

Vurdering af miljøeffekterne af regnvandsbetingede udledninger til vandløb

Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 16. december 2015

Forfatter: Peter Wiberg-Larsen

Institut for Bioscience, AU

Rekvirent:
Odense Kommune
Antal sider: 17

Faglig kommentering:
Jes Jessen Rasmussen
Kvalitetssikring, centret:
Poul Nordemann Jensen



**AARHUS
UNIVERSITET**

DCE - NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Tel.: +45 8715 0000
E-mail: dce@au.dk
<http://dce.au.dk>

Indhold

1	Baggrund	3
2	Biologiske effekter af regnvandsbetingede udledninger	5
2.1	Målsætninger	5
2.2	Relation mellem målsætninger for biologiske kvalitetslementer/habitatarter og disses miljøkrav	6
2.3	Pulsagtige udledninger	6
2.4	Ammoniak	7
2.5	Ilt	10
2.6	Beregning af kritiske værdier for ammoniak og ilt	12
3	Anbefalinger	15
4	Referencer	17

1 Baggrund

Dette notat er udarbejdet efter anmodning fra Odense Kommune, som led i kommunens samarbejde med VandCenter Syd om tiltag overfor regnvandsbetingede udløb mv. Sidst nævnte er forsyningsvirksomhed i Odense og Nordfyns kommuner, og har ansvaret for anlæg der udleder spildevand og overløbsvand primært til Odense Å og Stavids Å systemerne.

VandCenter Syd afholdt 3. september 2015 en workshop med titlen: "Vandløbskrav til brug for WEST-modellen". Formålet var at få et bedre overblik over, hvordan specielt de regnvandsbetingede udløb påvirker vandkvaliteten i vandløbene, dels ud fra beregningsmodeller, dels ud fra aktuelle målinger. VandCenter Syd er i gang med at opstille en samlet beregningsmodel, den såkaldte WEST-model for kloaksystemer, renseanlæg og vandløb i Odense Kommune. Beregningsmodellen skal bl.a. bruges til at vurdere, hvordan der kan opnås "mest miljø for pengene" i forhold til at forbedre forholdene i vandløbene. Skal der fx gøres en særlig indsats i forhold til specifikke overløb fra kloaksystemer, eller er der mere behov for at fokusere indsatsen på renseanlæggene? Formålet med workshoppen var endvidere at få en drøftelse af, hvilke krav til vandkvaliteten, der kan indgå i beregningsmodellen. I denne forbindelse overvejes det at anvende de såkaldte UPM standarder, som er udviklet i den engelske miljøstyrelse (Environment Agency) til vurdering af spildevandssystemers påvirkning af vandløbskvaliteten under regn.

Den nuværende regulering af de regnvandsbetingede udledninger i Odense Kommune beror dels på en række udledningstilladelser fra det tidligere Fyns Amt, dels på retningslinje 7 i Vandplan 2009-2015 (Naturstyrelsen 2011/2014). Der er herved fastsat et max. antal overløb (10-15) pr. år på specifikke udløb (Fyns Amts udledningstilladelser) eller en generel max. udledningsmængde pr. ha opland, som jf. Vandplanen bør følges på de i vandplanen udpegede overløb. Sidstnævnte indebærer en opstramning af amtets krav.

I og med at kravene i vandplanen er meget generelle – overlades det reelt til kommunerne at fastsætte mere specifikke og realistiske krav til regnvandsudledningerne. Dette kræver en detaljeret viden om omfanget af overløb (antal, varighed m.v.), indholdet af forurenende stoffer i overløbene, og "effekten" i recipienterne, herunder tålegrænser for relevante vandløbsorganismer (se senere).

Beregningsmodellen WEST, som allerede anvendes i Holland og England, anvender UPM standarder til at vurdere relevante parametres biologiske effekter i vandløbene. Denne beregningsmodel ønskes anvendt, således at der kan foretages den økonomisk mest effektive indsats for at nedbringe belastningen med forurenende stoffer af Odense Kommunes vandløb. Odense Kommune håber, at modellen kan være en hjælp til at udpege, hvilke konkrete indsatser der skal gennemføres for at sikre god tilstand og målopfyldelse i vandløbene jf. vandplanen, og dermed også give input til, hvilke indsatser der fremadrettet skal indarbejdes i spildevandsplaner og udledningstilladelser. Modellen blev præsenteret under den afholdte workshop.

I det følgende gennemgås principperne i den nævnte beregningsmodel med særligt fokus på de biologiske effekter af regnvandsbetingede udledninger.

Der er herved taget udgangspunkt i et indlæg, som dette notats forfatter holdt under workshoppen.

