



Miljøcenter Ribe og Ringkøbing Okkerværktøjskasse

Rekvirent

Miljøcenter Ribe
Sorsigvej 35
Flemming Sørensen
Telefon 72 54 85 44
E-mail flsoe@rib.m.m.dk

Rådgiver

Orbicon A/S
Jens Juuls Vej 18
8260 Viby J
Telefon 87 38 61 66
E-mail lbc@orbicon.dk

Sag	139-07.077
Projektleder	Lars Bo Christensen
Projektmedarbejder	Anders Koed
Kvalitetssikring	Bjarne Moeslund
Revisionsnr.	1
Godkendt af	Henrik Vest Sørensen
Udgivet	Maj 2008

**Miljøcenter Ribe og
Miljøcenter Ringkøbing
Okkerværktøjskasse**

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	Indledning og baggrund	3
1.1	Indledning	3
1.2	Baggrund	5
1.3	Opgaven	5
1.4	Formål	5
2	Baggrund	6
2.1	Okkerforurening	6
2.1.1	Kortlægning af okkerpotentielle arealer	6
2.1.2	Kortlægning af okkerbelastede vandløb	7
2.1.3	Okkerforurening udenfor de okkerpotentielle vandløb.....	9
2.1.4	Generelt	9
2.2	Biologisk påvirkning og den administrative baggrund	10
2.3	Okkerbekæmpende foranstaltninger	12
2.3.1	Hævning af grundvandsstanden	12
2.3.2	Okkerrensningssøer og lavvandede grødebassiner	13
2.3.3	Hydratkalkfældningsanlæg	15
2.4	Hævning af grundvandsstanden i Gåsekær	15
2.5	Okkerrensningssøer og lavvandede grødebassiner	16
2.5.1	Datagrundlag	16
2.5.2	Operationelle modeller for jerntilbageholdelsen i okkerrensseanlæg	18
3	Diskussion	22
3.1	Vandstandshævning	22
3.2	Okkersøer	23
3.3	Vandstandshævning eller okkersøer?	26
3.4	Næringsstoffjernelse	27
3.4.1	Lavvandede søer og okkersøer (lavvandede grødefyldte bassiner)	27
3.4.2	Vådområder (vandstandshævning)	29
3.4.3	Næringsstoffjernelse generelt	29
3.5	Konklusion.....	30
4	Pilotområder	32
4.1	Pilotområde Skonager Lilleå	32
4.2	Pilotområde Lundbæk	35
4.3	Pilotområde Gesten Å.....	38
4.4	Generelt for pilotområderne.....	41
5	Referencer.....	44

BILAGSOVERSIGT

Bilag nr.	Indhold
1	Statistiske analyser

1 Indledning og baggrund

1.1 Indledning

Miljøcenter Ribe og Ringkøbing har indgået et samarbejde, hvor centrene i forbindelse med Statens undersøgelsesovervågning i 2007 ønsker gennemført et projekt, der skal resultere i følgende:

- En beskrivelse af okkervandløbenes faunapotentiale i forskellige vandløbstyper.
- En beskrivelse af nødvendige okkerbegrænsende tiltag i en række vandløbsoplande. Herunder en beskrivelse af tiltagenes økonomiske omfang, samt en udredning af de biologiske og hydrauliske konsekvenserne på de vandløbsnære arealer.
- Udvikling af en værktøjskasse der på baggrund af jernanalyser, fauna-data og vandløbstyper m.m. giver svar på hvilke okkerbegrænsende tiltag, der bør iværksættes.

Projektet indgår i grundlaget for centrenes arbejde med vandplanerne.

Det er centrenes ønske, at dele af projektet gennemføres af en rådgiver, hvorfor Orbicon deltager på en række delopgaver (se afsnit 1.2).

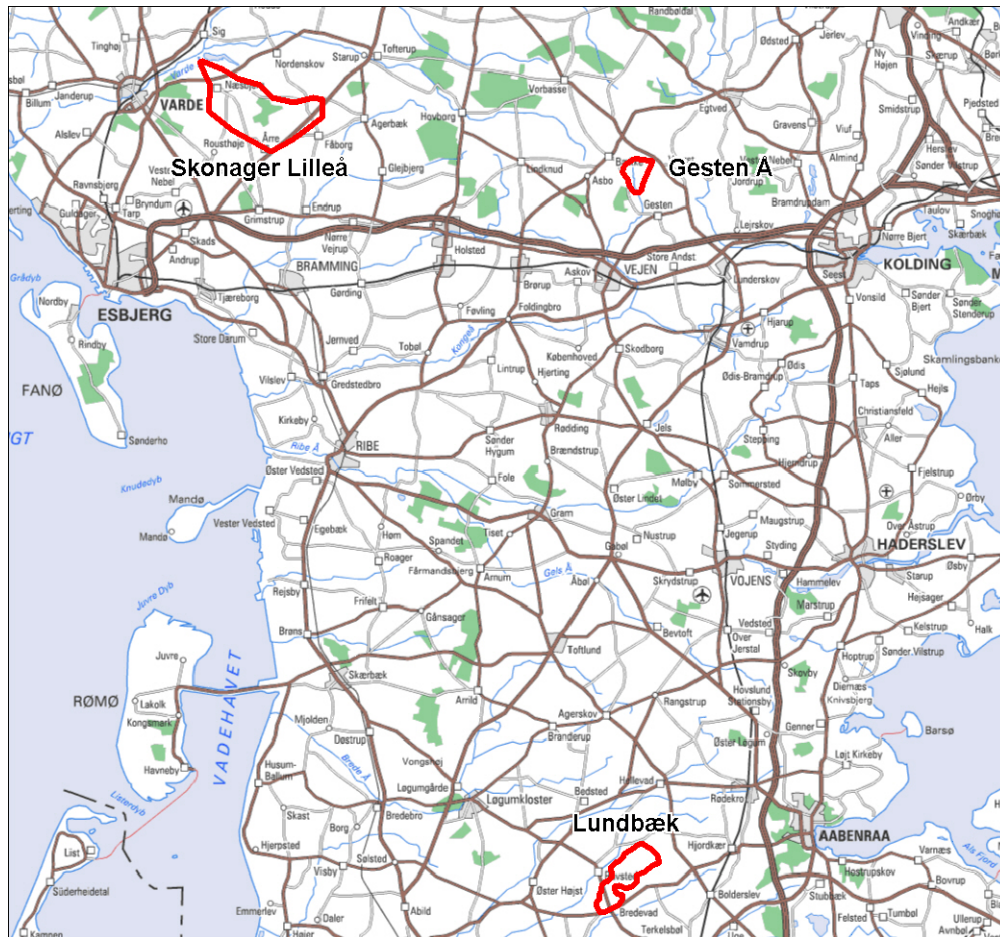
Centrene ønsker således gennemført et projekt, der skal resultere i opstilling af en værktøjskasse med hensyn til okkerbekæmpelse. Værktøjsskassen skal dels bygge på videnopsamling fra allerede gennemførte projekter, samt på undersøgelser/vurderinger i en række pilotområder i det sydvestlige Jylland.

Den del af projektet, hvor Orbicon bidrager, omfatter:

1. Analyse af 51 faunaprøver efter Vejledning Dansk Vandløbs Fauna Indeks, dog for dansemyg kun til familie/slægt.
2. Analyse af 18 faunaprøver efter Vejledning Dansk vandløbs Fauna Indeks. Analyse Novana niveau (fuld udsortering).
3. Opstilling af en okkerværktøjskasse der ud fra eksisterende viden beskriver værktøjer og vurderer deres fordele og ulemper med hensyn til effekt, drift og økonomi.
4. Undersøgelser/vurderinger af mulighederne for okkerbegrænsende foranstaltninger i en række pilotområder.
5. Færdiggørelse af okkerværktøjskassen ud fra eksisterende viden, pilotområderne samt dataanalyse på 200 stationer med opgjorte sammenhænge mellem koncentration af opløst jern og fauna, samt tilhørende miljøvariable. Sidstnævnte dataanalyse gennemføres af miljøcentrene.

På baggrund af ovenstående vil miljøcentrene ligeledes opstille af en webbaseret udgave af værktøjskassen.

Miljøcentrene har i første omgang udvalgt 3 pilotområder beliggende ved henholdsvis Skonager Lilleå, Gesten Å og Lundbæk. Områdernes beliggenhed fremgår af figur 1.1.1.



Figur 1.1.1: Beliggenhed af de 3 pilotområder ved Skonager Lilleå, Gesten Å og Lundbæk.

Fælles for de 3 pilotområder er, at de skal afspejle signaler i Finansministeriet m.fl. (2007) om brug af virkemidler i forhold til implementering af vandrammedirektivet. Her anbefales virkemidler som ekstensivering af arealanvendelsen i ådale, ophør med vandløbsvedligeholdelse og gennemførelse af vandløbsrestaurering.

Hvert af projektforslagene skal omfatte følgende:

1. Hvilke okkerbegrænsende tiltag skal iværksættes for at nå miljømålet på vandløbsstrækninger med fiskevandsmålsætning?
2. Hvor i oplandet skal indsatsen være?
3. Hvad koster tiltagene?
4. Hvilke biologiske og hydrauliske konsekvenser forventes på vandløb og ånære arealer?
5. Konsekvens for eventuel beskyttet naturtype?
6. Konsekvens for fremtidig dyrknings/driftsmuligheder på de ånære arealer?
7. Hvilke behov er der for yderligere dataindsamling til understøttelse/bekræftelse af projektforslaget?

Med punkt 7 lægges op til, at der kun i nødvendigt omfang indsamles feltdata forud for projektforslagene. Der foreligger ældre målinger af ferrojern og total-

jern i de udpegede oplande, men ikke for hver forgrening i vandløbene. For hvert pilotområde har miljøcentrene fremsendt kortbilag, men angivelse af formodet oplandsgrænse, vandløbsmålsætninger og markering af stationer med tidligere målinger af jern.

Nærværende rapport omhandler selve værktøjskassen.

1.2 Baggrund

Som omtalt i afsnit 1.1 ønsker Miljøcenter Ribe og Ringkøbing opgaven delvist løst af en rådgiver, hvorfor centrene udsendte udbudsmateriale d. 23. juli 2007 (Miljøcenter Ribe 2007a).

På denne baggrund fremsendte Orbicon d. 24. august tilbud på løsning af hele opgaven (Orbicon 2007a). Miljøcentrene havde imidlertid ikke tilstrækkelige midler, hvorfor centrene valgte selv at gennemføre dele af opgaven ligesom antallet af pilotområder blev skåret ned fra 6 til 3.

Herefter fremsendte Orbicon d. 6. september 2007 revideret tilbud på løsning af opgaven i et omfang, som fremgår af afsnit 1.1 (Orbicon 2007b). På denne baggrund blev opgaven overdraget til Orbicon (Miljøcenter Ribe 2007b).

1.3 Opgaven

Miljøcenter Ribe og Miljøcenter Ringkøbing har som nævnt i fællesskab opstartet et okkerprojekt i forbindelse med Statens undersøgelses overvågning i 2007, som blandt andet har til formål at udvikle et "værktøj", der på baggrund af jernanalyser, faunadata og vandløbstyper kan give svar på hvilke okkerbegrænsende tiltag, der med fordel kan iværksættes i relation til miljømålsopfyldelse.

På baggrund af en gennemgang af den foreliggende litteratur og en analyse af tidligere indsamlede data på okkerrensaneanlæg giver denne rapport en oversigt over de relevante virkemidler, der findes til okkerbekæmpelse. Der er foretaget en vurdering af de enkelte virkemidlers fordele og ulemper med hensyn til effekt, drift og økonomi, ligesom der er givet anbefalinger til, hvor og i hvilke tilfælde, de kan anvendes.

1.4 Formål

Formålet med denne rapport er at tilvejebringe et simpelt værktøj, der på baggrund af jernanalyser, vandløbstype og andre parametre, giver mulighed for at vurdere de okkerbegrænsende tiltag, som det er nødvendigt at gennemføre for at nå miljømålsopfyldelse på konkrete vandløbsstrækninger.

For det enkelte virkemidler er der desuden beskrevet eventuelle synergieffekter på N og P fjernelse med baggrund i erfaringer fra blandt andet vådområdeprojekter gennemført primært i forbindelse med Vandmiljøplan II (DMU 2006).

Som oplæg til udarbejdelse af rapporten, blev der 12. oktober 2007 afholdt en workshop, hvis formål var at gennemgå den eksisterende viden om virkemidler til okkerbekæmpelse eksemplificeret ved konkrete gennemførte projekter. I mødet deltog fagpersoner fra Miljøcenter Ribe, Miljøcenter Ringkøbing, Ringkøbing-Skjern Kommune, Herning Kommune, Varde Kommune, Lemvig Kommune, Holstebro Kommune, Tønder Kommune og Orbicon.

2 Baggrund

2.1 Okkerforurening

Okkerforurening af vandløb sker, når de tilføres opløst jern, ferrojern (Fe^{2+}) fra grundvandet eller ved afstrømning af drænvand fra jorder, der indeholder jernsvovlforbindelsen pyrit (FeS_2). Oftest er forureningen foranlediget af afvanding og dræning af kalkfattige jorder, der resulterer i, at pyrit iltes, hvorved ferrojern frigives og udvaskes. Okkerforureningen er størst i området vest for den jyske højderyg, fordi jorderne her er rige på pyrit men sandede og dermed fattige på kalk og andre basiske mineraler, f.eks. ler. De østdanske jorder er normalt pyritfattige, fordi kalk binder svovl, og jernet tilbageholdes i jorden. I Jylland er der knap 300.000 ha okkerpotentielle jorder, svarende til ca. 10 % af Jyllands areal. Okkerpotentielle jorder er lavbundsgrunde med et højt indhold af jernforbindelser, hvorfra der potentielt er stor risiko for okkerforurening ved dræning. Langt den overvejende del af arealerne findes i Vest- og Sydvestjylland. Arealet af vandløb indenfor eller nedstrøms de okkerpotentielle områder er vurderet til ca. 28 % af det samlede danske vandløbsareal (Andersen, 1996).

