <0.05	0.29	<0.05
Trimethyl-naphthalener	µg/l	8	<0.02	0.4	<0.05 - 0.14

Tabel 3.7 Oversigt over målinger af phenoler fra oplandet i Frejlev. Nonylphenol ethoxylater er analyseret som to parametre. Octylphenol ethoxylater og phenol er ikke analyseret. På grund af interferens har octylphenol i nogle prøver forhøjet detektionsgrænse.

	Enhed	Antal prøver	Minimum	Maximum	Median
Bisphenol A	µg/l	7	<0.01	0.57	0.15
Nonylphenol	µg/l	7	0.18	1.2	0.65
Nonylphenol monoethox.	µg/l	7	<0.1	1.2	0.23
Nonylphenol diethoxyl.	µg/l	7	<0.1	0.35	<0.1
Octylphenol	µg/l	7	<0.1	<0.5	<0.1
Phenol	µg/l	6	0.13	1.5	0,46

Tabel 3.8 Oversigt over målinger af polychlorerede biphenyl er fra oplandet i Frejlev. CB-170 indgår ikke i måleprogrammet for NOVA 2003.

	Enhed	Antal prøver	Minimum	Maximum	Median
CB-28	µg/l	5	<0.01	<0.01	<0.01
CB-31	µg/l	5	<0.01	<0.01	<0.01
CB-52	µg/l	5	<0.01	<0.01	<0.01
CB-101	µg/l	5	<0.01	<0.01	<0.01
CB-105	µg/l	5	<0.01	<0.01	<0.01
CB-118	µg/l	5	<0.01	<0.01	<0.01
CB-138	µg/l	5	<0.01	<0.01	<0.01
CB-153	µg/l	5	<0.01	<0.01	<0.01
CB-156	µg/l	5	<0.01	<0.01	<0.01
CB-170	µg/l	4	<0.01	11,9	<0.01
CB-180	µg/l	5	<0.01	<0.01	<0.01

Tabel 3.9 Oversigt over målinger af chlorphenoler fra oplandet i Frejlev. 2,4-dichlorphenol er ikke analyseret.

	Enhed	Antal prøver	Minimum	Maximum	Median
4-chlor-3-methylphenol	µg/l	6	<0.05	<0.05	<0.05
2,6-dichlorphenol	µg/l	6	<0.05	<0.05	<0.05
Pentachlorphenol (PCP)	µg/l	6	<0.05	<0.05	<0.05
2,4,5-trichlorphenol	µg/l	6	<0.05	<0.05	<0.05
2,4,6-trichlorphenol	µg/l	6	<0.05	<0.05	<0.05

Tabel 3.10 Oversigt over målinger af polyaromatiske kulbrinter fra oplandet i Frejlev. Benz(b+j+k)fluoranthren er ikke analyseret som tre separate parametre. 2-metylpyren er ikke analyseret.

	Enhed	Antal prøver	Minimum	Maximum	Median
Acenaphthen	µg/l	8	<0.01	0.019	<0.01
Anthracen	µg/l	8	<0.01	0.03	<0.01
Benz(a)anthracen	µg/l	8	<0.01	0.051	0.025
Benz(a)fluoren	µg/l	8	<0.01	0.044	<0.01 - <0.02
Benz(a)pyren	µg/l	8	<0.01	0.096	0.022
Benz(e)pyren	µg/l	8	<0.01	0.16	0.035
Benz(ghi)perylene	µg/l	8	<0.02	0.15	<0.035
Benz(b+j+k)fluoranthren	µg/l	8	<0.01	0.25	0.0525
Chrysen/triphenylen	µg/l	8	<0.01	0.17	0.047
Dibenz(ah)anthracen	µg/l	8	<0.01	<0.03	<0.01 - <0.02
Fluoranthren	µg/l	8	0.02	0.22	0.055
Fluoren	µg/l	8	<0.01	0.059	<0.01
Indeno(1.2.3-cd)pyren	µg/l	8	<0.02	0.086	<0.03
2-methylphenanthren	µg/l	8	<0.01	0.11	0.01
1-metylpyren	µg/l	8	<0.01	0.023	<0.01
Phenanthren	µg/l	8	<0.01	0.14	0.0505
Pyren	µg/l	8	0.026	0.22	0.058

Tabel 3.11 Oversigt over målinger af blødgørere fra oplandet i Frejlev.

	Enhed	Antal prøver	Minimum	Maximum	Median
Butylbenzylphthalat	µg/l	7	0.1 - <0.3	0.26 - <0.3	<0.3
Di (2-ethylhexyl)adipat	µg/l	7	<0.1	<0.1	<0.1
Di (2-ethylhexyl)phthalat	µg/l	7	1.8	10	7.1
Di-isononylphthalat	µg/l	7	<0.1	0.16	<0.1
Di-n-octylphthalat	µg/l	7	<0.1	<0.11	<0.1
Dibutylphthalat	µg/l	7	0.37 - <0.4	1.7	0.5
Diethylphthalat	µg/l	7	0.22	2.5	1

Tabel 3.12 Oversigt over målinger af resterende stoffer og sumparametre fra oplandet i Frejlev.

	Enhed	Antal prøver	Minimum	Maximum	Median
LAS (sum C10-C14-LAS)	µg/l	8	<20	320	<20
MBTE	µg/l	5	<0.1	2.9	0.17
AOX	µg/l	6	4.5	59	7.75
EOX	µg/l	5	<0.05	3.4	1.4
NVOC	mg/l	6	4.6	29	16

4 Øvrige danske målinger

4.1 Regnafstrømning

Ved regnafstrømning forstås i denne sammenhæng udledninger af nedbør, der er strømmet af befæstede overflader så som veje, pladser og tage og ledes til en recipient gennem separate afløbssystemer, evt. efter først at have passeret et opsamlingsbassin eller lignende.

Det er valgt at fokusere på undersøgelser, der er foretaget efter 1990 idet det vurderes, at der for mange stoffer (både miljøfremmede stoffer og tungmetaller) er sket så store ændringer i anvendelsesmønster og emissioner i forhold til tidligere, at inddragelse af ældre data ville kunne afstedkomme misvisende fortolkninger. Vurdering af NPO-stoffer er ikke inddraget, da målingerne er tilstrækkelige til at opstille typetal uden at inddrage yderligere information.

4.1.1 Organiske miljøfremmede stoffer

Der foreligger øjensynligt kun en enkelt dansk undersøgelse, der i større omfang belyser indholdet af organiske miljøfremmede stoffer i regnafstrømning. Det drejer sig om:

- Miljøprojekt nr. 355, Miljøstyrelsen (1997b): "Miljøfremmede stoffer i overfladeafstrømning fra befæstede arealer" (>50 miljøfremmede stoffer).

I dette projekt er i perioden december 1995 til september 1996 gennemført seks runder flowproportional prøvetagning af regnafstrømning fra befæstede arealer i to separatkloakerede oplande i Nordkøbenhavn. Det ene opland repræsenterede et område med villaveje (Skovlunde), mens det andet udgjordes af et stykke af Hillerød motorvejen ved Bagsværd.

To andre, nyere undersøgelser har i begrænset omfang inkluderet organiske miljøfremmede stoffer:

- Miljøprojekt 610, Miljøstyrelsen (2001): "Biologiske effekter af toksiske stoffer i regnbetingede udløb" (THC, BTEX)
- EU-projektet POLMIT udført af DHI for Vejteknisk Institut under Vejdirektoratet (endnu ikke officielt af rapporteret, men en oversigtsartikel er publiceret af Lehmann et al., 2001) (THC, PAH).

Miljøprojekt 610 drejede sig primært om økotoksikologisk testning af vejvand, men der blev i begrænset omfang også foretaget kemisk karakterisering af flowproportionale prøver, herunder af mineralolie (THC) og BTEX. De to oplande, et stykke af Lyngbyvejen ved Gentofte Sø og nogle villaveje i Vangede (Gentofte), var lokaliseret ganske tæt ved hinanden. Projektet omfattede kun to prøvetagningsrunder (efterår 2000) i hvert opland.

Mens der i de førnævnte projekter er taget prøver i inspektionsbrønde i afløbssystemerne, har man i POLMIT-projektet opsamlet vejvand ved hjælp af en slags tagrender monteret direkte langs kanten af kørebanerne i nordgående retning på de to motorveje, der blev udvalgt til projektet. Det drejer sig om Helsingørmotorvejen (E47) ved Vejenbrød (Nivå) og den jyske motorvej (E45) ved Rud syd for Randers. Der er på hver lokalitet gennemført 18 prøvetagningsrunder i perioden juli 1998 til december 1999.

Hovedresultaterne fra de tre nævnte undersøgelser er sammenfattet som koncentrationsintervaller i tabel 4.1.

Tabel 4.1 Organiske miljøfremmede stoffer i regnafstrømning fra befæstede arealer, primært vejarealer.

Stof	Stofkoncentration i µg/l					
	Miljøprojekt 355		Miljøprojekt 610		POLMIT	
	Motorvej Bagsværd 6 prøver	Villaveje Skovlunde 5 prøver	Motorvej Gentofte 2 prøver	Villaveje Gentofte 2 prøver	Motorvej Nivå 18 prøver	Motorvej Randers 18 prøver
THC	190-2000	<50-2000	150-720	81-89	680- 19000	7,8-2600
BTEX	0,24-0,83	<0,15->0,6	<0,8- <0,95	<0,8-14	i.m.	i.m.
PAH (5 stk.)	0,40-7,9	<0,13-3,0	i.m.	i.m.	<0,20-3,6	0,12-6,1
DEHP	15-160	1,1-57	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.
NPE	0,79-15	0,43-14	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.
Tetrachlor- ethylen	<0,03- 0,93	0,76-2,6	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.
Pentachlor- phenol	0,030- 0,063	0,007-0,15	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.
Triphenyl- phosphat	0,13-0,30	0,025-0,29	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.

i.m. = ikke målt

Det må konstateres, at hvad angår organiske miljøfremmede stoffer er det kun for total hydrocarboner (THC ≈ mineralolie) og til dels PAH, at der foreligger et større antal måledata fra flere danske undersøgelser. Til gengæld er der, især for THC, betydelig spredning på resultaterne (mere end en faktor 100), hvorfor det kan være svært at fastsætte typetal ud fra danske data alene. Den observerede spredning på data kan f.eks. bero på forskelle mht.:

- Type af nedbør (intensitet, varighed)
- Længde af forudgående tørvejrperiode
- Tidspunkt for prøvetagning (typisk findes højeste koncentration om vinteren)
- Trafikintensitet.

For øvrige stofgrupper må datagrundlaget i nærværende sammenhæng betegnes som spinkelt.

4.1.2 Tungmetaller

Tungmetaller i regnafstrømning er en smule bedre undersøgt end de miljøfremmede stoffer, idet alle tre undersøgelser, der er beskrevet i det foregående afsnit indeholder data for tungmetaller og der tillige foreligger en undersøgelse af vejvand fra to østjyske veje:

- Århus Amt, Miljøkontoret (1992): "Undersøgelse af stofindhold og rensning af vejvand".

Undersøgelsen fra Århus Amt er foretaget i 1991 på to lokaliteter; et stykke af den jyske motorvej (E45) ved Stilling og ved en amtsvej ved Hammel. Begge steder er der taget prøver af indløb til vejvandsbassiner. Prøverne (9 stk. ved Stilling og 13 ved Hammel) er taget fra tidligt i 1991 til hen på efteråret samme år.

Tabel 4.2 giver en oversigt over de fundne koncentrationsintervaller.

Tabel 4.2 Tungmetaller i regnafstrømning fra befæstede arealer, primært vejarealer.

Tungmetal	Stofkoncentration i µg/l							
	Århus Amt 1992		Miljøprojekt 355*		Miljøprojekt 610		POLMIT	
	Motorvej Stilling 9 prøver	Amtsvej Hammel 13 prøver	Motorvej Bagsværd 6 prøver	Villaveje Skovlunde 5 prøver	Motorvej Gentofte 2 prøver	Villaveje Gentofte 2 prøver	Motorvej Nivå 18 prøver	Motorvej Randers 18 prøver
Bly	<2-5	7-52	17-190 (17-82)	12-210 (12-63)	12-18	3,0-5,8	7-46	<0,4-47
Cadmium	<0,5-<1	<1-5	<0,1-1,5 (<0,1-1,5)	<0,1-1,6 (<0,1-1,2)	<0,3	<0,3	<0,1-0,7	0,07-1,4
Chrom	i.m.	i.m.	7,6-56 (7,6-28)	2,2-27 (2,2-6,9)	<2-4,1	<2	2,3-11	1,2-11
Kobber	4-8	10-57	83-720 (83-290)	12-140 (12-47)	58-70	130-490	19-95	18-140
Kviksølv	i.m.	i.m.	0,04-0,17 (0,04-0,13)	0,02-0,12 (0,02-0,08)	i.m.	i.m.	i.m.	i.m.
Nikkel	i.m.	i.m.	2,0-120 (2,0-120)	<2-26 (<2-9,5)	<1	<1	i.m.	i.m.
Zink	<5-37	41-200	170-660 (170-660)	76-790 (76-310)	72-140	37-38	47-330	100-700

i.m. = ikke målt

* Tallene i parentes er resultatintervallet når data fra en enkelt ekstremhændelse er trukket ud.

Resultaterne fra Stilling afviger betydeligt fra de øvrige data fra motorveje og bør derfor tillægges mindre vægt ved den samlede vurdering af data. Der foreligger ikke tilstrækkeligt med tekniske oplysninger om prøvetagning og analyser til at kunne bedømme, hvad årsagen til de lavere koncentrationer kan være.

Ellers er der forholdsvis god overensstemmelse mellem resultaterne, især hvis man ser bort fra en særlig situation i Miljøprojekt 355, hvor nedbørsprøverne i april 1996 blev taget efter en usædvanlig lang forudgående tørvejrperiode. Der blev ved den lejlighed påvist markant højere stofkoncentrationer i afstrømningen fra begge oplande end ved de øvrige prøvetagninger. Tallene uden resultaterne fra april 1996 er angivet i parentes i tabel 4.2.

Ved en gennemgang af de øvrige tungmetaldata fremgår det, at resultaterne fra Lyngbyvej i Miljøprojekt 610 og de to sæt data fra POLMIT-projektet ligger meget tæt på hinanden, mens resultaterne fra Hillerødmotorvejen ved Bagsværd (Miljøprojekt 355) ligger noget højere (typisk omkring en faktor 3). Dette kan enten skyldes en systematisk forskel med rod i de anvendte teknikker og procedurer til udtagning, oparbejdning og analyse af prøverne, eller at data fra Miljøprojekt 355 er lidt ældre (3-4 år) end de to andre, og at belastningen fra trafikken rent faktisk er blevet mindre i den forløbne periode.

I tabel 4.3 angives resultater for motorveje fra de tre nævnte undersøgelser for stofferne bly, cadmium, chrom, kobber og zink. Det skal bemærkes, at der fra POLMIT-projektet kun er medtaget resultater fra målingerne i de sidste 12 måneder (pga. ændringer i designet i de første måneder).

Tabel 4.3 Mediankoncentrationer af tungmetaller i regnafstrømning fra danske motorveje.

Tungmetal	Mediankoncentration i µg/l			
	Miljøprojekt 355	Miljøprojekt 610	POLMIT	
	Motorvej Bagsværd 6 prøver	Motorvej Gentofte 2 prøver	Motorvej Nivå 12 prøver	Motorvej Randers 12 prøver
Bly	69	15	17	16
Cadmium	0,89	<0,3	0,23	0,23
Chrom	19	3,0	5,2	3,6
Kobber	170	64	55	57
Zink	490	110	140	190

Fra tidligere danske undersøgelser af separat regnvandsafstrømning, primært fra vejarealer, foreligger nogle data for tungmetaller. Disse data, der hovedsageligt stammer fra målinger foretaget i midten eller sidste halvdel af 1970'erne er vist i tabel 4.4.

Man bemærker ved sammenligning af tabel 4.3 og tabel 4.4 at metalindholdene i vejvand i løbet af de omkring 20 år, der ligger mellem de to sæt af data er faldet betydeligt. Dette gælder naturligvis især bly eftersom blyfri benzin i realiteten var ukendt for 20-25 år siden, men også for cadmium og zink bemærkes en vis reduktion. Også i forhold til de typetal, der blev anbefalet af Miljøstyrelsen (1990a) for 12 år siden er der sket et fald, dog ikke for kobber.

Tabel 4.4 Tidligere danske undersøgelser af tungmetalindhold i separat regnafstrømning, primært fra veje. Desuden anbefalede koncentrationer ("typetal") til beregning af forureningsudledning fra separatsystemer (Miljøstyrelsen, 1990b).

Tungmetal	Koncentration i µg/l			
	Holbækmotor- vejen 1977 ¹⁾	Bispeengbuen 1975 ²⁾	Vallensbæk 1979-1980 ³⁾	Typetal ⁴⁾
Bly	800-2900	6400	250	50-150
Cadmium	-	-	5,3	0,5-3
Kobber	-	-	-	5-40
Zink	220-790	3300	670	300-500

1) VKI (1977). Data fra 3 regnepisoder.

2) VKI (1977). Gennemsnit af 2 regnepisoder.

3) Miljøstyrelsen (1981). Gennemsnitsværdier. Også andet end vejvand.

4) Miljøstyrelsen (1990a). Primært baseret på data fra omkring 1980 (bl. a. Mølleåundersøgelsen).

4.2 Udledninger fra fællessystemer

Der er i Miljøstyrelsen (1990b) angivet typetal for fire tungmetaller, se tabel 4.5. Det må forventes, at specielt koncentrationen for bly har ændret sig væsentligt og i dag er mindre end skønnet på det tidspunkt.

Tabel 4.5 Typiske værdier for stofindholdet i overvandskoncentrationer i Danmark, jf. Miljøstyrelsen (1990A).

	Overvandskoncentrationer
Bly	100-150 µg/l
Zink	300-500 µg/l
Cadmium	1 - 1,5 µg/l
Kobber	30-40 µg/l

I forbindelse med en undersøgelse af belastningen af et grønt renseanlæg har Københavns Energi målt i tilløbet på anlægget under regn, hvor der tilledes overløbsvand fra et fællessystem (Københavns Energi, 2001). Der er udtaget en række prøver af tungmetaller og miljøfremmede stoffer som kan supplere viden om stofindhold i overløbsvand i Danmark. Detektionsgrænserne for en del af stofferne er højere end ved analyserne af Frejlev og medfører, at mere end halvdelen af koncentrationerne er under detektionsgrænsen. Da der kun er undersøgt overløbsvand angives kun medianværdien for analyserne. Hvis mere end halvdelen af målingerne ligger under detektionsgrænsen angives den pågældende detektionsgrænse.

Hovedresultaterne er opstillet i tabel 4.6 - 4.7. Endvidere blev analyseret for 16 PAH-forbindelser, der alle havde median-værdier under detektionsgrænsen på 0,05 µg/l. Ligeledes blev der analyseret for 7 BTEX'er, som alle lå under detektionsgrænsen på 0,2-1 µg/l. Der er analyseret en række pesticider, men kun to er med i NOVA 2003 programmet. Disse er medtaget i tabel 4.7, ligesom alle analyser af halogenerede kulbrinter er medtaget.

Tabel 4.6 Målte tungmetalkoncentrationer i tilløbet til grønt renseanlæg ved Utterslev Mose fra overløb fra fællessystem. Antallet af betydende cifre på medianen er ikke udtryk for informationens nøjagtighed (Københavns Energi, 2001)

	Enhed	Antal prøver	Median
Bly	µg/l	6	17
Cadmium	µg/l	6	0,15
Krom	µg/l	6	2,6
Kobber	µg/l	6	18
Kviksølv	µg/l	6	<0,05
Nikkel	µg/l	6	2,7
Zink	µg/l	6	120

Tabel 4.7 Målte miljøfremmede stoffer i tilløbet til grønt renseanlæg ved Utterslev Mose fra overløb fra fællessystem. Antallet af betydende cifre på medianen er ikke udtryk for informationens nøjagtighed (Københavns Energi, 2001)

	Enhed	Antal prøver	Median
MTBE	µg/l	5	0,3
Nonylphenol	µg/l	5	0,9
Nonylphenoethoxylater	µg/l	5	1,0
LAS	µg/l	5	700
Glufhosat	µg/l	5	0,2
AMPA	µg/l	5	0,2
Trichlormethan	µg/l	5	0,04
1,1,1-trichlorethan	µg/l	5	<0,05
Tetrachlormethan	µg/l	5	<0,05
Tetrachlorethylen	µg/l	5	<0,05
Trichlorethylen	µg/l	5	<0,05

4.3 Spildevand

Vurdering af indholdet af miljøfremmede stoffer i spildevandsandelen vil kun omfatte danske undersøgelser. Begrundelsen er, at der foreligger danske måleresultater og at det derfor ikke er anset for afgørende at inkludere resultater af en oprindelse, som ikke nødvendigvis er repræsentative for danske forhold.

Koncentrationsniveauerne af miljøfremmede stoffer i spildevand er i den foreliggende rapport blevet identificeret ved hjælp af et litteratursammendrag, der er baseret på Miljøstyrelsens undersøgelsesprogram "Intensivt måleprogram for miljøfremmede stoffer og hygiejnisk kvalitet af kommunalt spildevand". Programmets enkelte dele er blevet rapporteret i følgende Miljøprojekter:

- Nr. 278, Miljøstyrelsen (1994): Miljøfremmede stoffer i renselanlæg
- Nr. 320, Miljøstyrelsen (1996a): Massestrømsanalyser for phthalater
- Nr. 325, Miljøstyrelsen (1996b): Miljøfremmede stoffer i spildevand og slam
- Nr. 357, Miljøstyrelsen (1997a): Miljøfremmede stoffer i husholdningsspildevand

Derudover er forskellige aspekter af projektet nærmere belyst i følgende rapporter:

- Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 54, Miljøstyrelsen (1995): Måleprogram for phthalater på 3 danske renselanlæg
- DMU-rapport nr. 186, DMU (1997): Analyse af miljøfremmede stoffer i kommunalt spildevand og slam

De enkelte delprojekter omfatter dels husholdningsspildevand, dels spildevand i tilløbet til renselanlæg.

Formålet med afsnittet er på basis af ovennævnte litteratur at give et skønnet niveau for indholdet af miljøfremmede stoffer i spildevand som ét af enkeltbidragene til overvandets stofindhold.

4.3.1 Organiske miljøfremmede stoffer

De danske undersøgelser vedrørende organiske miljøfremmede stoffer har hver især været gennemført for at tilgodese specifikke formål. Tabel 4.8 relaterer sig til spildevand og giver en sammenfattende oversigt over de væsentligste resultater fra undersøgelserne. I tabel 4.9 er angivet den kildestyrke som husholdningerne forventes at have. Hvis husholdningerne forventes at udgøre stort set hele bidraget er koncentrationen i regnafstrømningen lav.

Tabel 4.8 Miljøfremmede stoffer i spildevand. Alle koncentrationer er anført i $\mu\text{g/l}$.

	Miljø-projekt 278	Miljø-projekt 325	Miljø-projekt 357	Arbejds-rapport 54
Flygtige stoffer	< 1	1-100		
	enkelte stoffer			
	1-10			
Phenoler, cresoler	1-100		< 1	
Nonylphenol	1-100		5-21 ^{a)}	
			28-59 ^{b)}	
DEHP	125-250	30-50	24-39 ^{a), c)}	30-50
			18-95 ^{b)}	
DBP			<10	5-50
BBP				1-50
PAH			<1 ^{d)}	
LAS			200-800 ^{a)}	
			500-900 ^{b)}	
Anioniske detergenter	3100-5600		2500-12000 ^{a)}	
			3700-6000 ^{b)}	

a) boligområder

b) renselanlæg

c) $180 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ i et undersøgelsesområde med tidligere industrielle aktiviteter.

d) kun phenanthren findes i alle prøverne. Dimethylnaphthalen: $27 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ i et undersøgelsesområde med tidligere industrielle aktiviteter.

DMU (1997) foretager følgende gruppering af de enkelte stoffer i forhold til deres koncentrationsniveau i spildevand:

- DEHP, DBP og nonylphenol er de stoffer, der forekommer i de højeste koncentrationer
- Lejlighedsvis forekommer også phenol og cresoler i høj koncentration
- De øvrige koncentrationer er på betydeligt lavere niveauer

På basis af dansk og skandinavisk viden – til en vis grad suppleret med international erfaring – vurderer Jensen et al. (2001), at typiske koncentrationsniveauer for DEHP og LAS i husspildevand er henholdsvis $40 \mu\text{g/l}$ og $3.000 \mu\text{g/l}$.

Tabel 4.9 Relativt bidrag af organiske miljøfremmede stoffer fra husholdninger til belastning på renselanlæg, (Miljøstyrelsen, 1997).

Stofgruppe	Interval (%)
Anioniske detergenter	67 - 96
Kationiske detergenter	60 - 114
Nonioniske detergenter	29 - 54
PAH	24 - 41
DEHP	17 - 99
Nonylphenol	10 - 22
LAS	42 - 71
EDTA	21 - 24

De miljøfremmede stoffer i spildevandet kan stamme fra husholdninger og andre kilder, herunder industri og institutioner. Et bidrag af miljøfremmede stoffer til en overløbsbelastning vil derfor kunne afhænge af den aktuelle oplandssammensætning. Tabel 4.9 giver i denne sammenhæng en oversigt over typiske, relative bidrag fra husholdninger.

I forbindelse med Miljøstyrelsens undersøgelsesprogram "Intensivt måleprogram for miljøfremmede stoffer og hygiejnisk kvalitet af kommunalt spildevand" er der gennemført analyser for en række miljøfremmede stoffer i spildevand. De fleste koncentrationer ligger i området 1 - 10 µg/l, men nonylphenoler og phthalater forekommer generelt i højere koncentrationer, op til 50 - 100 µg/l. Lejlighedsvis forekommer også phenol og cresoler i høj koncentration. Der er konstateret væsentlige forskelle i indholdet af miljøfremmede stoffer i husspildevand og spildevand med afledning fra industriområder. En væsentlig andel af detergenterne i spildevandet er fundet at stamme fra husholdninger, mens nonylphenol overvejende stammer fra andre kilder. Det kan konstateres, at næsten alle koncentrationerne er på niveau med tilsvarende svenske og norske undersøgelser.

Århus Amt har i perioden 1998-2001 undersøgt indholdet af organiske miljøfremmede stoffer i spildevand i tilløbet til 8 mindre og 4 større renselanlæg (Århus Amt, 2001). Tabel 4.10 viser undersøgelsens hovedresultater opdelt på husspildevand (primært de mindre anlæg) og blandet hus- og industrispildevand (primært de større anlæg). Det antages, at PAH og NPE kan stamme fra industrielle kilder, hvorimod LAS vurderes primært at have oprindelse i tilledning fra husholdninger. Der er en tendens til at renselanlæg, hvor oplandet er fælleskloakeret, modtager de højeste koncentrationer af PAH svarende til et relativt højt PAH-indhold i vejvand.

4.3.2 Tungmetaller

Som det er tilfældet for de organiske miljøfremmede stoffer, stammer spildevandets indhold af tungmetaller fra såvel boligområder og industri mv. Tabel 4.11 sammenfatter resultater for tilløbskoncentrationer i spildevandet til en række udvalgte danske renselanlæg, (Miljøstyrelsen, 1994; 1997a).

De to kilder, som der er henvist til i tabel 4.11 viser under hensyntagen til en forventet variation identiske niveauer. Sammenlignes resultaterne med niveauer for tungmetaller målt i dansk spildevand fra begyndelsen af 1980'erne, kan der imidlertid konstateres generelt kraftigt reducerede værdier.

Tabel 4.10 Indholdet af organiske miljøfremmede stoffer i husspildevand og blandet hus- og industrispildevand. Der er udtaget 28 prøver af husspildevand og 14 prøver af blandet hus- og industrispildevand. Data fra Århus Amt (2001).

	Husspildevand (µg/l)	Blandet hus- og industrispildevand (µg/l)
Sum af PAH	0,07-3,1	1,7-52
Chlorbenzener	u.d.-0,068	0,077-0,24
Chlorphenoler	u.d.-0,46	0,12-1,5
DEHP	1,9-38	21-47
Sum af andre blødgørere	u.d.-5,4	0,59-17
P-triester	0,25-7,8	1,9-5,3
Nonylphenol + ethoxylater	0,69-23	5,1-96
Nonylphenolpolyethoxylat	u.d.-110	u.d.-40
Octylphenol	u.d.	-

Octylphenolpolyethoxylat	u.d.-30	-
Bisphenol A	u.d.-2,6	u.d.-17
LAS	u.d.-6.600	180-3.500
Flygtige stoffer	u.d.-50	3,8-6,4
Phenoler	0,93-381	34-255

U.d.: Under detektionsgrænsen

Tabel 4.11 Gennemsnitlige koncentrationer af tungmetaller i spildevandet til et antal udvalgte danske renseanlæg, (Miljøstyrelsen, 1994; 1997a). Samtlige koncentrationer er angivet i enheden µg/l.

Grundstof	Middel oplyst i Miljøstyrelsen, 1994	Middel oplyst i Miljøstyrelsen, 1997
Cadmium, Cd	1,7	0,9
Cobolt, Co	4,0	2,4
Chrom, Cr	41	31
Kobber, Cu	100	130
Kviksølv, Hg	2,0	1,1
Nikkel, Ni	39	27
Bly, Pb	24	25
Zink, Zn	233	450

På tilsvarende måde som i tabel 4.9 giver tabel 4.12 en oversigt over typiske, relative bidrag fra husholdninger.

Tabel 4.12 Relativt bidrag af tungmetaller fra husholdninger til belastning på renseanlæg, (Miljøstyrelsen, 1997a)

Tungmetal	Interval (%)
Cadmium, Cd	31 - 51
Cobolt, Co	12 - 29
Chrom, Cr	2 - 4
Kobber, Cu	43 - 52
Kviksølv, Hg	25 - 46
Nikkel, Ni	23 - 34
Bly, Pb	47 - 90
Zink, Zn	19 - 58

4.3.3 Sammenfatning

Det kan konstateres, at der foreligger væsentlig – omend ikke omfangsrig – information om indholdet af både organiske og uorganiske miljøfremmede stoffer i spildevand. Det er derfor grundlag for at skønne spildevandets bidrag til indholdet af tilsvarende forurenende stoffer i overløbsvand, når en gennemsnitlig opspædning kan estimeres.

5 Internationale erfaringer

5.1 Regnafstrømning

Information vedrørende koncentrationsniveauer af tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer i regnvand opsamlet fra befæstede arealer er for nyligt blevet indsamlet i Miljøstyrelses projektet "Identifikation af potentielt problematiske parametre i regnvand opsamlet fra tage og befæstede arealer" (Ledin et al., 2002). Denne undersøgelse gennemgik artikler, rapporter etc., som omhandler karakterstik af regnvand og som er publiceret i den åbne litteratur i perioden 1980-2001.

Samlet blev der fundet 150 relevante publikationer, der giver information vedrørende fysiske og generelle kemiske parametre, indhold af metaller og organiske miljøfremmede stoffer, samt mikroorganismer og målinger af toksicitet. Antallet af fundne måleparametre var 544, fordelt på 60 tungmetaller, alkali- og jordalkalimetaller samt overgangselementer, 313 forskellige organiske miljøfremmede stoffer, 33 fysiske, 86 kemiske og 22 mikrobielle parametre, samt information vedrørende økotoksicitet.

Tabel 5.1 Grupper af metaller og miljøfremmede organiske stoffer i regnvand opsamlet fra befæstede arealer (Oplysninger fra Ledin et al., 2002).

Miljøfremmede stoffer	Antal fundne stoffer	Antal stoffer, der indgår i NOVA 2003s måleprogram for spildevand	Antal stoffer i NOVA 2003s måleprogram for spildevand, som ikke er fundet i undersøgelsen
Metaller	26	8	0
Pesticider	55	6	3
Alifatiske aminer	0	0	2
Aromatiske kulbrinter	15	10	17
Phenoler	23	4	2
Halogenerede alifatiske kulbrinter	25	13	4
Halogenerede aromatiske kulbrinter	14	7	13
PCB-forbindelser	14	1	9
Chlorphenoler	9	4	1
PAH-forbindelser	34	15	7
Phosphortriester	3	3	1
Blødgørere	8	5	2
Anioniske detergenter	0	0	1
Kationiske detergenter	0	0	3
Ethere	8	1	0
Dioxiner og furaner	31	0	0
Sumpmetre	32	2	1
Andre organiske stoffer	38	0	0
Total	335	79	66

Tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer vurderes at være særligt relevante for nærværende projekt. Det fundne antal af disse stoffer er vist i tabel 5.1, mens tabel 5.2 viser de fundne stoffer, der indgår i NOVA 2003s måleprogram for spildevand. Tabellerne er inddelt efter samme princip som i

NOVA 2003s måleprogram. Til denne liste er der tilføjet en gruppe " andre stoffer", hvori stoffer er placeret, som ikke indgår i NOVA 2003.

Af tabel 5.1 ses det, at der er fundet målinger i litteraturen for samtlige metaller som indgår i NOVA 2003s måleprogram for spildevand: As, Pb, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni og Zn. Derudover er der fundet information om koncentrationsniveauer for yderligere 18 metaller (Ag, Al, Co, Fe, Mn, Mo, Sb, Tl, V samt en række alkali- og jordalkalimetaller). I tabel 5.2 optræder ekstremkoncentrationer for nogle metaller, f.eks. zink, hvor målingen stammer fra regnvand afstrømmet fra et zinktag (Ledin et al., 2002).

Tabel 5.1 viser desuden, at der er målt for stoffer tilhørende 13 forskellige grupper af organiske miljøfremmede stoffer, samt en gruppe indeholdende 32 sumparametre. Ud af de 277 forskellige organiske miljøfremmede stoffer, som er fundet i opsamlet regnvand, er det et relativt stort antal, som kun er fundet i en enkelt eller højst et par af referencerne, se tabel 5.2. Endvidere er der for 65 af de organiske miljøfremmede stoffer og en sumparameter, som indgår i NOVA 2003s måleprogram for spildevand, ikke fundet resultater for målinger i afstrømmende regnvand.

PAH-forbindelser samt pesticider er generelt de mest undersøgte stofgrupper. Som eksempel kan nævnes, at der er fundet 34 PAH-forbindelser i afstrømmende regnvand. Femten af disse indgår i NOVA 2003s måleprogram for spildevand, men da dette måleprogram indholder 22 PAH'er mangler der information vedrørende 7 forskellige PAH forbindelser. Det kan noteres, at de målte koncentrationer varierer indenfor relativt brede intervaller; f.eks. er den laveste målte koncentration af Benzo(b)fluoranthen 0,7 ng/L, mens den maksimale observerede koncentration er 260 µg/L.

Tilsvarende er der fundet information vedrørende 55 forskellige pesticider i afstrømmende regnvand. Kun seks af disse indgår i NOVA 2003s måleprogram for spildevand, mens der er tre af de stoffer, som indgår i NOVA 2003, hvor der ikke er fundet nogen information om forekomst af disse i afstrømmende regnvand.

Tre af de stofgrupper, der er indeholdt i NOVA 2003s måleprogram for spildevand, er der ikke er fundet nogen information om nemlig alifatiske aminer samt anioniske og kationiske detergenter, se tabel 5.1.

Tabel 5.2 Stoffer/parametre der indgår i NOVA 2003s målprogram for spildevand, som er fundet i afstrømmende regnvand (Ledin et al., 2002). ND/D betegner hhv. ikke detekteret og detekteret uden angivelse af koncentration.

Stofgruppe/ Gruppe	Stof/parametre	Antal steder	Koncentration µg/L
Metaller	As	26	0,1-340
	Pb	168	<0,5-2764
	Cd	141	<0,1-700
	Cr	99	<0,5-4200
	Cu	150	<0,5-6800
	Hg	47	<0,2-24,0
	Ni	95	5-580
	Zn	149	0-38061

Tabel 5.2 Fortsat.

Stofgruppe/ Gruppe	Stof/parametre	Antal steder	Koncentration µg/L
Pesticider	Aldrin	11	0,0006 (aldrien+dieldrin)-6
	2,4-D	7	0,010-276,0
	Dieldrin	4	0,00051-2
	Endrin	7	0,00077-0,05
	Isodrin	5	<0,01-<0,1
	Gamma-Lindan (HCH)	17	0,002-11
Aromatiske kulbrinter	Benzen	8	0,017-13
	Dimethylnaphthalener*	4	0,1-0,35
	Ethylbenzen	3	<0,2-2
	1-Methylnaphthalen	2	d-9
	2-Methylnaphthalen	2	d-0,95
	Methylnaphthalener*	4	<0,05-0,20
	Naphthalen	16	0,006-49
	Toluen	14	0,028-9
	Trimethylnaphthalener*	4	0,57-3,6
Phenoler	Xylen	11	<0,2-18
	Bisphenol A	3	<0,01-0,17
	Nonyl phenol	17	<0,04-23
	Nonyl phenol (+NPE 1-2 EO)	7	<0,05-5,8
Halogenerede alifatiske kulbrinter	Phenol	8	<0,01-10
	1,2-Dichlorethan	1	4
	1,1-Dichlorethen	1	1,5-4
	Dichlormethan	9	5-14,5
	1,2-Dichloropropan	1	3
	Hexachloroethan	2	Nd-d
	Methylchlorid	1	Nd
	1,1,2,2-Tetrachlorethan	1	2-3
	Tetrachlorethylen	10	0,058-25
	Tetrachlormethan	2	<0,02-2
	1,1,1-Trichlorethan	4	0,025-10
	1,1,2-Trichlorethan	1	2-3
	Trichloroethylen	10	0,036-7
	Vinylchlorid (chlorethylen)	1	nd
Halogenerede aromatiske kulbrinter	Chlorbenzen	3	<0,05-10
	2-Chlornaphthalen	2	nd-0,97
	1,2-Dichlorbenzen	2	nd-0,0390
	1,3-Dichlorbenzen	11	0,0074-103
	1,4-Dichlorbenzen	4	nd-0,0089
	Hexachlorbenzen (HCB)	4	nd 0,00073-0,016
PCB	1,2,4-Trichlorbenzen	3	0,0015-0,02
	PCBer	7	<0,005 per congener-2,6 d
Chlorphenoler	PCBs; PCB-28, -52, -101, -138, -153, -180	1	
	4-chlor-3-methylphenol	6	<0,01-<0,05
	2,4-Dichlorphenol	3	0,007-0,040
	Pentachlorphenol (PCP)	14	0,044-115
Polyaromatiske kulbrinter (PAH)	2,4,6-Trichlorphenol	3	0,011-0,017
	Acenaphthen	16	0,002-0,97
	Anthracen	30	<0,0001-147
	Benzo(a)anthracen	32	0,0003-54
	Benzo(a)pyren	44	0,00015-300
	Benzo(e)pyren	7	0,001-0,6
	Benzo(ghi)perylen	37	<0,01-710
	Benzo(b)fluoranthren	19	0,0007-260
	Benzo[k]fluoranthren	21	0,0001-61
	Chrysen	17	0,0003-10
	Dibenz[a,h]anthracen	33	<0,01-83
	Fluoranthren	54	0,009-1958
	Fluoren	23	0,001-74
	Indeno(1,2,3-c,d)pyren	36	<0,01-1080
	Phenanthren	43	<0,01-1420
Pyren	39	0,0001-120	

Tabel 5.2 Fortsat.

Stofgruppe/ Gruppe	Stof/parametre	Antal steder	Koncentration µg/L
Phosphor- triestere	Tri-n-butyl phosphat	7	0,03-0,10
	Tricresylphosphat	6	<0,01-<0,2
	Triphenyl phosphat	7	<0,01-0,5
Blødgører	Butylbenzylphthalat (BBP)	7	0,20-130
	Di(2-ethylhexyl)adipat	5	0,04-1,8
	Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	11	3,0-44
	Di-n-octylphthalat (DnOP)	9	0,1-2,1
	Diethylphthalat (DEP)	7	0,06-10
Ether	Tert-butylmethylether (MTBE)	3	<5-37
Sumparametre	AOX	1	1,5-197,2
	NVOC	2	4500-14000

* markerer, at nogle specifikke stoffer fra denne gruppe er med i måleprogrammet for spildevand.

5.2 Udledning fra fællessystemer

I dette afsnit præsenteres de parametre, der tidligere er blevet undersøgt for i overløb fra fælleskloakerede områder samt fundne koncentrationer/koncentrationsintervaller.

Undersøgelsen af hvilke stoffer, der udledes med overløb fra de fælleskloakerede områder samt i hvilke koncentrationer disse optræder, er foretaget udfra en omfattende litteratursøgning, se bilag B.

Søgningen af litteratur er foretaget ved fire forskellige fremgangsmåder:

- Søgning i Danmarks Tekniske Videnskabscenters artikeldatabase – *DADS*.
- Søgning i litteraturdatabaserne samlet i *Cambridge Scientific Abstracts Internet Database Service*.
- Gennemgang af referencelister i den kendte litteratur.
- Søgning på Internettet (diverse hjemmesider f.eks. US-EPA, Miljøstyrelsen og Vejdirektoratet)

I alt er der fundet 29 forskellige anvendelige referencer til kortlægningen af stoffer og koncentrationer i udledninger fra fællessystemer.

Meget af den litteratur, der beskæftiger sig med udledninger fra fælleskloakerede områder, omhandler kun NPO-stofferne. En del af den fundne litteratur oplyser, hvilke koncentrationer af tungmetaller, der er fundet i overvand/overløbsvand fra fælleskloakerede områder, mens kun et fåtal omhandler organiske miljøfremmede stoffer. Den amerikanske undersøgelse i King County [King County, 2001] er en undtagelse. Resultater fra denne undersøgelse er fundet ved søgning på Internettet under "combined sewer overflow". King County-studiet bygger på resultater fra en række målestationer og måledata præsenteres på en hjemmeside på Internettet (<http://dnr.metrokc.gov/wlr/waterres/wqa/wqdata.htm>). Der er ikke fundet tilsvarende danske eller skandinaviske undersøgelser og resultater.

For det enkelte stof er antallet af undersøgelser meget begrænset, og hovedparten af stofferne er kun fundet i en enkelt eller højst et par af referencerne. De fleste stoffer er fundet i referencen King County (2001), se tabel 5.4.

Et generelt problem er, at der oftest ikke er defineret, hvor der er udtaget prøver til analyse af stofindhold. Således er det ofte ikke rapporteret, hvorvidt der er tale om overvand (prøve i fælleskloak hvor tørvejsbidraget er trukket fra) eller i overløbsvand (fra selve overløbet). Fra andre undersøgelser vides det dog, at i undersøgelser udenfor Skandinavien undersøges som regel overløbsvand.

Tabel 5.3 Grupper af metaller og organiske miljøfremmede stoffer analyseret for i udledninger fra fællessystemer.

Miljøfremmede stoffer	Antal fundne stoffer	Antal stoffer, der indgår i NOVA 2003s måleprogram for spildevand	Antal stoffer i NOVA 2003s måleprogram for spildevand, som ikke er fundet i undersøgelsen
Metaller	19	8	0
Pesticider	3	2	7
Alifatiske aminer	2	0	2
Aromatiske kulbrinter	4	2	25
Phenoler	5	1	5
Halogenerede alifatiske kulbrinter	1	1	16
Halogenerede aromatiske kulbrinter	3	2	18
PCB-forbindelser	1*	0	10
Chlorphenoler	2	2	3
PAH-forbindelser	14	13	9
Phosphortriester	0	0	4
Blødgørere	6	5	2
Anioniske detergenter	0	0	1
Kationiske detergenter	0	0	3
Ethere	0	0	1
Dioxiner og furaner	1	0	0
Sumparametre	2	1	2
Andre organiske stoffer	9	0	0
Total	72	37	108

* i litteraturen er ikke angivet hvilke stoffer der er undersøgt indenfor gruppen.

I tabel 5.3 ses en liste over antallet af miljøfremmede stoffer, inddelt efter de samme stofgrupper som i NOVA 2003s måleprogram. I udledninger fra fællessystemer er der undersøgt for 70 forskellige miljøfremmede stoffer og to sumparametre (AOX og "total hydrocarboner"). Af disse findes 37 miljøfremmede stoffer i NOVA 2003s måleprogram for spildevand, mens der mangler oplysninger for de resterende 108 stoffer, som indgår i måleprogrammet for spildevand. Der er for fire af stofgrupperne i NOVA 2003s måleprogram for spildevand ikke fundet nogen information om koncentrationer i udledninger fra fællessystemer (phosphor-tri-estere, ethere, anioniske og kationiske detergenter).

Af tabel 5.3 ses det, at der er fundet informationer i litteraturen for alle metallerne (As, Pb, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni og Zn), der indgår i NOVA 2003s måleprogram for spildevand og der udover 11 andre metaller (Sb, Ba, Be, Co, Fe, Mo, Se, Sr, Ag, Th og V), se tabel 5.3 og 5.4. Desuden er der målt for stoffer tilhørende 12 stofgrupper og to sumparametre samt yderligere 9 andre stoffer, der falder udenfor stofgrupperne i NOVA 2003.

Gennemgangen af artikler og rapporter viser, at der på internationalt plan ikke er foretaget mange undersøgelser af regnbetingede udledninger fra fællessystemer, og at der i de fleste undersøgelser kun er målt/analyseret for tungmetaller, primært Pb, Cu og Zn. Omkring halvdelen af referencerne beskæftiger sig udelukkende med metaller. Nogle få referencer omhandler tungmetaller og et par miljøfremmede organiske stoffer, som Shear et al. (1996), der angiver koncentrationer fra tre regnhændelser for olie og total hydrocarbon samt tungmetallerne Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb og Zn.

Næst efter tungmetallerne er de polyaromatiske kulbrinter de mest undersøgte. Der er fundet koncentrationsintervaller for 14 polyaromatiske kulbrinter, se tabel 5.3. Koncentrationerne for de polyaromatiske kulbrinter går fra 0,012 µg/l til 2,38 µg/l, tabel 5.4, hvor den højeste koncentration er målt for phenanthren.

For nogle af stofferne varierer koncentrationsintervallerne meget, f.eks. bly, hvor den laveste koncentration målt er på 0,7 µg/L og den største er på 1280 µg/L, tabel 5.4. Variationerne kan skyldes forskellige forhold; et stort antal af referencer, variationer fra hændelse til hændelse og variationer fra sted til sted.

Tabel 5.4 Miljøfremmede stoffer fundet i udledninger fra fællessystemer. I tabellen angives om et stof indgår i NOVA 2003 (A), om det indgår i NOVA 2003's måleprogram for spildevand (B) eller om det ikke indgår i NOVA 2003 (C). * I NOVA 2003 (DMU, 2000) specificeres, hvilke stoffer tilhørende denne stofgruppe, der indgår i måleprogrammet for spildevand.

Stofgruppe/ Gruppe	Stof/parametre	NOVA 2003	Antal steder	Koncentration µg/L	Referencer
Metaller	Sb	A	5	n.d.-3,87	15
	As	B	7	1,2-16	9,15,23
	Ba	A	5	13,1-99,2	15
	Be	C	5	n.d.	15
	Pb	B	45	0,7-1280	1,2,3,4,5,7,8,9,1 0,11,12,13,14,15, 16,20,21,22,23,2 4,25,26,27
	Cd	B	28	0,00-2.500	2,3,4,9,12,13,15,1 6,20,21,23,24,2 6,27
	Cr	B	18	<0,001-9,97	9,12,13,15,21,23, 26
	Cu	B	42	n.d.-620	3,4,5,9,11,12,13,1 5,16,20,21,22,23 ,24,25,26,27,28
	Co	A	5	n.d.-4,94	15
	Fe	C	5	1.700-10.000	4,5,9,13
	Hg	B	16	<0,0001-0,104	4,9,13,15,21,26
	Mo	A	5	1,5-32,9	15
	Ni	B	26	n.d.- 21,9	4,12,13,15,16,17, 23,26,27,28
	Se	A	5	n.d.-1	15
	Sr	A	1	102-156	23
	Ag	C	5	n.d.-1,7	15
	Th	A	5	n.d.	15
	V	A	5	n.d.-13,6	15
	Zn	B	38	37-2.500	1,2,3,4,7,8,9,13,1 4,15,16,18,20,21, 24,25,26,27

Tabel 5.4 Fortsat.

Stofgruppe/ Gruppe	Stof/parametre	NOVA 2003	Antal steder	Koncentration µg/L	Referencer
Pesticider	Dieldrin	B	1	0,0012	5
	Isophoron	A	1	0,27-0,46	15
	Gamma-Lindan (HCH)	B	1	0,0013	5
Alifatiske aminer	N-nitrosodimethylamin	C	1	1	15
	N-nitrosodiphenylamin	C	2	0,3-0,953	15
Aromatiske kulbrinter	Benzosyre	C	8	0,96-437	15
	Lineære alkylbenzener (LAB)	C	1	0,09-2,3	6
	2-Methylnaphthalen	B	8	0,38-10,2	15
	Naphthalen	B	4	0,42-3,47	15
Phenoler	2,4-Dimethylphenol	A	3	0,28-0,627	15
	2-Methylphenol	A	4	0,24-21,8	15
	4-Methylphenol	A	5	0,25-72,5	15
	4-Nitrophenol	C	5	0,48-2,5	15
	Phenol	B	4	0,14-16,1	15
Halogenerede alifatiske kulbrinter	Trichlormethan (chloroform)	B	3	1,7-5,3	11
Halogenerede aromatiske kulbrinter	1,4-Dichlorbenzen	B	6	0,16-1,31	15
	Pentachlorbenzen	C	1	0,0015	5
	1,2,4-Trichlorbenzen	B	1	0,0012	5
PCB	PCBer	B*	2	0,019-60,064	6,17
Chlorphenoler	4-chlor-3-methylphenol	B	3	0,53-1,27	15
	Pentachlorphenol	B	5	0,24-1,67	15
PAH	PAHer	B*	4	0,0362-9,1	4,17,22,27
	Acenaphthen	B	5	0,098-1,67	15
	Anthracen	B	3	0,11-0,317	5,15
	Benzo(a)anthracen	B	5	0,14-2,306	15
	Benzo(a)pyren	B	8	0,012-0,571	4,5,7,11,15
	Benzo(b)fluoranthren	B	1	0,42-1,05	15
	Benzo(ghi)perylene	B	2	0,11-0,509	5,15
	Benzo(k)fluoranthren	B	1	0,4	15
	Chrysen	B	8	0,055-0,958	11,15
	Fluoranthren	B	5	0,14-1,96	15
	Fluoren	B	4	0,14-1,06	15
	Indeno(1,2,3-c,d)pyren	B	1	0,4-0,492	15
	Phenanthren	B	7	0,14-2,38	5,15
	Pyren	B	5	0,15-1,16	15
Blødgørere	Butylbenzylphthalat (BBP)	B	5	0,23-23,8	15
	Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	B	5	1,48-11,6	15
	Dimethylphthalat	C	5	0,096-0,767	15
	Di-n-octylphthalat (DnOP)	B	5	0,15-3,32	15
	Dibutylphthalat (DBP)	B	5	0,26-17,6	15
	Diethylphthalat (DEP)	B	5	0,26-3,58	15
Dioxiner og furaner	Dibenzofuran	C	2	0,25-0,623	15
Sumpparametre	AOX	B	1	26,4	9
	Total hydrocarboner	C	2	260-120.000	6,26
Andre organiske stoffer	Benzosyre	C	5	0,96-437	15
	Benzyl alkohol	C	5	0,26-16,1	15
	Caffein	C	5	1,63-141	15
	Carbazol	C	1	0,29	15
	Coprostanol	C	5	8,47-114	15
	n-Hexan	C	2	0,0026 – 819.200	1
	Mineral olie	C	1	n.d.	27
	Olie	C	2	2140-32.000	4,26
	Oil and grease	C	1	11.200	12

1) Lee og Bang, 2000; 2) Flores-Rodriguez et al., 1993; 3) Benoist og Lijklema, 1990; 4) Chambers et al., 1997; 5) D'andrea og Maunder, 1993; 6) Eganhouse og Sherblom, 2001; 7) Ellis, 1986; 8) Ellis, 1988; 9) Geiger, 1990; 10) Hahn, 1993; 11) Hall et al., 1998; 12) Hall og Kreutzberger, 1993; 13) Hogland, 1986; 14) House et al., 1993; 15) King County, 2001; 16) Kuribayashi og Nakamura, 1980; 17) Loganathan et al., 1997; 18) Michelbach og Wöhrle, 1993; 19) Moffa, 1994; 20) Mulliss et al., 1997; 21) NWRW, 1991; 22) Pratt et al., 1995; 23) Reemtsma et al., 2000; 24) Schulz et al., 1994; 25) Seidl et al., 1998; 26) Shear et al., 1996; 27) Xanthopoulos og Hahn, 1994; 28) Bingham et al., 1994.

De fleste oplysninger i tabel 5.4 stammer fra den amerikanske undersøgelsen King County (2001). I de resterende 28 referencer er der fundet informationer om tungmetaller samt følgende organiske stoffer/sumparametre: linear alkyl benzener (LAB), PCBer, total hydrocarboner (THC), mineralolie, olie, PAH, benzo(a)pyren, n-hexan, fluoren, chrysen, anthracen, benzo(ghi)perylene, dieldrin, lindan (gamma-HCH), pentachlorbenzen, phenanthren, 1,2,4-trichlorbenzen og AOX. Det skal noteres at der ikke er nogen af de miljøfremmede organiske forbindelser som er målt for på mere end 8 steder totalt.

King County (2001) omhandler en nyere undersøgelse foretaget fra 1996 til 1997 i USA. Området, der blev undersøgt, var en blanding af delområder med industriel udnyttelse, beboelse- og erhvervsområder samt små arealer af udnyttet land. Undersøgelsens formål var at afklare, hvorledes floden Duwamish River, og bugten Elliot Bay blev påvirket af udledninger fra fællessystemer, således at der kunne dannes et grundlag for den fremtidige kontrol af udledninger fra fællessystemerne. Den del af undersøgelsen i King County der beskæftigede sig med udløb fra fællessystemer omfattede 1-6 lokaliteter, hvor der blev analyseret for organiske stoffer og 5, hvor indholdet af metaller blev undersøgt. Der blev analyseret for 139 organiske stoffer og 17 metaller. Referencen indeholder dog kun koncentrationer for 38 miljøfremmede organiske stoffer.

I D'andrea et al. (1993) findes oplysninger om undersøgelser foretaget i USA og Canada. Her er der undersøgt for metaller (Cu, Fe, Pb og Zn), PAH'er (anthracen, benzo(a)pyren, benzo(ghi)perylene og phenantren), pesticider (dieldrin og gamma-Lindan), chlorerede benzener (pentachlorbenzen og 1,2,4-trichlorbenzen) og n-hexan.

I en canadisk undersøgelse (Hall et al., 1998) er der undersøgt for indholdet af Cu, Pb, Zn, benzo(a)pyren, chrysen og trichlormethan i udløbet fra fællessystemer. Der er udtaget prøver i tre typer af områder: Et beboelsesområde, et område med let industri og et område præget af tung industri. I udløbet fra området med tung industri fandtes de højeste koncentrationer, mens der blandt de to første områder ikke var store variationer med undtagelse af trichlormethan. Trichlormethan koncentrationen var størst i området med let industri.

Lognathan et al. (1997) præsenterer resultaterne af en undersøgelse af PCBer i udløb fra fællessystemer i New York. I undersøgelsen er der undersøgt for mere end 30 PCBer, der er dog ingen af disse der er optaget i NOVA 2003s måleprogram over miljøfremmede stoffer. Den totale koncentration af PCBer er på 60,064 µg/l. Koncentrationen af PCBer sammenlignes i Lognathan et al. (1997) med koncentrationen af PCBer fra en fransk undersøgelse, hvor man fandt et koncentrationsinterval på 0,036-2,60 µg/l.

Generelt er der fundet få oplysninger for pesticider. Kun tre pesticider er fundet undersøgt (dieldrin, isophoron og gamma-lindan (HCH)). De laveste koncentrationer er målt for dieldrin og gamma-lindan (HCH), mens der for isophoron er målt koncentrationer fra 0,27-0,46 µg/l, se tabel 5.4. Ligeledes er der kun fundet resultater for to alifatiske aminer (N-nitrosodimethylamin og N-nitrosodiphenylamin), som er målt henholdsvis et og to steder i koncentrationer fra 0,3-1 µg/l, se tabel 5.4.

Målinger for aromatiske kulbrinter, halognerede alifatiske kulbrinter, halognerede aromatiske kulbrinter, chlorphenoler, dioxiner og furaner er også få. Der er kun fundet fire aromatiske kulbrinter i to referencer (King County (2001) og Eganhouse og Sherblom (2001)). Trichlormethan er den eneste halognerede alifatiske kulbrinte der er fundet, og dibenzofuran er ligeledes det eneste stof der er fundet tilhørende gruppen "dioxiner og furaner". I stofgrupperne "halognerede aromatiske kulbrinter" og "chlorphenoler" er der fundet målinger for henholdsvis tre og to stoffer.

Oplysningerne for blødgørerne stammer alle fra den samme reference (King County, 2001). Blødgørerne er fundet i koncentrationer fra ca. 0,1 µg/l til 23,8 µg/l. De to største koncentrationer målt er for butylbenzylphthalat (23,8 µg/l) og dibutylphthalat (17,6 µg/l), men disse er også atypiske sammenlignet med de koncentrationer, der ellers er målt i undersøgelsen King County (2001). Ses der bort fra disse atypiske koncentrationer, vil de maksimale koncentrationer i stedet være på henholdsvis 3,45 µg/l og 5,98 µg/l.

5.3 Biofilm og sedimenter

Afrivning af biofilm og erosion af sediment fra afløbssystemer vil typisk finde sted i forbindelse med regnafstrømning på grund af en forøget forskydningsspænding. De forurenende stoffer, som er knyttet til henholdsvis biofilm og sediment overføres dermed til spildevandsfasen. Stofbidraget herfra bliver således sammen med bidragene fra tørvejrsspildevandsstrømmen og byoverfladerne den ene af de tre hovedkilder til overvandetets stofindhold.

Forekomsten af stoffer i biofilm og sediment vil blive behandlet under ét. Grunden hertil er dels et manglende detailkendskab, men også det faktum, at der i praksis er en glidende overgang mellem hvad der er biofilm og hvad der er sediment. For eksempel vil der på overfladen af et sediment dannes en biofilm, som i procesmæssig henseende fungerer sammen med det underliggende sedimentlag, bl. a. i form af en stofudveksling.

Tilstedeværelse af biofilm og sediment i et afløbssystem afhænger af den aktuelle belastning, men også afløbssystemets udformning spiller en væsentlig rolle. I særlig grad har afløbssystemets udformning betydning for, om en midlertidig eller mere permanent akkumulering af sediment finder sted og i områder med ringe turbulens og dermed lav forskydningsspænding vil en særlig kraftig biofilm kunne udvikles. Endelig spiller de enkelte forurenende stoffers egenskaber i form af mulighed for adsorption til biofilmen og tilknytning til det udsedimenterede stof en central rolle for det samlede indhold af stof. Variabiliteten i belastning, stofegenskaber og afløbssystemkarakteristika medfører derfor en tilsvarende meget stor variabilitet i tilstedeværelsen af forurenende stoffer i såvel biofilm som sediment. På det generelle plan vil der derfor kun være mulighed for at skønne et niveau for dette stofindhold.

Indholdet af miljøfremmede stoffer i biofilm og sediment er ikke alene et resultat af belastningen med spildevand fra oplandet under tørvejr, men mindre regnhændelser, der ikke nødvendigvis giver overløb, vil ligeledes kunne give et tilskud stammende fra byoverfladen. Ikke mindst korte, forholdsvis intensive og volumenmæssigt relativt små hændelser må i denne sammenhæng forventes at kunne give et væsentligt bidrag af forurenende stoffer i sedimentet af et fælleskloakeret afløbssystem.

Ud over vanskeligheden med at skønne selve stofindholdet i biofilm og sediment er der naturligvis et tilsvarende problem i form af fastlæggelse af biofilmens og sedimentets relative betydning for det samlede stofindhold i overvandet. I traditionel beregningsmæssig henseende tillægges overvandet sit stofindhold fra to af de tre hovedkilder, nemlig dels byoverfladen, dels sediment/biofilmen.

Følgende eksempel illustrerer den relative betydning af den afrevne biofilm og det resuspenderede sediment for overvandets stofindhold: For COD som en central parameter for organisk materiale er et typisk indhold i afstrømmet regnvand (primært svarende til bidraget fra byoverfladen) ca. 40 - 50 mg COD/l. Den tilsvarende overvandskoncentration i fællessystemer er på 130 - 160 mgCOD/l, svarende til, at bidraget fra biofilm og sediment typisk er ca. 90 mgCOD/l. Bidraget af COD fra sedimenter og biofilm er dermed større end selve regnafstrømningens bidrag.

Eksemplet er baseret på et skøn og naturligvis ikke generelt, idet de relative bidrag vil variere fra stof til stof afhængig af den primære kilde til stoffet. Imidlertid er det et klart eksempel på biofilmens og sedimentets potentielle betydning for stofindholdet i overvandet. Dette gælder også for miljøfremmede stoffer, hvoraf mange har en væsentlig grad af tilknytning til det organiske, partikulære materiale.

Formålet med afsnittet er, på basis af et udsnit af den internationale litteratur, at give et skønnet niveau for indholdet af forurenende stoffer i biofilm og sediment som ét af enkeltbidragene til overvandets stofindhold. I den udstrækning det er muligt vil der især blive lagt vægt på de miljøfremmede stoffer.

5.3.1 Karakteristika af biofilm i afløbsledninger

Biofilm i afløbsledninger udvikles på alle overflader, som kommer i kontakt med spildevandet. I nogen grad gælder dette også de overflader, som under normal tørvejrdrift forekommer over vandoverfladen, og som udsættes for stænk og høj luftfugtighed. Biofilm i afløbssystemer, der ofte benævnes kloakhud, består hovedsagelig af mikroorganismer, extracellulært polymert stof (EPS) og adsorbere uorganiske og organiske stoffer, som stammer fra spildevandet.

Aerobe biofilm, som under danske forhold typisk udvikles i gravitationsledninger, har en tykkelse på få mm afhængig af de strømningmæssige forhold. Anaerobe biofilm, som normalt udvikles i trykledninger, er generelt tyndere svarende til maksimalt nogle få hundrede μm . Den tynde film i trykledninger udvikles med en ret glat overflade hvorimod biofilmen i en gravitationsledning normalt er dunet. Den aerobe biofilm i gravitationsledninger har derfor en tilsvarende stor overflade med mulighed for adsorption af såvel mindre partikler som opløste forbindelser, herunder både organiske og uorganiske miljøfremmede stoffer.

5.3.2 Karakteristika af sedimenter i afløbsledninger

Tilstedeværelse (akkumulering) af sediment i et afløbssystem er primært bestemt af spildevandets indhold af partikulært materiale og de hydrauliske forhold. Som udgangspunkt bør et afløbssystem være designet til ikke at give en permanent akkumulering af sedimenterbart materiale. Virkeligheden er ofte

anderledes. Især i ledningssystemer i fælleskloakerede systemer vil sediment kunne aflejres under tørvejr for efterfølgende at blive eroderet i forbindelse med regnbegivenheder, når strømningshastigheden og forskydningsspændingen øges.

Crabtree (1989) har foretaget en opdeling af sedimentet, som primært baserer sig på de fysiske egenskaber, men som bliver relevant set i relation til sedimentet som en kilde til overvandetets stofindhold, tabel 5.5. Taksonomien er baseret på fire primære klasser, som suppleres med en femte klasse B, der består af cementeret klasse A materiale. Denne type er ikke særlig almindelig i Danmark og er derfor ikke medtaget i tabel 5.5.

Table 5.5 Taksonomi for sediment i afløbssystemer ifølge Crabtree (1989).

Sedi-ment-klasse	Beskrivelse og typisk forekomst	Våd-vægt $\times 10^3$ g/l	%fordeling, partikelstørrelse (mm) minimum-middelværdi-maximum			Andel or- ganisk stof (%)
			< 0,063	0,063 -2,0	2,0-50	
A	groft, granuleret materiale – alment forekommende	1,72	1-6-30	3-61-87	3-33-90	7
C	mobilt, fingranuleret materiale – zoner med rolige forhold og overlejret klasse A	1,17	29-45-73	5-55-71	0	50
D	biofilm	1,21	17-32-52	1-62-83	1-6-20	61
E	Finkornet, mineralsk og organisk materiale – særligt i bassiner	1,46	1-22-80	1-69-85	4-9-80	22

Som det fremgår af tabel 5.5 er biofilmen medtaget i taksonomien foreslået af Crabtree (1989). Det fremgår endvidere, at organisk stof udgør en varierende og generelt væsentlig del af sedimentet. Klasse A sediment angives at være den dominerende type i fællessystemer. Indholdet af organisk materiale er væsentligt, idet det udgør et medium som adsorbent for en lang række både organiske og uorganiske miljøfremmede stoffer.

5.3.3 Stofindhold i biofilm og sediment fra afløbssystemer

Sammenfattende må forekomsten af miljøfremmede stoffer i biofilm og sediment forventes at være påvirket af især følgende faktorer:

- Belastningen fra oplandet
- Afløbssystemets udformning og dermed afledte muligheder for udvikling af biofilm og deposition af sedimenterbare stoffer
- Specifikke stofkarakteristika for miljøfremmede stoffer – især adsorptionsegenskaber – samt tilsvarende karakteristika for biofilm og sediment
- Processer i biofilm og sediment, herunder omsætning af de organiske miljøfremmede stoffer

Der er gennemført meget få undersøgelser af forekomsten af miljøfremmede stoffer i biofilm og sediment fra afløbssystemer. Den systematik, som ovennævnte fire punkter afspejler, kan generelt ikke genfindes som elementer i de få undersøgelser, som er refereret i litteraturen. De efterfølgende resultater fra litteraturen er derfor ikke nødvendigvis et udtryk for et typisk dansk niveau.

Den følgende oversigt over stofindholdet i sediment er ikke nødvendigvis fuldt dækkende for hvad der internationalt foreligger. Oversigten refererer primært

til undersøgelser, som har været foretaget i UK, Frankrig, Belgien og Tyskland. Så vidt det har været muligt er der valgt resultater fra afløbssystemer, som er sammenlignelige med hvad der kan forekomme i Danmark.

Tabel 5.6 viser en række udvalgte og basale stofparametre for klasse A sediment. Tabellen viser resultater fra en lang række undersøgelser gennemført i UK, Tyskland og Belgien.

Tabel 5.6 Typiske værdier for udvalgte forurenende stoffer knyttet til sediment af klasse A, (Ashley et al., in press).

Parameter (enhed)	Medianværdier	Min. – max.
TS, total tørstof (g/kg)	550 - 800	350 - 820
VS, flygtigt stof (%)	4,5 - 10	1 - 19
COD (g/kg)*	25 - 70	6 - 270
BOD ₅ (g/kg)*	4 - 14	1 - 90
BOD, efter 4 timer (mg/kg)*	400	100 – 700
Organisk N (mg/kg)	800	200 – 1500
Ammoniak (NH ₃ + NH ₄ ⁺)-N (mg/kg)	100	10 - 300

* tørvægt

Crabtree (1986) har fremlagt teorien om at sediment i afløbssystemer er underkastet en “ældningsproces” forårsaget af processer mellem sediment og spildevand. Efterfølgende har Ristenpart (1995b) undersøgt forekomsten af denne ældningsproces udtrykt gennem variabiliteten i stofindholdet i sediment af varierende alder, se tabel 5.7.

Tabel 5.7 Variabilitet af udvalgte parametre i sediment af forskellig alder, (Ristenpart, 1995b).

Parameter (enhed)	Ungt (nyligt sedimenteret)	Middel (resuspenderet fra tid til anden)	Gammelt (konsolideret)
Massefylde (kg/m)	1200	1510	1840
TS, total tørstof (g/kg)	355	705	812
VS, flygtigt stof (% af tørstof)	27,0	8,8	2,4
pH (-)	5,68	7,11	7,66
BOD ₅ (g/kg vådvægt)	31,6	12,5	2,7
COD (g/kg vådvægt)	95,6	55,3	19,0

De forskelle, som fremgår af tabel 5.7, svarer til et forventet forløb af anaerobe, mikrobielle processer i sedimentet. Nyligt sedimenteret sediment har således ikke blot det højeste forureningspotentiale, men har også den laveste forskydningsspænding for erosion. Sådanne sedimenttyper må derfor forventes at udvise den højeste forureningsmæssige belastning i forbindelse med overløb.

Meget få undersøgelser har været gennemført vedrørende indhold af tungmetaller i sediment fra afløbssystemer. Tabel 5.8 gengiver resultater fra to undersøgelser udført i Tyskland, (Brombach et al., 1992; Ristenpart, 1995a).

Tabel 5.8 Tungmetal indhold i sediment fra to afløbssystemer i Tyskland. Hver undersøgelse omfatter 2-3 tilfældige prøver. Indholdet er anført pr. kg tørvægt.

Sted for prøvetagning	* Bad Mergentheim, ikke- fraktionerede prøver (Brombach et al., 1992)	** Hildesheim, fraktion < 0,2 mm (Ristenpart, 1995a)
Bly (mg/kg)	14	173
Kobber (mg/kg)	26	168
Zink (mg/kg)	327	14
Nikkel (mg/kg)	14	26
Cadmium (mg/kg)	0,3	1,8

* opland: beboelse

** opland: blandet beboelse og industri

Resultaterne fra de to undersøgelser som er gengivet i tabel 5.8 er ret forskellige. En lang række forhold kan være medvirkende hertil, herunder forskellige oplandskarakteristika. Den mere finkornede fraktion fra undersøgelsen i Hildesheim vil alt andet lige resultere i et højere indhold af tungmetal end de ikke-fraktionerede prøver fra Bad Mergentheim.

I forlængelse af undersøgelsen gennemført af Brombach et al. (1992) har Michelbach and Whörle (1994) undersøgt og sammenlignet indholdet af zink og totalindholdet af polyaromatiske hydrocarboner (PAH) i biofilm og sediment fra afløbssystemer, se tabel 5.9. Tabellen giver niveauer for dette stofindhold.

Tabel 5.9 Indhold af zink og total PAH i biofilm og sediment fra afløbssystemer, (Michelbach and Whörle, 1994).

Stof	Zink (mg/kg)	Total PAH (mg/kg)
Biofilm	1000 - 3000	7 - 15
Sediment (granuleret klasse A)	200 - 500	2

Som det må forventes har biofilmen det højeste indhold af miljøfremmede stoffer pga et højt indhold af organisk stof og fordi klasse A sediment er forholdsvis groft.

Sørensen og Andersen (1992) undersøgte indholdet af tungmetallerne nikkel (Ni) og chrom (Cr) i biofilm udtaget fra afløbssystemet i en middelstor dansk provinsby. Spildevandet i byen er generelt typisk husspildevand, men på visse ledningsstrækninger forekommer industrispildevand med en potentiel belastning af tungmetaller fra industrier. Tabel 5.10 viser resultatet af undersøgelsen, som omfattede ialt 64 prøvetagninger af biofilm i et bredt udsnit af byens afløbssystem.

Tabel 5.10. Indhold af nikkel og chrom i biofilm fra et afløbssystem. Undersøgelsen omfatter ialt 64 biofilmprøver, (Sørensen og Andersen, 1992).

Stof	Nikkel (mg/kg)	Chrom (mg/kg)
Typisk lavt niveau	10 - 40	30 - 100
Typisk mellemniveau	50 - 200	Et tydeligt mellemniveau forekommer ikke
Niveau observeret på visse strækninger (ialt ca. 12 observationer)	500 - 1500	100 - 300

Som det fremgår af tabel 5.10 er der observeret en væsentlig variation i indholdet af tungmetaller i biofilmen i afløbssystemet. Det høje niveau (max værdier: 3800 mgNi/kg og 1020 mgCr/kg) må forventes at være forårsaget af industribelastninger.

5.3.4 Sammenfatning og vurdering

Sammenfattende kan det konstateres, at information om indholdet af miljøfremmede stoffer i biofilm og sediment fra afløbssystemer er særdeles begrænset, men trods dette kvalitativt værdifuldt. Især er den foreliggende viden om indholdet af organiske miljøfremmede stoffer meget sparsom.

Der er grund til at antage, at indholdet af både tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer i biofilm og sediment i afløbssystemer fra fælleskloakerede oplande er sammenlignelig med – og i visse tilfælde højere end – det tilsvarende indhold i partiklerne fra spildevand og urbane overflader. Denne antagelse er begrundet i følgende:

- De relativt få undersøgelser af indholdet af miljøfremmede stoffer i biofilm og sediment understøtter antagelsen.
- Det organisk partikulære materiale, som forekommer i sediment og – i særlig grad – i biofilm er adsorbent for en lang række organiske og uorganiske miljøfremmede stoffer.
- Det organiske materiale (COD) i biofilm og sediment giver typisk et væsentligt bidrag til overvandets stofindhold.
- Biofilm og sediment belastes løbende med miljøfremmede stoffer fra spildevandet under tørvejrs og med stof fra de urbane overflader under regn – herunder også de mindre hændelser, som ikke giver anledning til overløb.

Det må således skønnes, at både biofilm og sediment – sammenlignet med bidragene fra tørvejrsspildevandsstrømmen og byoverfladerne – er en væsentlig kilde til belastning af recipienter med miljøfremmede stoffer. Især biofilm og mobilt – og dermed nyligt sedimenteret – finkornet materiale må anses for at være en vigtig kilde.

Materialet, som eroderes i afløbssystemet og efterfølgende transporteres i vandfasen og aflastes til en recipient i forbindelse med en regnbegivenhed vil generelt være finkornet. Indholdet af både tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer i denne fraktion må generelt vurderes at være tilsvarende højere end det, der vil blive bestemt i en ikke-fraktioneret prøve.

6 Sammenstilling af resultater

6.1 NPO stoffer

Det fremgår af kapitel 4 og 5, at den tilgængelige viden er meget varierende for de forskellige stoffer, både hvad angår kvalitet og omfang. For NPO-stofferne (bl.a. SS, BI5, COD, N og P) er der gennemført nationale danske måleprogrammer med henblik på at estimere gennemsnitskoncentrationer i overvand (Miljøstyrelsen, 2000c). Der er tale om længerevarende målekampagner, der er godt dokumenteret og hvor prøverne er udtaget flowproportionalt og tørvejsafstrømningen er kendt. Endvidere er målingerne foretaget opstrøms for det første overløbsbygværk.

Disse længerevarende målekampagner er foretaget på i alt 7 oplande, hvoraf 2 (Frejlev og Hasseris) er vurderet atypiske pga. oplandets karakter, afløbssystemets fysiske tilstand og de afvigende måleresultater. Målingerne fra de resterende 5 oplande er bearbejdet statistisk, og der er estimeret typetal for stofkoncentrationer i overvand til brug i forbindelse med rutinemæssig beregning af regnbetingede udledninger fra fællessystemer på lands- og årsbasis samt vurderinger på oplandsniveau. De ovennævnte måleprogrammerne er endvidere blevet suppleret med en del målinger af dårligere kvalitet, der bekræfter, at typetallene er i den rigtige størrelsesorden.

Ved den seneste bearbejdning (Miljøstyrelsen, 2000c) blev det konstateret, at der er en ikke ubetydelig usikkerhed forbundet med at benytte typetal baseret på målinger i 5 oplande ved beregning af den samlede udledning fra de mere end 5.000 overløbsbygværker i Danmark. Det blev desuden påpeget, at stofafstrømningens tidsmæssige forløb i sammenhæng med bassiner og moderne overløbsbygværker kan og vil reducere stofudledningen i forhold til en simpel opblandingsberegning. Flere forfattere har vurderet (f.eks. Christensen og Nielsen, 2001) at stofudledningen fra moderne overløbsbygværker i forbindelse med bassiner overvurderes med en faktor 2-3 i forhold til den faktiske udledning. Selv med den mest optimale information er der altså tale om en væsentlig usikkerhed på de beregnede nationale værdier.

Fra bearbejdningen af NPO-stoffer (kapitel 3) konkluderes det at der ikke er behov for en ændring af typetalskoncentrationerne i forhold til anbefalingen i Miljøprojekt 532 (Miljøstyrelsen, 2000c).

6.2 Metode til skøn af koncentrationsintervaller for andre stoffer

For de stoffer der er omfattet af NOVA 2003 måleprogrammet for spildevand gælder, at der er et dårligere materiale til at beregne typetal end for de traditionelle NPO-stoffer. Der kan være tale om målinger af overløbsvand uden angivelse af tørvejsafstrømning og/eller opblandingsforhold, at prøverne ikke er udtaget optimalt, at der er for få prøver, at afløbssystemet og/eller afstrømningen ikke svarer til danske forhold eller andre forhold der gør at målingerne ikke er helt valide.

Det er dermed ikke muligt at opstille egentlige typetal for stofferne i NOVA 2003s måleprogram for spildevand på det nuværende grundlag. Det er dog stadig centralt at søge at opstille koncentrationsintervaller for stoffernes indhold i udledninger fra fællessystemer, som er så snævre som muligt. På den måde kan man på baggrund af det fulde NOVA 2003s måleprogram for spildevand stadig søge at foretage en vurdering af, hvilke kilder der bør ske indgreb ved, hvis udledningen af et stof er utilfredsstillende stor.

Al information vedrørende fundne koncentrationsintervaller for alle stoffer i NOVA 2003 for overløb fra fællessystemer er sammenstillet i bilag A. Der er tale om tungmetaller og miljøfremmede organiske stoffer, men ikke de traditionelle NPO-stoffer.

Det indsamlede materiale kan opdeles i tre forskellige typer af målinger, afhængigt af kilden af informationer:

- 1) Målinger fra Frejlev opland, dvs. målinger som ikke tidligere er rapporteret i litteraturen.
- 2) Øvrige danske målinger, som tidligere er publiceret i litteraturen. Der er anført intervaller for hhv. overløbsvand/overvand fra fællessystemer, regnafstrømning fra befæstede arealer og spildevand.
- 3) Internationale målinger sammenstillet fra litteraturen. Her er anført intervaller for overløbsvand fra fællessystemer regnafstrømning fra befæstede arealer samt i biofilm og sedimenter.

På denne baggrund forekommer det rimeligt som første trin i en metode for skøn af koncentrationsintervaller, at klassificere forureningsstofferne i forskellige kategorier afhængigt af den tilgængelige information. Derudover skal det pointeres, at nøjagtigheden af en udledningsberegning falder i takt med at informationsgrundlaget falder. Følgende kategorier af forureningskomponenter kan identificeres ud fra datamaterialet, der er præsenteret i bilag A:

Kategori 1: Stoffer eller stofgrupper, for hvilke typetal for overvand kan beregnes ud fra danske målinger i tilløb til overløbsbygværker i overensstemmelse med de etablerede retningslinier.

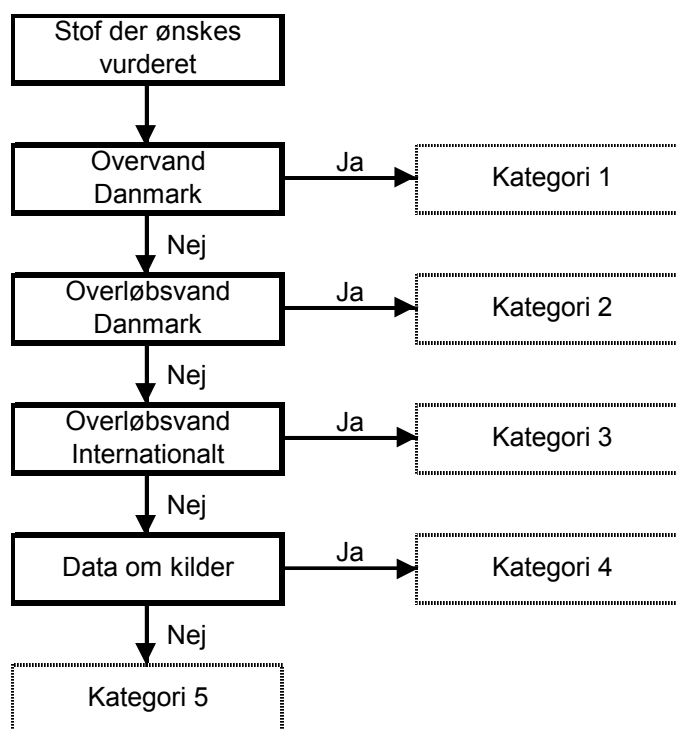
Kategori 2: Stoffer eller stofgrupper, for hvilke typiske koncentrationsintervaller vil kunne skønnes ud fra danske målinger i udledninger fra fælleskloakerede områder (målinger direkte på overløbsvand).

Kategori 3: Stoffer eller stofgrupper, for hvilke typiske koncentrationsintervaller vil kunne skønnes ud fra data, som findes i den åbne internationale litteratur vedrørende koncentrationsniveauer i udledninger fra fælleskloakerede områder (målinger direkte på overløbsvand).

Kategori 4: Stoffer eller stofgrupper, for hvilke typiske koncentrationsintervaller vil kunne skønnes på baggrund af data, som findes i dansk og international litteratur vedrørende koncentrationsniveauer i afstrømmende regnvand, spildevand samt biofilm og sedimenter i kloaksystemer, samt information vedrørende de processer som styrer opblandingsforhold, resuspension etc. i kloaksystemet.

Kategori 5: Stoffer eller stofgrupper, for hvilke koncentrationsintervaller ikke kan skønnes på baggrund af nuværende viden.

Som det fremgår er viden om stoffet mest detaljeret ved kategori 1 og mindst ved kategori 5. Inddelingen i kategori kan fremstilles ved et flowdiagram som vist i figur 6.1.



Figur 6.1 Flowdiagram til bestemmelse af kategori for et stof. Et stof tilhører den kategori med det laveste nummer, hvor den krævede viden på det aktuelle niveau er kendt.

Det er væsentligt at pointere, at ”typetal for overvand” kun kan beregnes for kategori 1 stofferne, idet der kun her foreligger målinger specielt tilrettelagt med henblik på at estimere overvandskoncentrationer. For alle de andre kategorier af stoffer vil koncentrationerne afhænge af opblandingsforholdet mellem regn og spildevand, hvilket potentielt kan medføre store variationer i koncentrationer. Disse variationer vil det kræve omfattende måleprogrammer at etablere et statistisk overblik over.

For kategori 2 stoffer må det komme an på en nærmere analyse at vurdere, om datagrundlaget er godt nok til, at det kan anbefales at skønne typiske koncentrationsintervaller (for overløbsvand), der kan bruges i forbindelse med gennemsnitsbetragtninger ved rutinemæssige udledningsberegninger på landsplan. Tilsvarende gælder for kategori 3 stoffer, hvor der ydermere er knyttet den usikkerhed, at der ikke findes danske målinger.

For kategori 4 stoffer er den eneste farbare vej at skønne koncentrationsintervaller ud fra oplysninger om koncentrationer i de kilder, overløbsvands stofindhold stammer fra (spildevand, regnafstrømning, biofilm og sediment). Disse målte koncentrationer skal videre suppleres

med information vedrørende opblandingsforhold, sedimentation og resuspension, nedbrygning osv. i kloaksystemet.

For stoffer i kategorierne 2, 3 og 4 vil skøn over koncentrationsniveauer også kunne støttes af oplysninger om, hvilke produkter og anvendelser de enkelte stoffer indgår i. Information om de enkelte stoffers fasefordeling, sorptionsegenskaber og nedbrydning i hhv. vand-, biofilm- og sedimentfasen vil være vigtig information. Denne type information er ikke indsamlet i nærværende projekt, og det bør nævnes, at det er en generel erfaring, at det nødvendige datamateriale til sådanne vurderinger kun er tilgængeligt for et fåtal af de miljøfremmede organiske stoffer.

De skønnede intervaller kan dermed, afhængigt af kategorien, benyttes til forskellige typer af beregninger. I tabel 6.1 er angivet, hvilke beregninger man som udgangspunkt kan benytte de forskellige kategorier til. For et stof der tilhører kategori 3 ses det, at man som udgangspunkt kan lave en rimelig vurdering af stofstrømmen af stoffet, mens en beregning af de årlige udledninger fra fællessystemer i absolutte tal vil være meget upræcis. Det vil derimod som udgangspunkt være muligt at foretage en relativ vurdering af kildestyrken af forskellige typer af indgreb, altså at sammenligne bidraget fra fælleskloakerede oplande med det atmosfæriske bidrag og udledninger fra renseanlæg og industrier.

Tabel 6.1 Skønnede mulige beregninger med de forskellige kategorier. Usikkerheden bliver væsentligt mindre når man rykker en søjle til højre. Parenteserne angiver, at sådanne beregninger kan foretages med rimelighed, såfremt den store usikkerhed på resultatet indgår i vurderingen.

	Oplandsniveau		Nationalt niveau	
	Enkelthændelser	Årlig udledning	Årlig udledning	Relativ vurdering af kildestyrke
Kategori 1: DK Overvand	(X)	X	X	X
Kategori 2: DK overløbsvand		(X)	X	X
Kategori 3: Internationalt overløbsvand			(X)	X
Kategori 4: Data om kilder				(X)
Kategori 5: Ingen målinger				

Opdelingen i kategorier er foretaget ud fra et ønske om at kunne foretage de beregninger og vurderinger, som er opstillet i tabel 6.1. I nærværende projekt er der fokuseret på at opstille koncentrationsintervaller, der så vidt som muligt giver udtryk for, hvad man forventer stationsmiddelkoncentrationen i et "almindeligt" opland i Danmark vil ligge inden for. Det bemærkes dog, at litteraturen ikke altid indeholder oplysninger, der gør det muligt at skelne mellem f.eks. variationer fra opland til opland og fra hændelse til hændelse. Det betyder, at koncentrationsintervallerne bliver bredere end ellers.

Selv om et stof formelt set tilhører en kategori kan datagrundlaget vurderes at være for ringe til at der kan opstilles et typisk koncentrationsinterval. Det kan skyldes at fordi antallet målinger er for lille (f.eks. vil enkelte målinger fra Frejlev betyde, at stoffet er klassificeret i kategori 2) eller at det resulterende interval bliver så stort, at det ikke giver nogen information til beregninger på det pågældende beregningsniveau. I det tilfælde kan datamaterialet ikke benyttes til den type af beregning som er skitseret i tabel 6.1. Det er dog valgt at bibeholde klassificeringen i det følgende for at gøre opmærksom på, at der foreligger et vist datamateriale på det pågældende vidensniveau.

6.3 Skønnede intervaller

Stofferne i bilag A er indledningsvist inddelt i kategorier svarende til figur 6.1. Det er kun NPO-stoffer, der kan placeres i kategori 1, hvorfor alle stofferne fra NOVA 2003s måleprogram for spildevand er kategoriseret i kategorierne 2-5. Resultatet af gennemgangen ses i bilag C.

Anvendeligheden af dataene i bilag A i forhold til at kunne skønne koncentrationsintervaller for stofferne i regnvandsbetingede udledninger fra fælleskloakerede områder er vurderet i forhold til følgende kriterier:

1. Kvalitet af datagrundlaget, primært i forhold til antallet af målinger og målesteder samt spredningen på de målte koncentrationer.
2. Danske måledata har fået større vægtning end udenlandske.
3. Der skal være minimum fem målinger i Frejlev-undersøgelsen. Dette skyldes et ønske om et rimeligt omfang af de anvendelige danske data. Detektionsgrænser er brugt som nedre intervalgrænse, hvor ikke andet er fundet.
4. Data fra målinger for stoffer, der er flygtige og hvor der kun er tilstrækkelige data for afstrømmet regnvand til stede, er ikke anvendt.
5. Data for pesticider, der er forbudte i Danmark, og som stammer fra udenlandsk litteratur om regnafstrømning, er skønnet ikke at være anvendelige.
6. Tungmetalbidrag fra sedimenter i kloaksystemer anvendes kun til skøn såfremt de adskiller sig væsentlig fra data for overløb. I denne vurdering er sedimentkoncentrationer (mg/kg tørvægt) omregnet til koncentrationer i vandfasen ($\mu\text{g/L}$), hvortil der er anvendt en suspenderet stofkoncentration på 200 mg/L (Miljøstyrelsen, 2000c). I et tilfælde (Ni) medførte denne omregning, at bidraget fra sedimentet kom med i skønnet for koncentrationsintervallet.

Ud fra ovennævnte kriterier er det ikke muligt at skønne koncentrationsintervaller for alle stofferne i kategorierne 2-4. I nærværende projekt er det som beskrevet ovenfor, valgt at klassificere stofferne efter hvorvidt der overhovedet forefindes data i en bestemt kategori, snarere end at forlange, at data kan benyttes til at lave bestemte typer af beregninger. Dette er gjort for at markere, at der i kategori 2 forefindes danske data, der kan benyttes, såfremt det er nødvendigt i aktuelle situationer, og at der i kategori 3 forefindes målinger i overløbsvand, dog fra udenlandske studier.

De koncentrationsintervaller, der er fremkommet ved at skønne ud fra den indsamlede information i kapitlerne 3-5 og bilag A er angivet i tabel 6.2, der udelukkende indholder kategori 2 stoffer. Årsagen til dette er, at det blev vurderet, at ingen af de stoffer, som er blevet placeret i kategori 3 og 4, opfylder det første kriterie i listen ovenfor. Det er således blevet vurderet, at antallet af målinger var for ringe til, at koncentrationsintervaller vil kunne skønnes for samtlige stoffer i kategori 3 og 4. Dette har medført at der kun er skønnet intervaller for 24 ud af de 146 parametre (ca. 16 %) der er med i NOVA 2003s måleprogram for spildevand.

Tabel 6.2 Skønnede koncentrationsintervaller for overløbsvand for de stoffer, hvor det skønnes muligt at opgives intervaller.

Stofgruppe	Skønnet interval µg/l
Tungmetaller	
Arsen (As)	1,5-15
Bly (Pb)	10-70
Cadmium (Cd)	0,1-1,5
Chrom (Cr)	0,5-40
Kobber (Cu)	4-200
Kviksølv (Hg)	0,05-0,2
Nikkel (Ni)	1-20
Zink (Zn)	100-500
Aromatiske kulbrinter	
Dimethylnaphthalenes	0,1-0,5
1- Metylnaphthalen	0,01-0,1
2-Metylnaphthalen	0,01-10
Naphthalen	0,05-5
Trimethylnaphthalenes	0,1-1
Phenoler	
Nonylphenoler	0,1-5
Polyaromatiske kulbrinter (PAH)	
Acenaphthen	0,01-1
Benzo(a)pyren	0,01-0,5
Benzo(e)pyren	0,01-0,5
Benzo[b+j+k]fluoranthene	0,01-0,5
Fluoren	0,01-1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,02-0,5
Phenanthrene	0,01-0,5
Blødgørere	
Butylbenzylphthalat (BBP)*	0,1-5
Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	1-20
Dibutylphthalat (DBP)*	0,1-10

* Ved vurderingen af intervaller for BBP og DBP er der benyttet de koncentrationer som er angivet i kapitel 5 og ikke intervallerne opgivet i bilag A.

Blandt formålene med etablering af måleprogrammet NOVA 2003 er nævnt muligheden for at lave vurderinger af stoftilførslerne fra forskellige kilder. Til det formål kan man benytte de data der er fundet i litteraturen og i konkrete skøn benytte de værdier, der er angivet i bilag A eller i den originale litteratur.

Det er i den forbindelse vigtigt at bemærke, at intervallerne i bilag A bærer præg af forskellige typer af variationer, primært variation fra hændelse til hændelse, variation fra sted til sted (opland) og variation fra land til land. Ved variationer mellem lande kan også dimensioneringspraksis og forskellig levevis have endog væsentlig betydning for resultatet. Ved benyttelse af data fra bilag A er der dermed ikke nogen garanti for, at de afrapporterede målinger er repræsentative for danske forhold.

Der er opstillet koncentrationsintervaller for 20 stoffer, hvor der ikke før har været nogen anbefalede værdier. For bly, kobber, zink og cadmium blev der etableret anbefalede koncentrationsintervaller i Miljøstyrelsen (1990b). Inden nærværende projekt blev påbegyndt var forventningen, at koncentrationen af bly var faldet fordi brugen af blyholdig benzin er ophørt og at koncentrationen af kobber er steget på grund af introduktionen af asbestfri bremses. Der var ikke nogle forventninger til, at indholdet af de to sidste tungmetaller skulle have ændret sig.

Antagelserne om ændringerne har vist sig at holde stik. Indholdet af bly er skønsmæssigt halveret og koncentrationen af kobber er steget, mens de nye

intervaller for zink og kobber er noget større end de gamle og helt indeholder de hidtil anbefalede værdier.

6.4 Diskussion

Konceptet omkring overvandskoncentrationer opstod ud fra en simpel massebalance for afstrømning fra fællessystemer. I Danmark er konceptet introduceret i dimensioneringspraksis i Spildevandskomitéens Skrift 21 (SVK, 1985) For flere af NPO-stofferne, f.eks. COD, gælder, at overvandskoncentrationen er ca. 3 gange så stor for fællessystemer som for separat afstrømmet regnvand. Den ekstra afstrømning blev tilskrevet resuspension i afløbssystemet.

Det er ikke muligt at lave tilsvarende betragtninger for mange af de stoffer, der er med i NOVA 2003s måleprogram for spildevand. For kobber gælder f.eks., at koncentrationen i overløbsvand er lavere såvel i fællessystemer end i separat afstrømmet regnvand. Da bidraget fra sediment og biofilm pr. definition er nul eller positivt giver massebalancen dermed ikke mening, hvis ikke der tages hensyn til, at kobber bindes til de tunge sediment, der ligger lavt i spildevandsstrømmen og dermed ikke løber over overløbskanten. Dette hensyn er der ikke taget i den traditionelle paradigme for overvand, jf. formel 2.2.

De skønnede intervaller beror derfor delvist på subjektive skøn, ligesom typetallene for NPO-stoffer og udvalgte tungmetaller blev skønnet omkring 1990 (Miljøstyrelsen, 1990a). I eksemplet ovenfor antages det, at kobber bindes hårdt til organisk stof og sediment og dermed transporteres langs bunden i de fraktioner der ikke medtages i prøveudtagningen.

På baggrund af sammenstillingen er det muligt at foretage beregninger af de årlige udledninger på nationalt plan for en række stoffer. Beregningerne skal naturligvis tolkes med en vis forsigtighed, da der er en væsentlig usikkerhed på koncentrationsintervallerne. For konkrete hændelser og oplande kan værdien være endog meget forkert. For hovedparten af stofferne gælder, at usikkerheden i datamaterialet gør, at det ikke er muligt at opstille intervaller, der dækker en generel anvendelse. For disse stoffer gælder, at der er oplyst de data, der er indsamlet som led i projektet. Disse oplysninger kan anvendes i konkrete situationer hvor f.eks. kildestyrker af forskellige typer af udledninger skal vurderes.

Det vil være helt centralt i forbindelse med at opstille koncentrationsintervaller for stoffer i kategori 3 og 4, at der udføres en større analyse af hvor de pågældende stoffer benyttes og dermed hvorfor og i hvilke niveauer de pågældende stoffer optræder i de regnbetingede afstrømninger. Det har ikke været muligt inden for nærværende projekt at foretage denne vurdering. Det er som tidligere nævnt en forudsætning for brug af den metode, at stoffets egenskaber er velkendte, herunder fasefordeling, sorptionsegenskaber og nedbrydningsrater i de forskellige miljøer. Det er dermed ikke tilstrækkeligt at have kendskab til kilderne, idet der hverken nationalt eller internationalt forefindes målinger i såvel regnafstrømning som i spildevand og sediment.

I det eksisterende NOVA 2003 måleprogram for spildevand er antallet af analyseparametre relativt stort, og i praksis så omfattende, at det er en begrænsning for antallet af undersøgelser. En dybtgående kildeopsporing i kombination med viden om stoffernes opførsel (sorption, nedbrydning,

fordampning etc.), en farlighedsidentifikation og de hidtidige målinger vil kunne bidrage til udvælgelsen af de stoffer, som vil kunne udelukkes med henblik på at opnå et reduceret måleprogram.

7 Konklusion

Udgangspunktet for nærværende undersøgelse var at bearbejde danske måledata indsamlet fra fælleskloakerede områder under det nationale overvågningsprogram NOVA 2003. Af de planlagte tre måleoplande har det kun været muligt at benytte data fra det ene opland, hvor der er udtaget prøver fra i alt ni afstrømningshændelser. Datamaterialet har dermed været meget spinkelt og kunne ikke retfærdiggøre den bearbejdning der var lagt op til.

Bearbejdningen af det nærværende datamateriale giver ikke grund til at ændre på de typetalskoncentrationer der er opgivet for overvand for NPO-stoffer i Miljøstyrelsen (2000c), den seneste bearbejdning.

Projektet har dermed fået en drejning således at der har været lagt væsentligt mere vægt på andre undersøgelser, såvel danske som udenlandske. På baggrund af den samlede information er det søgt at opstille koncentrationsintervaller for variationer af gennemsnitlige stofudledninger fra fællessystemer i Danmark.

Det er vurderet, at der er tilstrækkelig information til at opstille koncentrationsintervaller for 24 stoffer i overløbsvand i NOVA 2003s måleprogram. Det drejer sig om alle 8 tungmetaller, 4 aromatiske kulbrinter, nonylphenoler, 7 polyaromatiske hydrocarboner og 3 blødgørere. Dette er en klar forbedring i forhold til hidtil, hvor der kun har været opstillet koncentrationsintervaller for 4 tungmetaller. Der er dog stadig store mangler i datamaterialet før der kan opstilles koncentrationsintervaller for alle 146 parametre. Den indsamlede viden er opstillet så det skulle være muligt at regne på f.eks. worst case scenarier også for en del af de 124 stoffer, hvor der ikke er opstillet koncentrationsintervaller.

En vigtig erkendelse i løbet af projektet er, at det ikke er muligt at opstille simple massebalancer for stofferne. De primære kilder er spildevandet, regnvandets afvaskning af overfladerne og resuspension fra afløbssystemerne. Ved opstilling af en massebalance opstår modstrid i form af negative bidrag for flere af de stoffer, hvor der er viden nok til at opstille en sådan massebalance. Opstilling af sådanne massebalancer kræver væsentlig større viden om stoffernes opførsel med hensyn til f.eks. sorption, fasefordeling, nedbrydning og fordampning. Det samme gør sig gældende for NPO-stofferne, hvor flere undersøgelser har påvist, at der i praksis sker en fraktionering, således at man i moderne bygværker ikke kan regne med ideel opblanding af stof.

Det har vist sig at være vanskeligt at håndtere de mange analyser. Den indsamlede information kan med fordel benyttes til at udvælge de parametre som det er vigtigst at måle på ud fra det nuværende vidensniveau suppleret med viden om stoffernes opførsel og en farlighedsidentifikation.

8 Litteratur

Ashley, R.M., J.-L. Bertrand-Krajewski, T. Hvitved-Jacobsen and M. Verbanck (in press): Solids in sewers, IWA Scientific & Technical Report.

Benoist, A.P. og Lijklema, L (1990): Distribution of sedimentation rates of suspended solids and heavy metals in combined sewer overflows. *Wat. Sci. Tech.*, 22(10711), 61-68.

Bingham, D.R., Breen, C.A., Collins, M., Marx, L (1994): Combined sewer overflow abatement in Boston Harbor. *Civil Engineering Practice*. Spring/summer, 9(1), 83-106.

Brombach, H., S. Michelbach and C. Wöhrle (1992): Sedimentations- und Remobilisierungsvorgänge im Abwasserkanal, Sschlussbericht zum BMFT-Verbundprojekt Niederschlag, Teilprojekt 3, Karlsruhe, Tyskland.

Chambers, P.A., Allard, M., Walker, S.L., Marsalek, J., Lawrence, J., Servos, M., Busnarda, J., Munger, K.S., Adare, K., Jefferson, C., Kent, R.A., Wong, M.P (1997): Impacts of municipal wastewater effluents on canadian waters: a review. *Water Quality Research Journal of Canada*, 32(4), 659-714.

Christensen, M. og M. Nielsen (2001): Bestemmelse af forureningsbelastning fra overløbsbygværker. Afgangprojekt, Institutet for Vand, Jord og Miljøteknik, Aalborg Universitet.

Crabtree, R.W. (1986): The discharge of toxic sulphides from storm sewage overflows – a potential polluting process, WRc report ER 203E.

Crabtree, R.W. (1989): Sediment in sewers, *Journal IWEM*, 3(6), 569-578.

D'andrea, M. og Maunder, D.E. (1993): Characterization of urban nonpoint source discharges in metropolitan Toronto. In: Sixth International Conference on Urban Storm Drainage. Proceedings – Vol. I. Edited by Jiri Marsalek and Harry C. Torno. Niagara Falls, Ontario, Canada sept. 524-530.

DHI/Vejdirektoratet (In press): POLMIT-projektet.

DMU (1997): Analyse af miljøfremmede stoffer i kommunalt spildevand og slam, Faglig Rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser nr. 186.

DMU (2000): NOVA-2003. Programbeskrivelse for det nationale program for overvågning af vandmiljøet i Danmark, 1998-2003. Redegørelse nr. 1, 2000 incl. datablade og bilag.
http://ovs.dmu.dk/2NOVA_2003_ov/ downloaded den 29.08.01.

Eganhouse, R.P. og Sherblom, P.M. (2001): Anthropogenic organic contaminants in the effluent of a combined sewer overflow: impact *Marine Environmental Research* 51, 51-74.

- Ellis, J.B. (1986): Pollutional aspects of urban runoff. In: Urban Runoff Pollution. Edited by Harry C. Torno, Jiri Marsalek and Michel Desbordes. NATO ASI Series Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, Vol. G10:1-38.
- Ellis J.B. (1988): The quality of urban discharges. In: Urban discharges and receiving water quality impacts. Proceedings of a seminar organized by the IAWPRC/IAHR Sub-Committee for Urban Runoff Quality Data, as part of the IAWPRC 14th Biennial Conference, Brighton, U.K. Edited by J.B. Ellis.
- Flores-Rodríguez, J., Bussy, A.-L., og Thévenot, D.R. (1993): Toxic metals in urban runoff: physico-chemical mobility assessment using speciation schemes. Marsalek, J. and Torno, H.C. 6th International Conference on Urban Storm Drainage:182-187.
- Geiger, W.F. (1990): Newdrain. New dimensions in urban drainage. Fifth International Conference on Urban Storm Drainage. Osaka.
- Göettle, A. (1978): Ursachen und mechanismen der regenwasserverschmutzung. Ein beitrag zur modellierung der abflussbeschaffenheit in städtischen gebieten. Institut für Bauingenieurwesen V, TU München. Berichte aus wassergütewirtschaft und gesundheitsingenieurwesen, Nr. 23).
- Hahn, H.H. (1993): Pathways of anthropogenic pollutants within the urban drainage system. In: Sixth International Conference on Urban Storm Drainage. Proceedings – Vol. II. Edited by Jiri Marsalek and Harry C. Torno. Niagara Falls, Ontario, Canada sept. 12-17.
- Hall, K.C og Kreutzberger, W.A. (1993): Receiving water quality bases for evaluating CSO control alternatives. Water resources Planning and Management and Urban Water Resources. Conference, New York, 1993 ASCE. Pp. 770-773.
- Hall, K.J., McCallum, D.W., Lee, K., Macdonald, R. (1998): Characterization and aquatic impacts of combined sewer overflows in greater Vancouver, British Columbia. Wat. Sci. Tech., 38(10), 9-14.
- Henze, M., P. Harremoës, J.I.C. Jansen, og E. Arvin (1990): Spildevandsrensning Biologisk og Kemisk. ISBN 87-502-0709-1. Polyteknisk Forlag, Lyngby.
- Hogland, W. (1986): Rural and urban water budgets. A description and characterization of different parts of the water budgets with special emphasis on combined sewer overflows. Report no. 1006. Lund, Sverige.
- House, M.A., Ellis, J.B., Herricks, E.E., Hvitved-Jacobsen, T., Seager, J., Lijklema, L., Aalderink, H., Clifford, I.T. (1993): Urban drainage - Impacts on receiving water quality. Wat. Sci. Tech., 27(12), 117-158.
- Hvitved-Jacobsen, T. (2001): Indsamling af COD-målinger i Frejlevoplandet i tørvejr. Ikke offentliggjort.
- Jensen, T.F., L.K. Ludvigsen og E.D. Lund (2001): Nedsivning af spildevand i det åbne land – anskuet med grundvandsinteresserne for øje, DANAS Nyhedsbrev nr. 10, pp 8-9.

King County (2001): King County Department of Natural Resources. King County Combined Sewer Overflow Water Quality Assessment for the Duwamish River and Elliott Bay. The Duwamish River and Elliot Bay Water Quality Assessment Team, February 1999. Seattle, Washington. Rapport og resultater downloaded fra: <http://dnr.metrokc.gov/wlr/waterres/wqa/wqrep.htm> og <http://dnr.metrokc.gov/wlr/waterres/wqa/wqdata.htm> den 04.07.01.

Kuribayashi, M. og Nakamura, E. (1980): Challeng combined sewer problems in Japan. Journal of Water Pollution Control Federation, 52(5), 890-898.

Københavns Energi (2001): Grønt renselanlæg i Utterslev Mose. Indkøringsperioden 1998-2000. Københavns Energi, Afløbsafdelingen. September 2001.

Ledin, A., K.P.S. Auffarth, R. Boe-Hansen, E. Eriksson, H.-J. Albrechtsen, A. Baun, P.S. Mikkelsen (2002): Identifikation af potentielt problematiske parametre i regnvand opsamlet fra tage og befæstede arealer. Miljøprojekt for Miljøstyrelsen. Under udarbejdelse.

Lee, J.H. og Bang, K.W. (2000): Characterization of urban stormwater runoff. Wat. Res., 34(6), 1773-1780.

Lehmann, N.K.J., P.E. Holm, L.B. Christensen og K.A. Pihl (2001): Stofspredning fra veje til jord og vand. Vand& Jord. 8. årgang, nr. 3, september 2001, 85-89.

Loganathan, B.G., Irvine, K.N., Kannan, K., Pragatheeswaran, V., Sajwan, K.S. (1997): Babcook Street sewer District: A multimedia Approach to Identify PCB Sources in Combined Sewer Overflows (CSOs) Discharging to the Buffalo River, New York. Archives of Environmental Contamination and toxicology, 33(2), 130-140.

Michelbach, S. and C. Whörle (1994): Settleable solids out of a combined sewer system – settling, behaviour, stormwater treatment and sedimentation rates in rivers, Wat. Sci. Tech., 29(1-2), 95-102.

Michelbach, S. og Wöhrle, C. (1993): Settleable solids out of a combined sewer system – settling behavior, pollution load, stormwater treatment. In: Sixt International Conference on Urban Storm Drainage. Proceedings – Vol. II. Edited by Jiri Marsalek and Harry C. Torno. Niagara Falls, Ontario, Canada sept. 12-17.

Miljøstyrelsen (1981): Regnvandsundersøgelser. Vallensbæk Søerne 1979-1980. Slutrapport. Miljøprojekt nr. 33. Miljøstyrelsen, København.

Miljøstyrelsen (1990a): Bearbejdning af danske måledata af regn og stoftransport. Miljøprojekt 136. Miljøstyrelsen, København.

Miljøstyrelsen (1990b): Bestemmelse af belastningen fra regnvandsbetingede udløb. Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen nr. 4. ISBN 87-503-8710-3. Miljøstyrelsen, København.

Miljøstyrelsen (1994): Miljøfremmede stoffer i renselanlæg. Miljøprojekt nr. 278. Miljøstyrelsen, København.

- Miljøstyrelsen (1995): Måleprogram for phthalater på 3 danske renseanlæg. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 54. Miljøstyrelsen, København.
- Miljøstyrelsen (1996a): Massestrømsanalyser for phthalater. Miljøprojekt nr. 320. Miljøstyrelsen, København.
- Miljøstyrelsen (1996b): Miljøfremmede stoffer i spildevand og slam. Miljøprojekt nr. 325. Miljøstyrelsen, København.
- Miljøstyrelsen (1997a): Miljøfremmede stoffer i husholdningsspildevand – Måleprogram for udvalgte stoffer. Miljøprojekt nr. 357. Miljøstyrelsen, København.
- Miljøstyrelsen (1997b): Miljøfremmede stoffer i overfladeafstrømning fra befæstede arealer. Miljøprojekt nr. 355. Miljøstyrelsen, København.
- Miljøstyrelsen (2000a): Bekendtgørelse om anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål, Miljøstyrelsens bekendtgørelse nr. 49 af 20.01.2000. Miljøstyrelsen, København.
- Miljøstyrelsen (2000b): Punktkilder 1999. Det nationale program for overvågning af vandmiljøet; Fagdatacenterrapport. Orientering fra Miljøstyrelsen, nr. 16. Miljøstyrelsen, København.
- Miljøstyrelsen (2000c): Stofkoncentrationer i regnbetingede udledninger fra fællessystemer. Litteraturstudie, databearbejdning og perspektivering. Miljøprojekt 532. Miljøstyrelsen, København.
- Miljøstyrelsen (2001). Biologiske effekter af toksiske stoffer i regnbetingede udløb. Miljøprojekt nr. 610. Miljøstyrelsen, København.
- Moffa, P.E. (1994): The combined sewer overflow problem: An overview. In: Control and treatment of combined sewer overflows. Edited by Peter E. Moffa. Van Nordstrand Reinhold. New York. Pp. 1-21.
- Mulliss, R., Revitt, D.M. og Shutes, R.B.E. (1997): The impacts of discharges from two combined sewer overflows on the water quality of an urban watercourse. Wat. Sci. Tech., 36(8-9), 195-199.
- Nordjyllands Amt (2001): Afrapportering af det intensive måleprogram for de regnvandsbetingede udløb 2001 - Frejlev oplandet. April 2001. Nordjyllands amt, Aalborg.
- NWRW (1991): Final report of the 1982 – 1989 NWRW research programme. Conclusions and recommendations. National Working Party on Sewerage and Water Quality.
- PH-Consult (1994): Udledninger under regn til vandløb i Aalborg Kommune. Område vest, fase C. PH-Consult, Charlottenlund.
- Pratt, E.J., Irvine, K.N., Marshall, S., Loganathan, B.G., Kumar, S., Sikka, H.C. (1995): Planning level estimates of heavy metals (Pb and Cu), total PCBs and HCB loadings to the Buffalo River, NY from combined sewer overflows. In: James W (ed), Modern Methods for Modeling the Management of

Stormwater Impacts. Computational Hydraulics International, Guelph, Ontario, Canada, pp. 127-149.

Reemtsma, T., Gnirss, R. og Jekel, M. (2000): Infiltration of combined sewer overflow and tertiary treated municipal wastewater: an integrated laboratory and field study on various metals. *Water Environment Research*. 72(6), 644-650.

VKI (1977). Måling af vejvands forurening. Holbækmotorvejen. Rapport af undersøgelse udført for Vejdirektoratets afvandingsgruppe.

Ristenpart, E. (1995a) Feststoffe in der Mischwasserkanalisation – Vorkommen, Bewegung und Verschmutzungspotential, Ph.D. Thesis, University of Hannover, Germany.

Ristenpart, E. (1995b) Sediment properties and their changes in a sewer, *Wat. Sci. Tech.*, 31(7), 77-83.

Schlütter, F. og Schaarup-Jensen, K. (1998): Sediment transport under dry weather conditions in a small sewer system. *Wat. Sci. Tech.*, 37, 1, 155–162

Schulz, W., Brechenmacher, M. og Wirth, H. (1994): Combined sewer overflow from the city area of Munich. *The Science of the Total Environment*. 146/147, 493-498.

Seidl, M., Haung, V. og Mouchel, J.M. (1998): Toxicity of combined sewer overflows on river phytoplankton: the role of heavy metals. *Environmental Pollution*. 101, 107 – 116.

Shear, N.M., Schmidt, C.M., Huntley, S.L., Crawford, D.W., Finley, B.L. (1996): Evaluation of the factors relating combined sewer overflows with sediment contamination of the lower passaic river. *Marine Pollution Bulletin*. 32(3), 288-304.

SVK (1984): Recipientbelastning fra overløbsbygværker. Skrift 21 med bilag. IDA Spildevandskomitéen, København. ISBN 87-88671-01-1

Sørensen, G.Ø. og H.B. Andersen (1992) Tungmetalloptag i biofilm – identifikation af tungmetalkilder i afløbssystemer ved undersøgelse af biofilm, afgangsprøve, Afdeling for Miljøteknik, Aalborg Universitet, pp 98.

Xanthopoulos, C. og Hahn, H.H. (1994): Priority pollutants from urban storm water runoff into the environment. *European Water Pollution Control*. 4(5).

Århus Amt (1992). Undersøgelse af stofindhold og rensning af vejvand - rensning af vejvand i bundfældningsbassin og sandfilter. Rapport. 37 pp. Miljøkontoret, august 1992.

Århus Amt (2001): Miljøfremmede stoffer i Århus Amt 1998-2001 – spildevand, overfladisk afstrømning fra befæstede arealer og atmosfærisk deposition. Teknisk Rapport, Natur- og Miljøkontoret.

Oversigt over koncentrationer af relevante tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer i regnafstrømning fra byområder, jf. NOVA 2003

Nedenfor er samlet al information om de 146 parametre, der indgår i NOVA 2003 for udledninger fra fællessystemer. Der udover indeholder oversigten også parametre som der er målt for i Frejlev (*). Informationen er opdelt efter hvor informationen er opsamlet. Alle enheder er i $\mu\text{g/l}$ med undtagelse af biofilm og sediment (mg/kg tørvægt). Signaturerne nd og d betegner hhv. under detektionsgrænsen og målt tilstedeværelse uden angivelse af koncentrationer (not detected/detected)

Stofgruppe	CAS-nr	Frejlev	Øvrige Danske målinger			Internationale målinger		Biofilm og sediment	Kategori
			Overløb	Regnafstrømning	Spildevand	Overløb	Regnafstrømning		
Tungmetaller		$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	mg/kg tørvægt	
Arsen (As)	7440382	1,7				2-16	0,1-340		2
Bly (Pb)	7439921	9,8	17	16 - 69	20 - 25	0,7-1280	<0,5-2764	14, 173	2
Cadmium (Cd)	7440439	0,2	1 - 1,5	0,17 - 0,89	1 - 2	0,00-2,500	<0,1-700	0,3, 1,8	2
Chrom (Cr)	7440473	3,9	2,6	3 - 19	30 - 40	<0,001-9,97	<0,5-4200	50 - 200	2
Kobber (Cu)	7440508	16	30 - 40	19 - 170	100 - 130	n.d.-620	<0,5-6800	26, 168	2
Kviksølv (Hg)	7439976	0,155	0,05	0,052-0,092	1 - 2	<0,0001-0,104	<0,2-24,0		2
Nikkel (Ni)	7440020	4,3	3	7,0-8,2	30 - 40	n.d.- 21,9	5-580	20 - 1000	2
Zink (Zn)	7440666	205	300 - 500	140 - 280	200 - 500	37-2.500	0-38061	14 - 3000	2
Pesticider		$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	mg/kg tørvægt	
Aldrin	309002	<0,2					0,0006 (aldrien+dieldrin)-6		2
Aminoethylphosphorsyre (AMPA)	1066519	0,23	0,2						2
Chloreddikesyre	79118								5
Dieldrin	60571	<0,3				0,0012	0,00051-2		2
Endrin	72208	<0,1					0,00077-0,05		2
Fluoreddikesyre	144490								5
Glyphosat	1071836	0,23	0,2						2
Isodrin	465736	<0,2					<0,01-<0,1		2
gamma-lindan	60873								5
Alifatiske aminer		$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$	mg/kg tørvægt	
Diethylamin	109897								5
Dimethylamin	124403								5

Stofgruppe	CAS-nr	Frejlev	Øvrige Danske målinger			Internationale målinger		Biofilm og sediment	Kategori
			Overløb	Regnafstrømning	Spildevand	Overløb	Regnafstrømning		
		µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/kg tørvægt	
Aromatiske kulbrinter									
Benzen	71432		<0,2	<0,2-<0,2			0,017-13 d		2
Biphenyl	92524						0,1-0,35		4
Dimethylnaphthalenes	*	0,12		0,096-0,26					2
1,2-dimethylnaphthalen	573988								5
1,3-dimethylnaphthalen	575417								5
1,4-dimethylnaphthalen	571584								5
1,5-dimethylnaphthalen	571619								5
1,6-dimethylnaphthalen	575439								5
1,7-dimethylnaphthalen	575371								5
1,8-dimethylnaphthalen	569415								5
2,3-dimethylnaphthalen	581408								5
2,6-dimethylnaphthalen	581420								5
2,7-dimethylnaphthalen	582161								5
Ethylbenzene	100414		<0,5				<0,2-2		2
Isopropylbenzen	98828								5
1-Methylnaphthalen	90120	<0,05	<1	0,021-0,040			d-9		2
2-Methylnaphthalen	91576	<0,05	<1			0,38-10,2	d-0,95		2
5-tert-butyl-2,4,6-trinitro-m-xylen	81152								5
Naphthalen	91203	<0,05	<0,05	<0,02 - 0,10		0,42-3,47	0,006-49		2
Toluen	108883		<0,2	<0,2-0,12			0,028-9		2
Trimethylnaphthalenes	*	<0,05 - 0,14	<0,5	0,18-0,71			0,57-3,6		2
1,2,3-trimethylnaphthalen	879129								5
1,2,4-trimethylnaphthalen	2717422								5
1,4,5-trimethylnaphthalen	2131411								5
1,4,6-trimethylnaphthalen	2131422								5
1,6,7-trimethylnaphthalen	2245387								5
1,2,5-trimethylnaphthalen	641918								5
2,3,6-trimethylnaphthalen	829265								5
Xylen	1330207			0,16-0,3			<0,2-18		4
Phenoler		µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/kg tørvægt	
Bisphenol A	80057	0,15					<0,01-0,17		2
Nonylphenoler	2515423	0,65	0,9	2,1-3,8	1-100		<0,04-23		2
Nonylphenoethoxylater	9016459	0,3	1						2
Octylphenol	27193288	<0,1							2
Octylphenoethoxylater	9036195								5
Phenol	108952	0,46				0,14-16,1	<0,01-10		2

Stofgruppe	CAS-nr	Frejlev	Øvrige Danske målinger			Internationale målinger		Biofilm og sediment	Kategori
			Overløb	Regnafstrømning	Spildevand	Overløb	Regnafstrømning		
		µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/kg tørvægt	
Halogenerede alifatiske kulbrinter		µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/kg tørvægt	
3-chlorpropen	107051								5
1,2-Dichlorethan	107062						4		4
1,1-Dichlorethylen	75354						1,5-4		4
1,2-dichlorethylen	540590								5
1,2-Trans-dichlorethylen	(540590)*						1-3		4
Dichlormethane	75092						5-14,5		4
1,2-Dichlorpropane	78875						3		4
Hexachlorethan	67721						nd-d		4
Methylchlorid	74873								5
Pentachlorethan	76017								5
1,1,2,2-tetrachlorethane	79345						2-3		4
Tetrachlorethylene	127184		<0,05	<0,05 - 1,2			0,058-25		2
1,1,1-Trichlorethane	71556		<0,05	<0,05			0,025-10		2
1,1,2-Trichlorethane	79005						2-3		4
Trichloroethylene	79016		<0,05	<0,05 - 0,34			0,036-7		2
Trichlormethane (chloroform)	67663		0,04			1,7-5,3	<0,1-12		2
1,1,2-trichlortrifluorethan vinylchlorid (chloroethylen)	76131 75014								5 5
Halogenerede aromatiske kulbrinter		µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/kg tørvægt	
Benzylchlorid (alfa-chlortoluen)	10447								5
Chlorbenzen	108907						<0,05-10		4
1-chlornaphthalen	90131								5
2-chlornaphthalen	91587						nd-0,97		4
1-chlor-2-nitrobenzen	88733								5
1-chlor-3-nitrobenzen	121733								5
1-chlor-4-nitrobenzen	100005								5
4-chlor-2-nitrotoluen	89298								5
2-chlortoluen	95498								5
3-chlortoluen	108418								5
4-chlortoluen	106434								5
2,5-dichloranilin	95829								5
3,4-dichloranilin	95761								5
1,2-dichlorbenzen	95501						nd-0,0390		4
1,3-dichlorbenzen	541731						0,0074-103		4
1,4-Dichlorbenzen	106467			<0,013-<0,02		0,16-1,31	nd-0,0089		3
1,2-dichlor-4-nitrobenzen	99547								5
1,4-dichlor-2-nitrobenzen	89612								5
Hexachlorbenzen (HCB)	118741			<0,013-<0,02		0,000045-0,03	nd 0,00073-0,016		4
1,2,4-trichlorbenzen	120821					0,0012	0,0015-0,02		4
PCB		µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/kg tørvægt	
PCB 28	7012375	<0,01					d		2
PCB 31	15862074	<0,01							2
PCB 52	35693993	<0,01					d		2
PCB 101	37680732	<0,01					d		2
PCB 105	32598144	<0,01							2
PCB 118	31508006	<0,01							2
PCB 138	35065282	<0,01					d		2
PCB 153	35065271	<0,01					d		2
PCB 156	38380084	<0,01							2
PCB 180	35065293	<0,01					d		2
Chlorphenoler		µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/kg tørvægt	
4-chlor-3-methylphenol	59507	<0,05				0,53-1,27	<0,01-1,5		3
2,4-dichlorphenol	120832			<0,01-0,031			0,007-0,040		4
Pentachlorphenol	87865	<0,05		0,031-0,038		0,385	0,044-115		3
2,4,5-trichlorphenol	95954	<0,05							4
2,4,6-trichlorphenol	88062	<0,05		<0,02-0,015			0,011-0,017		4

Stofgruppe	CAS-nr	Frejlev	Øvrige Danske målinger Overløb	Regnaf- strømning	Spildevand	Internationale målinger Overløb	Regnaf- strømning	Biofilm og sediment	Kategori
		µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/kg tørvægt	
Polyaromatiske kulbrinter (PAH)									
Acenaphthen	83329	<0,01	<0,05			0,098-1,67	0,002-0,97		2
Anthracene	120127	<0,01	<0,05			0,11-0,317	<0,0001-147		2
Benzo(a)anthracen	56553	0,03	<0,05			0,14-2,306	0,0003-54		2
Benzo(a)fluoren	238846	<0,01 - <0,02							2
Benzo(a)pyren	50328	0,02	<0,05	0,022 - 0,12		0,012- 0,571	0,00015-300		2
Benzo(e)pyren	192972	0,035					0,001-0,6		2
Benzo(ghi)perylene	191242	<0,035	<0,05	0,028 - 0,37		0,11-0,509	<0,01-710		2
Benzo(b)fluoranthene	205992		0,05			0,42-1,05			2
Benzo(j)fluoranthene	205823								5
Benzo(k)fluoranthene	207089		0,06			0,4	0,0001-61		2
Benzo[b+j+k]fluoranthene		0,05		0,039 - 0,24			<0,01-0,49		2
Chrysen	218019					0,055- 0,958	0,0003-10		3
Chrysen/triphenylen dibenz(a,h)anthracen	218019/217594*	0,05	<0,05				<0,01-83		2
3,6-dimethylphenanthren	53703	<0,01 - <0,02	<0,05						2
Fluoranthene	1576676								5
Fluoren	206440	0,055	0,05	0,045 - 0,51		0,14-1,96	0,009-1958		2
Indeno(1,2,3-cd)pyren	86737	<0,01	<0,05			0,14-1,06	0,001-74		2
2-methylphenanthren	1933995	<0,03	<0,05	0,042 - 0,25		0,4-0,492	<0,01-1080		2
1-methylpyren	2531842	0,01							2
2-methylpyren	2381217	<0,01							5
Phenanthrene	3442782								2
Pyrene	85018	0,05	0,05			0,14-0,379	<0,01-1420		2
Triphenylen	129000	0,06	0,05			0,15-1,16	0,0001-120		2
	217594								5
Phosphor-triester									
Tri-n-butylphosphate	126738						0,03-0,10		4
Trichlorpropylphosphat (TCP)	26248873								5
Tricresylphosphat (uspec.)	1330785						<0,01-<0,2		4
Triphenylphosphate	115866						<0,01-0,5		4
Blødgørere									
Butylbenzylphthalat (BBP)	85687	<0,3		0,12-0,26		0,23-23,8	0,20-130		2
di(2-ethylhexyl)adipate	103231	<0,1		<0,5-0,58			0,04-1,8		2
Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	117817	7,1		7,2-21	30 - 175	1,48-11,6	3,0-44		2
Diisononylphthalat (DNP)	28553120	<0,1							2
Di-n-octylphthalat (DnOP)	117840	<0,1		0,39-0,99		0,815	0,1-2,1		2
Dibutylphthalat (DBP)	84742	0,5		<1,5	<10, 5-50	0,26-17,6	0,19-11		2
Diethylphthalat (DEP)	84662	1				0,26-3,58	0,06-10		2
Anioniske detergenter									
LAS (sum C10-C14-LAS)	42615292	<20	700		3000-6000				2
Kationiske detergenter									
DHTDMAC	61789808								5
DSDMAC	107642								5
DTDMAC	68783788								5
Ether									
Tertbutylmethylether (MTBE)	1634044	0,17	0,05				<5-37		2
Sumpparametre									
AOX		7,75				26,4	1,5-197,2		2
EOX		1,4							2
NVOC		16					4.500-14.000		2

*Højere værdier er fundet ved små renseanlæg

Fremgangsmåde ved litteraturstudie

Undersøgelsen af hvilke stoffer, der udledes med overløb fra de fælleskloakerede områder og afstrømmende regnvand samt i hvilke koncentrationer de optræder, er foretaget ud fra en grundig litteratursøgning.

Søgningen af litteratur er foretaget på fire forskellige måder:

- Gennemgang af referencelister i den kendte litteratur.
- Søgning i Danmarks Tekniske Videnskabscenters artikkeldatabase – *DADS*.
- Søgning i litteraturdatabaserne *Cambridge Scientific Abstracts Internet Database Service*.
- Søgning på Internettet (diverse hjemmesider f.eks. US-EPA, Miljøstyrelsen, Naturvårdsverket, Vejdirektoratet, Trafiksikkerhetsverket)

Ved en gennemgang af referencelister af allerede kendt litteratur er der fundet henvisninger til artikler, rapporter mm. der indeholder relevante oplysninger. Litteraturen er fundet og dennes referenceliste er ligeledes gennemgået. Det er en lidt utraditionel måde at finde litteratur på, men den giver en god ide om hvilke søge ord, der er gode at anvende til søgningen af litteratur i forskellige databaser. Mange artikler indeholder "keywords" som med fordel kan anvendes til en søgning i litteraturdatabaser.

Gennem DTVs database er der adgang til artikkeldatabasen "DTV Article Database Service – DADS". Denne database indeholder omkring 15.000.000 dokumenter (i september 2000). De tidligste artikler i artikkeldatabasen stammer fra 1980.

1.1 Søgeord for Regnafstrømning

For "Regnafstrømning" er der anvendt følgende søgeord:

Agricultural runoff, airport runoff, analysis, assessment, bacteria?, characterisation, characteristics, collected rainwater, commercial runoff, contamination, decay, dioxine, drainage, freeway runoff, growth, heavy metals, highway runoff, highway stormwater, impact, industrial runoff, infectio?, microbiol?, motorway runoff, PAH, parking lot runoff, parking place runoff, parking space runoff, particles, pathogen? pavement runoff, pesticides, pollution, processes, protozo?, quality, rain quality, rainwater runoff, residential area runoff, road runoff, roof runoff, roof surfaces, run off, runoff, run-off, storm drainage, storm runoff, stormwater regulation, stormwater, street runoff, street surfaces, surface runoff, survival, suspended solids, toxicity, trace compounds, trace metals, trace pollutants, urban catchment, urban runoff, urban snowmelt, urban wet weather discharges, water shed, wet weather events.

Derudover er der søgt på en række danske, svenske og tyske keywords, nemlig:

Afstrømning, opsamlet regnvand, vejvand, dagvatten, vågdagvatten, abfluss, dachabflüssen, dachflächen

1.2 Søgeord for udledning fra fællessystemer

For "Udledning til fællessystemer" er der anvendt følgende søgeord:

Urban*, Urban runoff*, Urban runoff pollution*, Urban storm*, Urban stormwater quality*, Combined sewer, Combined, Stormwater and combined and overflow, First flush and storm, Stormwater overflow*, Storm water overflow*

Selv om søgeord, der er markeret med "*" ikke specifikt refererede til udledninger fra fælleskloakerede områder, så kunne artikler m.m. fundet ved hjælp af disse indeholde relevante oplysninger, som koncentrationen af stoffer i overvand i CSO eller henvisninger til anden litteratur.

Via DTVs hjemmeside er det muligt at søge i *Cambridge Scientific Abstract Internet Database Service*. Der er foretaget to søgninger for "Udledninger til fællessystemer" i denne ved hjælp af følgende kombinationer:

1. søgning:

Artikler fra 1980 – 2001 er søgt

A: Combined sewer overflow

B: Pollutant

C: Heavy metal

D: Organic micropollutant

E: PAH

F: Concentrations

"A" blev kombineret med hhv. B, C,D,E &.F.

2. søgning:

Artikler fra 1980 – 2001 er søgt.

A: Stormwater overflow

B: Storm water overflow

C: Combined sewer

D: Combined sewer overflow

E: Quality

F: Water

DEF

Via Internettet er der fundet en amerikanske undersøgelse "King County Combined Sewer Overflow".

Kategorisering af stoffer og skønnede koncentrationsintervaller

Stoffer placeret i kategori 2.

Stofgruppe	Skønnet interval µg/l
Tungmetaller	
Arsen (As)	1,5-15
Bly (Pb)	10-70
Cadmium (Cd)	0,1-1,5
Chrom (Cr)	0,5-40
Kobber (Cu)	4-200
Kviksølv (Hg)	0,05-0,2
Nikkel (Ni)	1-20
Zink (Zn)	100-500
Pesticider	
Aldrin	-
Aminoethylphosphonsyre (AMPA)	-
Dieldrin	-
Endrin	-
Glyphosat	-
Isodrin	-
Aromatiske kulbrinter	
Benzen	-
Dimethylnaphthalenes	0,1-0,5
Ethylbenzene	-
1- Methylnaphthalen	0,01-0,1
2-Methylnaphthalen	0,01-10
Naphthalen	0,05-5
Toluen	-
Trimethylnaphthalenes	0,1-1
Phenoler	
Bisphenol A	-
Nonylphenoler	0,1-5
Nonylphenoethoxylater	-
Octylphenol	-
Phenol	-
Halogenerede alifatiske kulbrinter	
Tetrachlorethylene	-
1,1,1-Trichlorethane	-
Trichloroethylene	-
Trichlormethane (chloroform)	-
PCB	
PCB 28	-
PCB 31	-
PCB 52	-
PCB 101	-
PCB 105	-
PCB 118	-
PCB 138	-
PCB 153	-

Stofgruppe	Skønnet interval µg/l
PCB 156	-
PCB 180	-
Polyaromatiske kulbrinter (PAH)	
Acenaphthen	0,01-1
Anthracene	-
Benzo(a)anthracen	-
Benzo(a)fluoren	-
Benzo(a)pyren	0,01-0,5
Benzo(e)pyren	0,01-0,5
Benzo(ghi)perylen	-
Benzo(b)fluoranthren	-
Benzo(k)fluoranthren	-
Benzo[b+j+k]fluoranthrene	0,01-0,5
Chrysen/triphenylen	-
dibenz(a,h)anthracen	-
Fluoranthren	-
Fluoren	0,01-1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,02-0,5
2-methylphenanthren	-
1-methylpyren	-
Phenanthrene	0,01-0,5
Pyrene	-
Blødgørere	
Butylbenzylphthalat (BBP)	0,1-5
di(2-ethylhexyl)adipate	-
Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	1-20
Diisononylphthalat (DNP)	-
Di-n-octylphthalat (DnOP)	-
Dibutylphthalat (DBP)	0,1-10
Diethylphthalat (DEP)	-
Anioniske detergenter	
LAS (sum C10-C14-LAS)	-
Ether	
Tertbutylmethylether (MTBE)	-
Sumparametre	
AOX	-
EOX	-
NVOC	-

Stoffer placeret i kategori 3.

Stofgruppe

Halogenerede aromatiske kulbrinter

1,4-Dichlorbenzen
1,2,4-trichlorbenzen

Chlorphenoler

4-chlor-3-methylphenol
Pentachlorphenol

Polyaromatiske kulbrinter (PAH)

Chrysen

Stoffer placeret i kategori 4.

Stofgruppe

Aromatiske kulbrinter

Biphenyl
Xylen

Halogenerede alifatisk kulbrinter

1,2-Dichlorethan
1,1-Dichlorethylen
1,2-Trans-dichlorethylen
Dichlormethane
1,2-Dichlorpropane
Hexachlorethan
1,1,2,2-tetrachlorethane
1,1,2-Trichlorethane

Halogenerede aromatiske kulbrinter

Chlorbenzen
2-chloronaphthalen
1,2-dichlorbenzen
1,3-dichlorbenzen
Hexachlorbenzen (HCB)

Chlorphenoler

2,4-dichlorphenol
2,4,5-trichlorphenol
2,4,6-trichlorphenol

Phosphor-triestere

Tri-n-butylphosphate
Tricresylphosphat (uspec.)
Triphenylphosphate

Stoffer placeret i kategori 5.

Stofgruppe	Stofgruppe
Pesticider	1,2-dichlorethylen
Chloreddikesyre	Methylchlorid
Fluoreddikesyre	Pentachlorethan
Gamma-lindan	1,1,2-trichlortrifluorethan
Alifatiske aminer	vinylchlorid (chlorethylen)
Diethylamin	Halogenerede aromatiske kulbrinter
Dimethylamin	Benzychlorid (alfa-chlortoluen)
Aromatiske kulbrinter	1-chlornaphthalen
1,2-dimethylnaphthalen	1-chlor-2-nitrobenzen
1,3-dimethylnaphthalen	1-chlor-3-nitrobenzen
1,4-dimethylnaphthalen	1-chlor-4-nitrobenzen
1,5-dimethylnaphthalen	4-chlor-2-nitrotoluen
1,6-dimethylnaphthalen	2-chlortoluen
1,7-dimethylnaphthalen	3-chlortoluen
1,8-dimethylnaphthalen	4-chlortoluen
2,3-dimethylnaphthalen	2,5-dichloranilin
2,6-dimethylnaphthalen	3,4-dichloranilin
2,7-dimethylnaphthalen	1,2-dichlor-4-nitrobenzen
Isopropylbenzen	1,4-dichlor-2-nitrobenzen
5-tert-butyl-2,4,6-trinitro-m-xylen	Polyaromatiske kulbrinter (PAH)
1,2,3-trimethylnaphthalen	Benzo(j)fluoranthren
1,2,4-trimethylnaphthalen	3,6-dimethylphenanthren
1,4,5-trimethylnaphthalen	2-methylpyren
1,4,6-trimethylnaphthalen	Triphenylen
1,6,7-trimethylnaphthalen	Phosphor-triester
1,2,5-trimethylnaphthalen	Trichlorpropylphosphat (TCPP)
2,3,6-trimethylnaphthalen	Kationiske detergenter
Phenoler	DHTDMAC
Octylphenoethoxylater	DSDMAC
Halogenerede alifatiske kulbrinter	DTDMAC
3-chlorpropen	