2 Biologiske effekter af regnvandsbetingede udledninger

2.1 Målsætninger

Vandløbene skal ifølge EU's Vandrammedirektiv som udgangspunkt opnå mindst god økologisk tilstand, ligesom den nuværende tilstand ikke må forringes. Den økologiske tilstand (udmøntet i Miljømålsloven) vurderes primært ud fra såkaldt biologiske kvalitetselementer, som i udkast til Vandområdeplan 2015-21 omfatter makroinvertebrater (Dansk Vandløbsfauna Indeks, DVFI), fisk (Dansk Fiskeindeks for Vandløb, DFFVa & DFFVø) og planter (Dansk Vandløbsplante Indeks (DVPI). Senere vil også bundlevende kiselalger blive tilføjet som kvalitetselement. Selvom der i vandplan 2009-15 kun er anvendt et kvalitetselement (DVFI) er det nødvendigt for kommunen også at tage de øvrige kvalitetselementer i regning, før der investeres betydelige beløb i at reducere belastningen fra regnvandsbetingede udløb. De biologiske kvalitetselementer understøttes derudover af en række fysisk-kemiske (se tabel 2.1) og hydromorfologiske kvalitetselementer (vandføring, afstrømningsmønster, kontinuitet, og variation i dybde, bredde, bund og bredzone). Der kan konkret henvises til figur 2.1, som angiver hvilke krav til fysisk-kemiske parametre, der ifølge vandplan 2009-2015 forventes at skulle være opfyldt for at opnå god økologisk tilstand i forhold til DVFI.

Variabel	Vejledende kravværdier for vandløbsvand		
	Høj	God	Moderat (God for Blødbunds vandløb)
Økologisk tilstand:			
Total NHx-N (mg/l)** (ved 20 0C og pH 7,5-8,0)*	≤ 1*	≤ 1*	≤ 1*
Fri NH3-N (mg/l) *	≤ 0,025*	≤ 0,025*	≤ 0,025*
B15 (mg/l)	< 1,4	< 1,8	< 2,5
Opløst jern (Fe 2+) (mg/l)	< 0,2	< 0,2	< 0,5
Ilt (mg/l) 50 % af tiden	≥ 9*	≥ 7 - 9*	≥ 7*
Ilt (mg/l) døgnminimum	≥ 6*	≥ 4 - 6*	≥ 4*
Ilt (%)	> 70 % (jan-april 80 %)	> 70 % (jan-april 80 %)	> 50 %
pH *)	6-9*	6-9*	6-9*
Temperatur (0C): *)			
sommer	≤ 21,5*	≤ 21,5 - 28*	≤ 25 (28)*
vinter	≤ 10*	≤ 10*	≤ 10*
Max temp. ændring ved udledning (0C)	1	1 (1,5 - 3) *	3*
Total restchlor (mg/l HOCl)		≤ 0,005*	≤ 0,005*

Figur 2.1. Oversigt over fysisk-kemiske parametre til støtte for de biologiske kvalitetselementer (tabel fra: Naturstyrelsen 2011/2014, bilag 7, p. 261). *) angiver at grænseværdien er baseret på EU's fiskevandsdirektiv (dog ikke længere gældende).

Ud over Vandrammedirektivets krav, som naturligvis er relevante for vandløbene i Odense Kommune, er disse også levested for en række arter på Habitatdirektivets bilag II og naturtyper på direktivets bilag I. Disse arter og naturtyper skal bevares eller opnå gunstig bevaringsstatus på nationalt plan, og om muligt også på lokalt plan. I Odense Kommune? er der konkret tale om arterne tykskallet malermusling, bæklampret, havlampret og pigsmerring, samt vandløbsnaturtypen "vandløb med vandplanter" (type 3260) og muligvis også "tidvist blotlagte mudderflader med én-årige urter" (type 3270) i det omfang den forekommer i kommunens vandløb.

2.2 Relation mellem målsætninger for biologiske kvalitets-elementer/habitatarter og disses miljøkrav

De tre omtalte kvalitetselementer samt bilag II arterne er afhængig af de fysiske og kemiske forhold i vandløbene, herunder forhold som påvirkes via menneskets aktiviteter.

Planterne (DVPI) i de mellemstore og store vandløb er især påvirket af forstyrrelser i form af grødeskæring eller opgravning af vandløbsbunden, men også i et vist omfang af vandets indhold af opløst fosfor (det generelle niveau). I mindre vandløb synes især de fysiske forhold at have betydning.

For makroinvertebraterne (DVFI) og fiskene (DFFV_{a/o}) spiller muligheden for frit at vandre til og fra gyde- og opvækstpladser, de fysiske forhold (levesteder, skjul), samt ilt og temperatur en stor rolle. Og for makroinvertebraterne er der påvist en god sammenhæng mellem forekomsten af en række arter og vandets indhold af let omsætteligt organisk stof (målt som BI₅, der i et vist omfang er koblet til iltindholdet, fordi omsætningen af de organiske stoffer sker under forbrug af ilt). Andre faktorer spiller også en rolle for både makroinvertebrater og fisk. Det kan fx være forekomsten af toksisk virkende stoffer som ammoniak (via udledninger af spildevand), ferro-jern (i forbindelse med dræning af jernrige jorder), pesticider (primært insekticider udledt fra dyrkede arealer og væksthuse, og som har særlig effekt på krebsdyr og vandinsekter; der kan også være direkte og indirekte effekter af fungicider).

2.3 Pulsagtige udledninger

Regnvandsbetingede udledninger forekommer i forbindelse med nedbør, hvor kloaksystemerne eller renseanlæggene overbelastes, og overløb derfor aktiveres. Ligeledes vil der forekomme udledninger via de separate regnvandssystemer. Der vil derfor i sagens natur være tale om midlertidige, pulsagtige udledninger, hvor koncentrationen af de udledte stoffer i recipienten vil være høj over relativt korte tidsrum.

Udledningerne – specielt udledningerne i forbindelse med fælleskloakerede systemer - har forskellige effekter i vandløbene:

- Indholdet af opløst ilt reduceres pga. nedbrydning af (1) det udledte BI₅ i vandfasen samt den del som bindes til sediment og andre faste overflader, (2) ophvirvling af sediment rigt på organisk stof, og (3) generelt lavt iltindhold i det udledte spildevand. Ilt er en nødvendig forudsætning for mange organismer, og specielt mange makroinvertebrater og fisk har særlig høje krav til iltindholdet. Det gælder ikke mindst de makroinvertebrater, som også kræver gode strømforhold, og som derfor er afhængig af en hurtig vandfornyelse – og dermed ilttilførsel – hen over deres kropsoverflade.
- Indholdet af ammonium, bakterier, COD, suspenderet stof, tungmetaller mv. øges hurtigt. Det betyder, at stoffer som fx ammoniak kan opnå en toksisk virkning på organismene.
- Vandføringen vil øges – ofte dramatisk – hvilket betyder en større hydraulisk påvirkning (stress) på organismene, som risikerer at blive revet løs og transporteret bort.
- Hvor store påvirkningerne af udledningerne bliver, afhænger af (1) fortyndingen i vandløbene, (2) vandløbenes hældning, fysiske form og interne strukturer, (3) basale vandkemiske forhold (fx temperatur og pH),

samt (4) de tilstede værende organismers biologiske egenskaber og samspillet mellem organismerne.

Der er således tale om meget komplicerede forhold. I tabel 2.1 er det imidlertid forsøgt at kvantificere de enkelte påvirkninger relativt i forhold til makroinvertebrater, fisk og planter.

Tabel 2.1. Oversigt over den relative betydning af forskellige fysisk-kemiske parametre tilknyttet regnvandsbetingede udledninger for de biologiske kvalitetselementer samt arter/naturtyper. Jo flere +’er des større betydning.

Type af påvirkning	Planter	Makroinvertebrater	Fisk
Hydraulisk påvirkning	+	+	+
Temperatur	(+)	(+)	(+)
Ilt	(+)	+++	+++
BI ₅		++	++
NH ₃ -N		++	+++
PO ₄ -P	+		
MFS og tungmetaller		+	+

Det fremgår, at de vigtigste faktorer i forhold til udledningerne vurderes at være ilt (og indirekte BI₅) og ammoniak, som primært berører makroinvertebrater og fisk. Det er derfor meningsfuldt alene at fokusere på disse stoffer og organismer.

Det kræver viden om, hvordan organismerne (makroinvertebrater og fisk) reagerer og påvirkes under de pulsbettede scenarier, herunder om de er i stand til at undslippe de kritisk høje værdier, eller komme sig når koncentrationerne efterfølgende bliver mere normale. Ligeledes er det afgørende at kende effekten af hyppigheden af de kritiske situationer, altså hvor mange kritiske overløb organismerne kan tåle for at kunne opretholde deres forekomst inden for de berørte vandløbsstrækninger. Det betyder, at generelle krav til koncentrationerne af fysisk-kemiske parametre (fx ilt og ammoniak), således som de er formuleret i Vandplan 2009-2015, måske nok yder en beskyttelse med en ret stor sikkerhedsmargin set over længere perioder (om end der for ilt opereres med størrelser som døgnminimum og minimum værdier for 50% af tiden), men ikke er særlig realistiske i forhold til korttidspåvirkninger (se figur 2.1). Det er derfor mere logisk at se på sammenhænge mellem de koncentrationer organismerne ikke kan tolerere og længden af perioderne, hvor disse kritiske koncentrationer forekommer, samt hvor mange kritiske pulser der skal til for at eliminere de mest følsomme organismer permanent.

Der er som det fremgår tale om yderst komplicerede scenarier, ikke mindst fordi der er mange forskellige organismer i spil. Her kan manglen på tilgængelige og sammenlignelige effektstudier være en begrænsning, hvorfor det er vigtigt at sammenstille al tilgængelig viden. Heldigvis foreligger der en yderst kompetent og omfattende rapport, der specifikt fokuserer på effekten af regnvandsbetingede udledninger set i en Vandrammedirektiv kontekst (Crabtree et al. 2012). Der vil i det følgende primært blive refereret til denne, fordi det muligvis er den, der p.t. administreres efter i U.K., idet der samtidig foretages en vurdering af denne rapportes konklusioner, herunder forslag til grænseværdier.

2.4 Ammoniak

Ammonium (total ammonium) optræder som en ligevægt mellem "fri", uioniseret ammoniak (NH₃) og ammonium-ionen (NH₄⁺). Ligevægten afhænger dels af temperaturen, dels af pH: jo højere temperatur og pH, des mere

total ammonium forekommer som ammoniak. Dette er vigtigt at have for øje, idet ammoniak er den mest toksisk virkende bestanddel. Ved relativt lave koncentrationer virker ammoniak på organismernes adfærd og fysiologi, og nogle arter af krebsdyr og fisk udviser undvigelsesadfærd. Ved stigende koncentrationer indtræder lammelser og i sidste ende død.

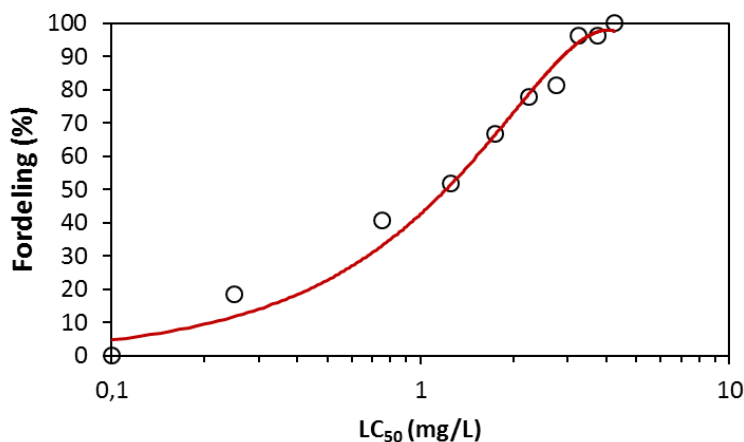
I vandløbene på Fyn - og i Odense Kommune - forekommer der pH-værdier i intervallet 7,6-8,2 (Wiberg-Larsen m.fl. 2012), ligesom vandtemperaturen sjældent overstiger ca. 18 °C. Det betyder, at andelen af ammoniak højst vil udgøre ca. 2% af indholdet af total-ammonium.

Niveauet for total-ammonium i 61 fynske NOVANA vandløbsstationer er relativt lavt med en variation i middelværdi på 0,009-1,0 mg/L (Wiberg-Larsen m.fl. 2012). Ser man på hele datasættet af enkeltmålinger, kan der beregnes følgende statistik, hvor total-ammonium er omregnet til ammoniak ud fra en forudsætning om, at sidst nævnte udgør 2% af først nævnte (alle værdier i mg/L):

	Median	Middel	95%	99%	Maks.	Antal målinger
NH ₄ ⁺ -N	0,06	0,08	0,19	0,44	2,0	1932
NH ₃ -N	0,001	0,002	0,004	0,009	0,04	1932

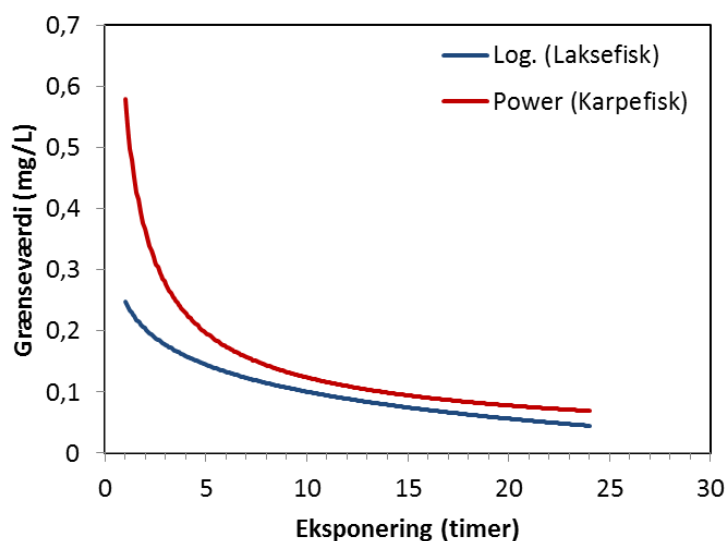
Det betyder, at baggrundniveauet for fri ammoniak i de fynske vandløb er meget lavt og i fx 95% af tiden under 0,004 mg/L.

Laboratoriestudier viser, at fisk generelt er væsentlig mere følsomme over for ammoniak-forgiftning end flertallet af makroinvertebrater (målt som LC₅₀ værdier, dvs. de koncentrationer ved hvilke 50% af individerne dør inden for et givet tidsrum). Der er dog undtagelser, idet store muslinger synes at være næsten ligeså følsomme som laksefisk. Forskellene i følsomhed inden for en lang række arter af invertebrater og fisk er vist i form af en såkaldt "Species Sensitivity Distribution" kurve (se figur 2.2).



Figur 2.2. "Species Sensitivity Distribution" (SSD) kurve, der viser fordelingen af følsomheder for arter af makroinvertebrater og fisk (fra mindst til mest følsomme), baseret på LC₅₀ værdier for eksponering med NH₃-N over 24 timer. Kurven er baseret på data for i alt 29 arter præsenteret Crabtree m.fl. (2012: tabel 2.7). Den tolkes således, at fx ved en koncentration på 1 mg/L er ca. 40% af arterne påvirket.

Samtidig viser undersøgelser, at længden og hyppigheden af eksponering med ammoniak er vigtig (Crabtree m.fl. 2012). Sammenhængen mellem grænseværdier (tålegrænser) og længde af eksponering er illustreret i figur 2.3. Arterne kan tåle relativt høje koncentrationer i kort tid, lavere koncentrationer hvis påvirkningen varer længere. Grænseværdierne i figur 2.3 er ikke direkte målte LC₅₀ værdier, men er baseret på beregninger, der inkluderer dels LC₅₀ værdier, dels hvor hurtigt arterne er i stand til at rekolonisere den påvirkede vandløbsstrækning efter disse kritiske ammoniakkoncentrationer. Desuden er indlagt en sikkerhedsfaktor som bl.a. tager højde for, at der ikke forekommer adfærdsmæssige, subletale og letale (død) effekter. Der henvises til Crabtree m.fl. (2012) for en mere detaljeret redegørelse for beregningsforudsætningerne samt grænseværdier.



Figur 2.3. Sammenhæng mellem tålegrænse (grænseværdi) og varighed af eksponering for fri ammoniak (NH₃-N) i forhold til laksefisk og særligt følsomme makroinvertebrater (data fra Crabtree m.fl. 2012). Tålegrænserne er beregnet under forudsætning af, at der for koncentrationer herunder ikke forekommer adfærdsmæssige, subletale og letale effekter, samt at der ikke forekommer hyppigere påvirkninger end ca. 3 gange pr. uge. Samtidig er det en forudsætning, at retableringen (baseret for genindvandring via drift m.v.) af bestandene af makroinvertebrater og fisk ikke må tage mere end 1-12 måneder.

Grænseværdierne for NH₃-N fra figur 2.3 kan resumeres således, idet der ligeledes er omregnet til grænseværdier for total NH₄ med udgangspunkt i kendskabet til de aktuelle temperatur- og pH-forhold i vandløbene i Odense Kommune:

Eksponeringsperiode (timer)	Grænseværdier for NH ₃ -N (mg/L)	Grænseværdier for total NH ₄ -N (mg/L)
1	0,247	12,4
6	0,134	6,7
24	0,044	2,2

Det skal bemærkes, at grænseværdien for 24 timers eksponering ligger betydeligt højere end de danske krav i tabel 2.1. Sidst nævnte er imidlertid fastsat ud fra en generel sikkerhedsgrænse på en faktor 10 i forhold til giftighed

målt over kort tid (relativt få timer) og sigter mod en generel beskyttelse over lang tid.

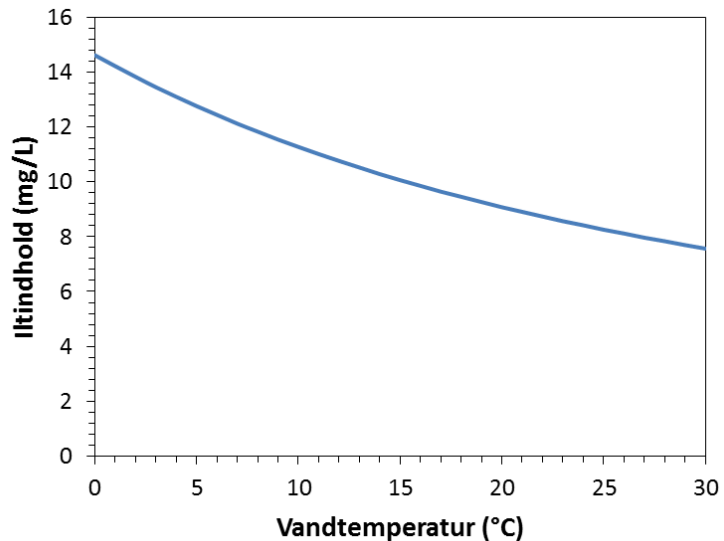
I forhold til de angivne værdier regner Miljøstyrelsen i USA med noget lavere grænseværdier, 0,075/0,120 mg NH₃-N/L for vandløb der eksponeres i 1 time (laveste værdier for vandløb med forekomst af stormuslinger, højeste for vandløb uden disse) (USEPA 2013). Ligeledes indeholder UPM2 (1998) generelt noget lavere grænseværdier for U.K. Crabtree m.fl.'s grænseværdier er dog formodentlig mere retvisende, bl.a. fordi de omfatter flere data. UPM står for Urban Pollution Management og er anvisning på, hvordan bl.a. overløb håndteres.

Crabtree m.fl. (2012) konkluderer, at deres grænseværdier (vist i tabellen ovenfor) tager hensyn til målopfyldelse i forhold til vandrammedirektivets målsætninger for vandløb i U.K. Det er overvejende sandsynligt, at dette også vil være tilfældet i danske vandløb, herunder vandløbene i Odense Kommune (se afsnit 2.6).

2.5 Ilt

Både invertebrater (smådyr) og fisk skal bruge ilt til deres livsprocesser (respiration). Det er en basal udfordring for vandløbsdyrene, at et volumen vand i ligevægt med luft funktionelt set indeholder langt mindre ilt end det tilsvarende volumen luft. Yderligere aftager vandets iltindhold med stigende temperatur (figur 2.4). En stigning i luftens temperatur vil derfor øge "iltstresset" på dyrene.

Iltindholdet i vandløb afhænger af en række faktorer: højere planters og bundlevende algers fotosyntese, samtlige vandløbsorganismers respiration, samt genluftningen med atmosfæren (se fx Jensen m.fl. 2015). Sidst nævnte er en funktion af den gennemsnitlige vandhastighed, middeldybden og vandløbets hældning. I lavvandede, hurtigt strømmende, og stort set vegetationsløse vandløb med stort fald - fx skovbække i stærkt kuperet terræn - er genluftningen stor og iltkoncentrationen tæt på ligevægt med luften. Her vil døgnsvingninger i iltkoncentrationen følge døgnamplituden (variationen i løbet af et døgn) i temperatur via den temperaturafhængige opløselighed af ilt. I mere langsomt flydende, dybe vandløb med lille fald - og hvor der typisk er rig vækst af vandplanter - vil genluftningen modsat være lille, og her vil døgnsvingningerne være større, fordi fotosyntese og respiration får relativt større vægt. På døgnbasis vil iltindholdet være højest sidst på eftermiddagen og lavest sidst på natten. På årsbasis vil økosystemets samlede respiration i øvrigt - uanset vandløbstype - overstige planternes iltproduktion. Det skyldes ikke mindst, at der tilføres væsentlige mængder organisk stof fra vandløbets omgivelser, bl.a. i form af løvfældede blade fra træer langs bredden eller dødt organisk stof fra vandløbsnære moser og enge, ligesom vandløbsplanterne selv omsættes under iltforbrug, når de visner hen. Om foråret og sommeren er der dog i mange vandløb et iltoverskud fra kiselalgers og højere planters fotosyntese i forhold til systemets respiration, mens respirationen dominerer i sensommeren, efteråret og det tidlige forår.



Figur 2.4. Opløseligheden af ilt i vand som funktion af temperaturen. Iltmætningen er 100 % ved 0°C, men kun 51,7 % ved 30°C.

Der foreligger meget få repræsentative målinger af iltindholdet i danske vandløb. I NOVANA, det nationale overvågningsprogram, er der dog igangsat kontinuerte målinger i 35 vandløb, som vil kunne give et indtryk af variationerne over døgnet og året. Samlet set vil de laveste koncentrationer – under naturlige forhold – forekomme om natten i sommermånederne.

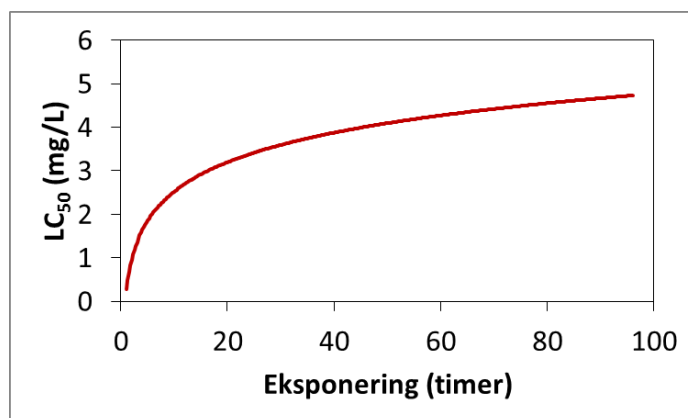
Det oven for beskrevne "naturlige" mønster for iltindholdet vil dog blive "overlejret" af relativt permanente udledninger af spildevand (renseanlæg, dambrug), hvilket generelt vil reducere iltindholdet, ikke mindst minimumsniveauerne. Regnvandsbetingede udløb kan derimod forekomme når som helst, og kan tilsvarende føre til fald i iltindholdet.

Reduktionen i iltindhold vil afhænge af mængden af udledt let-nedbrydeligt organisk stof (BI₅), den aktuelle fortynding, temperaturen (som har indflydelse på nedbrydningshastigheden), samt ikke mindst tidsfaktoren. Efter- som BI₅ er et udtryk for biokemisk iltforbrug over tid (5 døgn ved 20°C), er det muligt direkte at beregne, hvor stor reduktionen i iltindhold kan blive.

Generelt er makroinvertebrater – i modsætning til for ammoniak – mere følsomme (kræver højere iltindhold) end fisk, ligesom aktive makroinvertebrater med høj aktivitet og som befinder sig frit eksponeret (fx mange vandinsekter som fx visse slørvinger, døgnfluer og vårfluer) er mere følsomme end mere "dvaske" arter. "Blodet" hos nogle makroinvertebrater indeholder desuden hæmoglobin, og er derfor særlig tolerante overfor lave iltindhold. Hos fisk er larver og yngel mere følsomme over for lave iltindhold end voksne fisk og æg (se fx Elshout m.fl. 2013). Laksefisk er generelt mere følsomme end karpfisk. Men mange arter, både fisk og makroinvertebrater, vil udvise undvigeadfærd, hvis iltindholdet falder. Fiskene kan aktivt svømme bort, mens makroinvertebrater lader sig drive bort med strømmen (såkaldt katastrofedrift). Desuden vil muslinger kunne holde deres skaller lukket i et vist tidsrum, indtil iltindholdet igen når normale niveauer. Det betyder, at nogle arter bedre kan tackle de ugunstige situationer end andre.

Ligesom for ammoniak afhænger effekten af lave iltindhold på makroinvertebrater og fisk af længden af perioderne, hvor disse lave iltindhold forekommer, se figur 2.5. Og ligesom for ammoniak har det betydning, hvor tit

de lave iltindhold forekommer. Organismerne skal således have mulighed for at "komme sig" eller genindvandre.



Figur 2.5. Sammenhæng mellem LC₅₀ værdi og varighed af eksponering for ilt i forhold til laksefisk og særligt følsomme makroinvertebrater (data fra Crabtree m.fl. 2012).

Crabtree m.fl. (2012) har foretaget en samlet vurdering af disse ret komplicerede forhold og finder, at en nedre universel grænse på 4,0 mg/L vil beskytte makroinvertebrater og fisk mod korttids dødelighed og makroinvertebrater mod "katastrofedrift". Grænseværdien flugter - måske ikke overraskende - nogenlunde med de danske kravværdier til sikring af god økologisk tilstand, jf. figur 2.1. Det skal dog bemærkes, at der alternativt kan inddrages mere detaljerede grænseværdier (afhængigt af varigheden af "kritiske" hændelser) som for ammoniak (jf. WEST-modellen).

Det er en faglig vurdering, at den præsenterede grænseværdi, som jf. Crabtree m.fl. (2012) tager hensyn til målopfyldelse i forhold til vandrammedirektivets målsætninger for vandløb i U.K., også vil være gyldige for danske vandløb, herunder vandløbene i Odense Kommune. Således er (1) en stor del af vandløbene i U.K. såkaldte lavlandsvandløb - ligesom samtlige danske - med lignende fysiske karakteristika, (2) faunaen af såvel smådyr og fisk i meget stor udstrækning den samme, og endelig (3) er vandløbene i U.K. gennemsnitligt kun lidt større end de danske. Specifikt falder de aktuelle vandløb i Odense Kommune inden for "rammerne" af lavlandsvandløb i U.K.

2.6 Beregning af kritiske værdier for ammoniak og ilt

Kender man vandføringen i recipienten (m^3/S), maksimum vandføring i et givent overløb (m^3/S), indholdet af total NH_4-N eller BI_5 i urensset spildevand (mg/L), samt baggrundsindholdet af NH_4-N og ilt i recipienten (mg/L), kan man estimere en koncentration af de to stoffer i sidstnævnte. Ud fra BI_5 indholdet (som udtrykker et iltforbrug over 5 døgn) kan der beregnes en reduktion i iltindholdet i recipienten, især hvis man samtidig kender baggrundskoncentrationen. BI_5 vil både afspejle omsætning af organisk stof og NH_4-N . Det kræver naturligvis en række antagelser, som dog ikke skal belyses her. De resulterende værdier for ammoniak og ilt i recipienten kan sammenholdes med de tidligere i dette notat beskrevne grænseværdier.

Sådanne beregninger kan indgå i såkaldt "integrerede spildevands modeller for afstrømningsområder", som bl.a. indeholder data for arealet af befæstede områder, dimensioneringen af kloaksystemerne, herunder tærskler for afstrømning fra de eksisterende regnvandsoverløb, forsinkelsesbassiner, nedbørsstatistik mv.

Der blev ved Workshopen præsenteret eksempler på sådanne integrerede modeller, dels et konkret påtænkt projekt for Odense Kommune (præsenteret af Lorenzo Benedetti, CH2M), dels et allerede implementeret projekt for Waterschap De Dommel, Holland (præsenteret af Tony Flaming, Waterschap De Dommel, Boxtel). Modellerne bygger grundlæggende på de samme principper. Konklusionerne var derfor ikke overraskende samstemmende, nemlig at modellerne er yderst brugbare redskaber til at beskrive dynamikken i spildevandssystemerne og effekterne i recipienterne, ligesom de er stærke værktøjer til hurtigt at analysere interaktioner, synergier og konflikter. De er specielt egnede til at identificere de mest omkostningseffektive virkemidler og løsninger.

Der er dog – som det også klart blev formuleret af foredragsholderne – begrænsninger. Først og fremmest er det nødvendigt at kalibrere modellerne, så man er sikker på at "ramme" de kritiske situationer i virkeligheden. Der skal derfor kobles en passende overvågning på i form af kontinuerte målinger af bl.a. afstrømning og vandkemi i recipienterne (ammonium, pH, ilt, temperatur).

VandCenter Syd har allerede planlagt en sådan overvågning på et ret stort antal stationer. Det kan i den forbindelse foreslås at supplere med overvågning af fx makroinvertebrater og fisk, som er målrettet i forhold til at beskrive forholdene omkring de betydende regnvandsbetingede udløb.

Det har ved udarbejdelsen af dette notat ikke været muligt at gå dybere ind i beregningsforudsætningerne i de integrerede modeller.

3 anbefalinger

På baggrund af ovenstående vurderes det hensigtsmæssigt at anvende såkaldt integrerede modeller (såsom specifikt WEST-modellen) for beskrivelse af spildevandssystemer - inklusive regnvandsbetingede udløb - og deres effekt i vandløb. Modellerne, inklusive WEST, vurderes særligt egnede til at vurdere betydningen af de enkelte regnvandsbetingede udløb for den økologiske tilstand i vandløbene. Dette muliggør en optimal prioritering af, hvor de begrænsede økonomiske midler bedst kan anvendes.

I modellerne indgår grænseværdier til sikring af i det mindste god økologisk tilstand. Her kan med fordel anvendes de værdier, som anvendes (eller er foreslået anvendt) for vandløb i U.K., fordi de også vurderes som fuldt gyldige for danske vandløb. Grænseværdierne er enten sammenlignelige med (for ilt) eller mindre restriktive (for ammoniak) end de mere "generelle" værdier, der er angivet i Vandplanerne. De vurderes dog umiddelbart sikre nok til at sikre de fastsatte miljømål, fordi de specifikt er fastsat i forhold til regnvandsbetingede udledninger, som af natur er af kortere varighed. Ønskes en yderligere beskyttelse, kan man fastsætte dem lavere, fx i forhold til de som anvendes i USA.

4 Referencer

Crabtree, B., Horn, J. & Johnson, I. (2012) Review of urban pollution standards against WFD requirements. Evidence at the Environment Agency (LI 7373), 78 pp.

Elshout, P. M. F., Dionisio Pires, L. M., Leuven, R. S. E. W., Wendelaar Bonga, S. E. & Hendriks, A. J. (2013) Low oxygen tolerance of different life stages of temperate freshwater fish species. *Journal of Fish Biology* 83, 190–206.

Jensen, P.N., Hansen, J.W., Jeppesen, E., Wiberg-Larsen, P., Hansen, J.L.S., Jakobsen, H.H., Stæhr, P. & Dahl, K. 2015. Klimaforandringernes betydning for vandområder – med fokus på de biologiske kvalitetselementer. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 106 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 146 <http://dce2.au.dk/pub/SR146.pdf>

Naturstyrelsen (2011, rev. 2014) Vandplan 2009-2015. Opland Odense Fjord 1.13. Vanddistrikt: Jylland og Fyn. Miljøministeriet, Naturstyrelsen, 320 pp.

UPM2 (1998) Urban Pollution Management, Second Edition (UPM2). Foundation for Water Research (Authors: G. Morris, A. Agg, C. Chub, I. Clifford, K. Ridout, P. Singleton, J. Tyson & A. Wilson), October 1998 – FR/CL0009 – CD format.

USEPA (2013) Aquatic life ambient water quality criteria for ammonia - Freshwater 2013. U.S. Environmental Agency, Office of Water 4304T, EPA 822-R-13-001, 242 pp.

Wiberg-Larsen, P., Windolf, J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Thodsen, H., Ovesen, N.B., Kronvang, B. & Kjeldgaard, A. (2012) Vandløb 2011. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 70 s. *Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 32.* (<http://www.dmu.dk/Pub/SR32.pdf>)