2.1.1 Kortlægning af okkerpotentielle arealer

Afgrænsningen af de okkerpotentielle arealer, der er omfattet af okkerloven (lov nr. 180 af 8. maj 1985 om okker), er givet i § 1 i bekendtgørelse nr. 453 af 18. oktober 1985. Grundlaget for denne afgrænsning er en jordbundskortlægning, der blev gennemført af Landbrugsministeriets daværende Arealdata-kontor i perioden 1981 - 1984.

Kortlægningen blev gennemført på alle lavbundsområder i Jylland, hvor erfaringen siger, at okkerproblemerne er størst. Lavbundsområderne blev defineret som arealer, der på målebords-blade fra sidst i 1800-tallet var vist med enten mose-, eng- eller marsksignatur eller vist som hævet havbund.

Der blev gennemført i alt omkring 7.900 profilboringer til dybder mellem 1,25 og 2,5 m, og der blev udtaget ca. 15.000 jordprøver, der blev analyseret for pyritindhold. Af økonomiske hensyn blev analyserne gennemført med en kvalitativ metode, idet jordprøvernes pH-værdi blev målt før og efter iltning af jordprøven. Hvis jordprøven ved iltningen blev stærkt forsuret, og pH-værdien faldt til under 3, blev jordbunden karakteriseret som okkerpotentiel.

På baggrund af kortlægningen blev Jyllands lavbundsområder inddelt i 4 klasser, nemlig:

Klasse I: Lavbundsområder, hvor **mere end 50 %** af jordprøverne var okkerpotentielle

Klasse II: Lavbundsområder, hvor **mellem 20 og 50 %** af jordprøverne var okkerpotentielle

Klasse III: Lavbundsområder, hvor **mindre end 20 %** af jordprøverne var okkerpotentielle

Klasse IV: Lavbundsområder med **ingen eller meget ringe forekomst** af okkerpotentielle jordprøver

Ifølge ovennævnte bekendtgørelse nr. 453 blev arealerne tilhørende klasserne I-III klassificerede som okkerpotentielle arealer.

Resultaterne af kortlægningen er vist i tabel 2.1.1. Tabellen viser, at lavbundsområderne udgør 20 % af Jyllands areal, og at ca. halvdelen af lavbundsområderne er okkerpotentielle arealer. Der er således tale om arealer med en betydelig udstrækning, idet ca. 10 % eller 2.960 km² af Jyllands areal er klassificerede som okkerpotentielle.

Der er imidlertid store forskelle mellem de jyske amter. I de tidligere Ringkjøbing, Ribe og Sønderjyllands amter udgør de okkerpotentielle arealer mellem 55 og 70 % af lavbundsområderne, mens de okkerpotentielle arealer i de øvrige amter kun udgør mellem 35 og 55 % af lavbundsområderne. Hertil kommer, at områder med jernholdige grundvandsmagasiner forekommer hyppigt i de 3 førstnævnte amter.

Tabel 2.1.1: Resultatet af Arealdatakontorets kortlægning af lavbundsarealer i Jylland. **Klasse I-III er defineret som okkerpotentielle arealer, hvor der skal gennemføres okkerforundersøgelser forud for en sænkning af grundvandsstanden.**

Amt	Amtets areal km ²	Lavbundsareal km ²	Klasse, km ²					ikke klassificeret	Klasse I - III % af Lavbundsareal	% af amtsareal
			I	II	III	IV				
Nordjylland	6.160	2.133	257	172	361	1.068	135	37	13	
Viborg	4.110	714	258	62	84	299	10	57	10	
Ringkjøbing	4.861	859	354	121	124	198	63	70	12	
Århus	4.561	691	138	62	122	345	25	47	7	
Vejle	2.997	254	71	19	5	137	23	37	3	
Ribe	3.122	537	160	69	72	203	33	56	10	
Sønderjylland	3.856	722	279	84	93	259	7	63	12	
Total	29.666	5.910	1.516	589	860	2.650	296	50	10	

2.1.2 Kortlægning af okkerbelastede vandløb

Der er tilsvarende gennemført en kortlægning af forekomsten af okkerforurenede vandløb i Jylland (÷ Århus Amt) (Ribe Amt 1989). Kortlægningen blev gennemført af de jyske amter i sidste halvdel af 1980'erne, mens resultaterne er sammenstillet af Ribe Amt. Denne kortlægning viste, at næsten 25 % (tabel 2.1.2) af de jyske vandløb er okkerforurenede i et omfang, der påvirker vandløbsøkologien væsentligt (defineret som nogen eller kraftig okkerbelastning).

Kortlægningen viser med endnu større tydelighed, at okkerproblemerne er størst i Ringkjøbing, Ribe og Sønderjyllands amter, hvor mellem 39 og 46 % af vandløbene er okkerforurenede. I de øvrige amter er kun mellem 2 og 13 % af vandløbene okkerforurenede. Tabel 2.1.3 viser omfanget af okkerbelastede vandløb i de forskellige amter i både okkerpotentielle og i ikke okkerpotentielle områder baseret på vurdering af mere end 13.000 km vandløb.

Tabel 2.1.2: Procentvis andel af noget eller stærkt okkerbelastede vandløb i 6 jyske amter (efter Ribe Amt (1989)).

Amt	Vandløb, der passerer		I alt %
	okkerpotentielle områder %	ikke okkerpotentielle områder %	
Nordjylland	1	2	3
Viborg	13	0	13
Ringkjøbing	23	16	39
Vejle	1	1	2
Ribe	25	21	46
Sønderjylland	28	11	39
Total	15	8	23

Tabel 2.1.3: Opgørelse af okker- og ikke okkerbelastede vandløb, der gennemløber okkerpotentielle og ikke okkerpotentielle områder i 6 jyske amter (efter Ribe Amt 1989).

Amt	Okkerbelastning	Vandløb, der passerer		I alt km
		okkerpotentielle områder km	ikke okkerpotentielle områder km	
Nordjylland	Ingen/svag	1.013	2.354	3.367
	Nogen/kraftig	25	50	75
	Alle	1.038	2.404	3.442
Viborg	Ingen/svag	632	1.026	1.658
	Nogen/kraftig	242	0	242
	Alle	874	1.026	1.900
Ringkjøbing	Ingen/svag	823	714	1.537
	Nogen/kraftig	571	392	963
	Alle	1.394	1.106	2.500
Vejle	Ingen/svag	315	1.150	1.465
	Nogen/kraftig	13	20	33
	Alle	328	1.170	1.498
Ribe	Ingen/svag	443	759	1.202
	Nogen/kraftig	575	469	1.044
	Alle	1.018	1.228	2.246
Sønderjylland	Ingen/svag	255	684	939
	Nogen/kraftig	434	177	611
	Alle	689	861	1.550
Alle 6 amter	Ingen/svag	3.481	6.687	10.168
	Nogen/kraftig	1.860	1.108	2.968
	Alle	5.341	7.795	13.136

2.1.3 Okkerforurening udenfor de okkerpotentielle vandløb

Kortlægningen af de okkerpotentielle arealer er et udmærket arbejdsredskab til at få et overordnet indtryk af i hvilke områder, man skal være særlig påpasselig med hensyn til okkerproblemer (Christensen 1999). Som det fremgår af afsnit 2.1, er der imidlertid tale om en meget ekstensiv kortlægning med undersøgelse af 1 jordbundsprofil pr. ca. 70 ha lavbundsområde.

Selvom kortlægningen med vedtagelsen af bekendtgørelse nr. 453 af 18. oktober 1985 blev lagt til grund for okkerlovens § 2, er denne behæftet med betydelig usikkerhed. Der er således ingen garanti for, at alle arealer, der er kortlagte som okkerpotentielle, faktisk vil give anledning til okkergener. Omvendt er ikke alle reelt okkerpotentielle arealer omfattet af kortlægningen.

Sidstnævnte usikkerhed kommer klart til udtryk i tabel 2.1.2 og 2.1.3, hvoraf det fremgår, at kun 2/3 af de okkerbelastede vandløb passerer okkerpotentielle arealer. Den sidste 1/3 passerer oplande, der ikke er klassificerede som okkerpotentielle. Okkerbelastningen i de sidstnævnte vandløb stammer enten fra pyritforekomster, der ikke blev fundet ved den grovmaskede jordbunds-kortlægning, eller fra jernholdige grundvandsmagasiner, hvor jernet stammer fra tidligere pyritiltning på selve arealet eller i oplandet.

Det er derfor vigtigt, at der ved grundvandsstandssænkninger i lavbundsområder ikke blot fokuseres på, om det pågældende areal er klassificeret som okkerpotentielt eller ej.

2.1.4 Generelt

Mange lavbunds-jorder og vandløbsnære arealer er blevet drænet og afvandet, på grund af de landbrugsmæssige interesser. Afvandingen tog for alvor til i sidste del af 1800-tallet og toppede i midten af forrige århundrede. Mange søer, moser, enge og ådale blev afvandet i denne periode. I dag er afvanding af lavbunds-jorder normalt ikke økonomisk attraktivt, og siden 1988, hvor statens tilskud til dræningsarbejder bortfaldt, er dræneaktiviteten faldet markant. Siden midten af 1990'erne er tendensen gået den modsatte vej af dræning - der er lavet naturgenopretning af mange lavbundsarealer, blandt andet under Vandmiljøplan II og enkeltstående naturgenopretningsprojekter, eksempelvis Skjern Å Naturprojekt og gensnoning af Brede Å.

Okkerbelastningen af vandløbene er ikke jævn over året. Normalt forekommer de højeste ferrojern koncentrationer i vandløbene i vinterhalvåret (oktober - april), hvor drænvandsafstrømningen er størst. Selve iltningen af pyrit er størst i sommermånederne, hvor grundvandstanden er lav, men da tilstrømningen af vand til vandløbene i denne periode er forholdsvis lav, er okkerbelastningen af vandløbene normalt også lav.

Koncentrationen af opløst jern i vandet er omvendt korreleret med vandtemperaturen; jo lavere temperatur desto højere koncentration, hvilket er en medvirkende faktor til at skabe høje koncentrationer af opløst jern om vinteren (Prange 2005).

Analyserne i denne rapport omhandler ikke foranstaltninger mod jernudvaskning fra brunkulslejer. Hydratkalkfældningsanlæg i kombination med andre metoder er den eneste effektive metode til at rense vandet fra de tidligere

brunkulslejer. Det skyldes, at afløbsvandets pH her er meget lav (3 - 4), og jernkoncentrationen ofte mellem 50 og 100 mg/l, og helt op til 200 mg/l. I sådanne situationer er hverken okkerrensningssøer eller lavvandede grødebassiner effektive som enkeltstående virkemidler, men flere steder er lavvandede grødebassiner anvendt sammen med hydrاتفældningsanlæg som "finrenseanlæg", inden vandet ledes til vandløbet.

2.2 Biologisk påvirkning og den administrative baggrund

I mange af de vest- og sydvestjyske vandløb er okker og opløst jern en væsentlig hindring for tilstedeværelsen af et varieret dyre- og planteliv og dermed en begrænsning for opnåelse af god økologisk kvalitet. De okkerbelastede vandløb har blandt andet problemer med at opfylde miljømålet i henhold til Miljømålsloven for smådyrssamfundet, som foreløbigt er fastsat til en værdi på mindst 5 efter Dansk Vandløbsfauna Indeks (DVFI).

Ferrojern er den giftigste af jernforbindelserne for fisk og smådyr. Sammenhængen mellem smådyr og jern er mest tydelig for ferrojern og mindre klar for total-jern (opløste + udfældede jernforbindelser, Skriver 1984). Det er som regel vinterkoncentrationen af ferrojern, der er den kritiske for vandfaunaen fordi den, som nævnt ovenfor, er højest om vinteren. Er vinter-ferrojernkoncentrationen over et vist niveau, vil kun ferrojern tolerante arter forekomme uanset sommerkoncentrationen. Arter med flere generationer pr. år kan dog indvandre fra nærliggende vandområder om sommeren (Nielsen 1997).

Allerede ved ferrojernkoncentrationer $\geq 0,2$ mg/l ses der en negativ effekt på smådyrsdiversiteten. Derfor må ferrojernkoncentrationen højst være på dette niveau, hvis faunaen skal være upåvirket af okker.

De jyske amtskommuner udarbejdede i 1990 et fælles grundlag for administrationen af okkerloven for at begrænse okkerbelastningen af vandløb i forbindelse med afvanding af okkerpotentielle områder. Grundlaget er gengivet i tabel 2.2.1.

Grænseværdierne for ferrojern på 0,2 mg/l (A, B₁ og B₂-målsatte vandløb) henholdsvis 0,5 mg/l (B₃-målsatte vandløb) er givet på baggrund af et større antal undersøgelser af ferrojerns virkning på plante- og dyrelivet, og er fastsat med henblik på at sikre et alsidigt plante- og dyreliv, der knytter sig til målsætningerne for vandløbene. Det skal bemærkes, at der i forslaget til fremtidige krav ikke skelnes mellem B₁, B₂ og B₃, idet DVFI skal være ≥ 5 i alle fiskevandsmålsatte vandløb.

I vandløb, der ikke har en fiskevandsmålsætning (C, D og E-målsatte vandløb), er der ikke angivet nogen grænseværdi, da hensynet til op- og nedstrøms liggende målsatte strækninger er afgørende.

Okkermålsætningen (F) betragtes som en midlertidig målsætning, der på grund af længerevarende okkerbelastning afløser en fiskevandsmålsætning i vandløb med potentielle muligheder for forekomst af fisk, men hvor der aktuelt ikke findes fisk på grund af okker.

Tabel 2.2.1. Vejledende grænseværdier for administrationen af okkerloven i de jyske amter.

Vandløbets målsætning	Grænseværdi for indholdet af ferrojern (vintergennemsnit) ¹⁾	Maksimal forøgelse af ferrojernindholdet ved gennemførelse af drænprojekter.
A Særligt naturvidenskabeligt interesseområde.	0,2 mg/l	0 mg/l
B₁ Gyde- og yngelopvækstområde for laksefisk.	0,2 mg/l	0,1 mg/l
B₂ Laksefiskevand.	0,2 mg/l	0,1 mg/l
B₃ Karpfiskevand.	0,5 mg/l	0,1 - 0,2 mg/l
C Vandløb, der skal anvendes til afledning af vand.	Ingen grænseværdi ²⁾	Individuelt ²⁾
D Vandløb, påvirket af spildevand.	Ingen grænseværdi	0,1 mg/l
E Vandløb, der er påvirket af vandindvinding.	Ingen grænseværdi	0,1 mg/l
F Vandløb, der er påvirket af okker.	Ingen grænseværdi	0 mg/l ⁴⁾
Ikke målsat vandløb	Ingen grænseværdi ³⁾	Individuelt ^{2) og 3)}

1) Gennemsnittet af målte ferrojernkoncentrationer i perioden oktober til april.

2) Vurderes ud fra de op- og nedstrøms liggende vandløbs kapacitet til yderligere belastning.

3) Det eksisterende plante- og dyrelivs vilkår må ikke forringes.

4) Kortvarige udledninger af jernholdigt grundvand kan accepteres.

Da det er vigtigt på længere sigt at få nedbragt okkerbelastningen, accepteres kun kortvarige udledninger af jernholdigt grundvand og ikke længerevarende udledninger fra pyritiltning. Okkermålsætningen opfattes på denne måde ikke som en "lempet" målsætning, men som en tilstandsbetegnelse, der kendetegner en miljømæssigt utilfredsstillende situation.

For ikke-målsatte strækninger gælder, at det eksisterende plante- og dyrelivs vilkår ikke må forringes ved dræninger. Der vil i hvert tilfælde skulle tages konkret stilling til udledningen med hensyn til vandløbet selv og op- og nedstrøms liggende målsatte strækninger.

I forbindelse med udarbejdelsen af den samlede okkerværktøjskasse er der gennemført en analyse af sammenhængen mellem okkerbelastningen i vandløb og DVFI med henblik på at finde en grænseværdi for ferrojern (gennemsnitlig vinterkoncentration) i forhold til at opnå god økologisk kvalitet (godt faunapotential - DVFI \geq 5 (Sode 2008)). Analysen inkluderer blandt andet forskellige vandløbstyper (bredde, beliggenhed, surhedsgrad og fysisk tilstand) og omfatter geografisk det vest- og sydvestjyske område. Konklusionen af analysen er, at der i vandløb med krav om DVFI \geq 5 generelt kræves en ferrojern vinterkoncentration på \leq 0,5 mg/l.

2.3 Okkerbekæmpende foranstaltninger

Der anvendes i almindelighed tre metoder til fjernelse af okker med hver sit anvendelsesområde afhængig af de konkrete forhold:

- Hævning af grundvandsstanden (projekt eller reduceret vedligeholdelse)
- Okkerrensningssøer og lavvandede grødebassiner
- Hydratkalkfældningsanlæg

2.3.1 Hævning af grundvandsstanden

Okkerforurening skyldes primært, som det fremgår af ovenstående, sænkning af grundvandsstanden og dermed en iltning af jorden. Derfor er den umiddelbare løsning på okkerproblemet at hæve grundvandsspejlet permanent. Denne løsning er af økonomisk grunde ofte kun en realistisk mulighed i afgrænsede områder, for eksempel del af ådale. Konsekvensen af at hæve grundvandsspejlet i større sammenhængende afvandede områder vil være en ekstensivering af arealanvendelsen. Dette kan være forbundet med store udgifter til erstatninger.

I områder, hvor det af økonomiske grunde ikke har været muligt at hæve grundvandsspejlet, har man anvendt de to øvrige metoder nævnt ovenfor.

Hævning af vandstanden ved gennemførelse af et projekt

Hævning af grundvandstanden i et område kan gennemføres ved en række tiltag.

Den simpleste metode er at etablere en permanent opstemning af vandet for eksempel ved at etablere et eller flere simple stemmeværker. Opstrøms herfor vil der opstå en stuvningzone, der hæver grundvandet så langt opstrøms, som vandløbets fald tilsiger. Metoden er kun relevant ved ikke eller lavt målsatte vandløb, da den medfører dårlige fysiske forhold opstrøms, og da den hindrer faunapassage.

Et alternativ er, at vandløbsbunden hæves generelt til det niveau, der medfører den ønskede vandstand. Vandløbsbunden hæves med jord, grus og/eller sten efter behov. Metoden medfører fuld faunapassage, men ikke nødvendigvis en markant forbedring af de fysiske forhold.

En variant af ovennævnte er etablering af en række lave stenstryg, der tilsammen medfører den ønskede vandstandshævning. Hvis denne metode vælges kan det anbefales, at strygene etableres ved hjælp af gydegrus, hvilket på sigt vil øge potentialet for et godt gydevandløb. Metoden medfører generelt en forbedring af de fysiske forhold, men hvis vandspejlshævningen er markant, kan der lige opstrøms strygene opstå stuvningszoner med lidt dårligere vandløbskvalitet. Metoden medfører fuld faunapassage.

Den bedste men også den mest omkostningstunge metode til en generel vandstandshævning er at gensno vandløbet med en højere liggende bund, som det er sket i efterhånden mange Vandmiljøplan II vådområdeprojekter. Metoden vil ved korrekt udførelse resultere i stor variation i de fysiske forhold, ligesom der vil være fuld faunapassage.

Med henblik på at få det optimale ud af metoden er det vigtigt, at der suppleres med lukning af dræn og grøfter i det lokale opland, således at alle eventuelle pyritforekomster på de tilstødende arealer forsegles.

Såfremt det ønskes at gennemføre en generel vandstandshævning, anbefales det, at der forud for projektgennemførelsen gennemføres jordbundsundersøgelser i oplandet, således at det ved pyritanalyser kan dokumenteres, at metoden vil være gavnlig i områderne.

Reduceret vedligeholdelse

Vandstanden i et okkerbelastet vandløb kan ligeledes hæves ved at ændre vedligeholdelsen enten ved helt at ophøre med både grødeskæring og oprensning eller ved at reducere antallet af grødeskæringer. Den ændrede vedligeholdelse kan enten stå alene eller være supplement til ovennævnte generelle vandstandshævning.

På baggrund af en række amtslige erfaringer opstillede Marcus og Christensen (1998) en række forskrifter for vedligeholdelse af okkerbelastede vandløb. Hovedkonklusioner fra dette arbejde er:

- Hvor det ikke er muligt at undlade vedligeholdelsen, bør der udføres miljøvenlig vedligeholdelse for at reducere okkerbelastningen.
- Vedligeholdelsen bør ske manuelt med le og skovl.
- Grødeskæring udføres flere gange om sommeren.
- Der bør kun skæres lidt grøde ad gangen i smalle strømrønder, og det er vigtigt, at der efterlades grøde langs vandløbets sider eller i grødeøer.
- Ved grødeskæring fremelskes så vidt muligt grødearter, som ikke henfalder om vinteren, f.eks. vandranunkel og smalbladet mærke.
- Sidste grødeskæring bør ikke ligge senere end 1. september for at sikre genvækst af grøde, som kan overvintre i vandløbet.
- Eventuel nødvendig oprensning bør ske manuelt, og kun lokale aflejringer fjernes. Hvor den nødvendige oprensning omfatter større mængder, kan arbejdet udføres med maskine.
- Eventuel nødvendig oprensning bør udføres tidligt om efteråret ved så små afstrømninger som muligt for at begrænse omfanget af resuspension af okker, som er bundfældet i sedimentet eller i grøde.

Det skal dog bemærkes, at ændret vedligeholdelse ikke kan sikre mod lave vintervandstande og deraf følgende iltning og udvaskning af jern, hvis grøden er borte eller findes i ringe mængder om vinteren.

Ved ændring af vedligeholdelsespraksis i okkerbelastede vandløb skal man være opmærksom på, at vandløbenes evne til at aflede vand ikke må ændres væsentligt, idet det kan give konflikt med et af vandløbslovens hovedformål om at vandløbene skal aflede vand. Væsentlige ændringer af vedligeholdelsen kræver således en ændring af regulativet for vandløbet.

2.3.2 Okkerrensningssøer og lavvandede grødebassiner

Okkerrensningssøer og lavvandede grødebassiner, også kaldet "okkersøer", i vandløbene etableres med det formål at få udfældet og bundfældet okker. Det har været specielt aktuelt med okkersøer, hvor et okkerbelastet vandløb løber

gennem en smal ådal, og hvor man relativt let har kunnet etablere en dæmning. Okkerudfældningen er generelt proportional med vandets opholdstid og princippet i metoden er, at vandets opholdstid i søen er så stor, at det opløste jern ilttes og bundfældes. Iltningen af opløst jern er stærkt afhængig af vandets pH-værdi, og okkerrensningssøer er mest virksomme, hvor pH er større end 6 - 6,5 (Christensen 1997). Okkersøer placeres typisk umiddelbart nedstrøms okkerkilden, hvor vandføringen er relativt lav og jernkoncentrationen høj. Rensningseffekten her er væsentlig højere sammenlignet med længere nedstrøms i vandløbet, hvor vandføringen er højere og det opløste jern dermed mere fortyndet. Okkerrensningen i okkersøer er mest effektiv i anlæg, der kombinerer dybere sektioner, hvor allerede udfældet okker sedimenteres, med lavvandede grødebassiner, der ilter og udfælder opløst jern.

I lavvandede grødebassiner ledes det okkerholdige vand gennem bassiner med en vanddybde på 25 - 60 cm. Bassinerne er bevokset med grøde og anlæggets funktion er baseret på, at grødens overflade virker som katalysator for iltning af opløst jern til okker. Iltningshastigheden er væsentlig større end i dybe vegetationsløse søer. Anlæggene fungerer også om vinteren, når planterne står med døde blade og stængler. Metoden har den begrænsning, at rensningseffekten er lille ved lav pH og ved høje jernkoncentrationer.

Lavvandede grødebassiner blev første gang afprøvet i slutningen af 70'erne til rensning af afløbsvandet fra Hvidmosen øst for Holstebro. Senere blev der etableret fuldskaalanlæg ved Gerå og Hagens Møllebæk, hvorfra dataanalyser, driftserfaringer og økonomiske betragtninger førte til det vidgrundlag, som nuværende anlæg er dimensioneret efter (Christensen 1992).

Ofte etableres lavvandede grødebassiner med en eller flere 1 - 1,5 m dybe bundfældningssektioner, hvor sand og allerede udfældet okker kan sedimentere. Samtidig øges vandets opholdstid og dermed okkerfjernelsen i anlæggene. Der er flere modeller for placeringen af bundfældningsdelen. Oftest placeres den før det lavvandede, grødefyldte område. I de sønderjyske anlæg er der ofte placeret sandfang i indløbene til anlæggene og dybere bundfældningssektioner i midten med lavvandede grødefyldte områder på begge sider. Udover at øge opholdstiden er fordelene ved bundfældningsområderne, at driftsomkostningerne til oprensning af okkerslam fra bundfældningssektionen er betydeligt mindre end fra de lavvandede grødefyldte områder. Desuden mindskes risikoen for, at planterne dækkes med okker fra tilløbet. Flere nyere anlæg er desuden etableret med en eller flere dybe fordelingsrender i den grødefyldte del. Dette har til formål at opnå en bedre fordeling af vandet til de grødefyldte dele, så anlæggets volumen udnyttes bedst muligt.

Christensen (1992) konkluderede ud fra undersøgelserne ved Gerå, at der kan opnås en gennemsnitlig rensningseffekt for Fe^{2+} og total-jern på henholdsvis 95 % og 80 % ved en opholdstid på mindst 8 timer og en vanddybde på 25 cm i de lavvandede, grødefyldte dele. Resultaterne viste desuden, at anlægget virker bedst ved pH-værdier over 6 samt Fe^{2+} -koncentrationer under 15 - 20 mg/l. Rensningseffektiviteter på henholdsvis 95 % og 80 % kan derfor kun forventes i anlæg med pH over 6.

Der er forsøgt flere metoder til at etablere vegetationsdække i grødebassinerne. I anlæggene, etableret under Ringkjøbing Amt, blev der efter udgravning

af de lavvandede bassiner etableret en græsbevoksning, inden der ledtes vand til det nyetablerede anlæg. Med tiden henfalder græsset i anlægget, og der etableres en naturlig vegetation af indvandrende arter. De grødefyldte bassiner virker ved at øge iltningshastigheden af Fe^{2+} , som efterfølgende hurtigt udfældes som okker. Plantestængler og blade er gennem den kraftige forøgelse af overfladearealer i stand til at accelerere den overfladeaktiverede iltning af Fe^{2+} med en faktor 10 - 100 (Waagepetersen m.fl., 1987). Iltningen finder i vid udstrækning sted ved det jernholdige vands kontakt med de fysiske overflader, så den katalytiske effekt er intakt, selv når planterne står med døde blade og stængler i vinterhalvåret (Moeslund, 1994).

Udover den katalytiske effekt på iltningen af Fe^{2+} har grøden og det jern, der allerede er udfældet på stængler og blade, en betydelig, koagulerende virkning, der medfører, at iltet jern (okker) i små partikler filtreres fra vandet.

2.3.3 Hydratkalkfældningsanlæg

I hydratkfældningsanlæg ledes det jernholdige vand til et reaktionsbassin, hvor hydratkalken tilsættes under omrøring. Herved hæves pH til mindst 7,5, hvor iltningen af ferrojern sker næsten momentant. Fra reaktionsbassinet ledes vandet med opslæmmed kalk til et bassin, hvor det dannede okker bundfældes. Herfra ledes det rensede vand til vandløbet.

Hydratkfældningsanlæg har ikke en generel anvendelighed i forbindelse med okkerfjernelse i vandløb, men har, som forklaret i afsnit 2.1.4, alene sin berettigelse i forbindelse med brunkulslejre. Anlægstypen behandles derfor ikke videre i denne rapport.

2.4 Hævning af grundvandsstanden i Gåsekær

Gåsekær er det eksempel på en grundvandshævning, hvor der er blevet gennemført en tilbundsgående efterfølgende monitoring af total- og opløst jern. Dermed er Gåsekær det eneste område for hvilket, der foreligger et datamateriale, som er egnet til at evaluere effekten af en vandstandshævning på jerntilbageholdelsen.

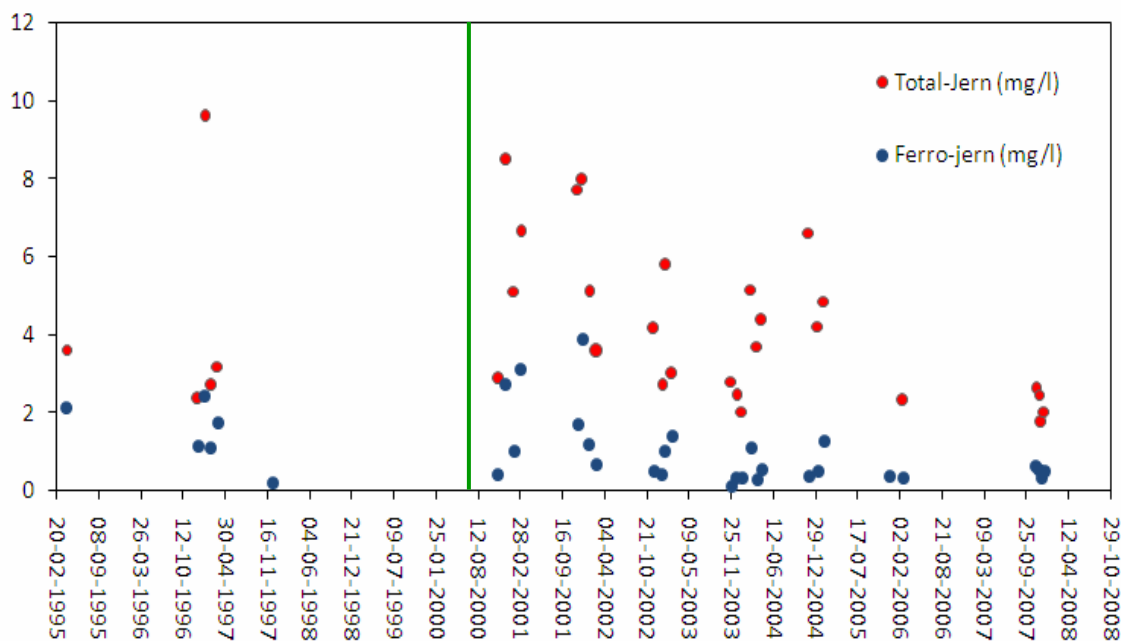
I april 1995 gennemførte Ribe Amt en opsporing af okkerkilder i oplandet til Fåresø (Sørensen 2004a). Opsporingen viste, at afløbet fra Gåsekær var den mest betydende kilde til transporten af okker. På denne baggrund gennemførte Ribe Amt i samarbejde med Oksbøl statskovdistrikt en vandstandshævning i Gåsekæret i august 2000. Projektet havde til formål at reducere udvaskningen af okker fra Gåsekæret.

Der er gennemført en række målinger af koncentrationen af ferrojern og totaljern, samt vandføring fra de kendte okkerkilder på et af de etablerede stenstryg (station nr. 398-56) ca. 150 meter nedstrøms afløbet fra Gåsekæret. Prøvetagningen er gennemført som stikprøver med ca. 4 prøvetagninger per år i vinterhalvåret (nov, dec, jan, feb.) i perioden 2000 - 2007 (Sørensen 2004b). Udviklingen i koncentrationen af opløst jern og totaljern fremgår af figur 2.4.1. I perioden 2000 - 2007 er der sket statistisk signifikante fald i både totaljern (lineær regression; $P = 0,002$; $r^2 = 0,32$; $a = -1,44 \times 10^{-3}$; $B = 5,99$) og opløst jern (lineær regression; $P = 0,007$; $r^2 = 0,23$; $a = -5,80 \times 10^{-4}$; $b = 1,67$). "a" angiver i begge tilfælde den gennemsnitlige reduktion i mg/l pr. dag i afløbsvandet.

Af figur 2.4.1 fremgår det, at der umiddelbart efter vandstandshævnningen sker en forøgelse af især total-jern i afløbsvandet. Årsagen er formentlig, at når sedimentet oversvømmes, mobiliseres og transporteres jern ud i afløbet.

Koncentrationen af total-jern i afløbet kan variere betydeligt inden for en relativ kort periode. Denne variation er i høj grad afhængig af vandføringen. I flomsituationer frigøres det udfældede okker i vandsystemet, og der kan forekomme høje koncentrationer af total-jern.

Derimod er der sket et meget betydeligt fald i koncentrationen af opløst jern, så alt tyder på, at vandstandshævnningen har haft den forventede effekt.



Figur 2.4.1. Udviklingen i koncentrationen af total- og ferrojern i afløbsvandet fra Gåsekær i perioden 1996 – 2007. Den grønne streg indikerer vandstandshævnningen, der skete i august 2000 (efter Sørensen 2007).

2.5 Okkerrensningssøer og lavvandede grødebassiner

2.5.1 Datagrundlag

For at undersøge og opstille nogle generelle sammenhænge mellem jerntilbageholdelse og forskellige parametre er der i forbindelse med værktøjskassen indhentet data fra ca. 55 okkerrensningssøer. Følgende har leveret data til analysearbejdet: Herning Kommune, Holstebro Kommune, Ringkøbing-Skjern Kommune (på vegne af Ringkøbing Amt), Miljøcenter Ribe (på vegne af Ribe Amt).

For at kunne gennemføre en "robust" og pålidelig dataanalyse, er det nødvendigt, at alle relevante parametre er målt (se nedenfor), og at der for de enkelte anlæg findes samtidige målinger af de relevante parametre, eksempelvis af jernindhold i indløbsvandet og vandføring.

For okkerrensningssøerne er det kun datamaterialet fra undersøgelsen "Optimering af renseseffekten i lavteknologiske okkerrensningeanlæg" (Ringkøbing Amt 2001), der imødekommer dette krav. På dette datamateriale er der lavet en samlet analyse, som inkluderer alle vinterdata fra de 9 anlæg angivet i tabel 2.5.1.

Der er alene anvendt data fra vinterhalvåret (oktober - april, begge måneder inklusive).

Der er lavet fire analyser med følgende afhængige parametre:

- Mængde fjernet total-jern
- Andel fjernet (%) total-jern
- Mængde fjernet opløst jern
- Andel fjernet (%) opløst jern

I alle analyserne er anvendt følgende uafhængige parametre:

- Vandføring
- Opholdstid
- Anlægsareal
- Volumen
- pH i indløbsvandet
- Total jern i indløbet
- Opløst Jern i indløbet

De statistiske analyser, der er gennemført, fremgår af bilag 1.

Tabel 2.5.1: Oversigt over de ni anlæg som indgår i analysen. "Antal" er antallet af jernmålinger i de enkelte anlæg, som indgår i dataanalyserne. "Veg" er vegetationsdække, hvor værdien "0" er ingen eller meget sparsom vegetation og værdien "3" er høj vegetationsdækningsgrad (data fra Ringkøbing Amt 2001).

Anlæg	Antal	Veg	pH		Opholdstid (timer)		Fe Total (mg/l)		Fe Opløst (mg/l)	
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Hvidmose	33	3	5,58	6,88	12,52	54,09	10,0	30,0	6,2	18,0
Hodsager	35	3	5,65	6,87	8,13	532,41	7,2	25,0	5,1	12,0
Kvalsholm	14	2	6,58	7,1	5,74	511,11	0,9	27,0	0,2	6,7
Kærshovedgård	11	0	6,65	7,1	15,91	95,15	0,9	26,0	0,6	5,1
Abild	14	3	6,00	6,51	11,39	105,97	1,6	10,0	1,2	9,1
Birkmose	11	3	5,57	6,2	31,11	117,62	1,9	12,0	0,5	9,5
Mølsted	20	1	6,33	7,42	15,17	202,99	1,1	6,1	0,1	4,4
Byn	8	3	5,84	6,49	45,31	75,69	1,7	6,4	0,9	4,3
Randbæk1	12	2	6,02	6,63	10,89	60,76	4,0	16,0	2,4	14,0

2.5.2 Operationelle modeller for jerntilbageholdelsen i okkerrensseanlæg

På baggrund af resultaterne af screeningerne af betydende faktorer for jerntilbageholdelse (bilag 1) er der lavet modeller for tilbageholdelse af total- og opløst jern i okkerrensseanlæg. Følgende uafhængige variable blev medtaget i regressionsanalyserne:

- Opholdstid (timer)
- pH i indløbsvandet
- Total-jern-koncentrationen i indløbsvandet (mg/l)
- Ferrojernkoncentrationen i indløbsvandet (mg/l)

Da ovenstående screening viste, at jerntilbageholdelsen var signifikant højere i anlæg med en høj grad af vegetationsdække (kategori 3), blev kun anlæg i denne kategori medtaget i regressionsanalyserne. Alle genererede modeller forudsætter altså en høj grad af vegetationsdække.

pH i indløbsvandet havde ingen signifikant forklaring på variationen af data i nogen af modellerne, og er derfor ikke inkluderet som faktor.

Figur 2.5.1 og 2.5.2 viser de observerede værdier for fjernelsen af henholdsvis total-jern og opløst jern i forhold til de estimerede værdier fra de genererede modeller.

For total-jern blev der, foruden modellerne hvor koncentrationen af opløst jern-ind er medtaget som faktor, også lavet en model uden denne faktor. Variationen, som denne model forklarer, er kun marginalt mindre end, når faktoren medtages i modellen (91,7 % vs 92,3 %).

De non-lineære modeller havde i begge tilfælde den højeste variansforklaring, 92,3 og 90,9 % for henholdsvis total- og opløst jern, mens de lineære modeller lå 2 – 4 % under i forklaringsgrad (figur 2.5.1 og 2.5.2).

Estimeringen af jerntilbageholdelsen og jernkoncentrationerne i udløbene af okkerrensseanlæg på baggrund af modellerne kan ske ved hjælp af tabel 2.5.2.

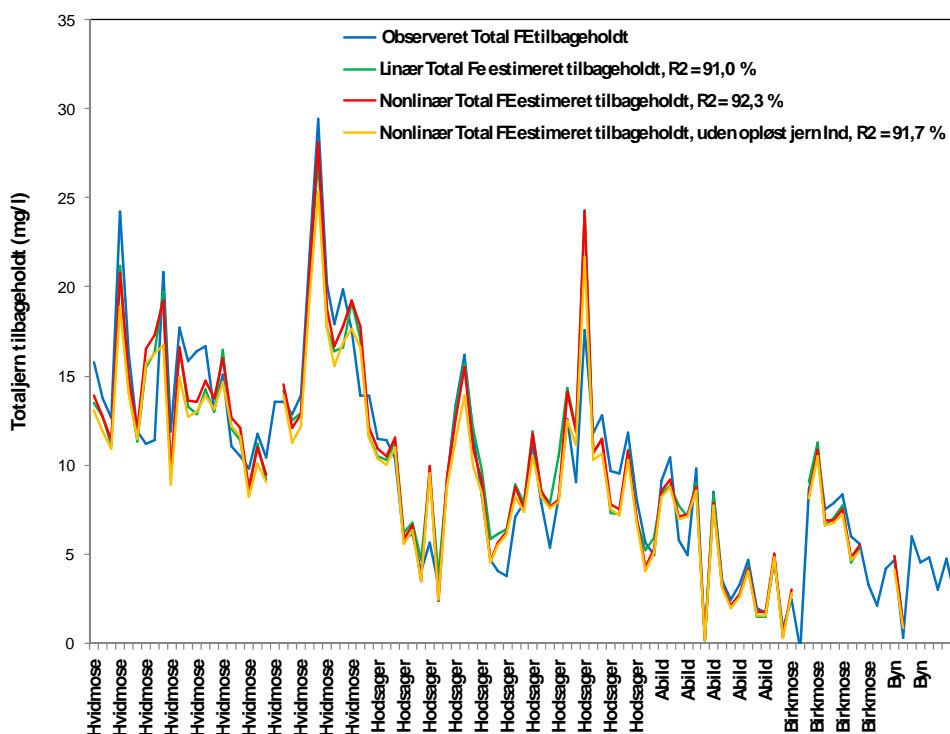
De non-lineære modeller total- og opløst jern, som havde de højeste grader af variansforklaring, er givet nedenfor. Enhederne for total- og opløst jern er mg/l, mens enheden for opholdstiden er timer. Tegnet "[^]" betyder "opløftet i":

Total-jern tilbageholdt (R²=0,923):

$$\begin{aligned} &((((((\text{Total-jern}_{\text{ind}} + (3/8))^{\wedge}0,5)^{\wedge}1,101) * ((\text{Opløstjern}_{\text{ind}}^{\wedge}0,82)^{\wedge} \\ &0,051)) + ((\text{LN}(\text{Opholdstid})^{\wedge}0,5)^{\wedge}-7,33) * -14,355) - 0,213)^{\wedge}2) - 3/8 \end{aligned}$$

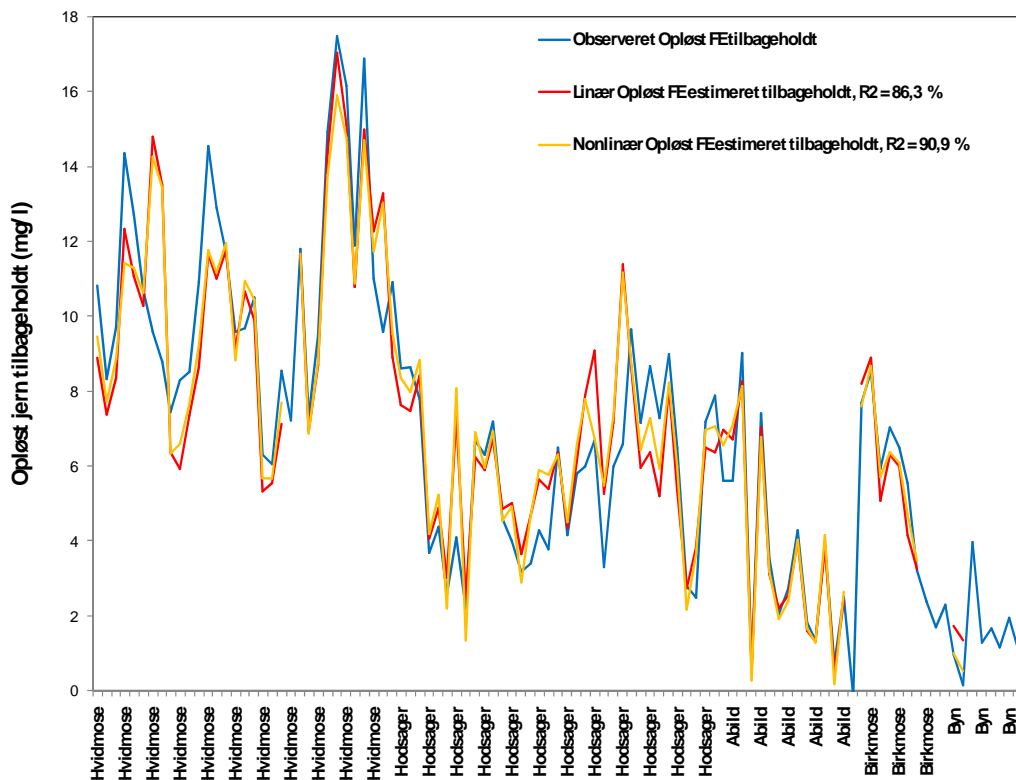
Opløst jern tilbageholdt (R²=0,909):

$$\begin{aligned} &=((((((\text{Total-jern}_{\text{ind}} + (3/8))^{\wedge}0,5)^{\wedge}0,122) * ((\text{Opløstjern}_{\text{ind}}^{\wedge}0,82)^{\wedge}0,52) - \\ &((((\text{LN}(\text{Opholdstid})^{\wedge}0,5)^{\wedge}-9,061) * 6,229))^{\wedge}4,612)^{\wedge}2) - (3/8) \end{aligned}$$



Figur 2.5.1: De observerede værdier for tilbageholdelse af total-jern i forhold til estimerede værdier på baggrund af tre regressions modeller. Se teksten for yderligere forklaring.

Beregningen af jerntilbageholdelsen og jernkoncentrationerne i udløbene af okkerrensaneanlæg på baggrund af modellerne kan også ske ved hjælp af tabel 2.5.2, hvor alle modeller er medtaget. Modellerne i den digitale udgave af dette dokument er aktive, således at det ud fra indløbsdata og anlæggets opholdstid er muligt at beregne de jernmængder, der vil kunne fjernes (både opløst jern og total-jern), ligesom udløbskoncentrationerne kan beregnes (både opløst jern og total-jern).



Figur 2.5.2: De observerede værdier for tilbageholdelse af opløst jern i forhold til estimerede værdier på baggrund af to regressions modeller. Se teksten for yderligere forklaring.

Modellerne i tabel 2.5 2 er alle empiriske, hvilket vil sige, at de er genererede på baggrund af datamaterialet fra de 5 anlæg med vegetationsdække i kategorien 3 (se tabel 2.5.1 og figur 2.5.1 og 2.5.2). Derfor vil modellerne også være mest pålidelige, når de anvendes til at estimere udløbskoncentrationer af totaljern og opløst jern fra okkerrensseanlæg, hvor de vandkemiske forhold ligner de forhold, som er gældende for de 5 nævnte anlæg. Med lignende vandkemiske forhold menes pH niveau, koncentrations niveau af total- og opløst jern samt forholdet mellem disse koncentrationer. Falder for eksempel forholdet mellem koncentrationerne af total- og opløst jern helt uden for, hvad der gælder for de 5 anlæg, kan modellerne give negative estimerede værdier, hvilket ikke giver mening. Med andre ord er modellerne ikke egnede til extrapolation.

Tabel 2.5.2: Fem modeller til estimering af udløbskoncentrationer af total-jern og opløst jern fra okkerrenseanlæg. Regnearket åbnes ved at pege på arket med musen og dobbeltklikke. Under model, der ønskes anvendt, indtastes værdier for henholdsvis koncentrationerne af total-jern og opløst jern i indløbsvandet samt vandets opholdstid i anlægget. Det anbefales, at modellen med den højeste R^2 anvendes.

Input værdier	
Indtast totaljern koncentration ind (mg/l) i celle til højre	10
Indtast opløst jern koncentration ind (mg/l) i celle til højre	2,5
Indtast opholdstid (timer) i cellen til højre	16
Modeller totaljern	
Fe-total lineærregression, $R^2 = 0,910$	
Estimeret totaljern fjernet (mg/l)	8,37
Estimeret totaljern ud (mg/l)	1,63
Fe-total, nonlinearregression, $R^2=0,923$.	
Estimeret totaljern fjernet (mg/l)	8,23
Estimeret totaljern ud (mg/l)	1,77
Fe-total, nonlinearregression, uden filtreret, $R^2=0,917$	
Estimeret totaljern fjernet (mg/l)	6,98
Estimeret totaljern ud (mg/l)	3,02
Modeller opløst jern	
Fe-opløst, lineærregression, $R^2 = 0,863$	
Estimeret opløst jern fjernet (mg/l)	2,00
Estimeret opløst jern ud (mg/l)	0,50
Fe-opløst, nonlinearregression, $R^2 = 0,909$	
Estimeret opløst jern fjernet (mg/l)	1,65
Estimeret opløst jern ud (mg/l)	0,85

3 Diskussion

Den følgende diskussion er dels baseret på resultaterne fra denne undersøgelse, men i høj grad også på Ringkøbing Amt (2001) samt indlæg på okkerworkshoppen d. 12. oktober 2007 ved Per Søby, Ringkøbing-Skjern Kommune med titlen "Okkerrensning ved etablering af bassin anlæg og opstemmede søer i ådale".

I forbindelse med okkerværktøjskassen er der udarbejdet en analyse af sammenhængen mellem okkerbelastningen i vandløb og DVFI med henblik på at finde en grænseværdi for ferrojern (gennemsnitlig vinterkoncentration) i forhold til at opnå god økologisk kvalitet (godt faunapotential - DVFI ≥ 5 (Sode 2008)). Analysen inkluderede blandt andet forskellige vandløbstyper (bredde, beliggenhed, surhedsgrad og fysisk tilstand) og omfatter geografisk det vest- og sydvestjyske område. Konklusionen af analysen er bl.a., at der i vandløb, hvor der ønskes en DVFI ≥ 5 , generelt kan tolereres en ferrojern vinterkoncentration på $\leq 0,5$ mg/l. I relation til miljømålsopfyldelse og okkerbekæmpende tiltag er dette altså umiddelbart sigtemålet for det koncentrationsniveau, som tiltagene bør nedbringe belastningen af ferrojern til.

3.1 Vandstandshævning

Resultaterne fra Gåsekær viser, at der umiddelbart efter vandstandshævningen sker en forøgelse af især total-jern i afløbsvandet. Årsagen er formentlig, at når sedimentet oversvømmes, mobiliseres og transporteres jern ud i afløbet. Niveauet af opløst jern i udløbsvandet faldt til under niveauet før vandstandshævningen i løbet af ca. 3 år, mens det tilsvarende for total-jern tog ca. 7 år. Der ser altså ud til at være en pulje, af især total-jern, som først skal transporteres bort, før man ser en klar effekt af vandstandshævningen.

Vandstandshævningen i Gåsekær har tilsyneladende resulteret i, at transporten af både total- og opløst jern fra Gåsekæret er lavere i dag end før vandstandshævningen. Der er af gode grunde ingen kontrol på forsøget, og det kan derfor ikke udelukkes, at reduktionen var sket under alle omstændigheder. En måleserie af længere varighed før vandstandshævning kunne have hjulpet til at give indikation på, om jerntransporten fra området var konstant eller aftagende før vandstandshævningen, og dermed givet en indikation på, om reduktionen var sket under alle omstændigheder.

Man kan dog med baggrund i teoretiske overvejelser (se afsnit 2) med rimelighed antage, at vandstandshævningen i Gåsekær har haft en positiv effekt på jerntilbageholdelsen, ligesom man med samme rimelighed kan antage, at vandstandshævninger generelt vil have en positiv effekt på jerntilbageholdelsen, da det var den modsatte proces - dræning - som skabte problemet.

Gennemføres vandstandshævninger vil det formentlig, afhængig af jordbundsforholdene og andre lokale forskelle, være meget forskelligt fra område til område, hvor stor en reduktion af jerntransporten der vil ske pr. år, og dermed hvor lang tid det vil tage, inden jernkoncentrationen er nede på acceptabelt niveau i forhold til målopfyldelse. Det vil selvfølgelig også i høj grad også afhænge af, hvad jernkoncentrationen er, inden vandstanden hæves.

Okkerforurening skyldes primært sænkning af grundvandsstanden. Derfor er den umiddelbare løsning på okkerproblemet at hæve grundvandsspejlet permanent. Konsekvensen af at hæve grundvandsspejlet i større sammenhængende afvandede områder vil være en ekstensivering af arealanvendelsen, hvilket normalt er forbundet med store udgifter til erstatninger. Generelt er vandstandshævninger da også blevet gennemført i forbindelse med Vandmiljøplan II eller naturgenopretning af ådale, hvor staten har ydet tilskud, og hvor fokus kun i mindre grad har ligget på okker, men i højere grad på tilbageholdelsen af næringsstoffer (N og P) og naturmæssige værdier.

En naturlig måde at løse okkerproblemerne på er, at ændre vedligeholdelsen i vandløbene enten ved at ophøre med vedligeholdelse eller ændre til en mere skånsom vedligeholdelse, primært i de små vandløb hvor okkerproblemerne oftest er mest udbredt. Ved at iværksætte en mere skånsom vedligeholdelse i vandløbene vil vandstanden kunne hæves, og jernforbindelser vil blive bundet og tilbageholdt i engene frem for som i dag, at blive udskyllet via de eksisterende drænsystemer. I den sammenhæng vil det være oplagt for eksempel at kombinere nye vådengprojekter under Vandmiljøplan III med nye okkerprojekter.

3.2 Okkersøer

Screeningen af betydende faktorer viste, at følgende parametre har betydning for jerntilbageholdelsen i okkersøer:

- Vegetationens dækningsgrad
- Opholdstiden
- pH i indløbsvandet
- Total-jern-koncentrationen i indløbsvandet (mg/l)
- Ferrojernkoncentrationen i indløbsvandet (mg/l)

Efterfølgende blev der lavet modeller for jerntilbageholdelsen i anlæggene under forudsætning af en høj grad af vegetationsdække samt, at anlæggene udformes efter modellen som er anbefalet i Ringkøbing Amt (2001) (se nedenstående afsnit "Udformning og andre anlægsmæssige forhold"). Dette fordi screeningen havde vist, at jerntilbageholdelsen i anlæg med højt vegetationsdække var numerisk og signifikant højere end i anlæg med lavere eller ingen grad af vegetationsdække.

Modellerne kan anvendes til at bestemme, hvor lang opholdstiden bør være i et anlæg på en given lokalitet for at opnå en given udløbskoncentration af henholdsvis total- og opløst jern. I modellerne (tabel 2.5.4) kan indløbskoncentrationer af total- og opløst jern samt opholdstid indtastes, hvorefter de estimerede udløbskoncentrationer beregnes.

Modellerne i tabel 2.5 2 er alle empiriske, hvilket vil sige, at de er genererede på baggrund af datamaterialet fra de fem anlæg med vegetationsdække i kategorien 3 (se tabel 2.5.1 og figur 2.5.1 og 2.5.2). Derfor vil modellerne også være mest pålidelige, når de anvendes til at estimere udløbskoncentrationer af totaljern og opløst jern fra okkerrensianlæg, hvor de vandkemiske forhold ligner de forhold, som er gældende for de frem nævnte anlæg. Med lignende vandkemiske forhold menes pH niveau, koncentrations niveau af total- og opløst jern samt forholdet mellem disse koncentrationer. Falder for eksempel

forholdet mellem koncentrationerne af total- og opløst jern helt uden for, hvad der gælder for de fem anlæg, kan modellerne give negative estimerede værdier, hvilket ikke giver mening. Med andre ord er modellerne ikke egnede til ekstrapolation.

Under planlægning af nye anlæg bør såvel den hydrauliske belastning (vandføring) som jernbelastning og pH indgå i dimensioneringen. Forundersøgelser af vandkemien i kritiske renseperioder bør endvidere anvendes til at vurdere placeringen af anlæggene. Meget lave pH-værdier tæt på punktkilden kan betyde, at anlægget enten bør etableres længere nedstrøms, hvor pH er højere, eller at anlægget måske helt bør undlades, idet renseseffekten på forhånd kan forventes at blive lav (pH under ca. 5,5).

Da opholdstiden er helt central, er det reelt set en kombination af vandløbets størrelse, jernkoncentrationen og pH der afgør, om det er aktuelt at anlægge en okkersø i et givet vandløb. I sidste ende er det selvfølgelig et spørgsmål, om der er tilstrækkelig plads til at anlægge en okkersø af en størrelse, der er påkrævet for at opnå tilstrækkelig jerntilbageholdelse.

Vegetationsdække

Det er vigtigt for anlæggets effektivitet, at der er en høj grad af vegetationsdække, mens det tilsyneladende ikke er særligt afgørende, hvilken type vegetation det drejer sig om (Herning Kommune 2004).

Der er lavet forskellige forsøg med tiltag til at fremme vegetationsindvandring og grødevæksten i anlæggene. I det tidligere Ringkøbing Amt var en udbredt fremgangsmåde at, når der blev gravet ud til en okkersø, at topjorden med frøpuljen af græsser og urter blev gemt og lagt tilbage i bunden af anlægget, når udgravningen var færdig. Derefter ventede man med at lede vand på anlægget, indtil der var etableret sig et forholdsvis tæt vegetationsdække i bunden af anlægget. Når der blev ledt vand på anlægget, virkede det optimalt fra dag 1. Vegetationen, som overvejende består af terrestriske og i ringe grad vandtålende arter, vil forholdsvis hurtigt begynde at visne og henfalde. Samtidig sker der løbende en naturlig indvandring af vandtålende arter, således at anlægget i løbet af denne udvikling har en forholdsvis høj vegetations dækningsgrad, indtil der har etableret sig en naturlig bestand af sump og vandplanter

I det tidligere Ringkøbing Amt har man også forsøgt sig med udplantning af vandplanter, som fandtes i vandløbet. Vegetationen har formentlig udviklet sig hurtigere end den ville have gjort uden dette tiltag, men under alle omstændigheder kan det forventes, at der vil kunne opnås en for anlægget maksimal vegetationsdækningsgrad i løbet af 2 - 4 år efter etablering.

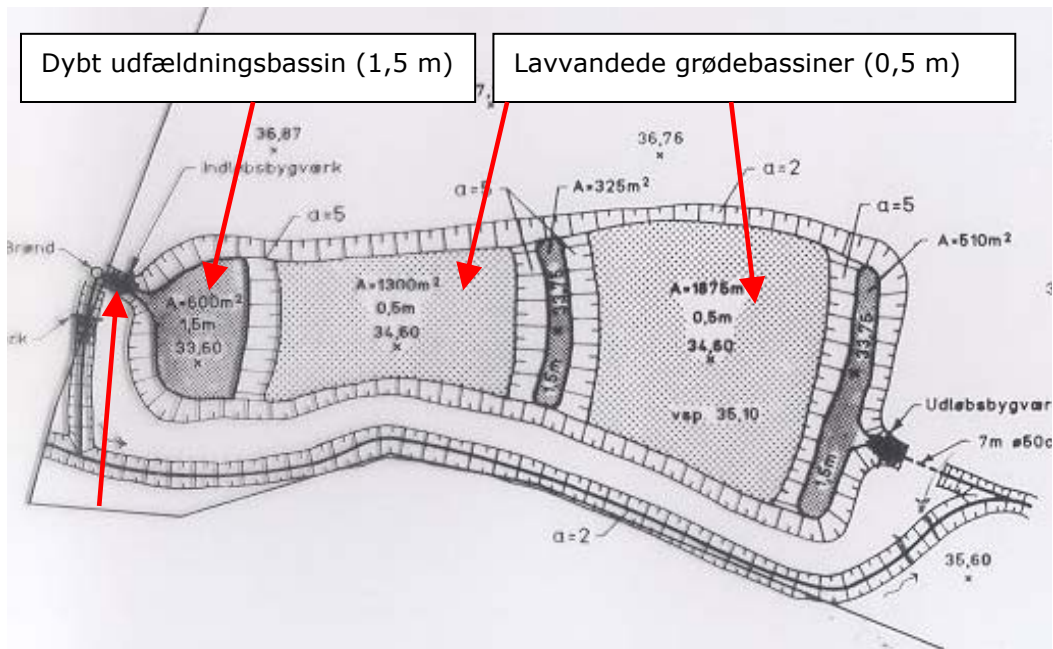
Udformning og andre anlægsmæssige forhold

I denne undersøgelse er der ikke lavet en analyse af anlæggenes fysiske udformning i forhold til jerntilbageholdelseeffekten. Nedenstående anbefalinger er baseret på Ringkøbing Amt (2001). Det anbefales heri, at okkerrensianlæg etableres med udfældningsbassiner ved indløbet på 1 - 2 m dybde (dybe bassiner) efterfulgt af lavvandede områder på 50 - 60 cm dybde med mulighed for udvikling af størst mulig vegetationsdække (figur 3.1.1). Bassinerne bør endvidere etableres med fordelingsrender i de lavvandede dele for at få så god

en fordeling af vandet gennem anlægget som muligt. Denne opbygning anbefales anvendt, uanset om vandløbet transporterer jernet på partikulær eller opløst form.

Bassinerne bør udformes uden kørediger og lignende, idet dette kan resultere i strømrander og dermed en dårlig udnyttelse af anlæggets volumen. Der bør stræbes efter, at bassinerne er så homogene i deres opbygning som muligt.

Resuspension af allerede udfældet okker kan være et stort problem i vindeksponerede anlæg. Det anbefales derfor, at der plantes lægivende vegetation omkring anlægget.



Figur 3.1.1: Detailskitse af Birkmose okkerrenseseanlæg. Efter Ringkøbing Amt (2001).

For at minimere udgravningsarbejdet bør anlægget placeres på de laveste terrænområder langs vandløbene. Er der teknisk og juridisk mulighed for en vis opstemning af vandspejlet i vandløbet, eventuel som følge af en underuddybning af vandløbsbunden i forhold til vandløbsregulativet, kan dette med fordel kombineres med selve udgravningsarbejdet.

Drift og vedligeholdelse

De følgende anbefalinger bygger på indlæg givet på okkerworkshoppen d. 12. oktober 2007

Okkersøer kræver erfaringsmæssigt oprensning ca. hvert 5. år og bør tilses ca. 1 - 2 gange pr. år. Af hensyn til vedligeholdelsen af anlægget bør der sikres en tinglyst adgangsret til området. I forbindelse med de fremtidige vedligeholdelsesarbejder kan der med stor fordel etableres et slambed i tilknytning til okkerrensningsanlægget, som vil kunne anvendes, når det oprensede okkerslam skal afvandes. I forbindelse med etableringen af et nyt okkerrensningsanlæg må der påregnes et mindre udgiftsbeløb til drift og vedligeholdelse af anlægget. Oprensningshyppigheden af okkerrensningsanlægget vil afhænge

af anlæggets dimensioneringsgrundlag samt renseseffektiviteten af de tilførte okker- og materialetransporter til anlægget.

3.3 Vandstandshævning eller okkersøer?

Okkersøer kan generelt med fordel etableres i vandløb, hvor jern kommer fra en punktkilde. I vandløb, hvor kilden er mere diffus og stammer fra et større opland, vil den mest optimale løsning være vandstandshævning (Sønderjyllands Amt 2005). Inden der etableres okkerbekæmpende foranstaltninger, uanset om der planlægges en okkersø eller en generel vandstandshævning, bør der altså foretages en grundig kildeopsporing.

Områder der egner sig til vandstandshævning giver langt hen ad vejen sig selv, da det oftest drejer sig om større, drænede arealer, hvor der tidligere fandtes mose, sø eller våde eng. Inden der arbejdes videre med en vandstandshævning bør det ved pyritanalyser (jordprøver fra den jordhorisont, der vil blive vandfyldt) dokumenteres, at der foregår aktiv pyritiltning i området. Hvis der alene er tale om jernholdigt grundvand, vil vandstandshævningen i værste fald være uden eller med kun marginal effekt på jernudvaskningen.

Placering af okkersøer bør nøje overvejes. Placeres anlægget langt nede i vandløbssystemet, vil vandløbet blive rensed for størstedelen af det transporterede jern, men okkersøen skal være stor for at opnå en tilstrækkelig opholdstid, og kun en mindre vandløbsstrækning vil få nedsat okkerbelastningen. Placeres okkersøen langt oppe i systemet, er det ikke sikkert, at alle væsentlige okkerkilder dækkes af anlægget, men derimod vil en lang vandløbsstrækning nedstrøms anlægget få gavn af anlægget (Sønderjyllands Amt 2005). Derfor bør okkersøer altid placeres så langt oppe i et vandsystem som muligt under hensyntagen til, at de væsentligste okkerpunktkilder dækkes af anlægget.

Fordelene ved at lave vandstandshævninger frem for okkersøer er flere:

- Der er relativt begrænsede anlægsomkostninger.
- Der vil kunne opnås optimale miljøforhold i vandløbene, såfremt grundvandsstanden i engene bliver hævet permanent.
- Det er den mest naturlige metode at gennemføre okkerrensning på, og man undgår menneskeskabte anlæg, der kræver vedligeholdelse i vandløbssystemerne.

Der er også ulemper forbundet med vandstandshævninger frem for okkersøer:

- Administrativt kan det være en svær og komplicerede/tekniske opgave at løse.
- Det er meget ressourcekrævende at gennemføre vandstandshævninger hvad angår personaleindsats på grund af mange involverede lodsejere.
- Vandstandshævning vil i mange tilfælde udløse store erstatningsgodtgørelser eller kompensationsarealer, såfremt vandstanden hæves i forhold til vandløbsregulativet.

Konventionelle okkerrensingsbassiner kan også tænkes kombineret med midlertidige vandstandshævninger i vinterhalvåret. Fordelen ved denne løsningsmodel er:

- Det er billigt at gennemføre.
- Der er ringe landbrugsmæssige interesser i vinterhalvåret (afvandringsmæssigt), hvor de store okkerudledninger typisk sker.
- Materialetransporten til okkerrensingsanlæggene reduceres, hvorved oprensningsbehovet bliver mindre hyppigt.
- Der sker en øget rensning og tilbageholdelse af okker på engarealerne i vinterhalvåret, hvor behovet for effektiv jerntilbageholdelse samtidig er størst.
- Der vil kunne foregå en øget omsætning/tilbageholdelse af kvælstof og fosfor i de oversvømmede enge.
- Administrativt vil denne projektløsningen vil være forholdsvis let at tilføje de allerede eksisterende bassinanlæg.
- Erstatningsudgifterne vil formentlig kunne holdes nede på rimelige niveauer.

3.4 **Næringsstoffjernelse**

Etablering af okkerrensingsanlæg i form af okkersøer eller ved vandstandshævning er på mange måder sammenlignelige med etablering af vådområder, som er gennemført under en række planer/støtteordninger, hvoraf den mest kendte er Vandmiljøplan II.

Okkersøerne vil være sammenlignelige med lavvandede søer, og vandstandshævninger i ådale vil blive gennemført efter stort set samme skabelon uafhængigt af, om formålet er okkerfjernelse eller forbedring af naturforholdene. Begge formål vil betyde, at der i projektområderne sker fjernelse af næringsstofferne kvælstof og fosfor.

Næringsstofomsætningen i Vandmiljøplan II vådområder er behandlet i DMU (2006).

3.4.1 **Lavvandede søer og okkersøer (lavvandede grødefyldte bassiner)**

I denne undersøgelse (DMU 2006) foreligger resultater fra 8 søer dækkende et areal på i alt 505 ha. I forbindelse med de tekniske forundersøgelser blev der beregnet en forventet kvælstoffjernelse på i alt 170 ton/år, svarende til 336 kg N/ha/år. Variationen er imidlertid ret stor, idet den forventede kvælstoffjernelse for de 8 søer lå i intervallet 205 - 405 kg N/ha/år.

Den faktiske kvælstoffjernelse for de 8 søer var noget lavere end den beregnede. Der er således konstateret en samlet fjernelse på 95 ton/år, hvilket svarer til en fjernelse på i gennemsnit 188 kg N/ha/år. Også her er variationen stor, idet den faktiske fjernelse lå i intervallet 117 til 252 kg N/ha/år.

DMU (2006) konkluderer, at kvælstoffjernelsen i søerne er meget afhængig af kvælstoftransporten til områderne. Flere af undersøgelserne er gennemført i en nedbørsfattig periode, hvorfor den målte transport til områderne har været lille.

En anden væsentlig faktor er opholdstiden i søerne, idet kvælstoffjernelsen stiger med stigende opholdstid. Opholdstiden i okkersøer og lavvandede grødefyldte bassiner er hyppigt så kort, at den normale beregningsprocedure ifølge (By- og Landskabsstyrelsen 2008) for kvælstofomsætning i søer ikke kan anvendes. Der kan i stedet antages samme kvælstofomsætning i anlæggene, som der sker ved permanent oversvømmelse.

Til beregning af kvælstofomsætningen ved oversvømmelser anvendes erfaringstal fra tidligere undersøgelser. Disse erfaringstal beskriver omsætningen af kvælstof pr. hektar pr. oversvømmelsesdag ud fra kvælstofkoncentrationen i vandløbet. Således vil en kvælstofkoncentration op til 5 mg N/l medføre en kvælstoffjernelse på 1 kg N/ha/dag, mens en kvælstofkoncentration på mere end 5 mg N/l medfører en fjernelse på 1,5 kg N/ha/dag (By- og Landskabsstyrelsen 2008). Ved en kvælstofkoncentration på mindre end 5 mg/l, kan der beregnes en fjernelse på 365 kg N/ha/år, mens der ved en koncentration større end 5 mg/l kan beregnes en fjernelse på ca. 550 kg N/ha/år.

Disse fjernelsesrater er høje sammenlignet med de konstaterede fjernelses i de overvågede lavvandede søer, og det er meget muligt, at den faktiske fjernelse vil være mindre. Den rigelige tilstedeværelse af opløst jern i okkersøerne vil dog alt andet lige fremme denitrifikationen, hvorfor forskellen mellem beregnet og faktisk fjernelse måske vil minimeres, da opløst jern iltes af nitrat, hvorved begge stoffer fjernes.

Hovedparten (6 ud af 8) af de overvågede søer var i stand til at tilbageholde fosfor på årsbasis. I de resterende 2 søer blev der frigivet fosfor. Mineralisering af den oversvømmede terrestriske vegetation kan have medvirket til en øget fosforfrigivelse fra søsedimenterne. I takt med at den terrestriske vegetation bliver nedbrudt, må det forventes, at søernes eget bidrag til fosforfrigivelse vil aftage.

Der er således konstateret en samlet netto fosforfjernelse på ca. 830 kg/år, hvilket svarer til en fjernelse på i gennemsnit 1,6 kg P/ha/år for de i alt 505 ha store søer. Variationen er imidlertid meget stor, idet den faktiske fjernelse lå i intervallet -2,3 til 16,2 kg P/ha/år.

Såfremt der ses bort fra søerne, der frigav fosfor, var fjernelsen ca. 1.030 kg P/år, svarende til i gennemsnit ca. 2,7 kg P/ha/år. I dette tilfælde lå fjernelsen i intervallet 0,7 - 16,2 kg P/ha/år.

Forskellen mellem forventet og faktisk fjernelse af næringsstoffer i søerne skyldes ifølge DMU (2006), at de nyetablerede søer endnu er langt fra en stabil økologisk tilstand, og det kan forventes, at store variationer i såvel kemiske og biologiske forhold vil forekomme. Dertil kommer, at søernes kapacitet til at tilbageholde næringsstoffer er afhængig af eksterne faktorer så som nedbørsmængden (og dermed afstrømningen i vandløbene). Det forhold, at kvælstoffjernelsen i mange af søerne var lavere end forventet, viser således, hvordan

et relativt nedbørsfattigt år (2003) influerer på søernes tilbageholdelseskapa-
citet og medvirker til en øget år til år variation. Et klart billede af søernes reel-
le tilbageholdelse af næringsstoffer vil derfor først kunne tegnes efter flere års
overvågning.

3.4.2 Vådområder (vandstandshævning)

I DMU (2006) foreligger resultater fra 12 områder dækkende et areal på i alt
477 ha, hvor der er etableret vådområder ved vandspejlshævning. I forbindel-
se med de tekniske forundersøgelser blev der beregnet en forventet kvælstof-
fjernelse på i alt 118 ton/år, svarende til 248 kg N/ha/år. Variationen er imid-
lertid ret stor, idet den forventede kvælstoffjernelse for de 12 områder lå i in-
tervalleret 75 - 475 kg N/ha/år.

Den faktiske kvælstoffjernelse for de 12 områder var lidt lavere end den be-
regnede. Der er således konstateret en samlet fjernelse på 99,5 ton/år, hvilket
svarer til en fjernelse på i gennemsnit 208 kg N/ha/år. Også her er variationen
stor, idet den faktiske fjernelse lå i intervallet 53 til 337 kg N/ha/år.

Også for vådområderne konkluderede DMU (2006), at kvælstoffjernelsen er
meget afhængig af kvælstoftransporten til områderne. Flere af undersøgelserne
er gennemført i en nedbørsfattig periode, hvorfor den målte transport til
områderne har været lille. Et klart billede af vådområdernes reelle tilbagehol-
delse af næringsstoffer vil derfor først kunne tegnes efter mange år overvåg-
ning.

Ifølge DMU's (2006) undersøgelser tilbageholdt 6 af områderne fosfor og et
par af dem endda i store mængder (8,1 - 12 kg P/ha/år). Fosfortilbageholdel-
sen i de øvrige 4 områder var betydeligt lavere, nemlig mellem 0,13 og 0,9 kg
P/ha/år, og enkelte af områderne frigav fosfor i mængder svarende til 0,4 -
0,5 kg P/ha/år.

Den store variation og det forhold, at nogle af områderne frigav fosfor skyldes
formodentligt, at områderne endnu ikke er i en stabil økologisk tilstand, og det
må forventes, at alle områder på lang sigt vil tilbageholde fosfor, såfremt de
ikke belastes yderligere med fosfor.

3.4.3 Næringsstoffjernelse generelt

På baggrund af ovenstående må det konkluderes, at det ikke er muligt at sige
noget generelt om, hvor meget næringsstof, der vil kunne fjernes i okkersøer
eller i vådområder etableret ved vandstandshævning. Kvantificering af fjernel-
sen vil i alle tilfælde bero på en konkret vurdering af det enkelte anlæg/områ-
de.

I afsnit 4 er der givet kortfattede resumeer af forundersøgelserne i de afsnit 1
nævnte pilotområder. Herunder er der også gennemført beregninger af den
forventede næringsstoffjernelse i de 3 områder, og resultaterne viser med stor
tydelighed, at den forventede næringsstoffjernelse varierer fra område til om-
råde afhængigt af nedbør, jordbund, andel af landbrugsdrift i oplandet og flere
andre faktorer.

3.5

Konklusion

Arbejdet med okkerværktøjskassen har ført til den konklusion, at der i princippet kun er 2 metoder, der kan anbefales i det fremtidige arbejde med mål-opfyldelse i de okkerbelastede vandløb. De 2 metoder er vandspejlshævning og etablering af okkersøer (lavvandede grødefyldt bassiner).

Vandstandshævning

Vandspejlshævning i en hele eller dele af en ådal kan gennemføres ved en række forskellige metoder:

- Gensning af vandløbet med en højere liggende bund, således at den ønskede vandstandshævning opnås.
- Etablering af en række lave stenstryg, der tilsammen medfører den ønskede vandstandshævning.
- Vandløbsbunden hæves med jord, grus og/eller sten til det niveau, der medfører den ønskede vandstand.
- Etablering af et eller flere simple stemmeværker. Kun i lavt målsatte vandløb, da metoden hindrer faunapassage og medfører dårlige fysiske forhold.

Metoderne er nævnt i prioriteret rækkefølge, idet førstnævnte vil resultere i den bedste vandløbskvalitet

Vandstandshævningen kan i stedet eller som supplement til ovennævnte gennemføres ved bortfald eller reduktion af vandløbsvedligeholdelsen. Det skal dog bemærkes, at ændret vedligeholdelse ikke kan sikre mod lave vintervandstande og deraf følgende iltning og udvaskning af jern, hvis grøden er borte eller findes i ringe mængder om vinteren.

Ved ændring af vedligeholdelsespraksis i okkerbelastede vandløb skal man være opmærksom på, at væsentlige ændringer af vedligeholdelsen kræver en ændring af regulativet for vandløbet.

Med henblik på at få det optimale ud af vandstandshævningen er det vigtigt, at vandstandshævningen i vandløbet suppleres med lukning af dræn og grøfter i det lokale opland, således at alle eventuelle pyritforekomster på de tilstødende arealer forsegles.

Såfremt det ønskes at gennemføre en generel vandstandshævning, anbefales det, at der forud for projektgennemførelsen gennemføres jordbundsundersøgelser i oplandet, således at det ved pyritanalyser kan dokumenteres, at metoden vil være gavnlige i områderne.

Okkersøer (lavvandede grødefyldte bassiner)

Okkersøer etableres med udfældningsbassiner ved indløbet på 1 - 2 m dybde (dybe bassiner) efterfulgt af lavvandede områder på 50 - 60 cm dybde med mulighed for udvikling af størst mulig vegetationsdække. Bassinerne bør endvidere etableres med fordelingsrender i de lavvandede dele for at få så god en fordeling af vandet gennem anlægget som muligt. Denne opbygning anbefales anvendt, uanset om vandløbet transporterer jernet på partikulær eller opløst form.

Bassinerne bør udformes uden kørediger og lignende, idet dette kan resultere i strømrander og dermed en dårlig udnyttelse af anlæggets volumen. Der bør stræbes efter, at bassinerne er så homogene i deres opbygning som muligt.

Resuspension af allerede udfældet okker kan være et stort problem i vindeksponerede anlæg. Det anbefales derfor, at der plantes lægivende vegetation omkring anlægget.

For at minimere udgravningsarbejdet bør anlægget placeres på de laveste terrænområder langs vandløbene. Er der teknisk og juridisk mulighed for en vis opstemning af vandspejlet i vandløbet, eventuel som følge af en underuddybning af vandløbsbunden i forhold til vandløbsregulativet, kan dette med fordel kombineres med selve udgravningsarbejdet.

Okkersøer kan kombineres med midlertidige vandstandshævninger i vinterhalvåret, hvor jernudvaskningen normalt er størst, og hvor de landbrugsmæssige interesser er minimale. Metoden er normalt billig og erstatningsudgifterne vil formentligt kunne holdes på et acceptabelt niveau. Desuden vil oversvømmelserne reducere materialetransporten til okkersøen, og samtidigt fremme tilbageholdelsen af både jern og næringsstoffer.

I forbindelse med værktøjskassen er der opstillet en række empiriske modeller, der kan være et godt redskab i dimensioneringen af okkersøer. Modellerne i den digitale udgave af dette dokument er aktive (tabel 2.5.2), således at det ud fra indløbsdata og anlæggets opholdstid er muligt at beregne de jernmængder, der vil kunne fjernes (både opløst jern og total-jern), ligesom udløbskoncentrationerne kan beregnes (både opløst jern og total-jern).

Som det fremgår af afsnit 3.2, er modellerne genereret på baggrund af data-materialet fra fem anlæg med god vegetationsdække, hvorfor modellerne er mest pålidelige, når de anvendes til at estimere udløbskoncentrationer af total-jern og opløst jern fra okkerrensaneanlæg, hvor de vandkemiske forhold ligner de forhold, som er gældende for de 5 anlæg. Med andre ord er modellerne ikke egnede til ekstrapolation.

Valg af metode

Det er vanskeligt at sige noget generelt om, hvilken metode der kan anbefales anvendt i et konkret opland. Valget vil bero på en konkret vurdering af det enkelte anlæg/område omfattende en lang række parametre, herunder jernbelastning, smådyrssammensætning, eksisterende vandløbskvalitet, jordbunden, adgangsforhold, omfanget af påvirkede arealer, antallet af lodsejere i oplandet, økonomisk formåen m.m. Der kan forhåbentligt hentes inspiration til valg af løsning i værktøjskassen og i de forundersøgelser, der i forbindelse med værktøjskassen er udarbejdet for 3 meget forskellige okkerbelastede pilotområder (se afsnit 4).

4 Pilotområder

Som det fremgår af afsnit 1, er der i forbindelse med okkerværktøjskassen udarbejdet forslag til okkerbegrænsende foranstaltninger i 3 pilotområder. Formålet med projekterne er at få et erfaringsgrundlag for, hvad der skal til for at opfylde kravet om god økologisk tilstand ($DVFI \geq 5$) i alle målsatte vandløb i hele vandløbssystemer.

For hvert af pilotområderne er der således udarbejdet en forundersøgelse (Orbicon 2008a, 2008b og 2008c), hvor der på baggrund i eksisterende viden om karakteristiske afstrømninger og okkerbelastning er gennemført en opsporing af de mest betydende kilder til okkerbelastningen, hvorefter der på baggrund af historiske og aktuelle faunaanalyser er opstillet forslag om okkerbegrænsende tiltag, der så vidt muligt kan opfylde kravet til vandløbskvaliteten. Forundersøgelserne er suppleret med økonomiske overslag over omkostninger til anlæg og drift af okkeranlæggene. Endelig indeholder forundersøgelserne vurderinger af, hvor store og hvilke arealer, der vil blive påvirkede, hvad vil næringsstoffjernelsen være, og i hvilket omfang vil de eksisterende naturområder blive påvirket.

4.1 Pilotområde Skonager Lilleå

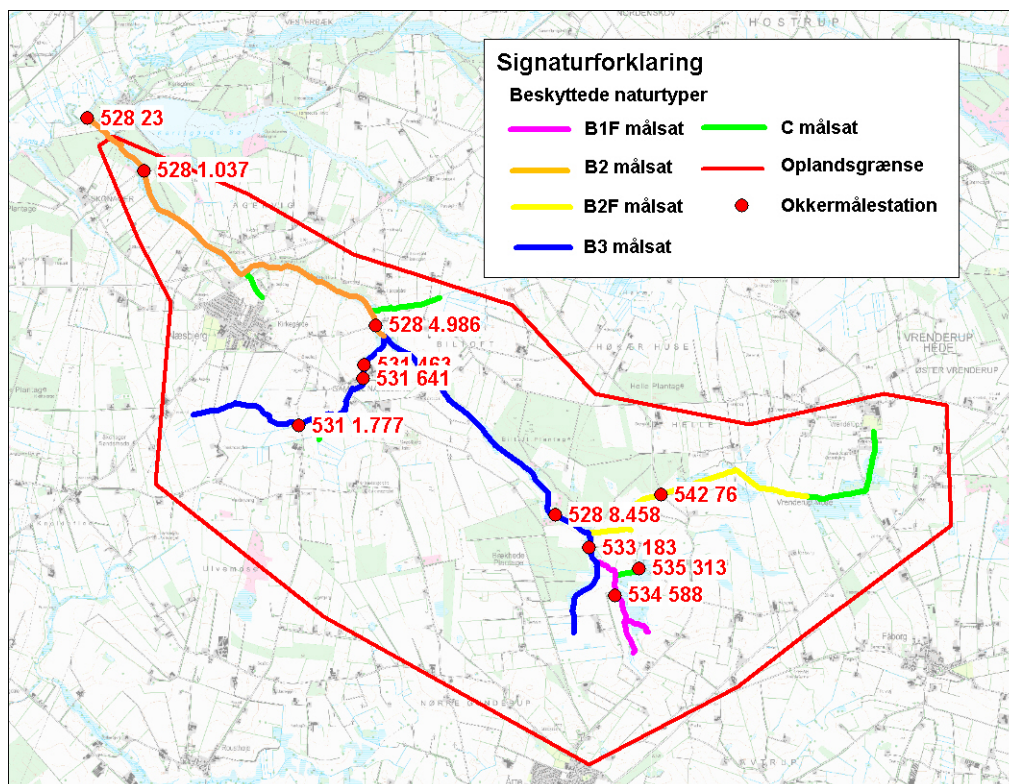
Pilotområdet dækker et areal på ca. 4.130 ha, der afvandes af Skonager Lilleå, som modtager en del væsentlige tilløb fra de forskellige dele af oplandet (Orbicon 2008a). De væsentligste tilløb er Vrenderup Mosebæk, Årre Nørre Enge og Troesmose Bæk. Alle vandløbene er stærkt okkerbelastede med vintermiddelkoncentrationer af henholdsvis total-jern og opløst jern i intervallerne 3,4 - 11,9 og 0,7 - 7,5 mg/l.

Vandløbenes målsætninger inden for oplandet fremgår af figur 4.1.1.

Jordbunden i oplandet er hovedsagelig sand af forskellige aflejringstyper (82 %), mens der desuden findes ler (ca. 8 %) og områder med tørv (ca. 10 %). Ca. 18 % af pilotområdet er detaildrænet. Store dele af ådalene omkring vandløbene i pilotområdet er udpeget som okkerpotentielle områder, alle tilhørende klasse I, hvor der er stor risiko for okkerudvaskning.

Godt 9 % af pilotområdet er natur omfattet af naturbeskyttelseslovens § 3 om beskyttelse af særlige naturtyper, ca. 10 % er skov, mens de resterende ca. 80 % er landbrugsjord, idet en mindre del dog er dækket af byområder, veje og andre tekniske anlæg.

De gennemførte registreringer og undersøgelser viser, at der inden for pilotområdet findes 4 væsentlige kilder til okkerbelastningen af Skonager Lilleå. De 2 største kilder findes som punktkilder i form af Vrenderup Mosebæk og Årre Nørre Enge. Den tredje kilde er ligeledes en punktkilde i form af Troesmose Bæk, men dette vandløbs belastning af Skonager Lilleå er relativt lille. Vandløbet er imidlertid målsat som karpefiskevand, hvorfor der ligeledes skal gennemføres okkerbegrænsende tiltag her. Den fjerde kilde er en diffus kilde, der belaster de nedstrøms ca. 4 km af Skonager Lilleå.



Figur 4.1.1: Vandløbsmålsætninger samt okkermålestationer beliggende inden for pilotområdet ved Skonager Lilleå.

De okkerbegrænsende tiltag indenfor pilotområdet er overordnet sammensat som nedenstående:

1. I vandløbssystemets opstrøms ende, der benævnes Vrenderup Mosebæk, etableres et lavvandet grødefyldt bassin på arealerne kort nedstrøms Tranbjergvej (st. 542-76). Bassinet etableres med dybe bundfældningsdele i både ind- og udløbsenden. Bassinet er dimensioneret i forhold til en gennemsnitlig vinteropholdstid på 16 timer. Ved medianmaksimum vil opholdstiden være 3,8 timer. Vandvolumenet er ca. 7.000 m³.
2. I vandløbssystemets anden opstrøms ende, der benævnes Årre Nørre Enge, etableres ligeledes et lavvandet grødefyldt bassin på arealerne lige opstrøms udløbet i Skonager Lilleå (st. 533-183). Bassinet etableres med dybe bundfældningsdele i både ind- og udløbsenden. Bassinet er dimensioneret i forhold til en gennemsnitlig vinteropholdstid på 16 timer. Ved medianmaksimum vil opholdstiden være 3,8 timer. Vandvolumenet er ca. 8.000 m³.
3. På de nedstrøms ca. 4 km af Skonager Lilleå (mellem st. 528-1037 og st. 528-4986) udlægges gydebanks i et sådan omfang, at vandløbets vandstand (og dermed grundvandsstanden på de omliggende arealer) hæves med i gennemsnit 40 cm målt ud fra vintermiddelvandstanden i vandløbet.
4. På hele den ca. 3,5 km lange strækning af Troesmose Bæk fra start til udløb i Skonager Lilleå udlægges gydebanks i et sådan omfang, at vandløbets vandstand (og dermed grundvandsstanden på de omliggende arealer) hæves med i gennemsnit 40 cm målt ud fra vintermiddelvandstanden i vandløbet.

Vandstandshævningen på de 2 nævnte strækninger kan alternativt gennemføres ved gensnoning med en højere liggende bund i forhold til den eksisterende. Der er beregnet økonomiske overslag over begge løsningsmuligheder.

Gennemførelse af vandstandshævningen omkring Skonager Lilleå (ca. 4 km eksisterende vandløb) vil påvirke et areal på ca. 21,0 ha, hvoraf sumpområderne vil udgøre 0,4 ha eller 1,8 % af det påvirkede areal. Omkring vandløbene og sumpområderne vil der etableres våde og tørre enge, der vil udgøre henholdsvis 4,6 ha (21,8 % af de påvirkede arealer) og 16,0 ha (76,3 % af de påvirkede arealer).

Gennemførelse af vandstandshævningen omkring Troesmose Bæk (ca. 3,5 km eksisterende vandløb) vil påvirke et areal på ca. 49,3 ha, hvoraf sumpområderne vil udgøre 3,2 ha eller 6,5 % af det påvirkede areal. Omkring vandløbene og sumpområderne vil der etableres våde og tørre enge, der vil udgøre henholdsvis 17,1 ha (34,6 % af de påvirkede arealer) og 29,0 ha (58,9 % af de påvirkede arealer).

I tabel 4.1.1 er vist overslag over estimerede anlægs- og driftsomkostninger for de projekterede okkerbegrænsende foranstaltninger. Ved gennemførelse af vandstandshævningen ved grusbanker vil de samlede anlægsomkostninger beløbe sig til ca. 3,7 mio. kr., mens omkostningerne vil være ca. 4,9 mio. kr., såfremt vandstandshævningerne gennemføres ved gensnoning. De årlige driftsomkostninger er vurderet til kr. 20.000 - kr. 30.000. Herudover skal tillægges omkostninger til vandløbsvedligeholdelsen af de restaurerede vandløbsstrækninger, men disse er vurderet til at være af samme niveau, som under de eksisterende forhold, hvorfor der ikke vil være tale om ekstraudgifter.

Tabel 4.1.1: Estimerede anlægs- og driftsomkostninger for de projekterede okkerbegrænsende tiltag i pilotområdet Skonager Lilleå. Beløbene er rene anlægsomkostninger, ekskl. moms. Der er ikke indregnet omkostninger til projektering, tilsyn, overvågning eller til erstatninger til lodsejerne.

Okkerbegrænsende tiltag	Anlægsoverslag t.kr.	Årlige driftsomkostninger t.kr.
Lavvandet grødefyldt bassin ved Vrenderup Mosebæk (opland: 7,45 km ² , vintermiddel: 120 l/sek)	1.350	10 - 15
Lavvandet grødefyldt bassin ved Årre Nørre Enge (opland: 8,59 km ² , vintermiddel: 140 l/sek)	1.475	10 - 15
Vandstandshævning på 40 cm i Skonager Lilleå ved grusbanker (4 km, bundbredde ca. 2,0 m)	610	Alm. vandløbsvedligeholdelse
Vandstandshævning på 40 cm i Skonager Lilleå ved gensnoning (4 km øges til 5 km)	1.500	Alm. vandløbsvedligeholdelse
Vandstandshævning på 40 cm i Troesmose Bæk ved grusbanker (3,5 km, bund bredde ca. 0,4 m)	300	Alm. vandløbsvedligeholdelse
Vandstandshævning på 40 cm i Troesmose Bæk ved gensnoning (3,5 øges til ca. 4,5 km)	600	Alm. vandløbsvedligeholdelse
Samlede omkostninger ved grusbanker	3.735	20 - 30
Samlede omkostninger ved gensnoning	4.925	20 - 30

Beregningerne af kvælstoffjernelsen er gennemført på baggrund af anvisningerne på By- og Landskabsstyrelsens hjemmeside (2008).

Kvælstoffjernelsen ved gennemsivning af lateralt oplandsvand udgør henholdsvis ca. 9,0 tons N/år og ca. 14,0 ton N/år ved de 2 delområder ved Skonager Lilleå og Troesmose Bæk. Fjernelsen ved oversvømmelse udgør henholdsvis ca. 4 kg N/år og ca. 99 kg N/år ved de 2 områder, fjernelsen i okkeranlægge udgør ca. 0,9 tons N/år, mens reduktionen i kvælstofbidraget grundet driftsophør i projektområdet udgør ca. 0,9 tons N/år. Den samlede kvælstoffjernelse som følge af en realisering af projektforslaget bliver ca. 24,7 tons N/år, svarende til 340 kg N/ha/år. Dette svarer til en fjernelse på 22 % af det kvælstof, der transporteres ind i pilotområdet.

Den samlede fosforfjernelse ved projektgennemførelsen vurderes til ca. 688 kg/år, som svarer til ca. 50 % af den samlede transport til området eller til 9,5 kg P/ha/år.

Gennemførelse af de beskrevne tiltag for okkerbegrænsning vurderes alene at være af positiv karakter. Vandløbene vil på de berørte strækninger få væsentligt bedre fysiske forhold, ligesom vandkvaliteten forbedres betydeligt. På grund af den høje koncentration af opløst jern i pilotområdets vandløb kan det dog være vanskeligt at opfylde det nævnte mål på alle vandløbsstrækningerne ($DVFI \geq 5$) alene ved gennemførelse af de foreslåede tiltag.

4.2 Pilotområde Lundbæk

Pilotområdet dækker et areal på ca. 1.340 ha, der afvandes af Lundbæk (Orbicon 2008b). De væsentligste tilløb er et tilløb ved okkermålestation 3990 (figur 4.2.1) samt et tilløb, der forløber nord om landsbyen Bredevad. Alle vandløbene er moderat okkerbelastede med vintermiddelkoncentrationer af henholdsvis total jern og opløst jern i intervallerne 5,8 - 6,4 og 0,3 - 2,3 mg/l.

Vandløbenes målsætninger inden for oplandet fremgår af figur 4.2.1.

Jordbunden i hele oplandet udgøres af sand af forskellige aflejringstyper. Der er kun gennemført detailldræning i meget begrænset omfang i pilotområdet (0,4 % af området), hvilket hænger sammen med, at jorden er sandet. Okkerpotentielle områder findes kun i en smal stribe omkring en ca. 2 km lang strækning af Lundbæk opstrøms Galgebro, samt i den opstrøms ende af tilløbet nord om Bredevad, hvor områderne er klasse I, og hvor der er stor risiko for okkerudvaskning. Den øvrige del af pilotområdet er ikke kortlagt som okkerpotentielt.

Manglen på natur og skov er karakteristisk for pilotområdet. Kun godt 1 % af pilotområdet er natur omfattet af naturbeskyttelseslovens § 3 om beskyttelse af særlige naturtyper, mens der slet ikke findes skov i området. Den resterende del af området er intensiv dyrket landbrugsjord, idet en mindre del dog er dækket af byområder, veje og andre tekniske anlæg.

De gennemførte registreringer og undersøgelser viser, at der inden for pilotområdet findes 2 væsentlige kilder til okkerbelastningen af Lundbæk. Den ene (og største) kilde findes som en punktkilde i form af selve Lundbæk, hvor den passerer ind i området. Den anden kilde er en diffus kilde, der belaster de

4. Der gennemføres ingen okkerbegrænsende foranstaltninger i tilløbet med okkermålestation SJY424-3990, idet jerntransporten fra dette opland er relativ lille, selvom jernkoncentrationerne er høje.

Vandstandshævningen på den ca. 2 km lange strækning af Lundbæk kan alternativt gennemføres ved gensnoning med en højere liggende bund i forhold til den eksisterende. Der er beregnet økonomiske overslag over begge løsningsmuligheder.

Gennemførelse af vandstandshævningen omkring Lundbæk (ca. 2 + 2 km eksisterende vandløb) vil påvirke et areal på ca. 133,9 ha, hvoraf vandløbenes vandspejl og andre områder med frit vandspejl vil udgøre 7,1 ha eller 5,3 % af det påvirkede areal. Omkring vandløbene og de vanddækkede områder vil der etableres sumpområder på 12,1 ha (9,0 % af det påvirkede areal), mens de våde og tørre enge vil udgøre henholdsvis 35,3 ha (26,3 % af de påvirkede arealer) og 79,5 ha (59,4 % af de påvirkede arealer).

I tabel 4.2.1 er vist overslag over estimerede anlægs- og driftsomkostninger for de projekterede okkerbegrænsende foranstaltninger. Ved gennemførelse af vandstandshævningen ved grusbanker vil de samlede anlægsomkostninger beløbe sig til ca. 2,9 mio. kr., mens omkostningerne vil være ca. 3,3 mio. kr., såfremt vandstandshævningerne gennemføres ved gensnoning. De årlige driftsomkostninger er vurderet til kr. 20.000. Herudover skal tillægges omkostninger til vandløbsvedligeholdelsen af de restaurerede vandløbsstrækninger, men disse er vurderet til at være af samme niveau, som under de eksisterende forhold, hvorfor der ikke vil være tale om ekstraudgifter.

Tabel 4.2.1: Estimerede anlægs- og driftsomkostninger for de projekterede okkerbegrænsende tiltag i pilotområdet Lundbæk. