

Beskrivelse af kemiske grænseværdier til brug i WEST-modellen for Odense og opland

Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 5. december 2016

Jes Jessen Rasmussen

Institut for Bioscience

Rekvirent:
Odense Kommune
Antal sider: 16

Faglig kommentering:
Peter Wiberg-Larsen
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	Økologiske effekter af lave iltkoncentrationer og høje ammonium-N koncentrationer	5
2.1	Ilt	5
2.2	Ammonium-N og ammoniak	6
3	Økologisk tilstand og danske direktivforpligtelser	7
3.1	Makroinvertebrater	7
3.2	Fisk	7
3.3	Multiple stresspåvirkninger	8
3.4	Arter med direktivpligtige beskyttelseskrav	9
4	UPM standarder og disses mulige anvendelse i WEST-modellen for vandløb i Odense Kommune	10
4.1	UPM2 gennemgang for iltbaserede grænseværdier	10
4.2	UPM2 gennemgang af ammoniakbaserede grænseværdier	11
4.3	Vurdering af UPM2 standardernes beskyttelse i forhold til økologiske direktivforpligtelser i vandløb i Odense Kommune	12
4.4	4.4 Et alternativt sæt grænseværdier fra Holland	13
5	Anbefaling af kemiske grænseværdier til brug i WEST-modellen	15
6	Referencer	16

1 Baggrund

Dette notat er udarbejdet efter anmodning fra Odense Kommune som led i Kommunens samarbejde med VandCenter Syd om tiltag over for regnvandsbetingede udløb fra de urbane områder. VandCenter Syd er forsyningsvirksomhed i Odense Kommune og har ansvaret for anlæg, der udleder spildevand og overløbsvand primært til Odense å og Stavids å systemerne.

Alle målsatte danske vandløb skal ifølge EU's Vandrammedirektiv som udgangspunkt opnå mindst god økologisk tilstand. Derudover må vandløbenes nuværende økologiske ikke forringes. Den økologiske tilstand vurderes ud fra en række biologiske kvalitetselementer. I overvågningsprogrammet NOVANA indsamles der data for kvalitetselementerne makroinvertebrater, fisk, planter og bundlevende alger. Dog er der kun udviklet egentlige økologiske indikatorværktøjer for makroinvertebrater (Dansk VandløbsFauna Indeks, DVFI), fisk (Dansk Fiskeindeks For Vandløb, DFFVa & DFFVø) samt planter (Dansk VandløbsPlante Indeks, DVPI), mens et økologisk indeks for bundlevende alger er under udarbejdelse og forventes implementeret indenfor den kommende vandområdeplanperiode. Den samlede økologiske tilstandsvurdering for et vandområde integrerer den økologiske tilstandsvurdering for samtlige kvalitetselementer, og vandområdets økologiske tilstand karakteriseres som den ringeste økologiske tilstandsklasse blandt kvalitetselementerne. Således opnås mindst god økologisk tilstand udelukkende, hvis den økologiske tilstand er mindst god for alle kvalitetselementer ("one out - all out" princippet).

Foruden EU's Vandrammedirektiv er en række vandløbsorganismer og deres habitater ydet beskyttelse gennem Habitatdirektivet (hhv. bilag I og II). De arter og naturtyper, der indgår på Habitatdirektivets bilag I og II skal bevares eller mindst opnå gunstigt bevaringsstatus på nationalt plan. Det vil med andre ord sige, at der udover Vandrammedirektivets krav om mindst god økologisk tilstand, foreligger krav om særlig beskyttelse af en række arter og naturtyper. Dette betyder endvidere, at forvaltningen af danske vandløb generelt skal ske under hensyn til kravene fra både Vandrammedirektivet og Habitatdirektivet.

I henhold til de direktivgivne forvaltningskrav for danske vandløb ønsker Odense Kommune således, at der kan foretages en indsats for at nedbringe belastningen af forurenende stoffer fra de urbane områder med særlig fokus på spildevand og overløbsvand. Beregningsmodellen WEST blev tidligere evalueret og fundet egnet som prioriteringsværktøj for indsatser overfor regnvandsbetingede udledninger af ammonium-N, ammoniak (NH₃) og organisk stof (biokemisk iltforbrug, BI₅) i Odense Kommune (Wiberg-Larsen 2015). WEST-modellen, som allerede anvendes i England og Holland, anvender UPM (Urban Pollution Management) standarder til vurderingen af relevante parametres biologiske effekter i vandløb. UPM standarderne er udviklet i den engelske miljøstyrelse til vurdering af spildevandssystemers påvirkning af vandløbskvaliteten under kraftige regnhændelser. Det er dog stadig uafklaret, om de engelske UPM standarder er tilstrækkeligt beskyttende og anvendelige i danske vandløb.

Odense Kommune og VandCenter Syd står nu over for at skulle implementere brugen af WEST-modellen som prioriteringsværktøj for indsatser mod regnbetingede udledninger af forurenende stoffer med henblik på at sikre og forbedre den økologiske kvalitet i kommunens vandløb. Odense Kommune og VandCenter Syd ønsker i den anledning en afklaring af, hvorvidt de engelske UPM standarder for ammonium-N, ammoniak (NH_3) og iltkoncentrationer (stærkt relateret til BI_5) kan forventes at være tilstrækkeligt anvendelige og beskyttende under danske forhold, herunder for den økologiske tilstandsvurdering og for vandløbsorganismer, der er beskyttet under Habitatdirektivets bilag II. I dette notat foretages en sådan vurdering med baggrund i relevant dansk og international litteratur.

2 Økologiske effekter af lave iltkoncentrationer og høje ammonium-N koncentrationer

Generelt forekommer regnvandsbetingede udledninger i forbindelse med kraftigere nedbørshændelser, hvor kloaksystemerne eller renseanlæggene overbelastes, og overløbene aktiveres. Denne type af udledninger er derfor naturligt afgrænset i tid med typiske varigheder under 24 timer (Crabtree m.fl. 2012). Under sådanne regnvandsbetingede udledninger vil koncentrationerne af en lang række af forurenende stoffer, herunder næringsstoffer, let omsætteligt organisk materiale, miljøfremmede stoffer og tungmetaller, stige i recipienten. I dette notat fokuseres imidlertid kun på forhøjede koncentrationer af ammonium-N (inklusive ligevægtskoncentrationer af ammoniak) og lave iltkoncentrationer.

2.1 Ilt

Langt størsteparten af levende organismer i vandløb bruger ilt til respiration, herunder samtlige organismer der indgår som kvalitetselementer i bedømmelserne af den økologiske tilstand i vandløb (planter, bundlevende alger, fisk og makroinvertebrater). I størstedelen af vandløb kan det antages, at der ikke forekommer egentlig lagdeling af vandmasser med markant forskellige iltkoncentrationer, som det kendes fra dybere søer. Det vil sige, at iltkoncentrationen vil være sammenlignelig over hele vandløbets tværsnitsareal. Der findes naturlige døgnvariationer i iltkoncentrationer, som primært er drevet af algers og højere planters fotosyntese i døgnets lyse timer og af alle vandløbsorganismernes respiration. En mere detaljeret beskrivelse af døgn- og årstidsvariationer af iltkoncentrationer i forskellige typer af vandløb er foretaget af Wiberg-Larsen (2015) i et tidligere notat til Odense Kommune.

Reduktionen i iltkoncentrationer er stærkt afhængig af mængden af udledt let-omsætteligt organisk stof, målt som biokemisk iltforbrug (B₅), der især kan relateres til mere eller mindre rensede spildevand.

En lang række laboratorieforsøg har dokumenteret, at fisk og især makroinvertebrater er særlig følsomme over for lave iltkoncentrationer (Crabtree m.fl. 2012), og det kan derfor antages, at grænseværdier for minimumkoncentrationer af ilt, som er beskyttende for disse organismer, ligeledes yder tilstrækkelig beskyttelse for andre vandløbsorganismer (fx højere planter og bundlevende alger).

Iltkoncentrationerne i vandet definerer den øvre grænse for respiratorisk aktivitet, altså hvorvidt organismernes basale metaboliske krav kan opretholdes ved en given iltkoncentration. Generelt er makroinvertebrater mere følsomme over for lave iltkoncentrationer end fisk, og især arter af makroinvertebrater, som har præference for stryghabitater med lav vanddybde, groft substrat, høj vandhastighed og turbulent flow, har høje krav til ilttilgængelighed. Hos fisk er laksefisk generelt mere følsomme end karpefisk, og især larver og yngel er mere følsomme end voksne livsstadier og æg (Crabtree m.fl. 2012, Elshout m.fl. 2013). Økologiske effekter af lave iltkoncentrationer er især baseret på aktiv undvigeadfærd for både makroinvertebrater og fisk, hvor iltkoncentrationer < 4 mg/L stærkt vil øge den aktive flugtadfærd via katastrofedrift for de mest følsomme makroinvertebrater, mens fisk aktivt vil svømme væk fra områder med ugunstige forhold (Crabtree m.fl. 2012).

Der kan etableres stærke sammenhænge mellem individtætheder af udvalgte arter af makroinvertebrater med særlig høj eller lav følsomhed over for årlige gennemsnit af BI_5 – og dermed potentielt også over for reducerede iltindhold - i danske vandløb (Friberg m.fl. 2010), og allerede ved BI_5 koncentrationer $< 1,5$ mg/L er der et betydeligt fald i individtætheder af følsomme arter og betydelig stigning i individtætheder af tolerante arter. Det er derfor ikke overraskende, at vejledende grænseværdier (årgennemsnit) for BI_5 er $< 1,4$ og $< 1,8$ for hhv. høj og god økologisk tilstand baseret på tilstandselementet makroinvertebrater (Naturstyrelsen 2011/2014). Imidlertid vil makroinvertebrat- og fiskesamfund i kortere perioder kunne tolerere højere BI_5 koncentrationer (og lavere iltkoncentrationer) end disse vejledende grænseværdier for årgennemsnit (Crabtree m. fl. 2012).

Generelt er niveauet af kritisk lave iltkoncentrationer og varigheden af disse mere bestemmende for omfanget af den økologiske effekt end frekvensen, hvormed de kritisk lave koncentrationsniveauer forekommer (Crabtree m.fl. 2012).

2.2 Ammonium-N og ammoniak

Ammonium (total ammonium) optræder som ligevægt mellem fri uioniseret ammoniak (NH_3) og ammonium ionen (NH_4^+). Ligevægten er afhængig af temperatur og pH, hvor højere temperatur og højere pH forskubber ligevægten mod en øget mængde af den totale koncentration af ammonium, som forekommer som ammoniak (Crabtree m.fl. 2012). Baseret på pH- og temperatur-værdier i fynske vandløb ansløg Wiberg-Larsen (2015), at andelen af ammoniak højst udgør 2 % af den samlede koncentration af ammonium.

Laboratoriestudier viser, at fisk er mere følsomme over for ammoniak end samtlige andre organismegrupper i vandløb (Crabtree m.fl. 2012). Subletale effekter af eksponering over for ammoniak inkluderer permanente fysiologiske skader på især fiskenes gæller, hvilket medfører reducerede vækstrater (Milne m.fl. 2000). Højere koncentrationsniveauer af ammoniak kan desuden være akut letale (Milne m.fl. 2000). Det forventes derfor, at grænseværdier, der yder tilstrækkelig beskyttelse for fisk, ligeledes yder tilstrækkelig beskyttelse over for alle andre biologiske tilstandselementer i vandløb.

Selvom makroinvertebrater således er mindre følsomme end fisk over for ammoniak-eksponering, kan der etableres stærke empiriske sammenhænge mellem årlige gennemsnitskoncentrationer af ammonium-N og individtætheden af følsomme og tolerante arter af makroinvertebrater i danske vandløb (Friberg m.fl. 2010). Individtætheden af følsomme arter (især visse døgnfluer og slørvinger) er stærkt reduceret og individtætheden af tolerante arter stigende ved ammonium-N koncentrationer $> 0,2$ mg/L. Dette svarer til en ligevægtskoncentration for ammoniak på 0,004 mg/L i fynske vandløb. Ligesom for kritisk lave iltkoncentrationer er det dog imidlertid sådan, at både makroinvertebrater og fisk i kortere perioder kan tolerere mere ekstreme koncentrationer end de nævnte grænseværdier for årgennemsnit (Crabtree m.fl. 2012).

Generelt er maksimumkoncentration, varigheden af eksponering, og frekvensen hvormed eksponeringen gentages, alle vigtige parametre for omfanget af de økologiske effekter. Vigtigheden af eksponeringsfrekvensen stiger især, når denne er højere end én gang om ugen (Crabtree m.fl. 2012).

3 Økologisk tilstand og danske direktivforpligtelser

I danske vandløb anvendes i dag vandløbsplanter (Dansk Vandløbsplante Indeks, DVPI), smådyr (Dansk Vandløbsfauna Indeks, DVFI) og fisk (Dansk Fiskeindeks for Vandløb, DFFVa/DFFVø). Derudover skal der implementeres et indeks for bundlevende alger i løbet af den kommende vandområdeplanperiode 2015-2021. Som nævnt i afsnit 2.1 og 2.2 er grunden til kun at fokusere på tilstandselementerne fisk og makroinvertebrater i dette notat, da disse to organismegrupper klart er de mest følsomme overfor eksponeringer til ammonium-N, ammoniak og lave iltkoncentrationer.

3.1 Makroinvertebrater

DVFI beskriver ud fra sammensætningen af smådyr den økologiske tilstand i syv faunaklasser (Miljøstyrelsen 1998). Faunaklasse 7 angiver den bedste tilstand (det upåvirkede/næsten upåvirkede vandløb), mens faunaklasse 1 betegner den dårligste tilstand.

DVFI er målrettet påvirkninger af organisk belastning. En lav faunaklasse (fx 1, 2 eller 3) findes derfor også typisk i vandløb med dårlige iltforhold på grund af forurening med let-omsætteligt organisk stof (Kristensen m.fl. 2014a). Der kan også forekomme lave faunaklasse-værdier i vandløb, som er stærkt påvirket af okker (som i mange vestjyske vandløb) samt i vandløb med dårlige fysiske forhold.

Da DVFI er udviklet til primært at afspejle effekter af organisk belastning, vil det kunne respondere på kritisk lave iltkoncentrationer, idet en reduktion af ilt-følsomme arter vil komme til udtryk gennem en lavere faunaklasse i indekset. Derudover forventes det, at indekset vil respondere på ammonium-N koncentrationer, da de arter, hvis individtæthed reduceres med stigende koncentrationer af ammonium i danske vandløb, alle indgår som positive indikatorer i DVFI (Friberg m.fl. 2010).

3.2 Fisk

Dansk Fiskeindeks for Vandløb (DFFV) består af to delelementer; DFFVa og DFFVø og bruges til bedømmelsen af den økologiske kvalitet i alle typer af danske vandløb. DFFVa er baseret på artssammensætningen af fiskesamfund og kan anvendes, hvis der ved elektrofiskeriet er fanget mindst 3 arter i første befiskning. DFFVø er udviklet til karakteriseringen af den økologiske kvalitet i vandløb, hvor ørreder gyder, og indikatoren er baseret på tætheden af naturligt produceret ørredyngel. DFFVø er fortrinsvist tiltænkt brug i små vandløb (opland < 10 km²), men kan dog også bruges i større vandløb, såfremt vandløbet har potentiale for en naturlig produktion af ørredyngel (Kristensen m.fl. 2014b). Således er DFFVø reelt udviklet som supplement til DFFVa, hvor der ikke kan beregnes en indekssværdi grundet for få registrerede arter. Både DFFVa og DFFVø angiver en EQR værdi, som betegner afvigelse fra referencetilstanden. Værdien 0 kan opnås i tilfælde, hvor der ikke fanges ørredyngel (DFFVø) eller, hvor de fangede arter alle er stærkt tolerante overfor menneskeskabte forstyrrelser (DFFVa) (Kristensen m.fl. 2014b). Baseret på EQR værdien kan den økologiske tilstand kategoriseres i 5 tilstandsklasser (høj, god, moderat, ringe og dårlig) iht. Vandrammedirektivet.

En lav EQR værdi kan skyldes flere forskellige typer af påvirkninger. Spæringer kan have negativ indflydelse på både DFFVa og DFFV \emptyset , idet passagen for migrerende arter, herunder laksefisk, som er positive miljøindikatorer i DFFVa og i form af ørred/laks udgør grundelementet i DFFV \emptyset , helt eller delvist blokeres. Dårlige eller suboptimale fysiske forhold forringer både mulige levesteder og egnede skjul for en række fiskearter med specifikke habitatkrav. Især manglende tilstedeværelse af egnede strøm- og substratforhold kan ligeledes være hæmmende for klækningssucces hos fx ørred (*Salmo trutta*) (Kristensen m.fl. 2014b). Tilsvarende er lav vandkvalitet (fx forhøjede BI₅ koncentrationer) også negativt korreleret med indekssværdier for begge DFFV indices (Kristensen m.fl. 2014b). Det kan derfor forventes, at begge DFFV indices responderer på både ammonium-N og lave iltkoncentrationer, fordi begge parametre er relateret til BI₅.

3.3 Multiple stresspåvirkninger

Når virkemidler bringes i anvendelse for at imødegå effekter af en særlig stresspåvirkning, for derigennem at opnå økologisk målopfyldelse, er det vigtigt, at de implementerede virkemidler er målrettet den eller de stresspåvirkninger med forventelig stærkest negativ effekt på den økologiske kvalitet. Fx vil retableringen af naturnære fysiske forhold kun forventes at forbedre de økologiske forhold, hvis de forarmede fysiske forhold, der ønskes forbedret, reelt er den vigtigste årsag til manglende økologisk målopfyldelse. For implementering af virkemidler, der er målrettet reduktionen af belastning med ammonium-N og let-omsætteligt organisk materiale, er det derfor en væsentlig forudsætning for, at den økologiske tilstand kan forbedres ved implementering af virkemidlet, at øvrige vandkemiske parametre (fx miljøfremmede stoffer og tungmetaller) maksimalt må være forekommende i koncentrationer, der ikke udgør den væsentligste årsag til manglende målopfyldelse på den pågældende vandløbsstrækning. På samme måde vil eksempelvis et stærkt forarmet fysisk vandløbsmiljø eller bibeholdelse af hyppig og hårdhændet grødeskæring, som har negativ effekt på både planter, fisk og smådyr, være stærkt hæmmende for økologisk målopfyldelse.

Derudover viser ny forskning fra Tyskland, at der er stærk sammenhæng mellem restaureringssucces og tilstedeværelse af minimalt forstyrrede habitater på opstrøms lokaliteter i vandløbssystemet, idet disse vil udgøre væsentlige kildepopulationer, hvorfra nye organismer hurtigt kan kolonisere restaurerede strækninger (Stoll m.fl. 2016). Med andre ord vil manglende tilstedeværelse af kildepopulationer i vandløbssystemet resultere i en stærkt forsinket eller helt manglende succes af den fysiske genetablering af egnede habitater. Den samlede sandsynlighed for at løfte den økologiske kvalitet med ethvert virkemiddel, fysisk som kemisk, afhænger derfor af meget mere end blot valget af virkemiddel, og en tilstrækkelig grundig undersøgelse af øvrige presfaktorer og lokalisering af egnede kildepopulationer er elementer med stor indflydelse på potentialet for, at det implementerede virkemiddel kan løfte den økologiske tilstand. For størstedelen af de vandløbsoplande i Odense Kommune som modtager regnbetingede udledninger vil der dog være et væsentligt potentiale for indvandring via kildepopulationer.

Det er derfor muligt, at indsatser mod regnbetingede udledninger af mere eller mindre rensede spildevand evt. skal suppleres med fysiske restaureringer for at opnå målopfyldelse, mens egnede kildepopulationer vurderes at være til stede.

3.4 Arter med direktivpligtige beskyttelseskrav

I vandløb i Odense Kommune findes bestande af enkelte arter af invertebrater/ fisk på Habitatdirektivets bilag II, der som udgangspunkt skal bevares eller opnå gunstig bevaringsstatus på nationalt plan, og om muligt også på lokalt plan. I vandløbene i Odense Kommune er der konkret tale om fiskearterne bæklampret, havlampret og pigsmørling og tykskallet malermusling (Wiberg-Larsen 2015). Da de direktivpligtigt beskyttede arter med forekomst i Odense Kommunes vandløb alle tilhører fokusgrupperne af vandløbsorganismer i dette notat (fisk og invertebrater) er de relevante at undersøge nærmere ift. den beskyttelse der ydes disse direktivpligtigt beskyttede arter med valget af grænseværdier for eksponering til ammonium-N, ammoniak og lave iltkoncentrationer.

4 UPM standarder og disses mulige anvendelse i WEST-modellen for vandløb i Odense Kommune

UPM2 standarder (Urban Pollution Management) betegner en række vandkemiske kvalitetskriterier, som anvendes i UK som vejledende grænseværdier for ammoniak og lave iltkoncentrationer i vandløb, som er påvirket af regnvandsbetingede udløb fra urbane renseanlæg og overløbsbassiner. Grænseværdierne er baseret på en række laboratorieforsøg med enkeltarter af ferskvandssmådyr eller fisk eksponeret for ammoniak eller lave iltkoncentrationer i op til 24 timer og med dødelighed eller adfærdsrespons som målparametre (Crabtree m.fl. 2012). UPM2 standarderne blev nyligt gennemgået og opdateret i forhold til ny litteratur og relevansvurderet i forhold til Vandrammedirektivets krav om opnåelse af god økologisk tilstand (Crabtree m.fl. 2012).

4.1 UPM2 gennemgang for iltbaserede grænseværdier

Litteraturgennemgangen for eksponering til lave iltkoncentrationer viste entydigt, at laksefisk var mere følsomme end karpefisk, og at koncentrationsrespons kurverne for både dødelighed og subletale effekter havde et skarpt knæk. Det vil sige, at der med faldende iltkoncentrationer var et stærkt stigende respons i dødelighed mv. indtil et vist punkt, hvor over der ikke forekom nogen yderligere respons (se fx Seager m.fl. 2000). Der var desuden evidens for, at der ikke forekommer øget dødelighed efter endt eksponering, således at individer, der overlevede eksponeringen, kom sig fuldstændigt for både karpefisk og laksefisk (Crabtree m.fl. 2012). For laksefisk steg dødeligheden for koncentrationer < 4 mg/L ved 24 timers eksponering og for $< 3,5$ mg/L ved 6 timers eksponering (figur 2.3 i Crabtree m.fl. 2012). I undersøgelser af betydning af eksponeringsfrekvenser blev det vist, at betydningen af eksponeringskoncentrationerne langt oversteg betydningen af, hvor hyppigt der blev eksponeret.

For smådyr var resultaterne sammenlignelige med øget adfærdsrespons og dødelighed ved koncentrationer < 4 mg/L for de mest følsomme arter (især døgnfluer og slørvinger). Som for fisk var der ingen evidens for øget dødelighed efter endt eksponering, og det kan derfor antages, at individer, der overlever eksponeringen, kommer sig hurtigt og fuldstændigt.

Baseret på resultaterne fra litteraturgennemgangen blev der opstillet UPM2 standarder for tre forskellige eksponeringstider (tabel 1), og der blev differentieret mellem økosystemer med forskellig kvalitet, hvor økosystemtypen med bæredygtige bestande af laksefisk betegnedes den forventede mest følsomme type (Crabtree m.fl. 2012). Optræder eksempelvis iltkoncentrationer under 5,0 mg/L med varighed af en time oftere end 12 gange om året (en gang per måned) kan det forventes at skabe negative effekter på smådyr og fisk. Tilsvarende må en forekomst af iltkoncentrationer under 5,0 mg/L gennem 24 timer højst optræde en gang per år for at undgå negative effekter.

Tabel 1. UPM2 standarder for iltkoncentrationer med forskellig hændelsesfrekvens. UPM2 standarderne er gældende for økosystemer med bæredygtige bestande af laksefisk. Tabellen er udarbejdet på baggrund af Crabtree m.fl. (2012).

Årlig hændelses- frekvens	Iltkoncentration (mg/L)		
	1 time	6 timer	24 timer
12	5,0	5,5	6,0
4	4,5	5,0	5,5
1	4,0	4,5	5,0

I udvælgelsen af UPM2 standarder er der desuden taget hensyn til kombinationseffekter af samtidig eksponering med ammoniak, og de i tabel 1 angivne standarder er kun gældende, hvis koncentrationen af ammoniak < 0,02 mg/L. Overskrides denne koncentration, opjusteres UPM2 standarden afhængig af graden af overskridelse (Crabtree m.fl. 2012, tabel 2.4). Derudover er der indlagt en korrektionsfaktor for ilt på 3 mg/L, hvis der findes gydepladser i vandløbet nedstrøms de regnbetingede udløb. Det vil sige, at der i tilfælde af gydepladser for laksefisk skal anvendes en grænseværdi for iltkoncentrationer som er 3 mg/L højere end UPM2 standarden. Det antages med dette sæt af UPM2 standarder, at der kan undgås både kort- og langtidseffekter på alle livsstadier af alle organismegrupper i vandløb, hvis standarderne ikke overskrides.

4.2 UPM2 gennemgang af ammoniakbaserede grænseværdier

Litteraturgennemgangen af ammoniakbaserede effekter på fisk viste entydigt, at laksefisk var mere følsomme end karpfisk, og at koncentrations-responskurverne var mindre stejle end for eksponeringer med lave iltkoncentrationer. Der var svagt forøget dødelighed efter endt eksponering, men kun i 30-40 minutter, hvilket svarede til den tid, det tog at skylle ammoniakken ud af testsystemerne (Milne m.fl. 2000). Den observerede dødelighed for laksefisk i laboratoriestudierne var påvirket af især tiden mellem gentagne eksponeringer, hvor selv korte eksponeringer kunne give effekter på vækstrater hos laksefiskene. Der var signifikante subletale histopatologiske effekter på gællerne, og som var mere afhængige af de gentagne eksponeringer end af koncentrationerne (Milne m.fl. 2000).

For smådyr blev det vist, at subletale effekter forekom ved omtrent de samme koncentrationer, som forårsagede dødelighed hos laksefisk. Det blev derfor konkluderet, at grænseværdier, som er tilstrækkeligt beskyttende overfor laksefisk, automatisk også vil være fuldt beskyttende for smådyrssamfund.

Baseret på resultaterne fra litteraturgennemgangen blev der opstillet UPM2 standarder for tre forskellige eksponeringstider (tabel 2), og der blev differentieret mellem økosystemer med forskellig kvalitet, hvor økosystemtypen med bæredygtige bestande af laksefisk betegnede den forventede mest følsomme type (Crabtree m.fl. 2012).

Tabel 2. UPM2 standarder for ammoniakkoncentrationer ved forskellig hændelsesfrekvens. UPM2 standarderne er gældende for økosystemer med bæredygtige bestande af laksefisk. Tabellen er udarbejdet på baggrund af Crabtree m.fl. (2012).

Årlig hændelses- frekvens	Ammoniakkoncentration (mg/L)		
	1 time	6 timer	24 timer
12	0,065	0,025	0,018
4	0,095	0,035	0,025
1	0,105	0,04	0,030

I udvælgelsen af UPM2 standarder er der desuden taget hensyn til kombinationseffekter af samtidig eksponering med lave iltkoncentrationer, og de i tabel 2 angivne standarder er kun gældende, hvis koncentrationen af ilt > 5 mg/L. Falder iltkoncentrationen under denne tærskelværdi, justeres UPM2 standarden med en multiplikationsfaktor som afhænger af den fundne iltkoncentration (Crabtree m.fl. 2012, tabel 2.5). Derudover er der indlagt en korrektionsfaktor for tilfælde, hvor pH < 7,0 og hvor temperaturen < 5,0 °C. Det antages med dette sæt af UPM2 standarder, at der kan undgås både kort- og langtidseffekter på alle livstadier af alle organismer i vandløb, hvis standarderne ikke overskrides.

4.3 Vurdering af UPM2 standardernes beskyttelse i forhold til økologiske direktivforpligtelser i vandløb i Odense Kommune

Overordnet set er smådyrs- og fiskesamfund sammenlignelige mellem engelske og danske vandløb (Wiberg-Larsen 2015). Det danske DVFI indeks er et søsterindeks til det engelske Average Score Per Taxon indeks (ASPT), og der er god positiv korrelation mellem scorerne af disse (Wiberg-Larsen, pers. med.) og de er derfor sammenlignelige. Tilsvarende indgår laksefisk som en hovedbestanddel i begge de i Danmark anvendte økologiske indices for fisk (DFFVa og DFFVø) og de overordnede engelske vurderinger af påvirkninger af bæredygtige bestande af laksefisk beskrevet i Crabtree m.fl. (2012) må derfor antages at være gældende for de danske indices.

Crabtree m.fl. (2012) vurderede på baggrund af de tilgængelige laboratoriebaserede studier baseret på eksponeringer af enkeltarter eller simplificerede minisamfund af smådyr eksponeret under kontrollerede forhold, at UPM2 standarderne udøver en beskyttelse ift. forpligtelserne i Vandrammedirektivet med en sikkerhedsfaktor for ilt på op til 1,33 (svarende til 33 %) og for ammonium på op til 4,36 (svarende til 436 %) for bæredygtige bestande af laksefisk. Crabtree m.fl. (2012) konkluderede på den baggrund, at UPM2 standarderne yder tilstrækkelig beskyttelse af alle vandløbsorganismer til, at forpligtelserne i forhold til Vandrammedirektivet kan overholdes.

På trods af en tydelig anbefaling af UPM2 standarderne som tilstrækkeligt beskyttende for vandløbsøkosystemerne, vurderer jeg, at der er ikke uvæsentlige mangler i gennemgangen af UPM standardernes beskyttelse af vandløbsøkosystemer. For det første er det velkendt, at flere samtidigt virkende stresspåvirkninger kan øge følsomheden hos organismer over for separate stresspåvirkninger. Og det må antages, at der i regnbetingede udledninger af vand fra renseanlæg og overløbsbassiner kan forekomme flere kemiske komponenter, herunder miljøfremmede stoffer og tungmetaller, som kan øge følsomheden hos vandløbsorganismer over for fokuspåvirkningerne af ammonium-N og lave iltkoncentrationer. Derudover er der evidens for, at de samme organismer, som testes under kontrollerede laboratorieforhold, er en faktor 10-100 mere følsomme over for en given stresspåvirkning, når de eksponeres for denne i deres naturlige økosystem formentlig som følge af at, i) der fx skal allokere energi til konkurrence med andre organismer om føde og plads, ii) naturlige variationer i miljøforholdene (fx temperatur og strømningsforhold) som ikke kan sammenlignes med kontrollerede laboratorieforhold og iii) samtidigt virkende stressfaktorer (Liess m.fl. 2016). Der mangler derfor felt-baserede undersøgelser, der kan efterprøve, at disse foreslåede UPM2 standarder reelt er beskyttende over for vandløbsorganismerne.

4.4 Et alternativt sæt grænseværdier fra Holland

I en rapport, baseret på Kallisto-projektet i Holland, er der netop foretaget analyser af forekomster af arter af smådyr på 44 forskellige lokaliteter i Dommel-vandløbssystemet over en ti-årig periode. På indsamlingslokaliteterne var der samtidig installeret dataloggere, der registrerede koncentrationer af ammonium-N og ilt, og de fysiske forhold blev kvantificeret (de Klein m.fl. 2012). Ved multivariate analyser af smådyrssamfundets sammensætning og dertilhørende økologiske tilstandsklasser blev der fundet en signifikant negativ sammenhæng mellem tilstedeværelsen af renseanlæg/overløbsbassiner og den økologiske tilstand vurderet på smådyrssamfundene. Der blev efterfølgende lavet frequency-distribution modeller for artsspecifikke forekomster langs målte gradienter i koncentrationer af ammonium-N og ilt baseret på den Hollandske Limno-database. Analysen blev kun udført på arter tilhørende grupperne døgnfluer, slørvinger, vårfluer og guldsmede, samt udvalgte arter af krebsdyr, hvoraf alle har høj følsomhed overfor høje koncentrationer af ammonium-N og lave koncentrationer af ilt. Det vil sige, at der på baggrund af et yderst robust felt-baseret datasæt blev foretaget analyser af, ved hvilke koncentrationsniveauer af ammonium-N og ilt, forekomsten af de mest følsomme arter af smådyr ophører. Med afsæt i at grænseværdier for koncentrationer af ammonium-N og ilt skal være beskyttende for 99 % af de mest følsomme arter, blev der etableret et sæt grænseværdier, som er differentieret i forhold til både koncentrationsniveauer og frekvensen af hændelser med de givne koncentrationsniveauer. Disse sæt grænseværdier er gengivet i tabel 3 og 4. Efterfølgende blev de etablerede grænseværdier valideret på et uafhængigt datasæt, og det blev fundet, at den gode økologiske tilstand, vurderet på baggrund af smådyrssamfundene, med stor sandsynlighed understøttes, hvis grænseværdierne overholdes.

Tabel 3. Grænseværdier for iltkoncentrationer med tilhørende hændelsesfrekvens og varighed. Tabellen er gengivet fra de Klein m.fl. (2012).

Årlig hændelses- frekvens	Iltkoncentration (mg/L)		
	1-5 timer	6-24 timer	>24 timer
12	5,5	6,0	7,0
4	4,0	5,5	6,0
1	3,0	4,5	5,5
0,2*	1,5	2,0	3,0

* Indikerer, at hændelsen må indtræffe en enkelt gang indenfor en femårig periode.

Tabel 4. Grænseværdier for koncentrationer af ammonium-N med tilhørende hændelsesfrekvens og varighed. Tabellen er gengivet fra de Klein m.fl. (2012).

Årlig hændelses- frekvens	Ammonium-N (mg/L)		
	1-5 timer	6-24 timer	>24 timer
12	1,5	0,7	0,3
4	2,0	1,2	0,5
1	2,5	1,5	0,7
0,2*	4,5	3,0	1,5

* Indikerer, at hændelsen må indtræffe en enkelt gang indenfor en femårig periode.

Foretages der en sammenligning mellem de engelske og hollandske grænseværdier, er sidst nævnte lidt mere restriktive for både ilt og ammonium-N.

Tages der eksempelvis udgangspunkt i iltkoncentrationer med en varighed > 24 timer og en årlig hændelsesfrekvens på 12, vil iltkoncentrationer under 6,0

mg/L (tabel 1) ifølge UPM2 standarderne være skadelige, mens den tilsvarende hollandske grænseværdi er 7,0 mg/L (tabel 3).

For ammoniak er sammenligningen lidt mere besværlig, fordi de hollandske grænseværdier er angivet som ammonium-N og ikke ammoniak-N som i UPM2 standarderne. Som tidligere nævnt og ligeledes anført af Wiberg-Larsen (2015) kan ligevægtskoncentrationerne mellem ammoniak og ammonium-N beregnes, såfremt pH-værdier og temperaturer er kendte parametre. For at kunne sammenligne direkte mellem de grænseværdier for ammonium-N fra Kallisto-projektet (de Klein m.fl. 2012) og de tilsvarende UPM2 standarder, kræves der altså en omregning. Med udgangspunkt i, at den gennemsnitlige andel af ammoniak er 2 % af den totale mængde ammonium-N i fynske vandløb kan der med udgangspunkt i en eksponeringsvarighed på > 24 timer og en årlig hændelsesfrekvens på 12, beregnes en hollandsk grænseværdi for ammoniak-N på 0,006 mg/L mod 0,018 mg/L for UPM2. Det ses desuden, at de hollandske grænseværdier, uddraget fra Kallisto-projektet, er mere differentierede i forhold til hændelsesfrekvens, hvilket mestendels beror på, at indflydelsen af hændelsesfrekvenser på den økologiske tilstand kunne underbygges med dataanalyser fra en lang tidsserie i Kallisto-projektet, mens der reelt ikke er "hårde" data bag de tilsvarende estimater for hændelsesfrekvenser i UPM2 standarderne (de Klein m.fl. 2012).

Da litteraturgennemgangen har vist, at især laksefisk er mere følsomme over for ammoniak end alle andre undersøgte organismer, ville det være meningsfyldt at fastlægge de endelige grænseværdier for ammoniak/ammonium-N på baggrund af felt-baserede analyser af fiskebestande. Sådanne analyser er på baggrund af en foretagen litteratursøgning ikke tilgængelige.

På baggrund af den gennemgåede internationale litteratur vurderes det derudover, at arter, der findes i vandløbene i Odense Kommune og som indgår i habitatdirektivets bilag II, alle forventes at være mindre følsomme end de mest følsomme livsstadier af laksefisk og de mest følsomme arter af smådyr. Derved må det antages, at de hollandske grænseværdier for ilt- og ammonium-N koncentrationer yder tilstrækkelig beskyttelse for disse arter.

5 Anbefaling af kemiske grænseværdier til brug i WEST-modellen

På baggrund af ovenstående vurderes det mest hensigtsmæssigt at anvende de hollandske grænseværdier for koncentrationer af ilt og ammonium-N med tilhørende årlige hændelsesfrekvenser og varigheder (tabel 3 og 4) i WEST-modellen for at yde tilstrækkelig beskyttelse af vandløbets organismer med henblik på at opfylde de danske forpligtelser i forhold til Vandrammedirektivet og Habitatdirektivet.

På trods af, at de hollandske grænseværdier er en anelse mere restriktive end UPM2 standarderne, tager de muligvis ikke tilstrækkeligt hensyn til de mest følsomme livsstadier af laksefisk. Hvorvidt graden af beskyttelse er tilstrækkelig overfor laksefisk mangler underbygning af felt-baserede undersøgelser. I UPM2 standarderne anvendes en korrektionsfaktor for ilt på 3 mg/L, hvis der er gydepladser for laksefisk til stede. Anvendes denne korrektionsfaktor for de hollandske grænseværdier vil der være tilfælde, hvor grænseværdien for ilt ville være over iltkoncentrationen i vand ved 100 % mætning, og det er derfor ikke nødvendigvis meningsfuldt at arbejde videre med en sådan korrektionsfaktor. I tilfælde, hvor der er gydepladser for laksefisk på lokaliteter nedstrøms de regnbetingede udledninger, kan det være nødvendigt med yderligere undersøgelser for at belyse de hollandske grænseværdiers beskyttelse for disse.

Det vurderes, at der i Odense å og Stavidts å systemerne er tilstrækkeligt med kildepopulationer til at kunne etablere god økologisk tilstand vurderet med DVFI og DFFV. Opnås god økologisk tilstand ikke efter implementeringen af afværgeforanstaltninger kan det anbefales at vurdere nødvendigheden af yderligere virkemidler, især målrettet fysiske forhold.

6 Referencer

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

De Klein, J., Peeters, E., van Zanten, O. & Barten, I. (2012). An ecological assessment framework (EAF) for evaluating the effects of waste water treatment plant and combined sewer overflows loads on the River Dommel. Kallisto project report. Waageningen, Holland. 15s.

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 temperature freshwater fish species. *Journal of Fish Biology* 83: 190-206.

Friberg, N., Skriver, J., Larsen, S. E., Pedersen, M. L. & Buffagni, A. (2010) Stream macroinvertebrate occurrence along gradients in organic pollution and eutrophication. *Freshwater Biology* 55: 1405-1419.

Kristensen, E.A., Jepsen, N., Nielsen, J. & Koed, A. (2014a) Virkemidler til forbedring af de fysiske forhold i vandløb. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 86, 61s.

Kristensen, E.A., Jepsen, N., Nielsen, J., Pedersen, S. & Koed, A. (2014b) Dansk fiskeindeks for vandløb (DFFV). Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 95, 61s.

Liess, M., Foit, K., Knillmann, S., Schäfer, R.B. & Liess, H.D. (2016) Predicting the synergy of multiple stress effects. *Scientific Reports* 6: 32965.

Milne, I., Seager, J., Mallett, M. & Sims, I. (2000) Effects of short-term pulsed ammonia exposure on fish. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19: 2929-2936.

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

Seager, J., Milne, I., Mallett, M. & Sims, I. (2000) Effects of short-term oxygen depletion on fish. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19: 2937-2942.

Stoll, S., Breyer, P., Tonkin, J.D., Früh, D. & Haase, P. (2016) Scale-dependent effects of river habitat quality on benthic invertebrate communities - Implications for stream restoration practice. *Science of the Total Environment* 553: 495-503.

Wiberg-Larsen, P. (2015) Vurdering af miljøeffekterne af regnvandsbetingede udledninger til vandløb. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. 17s.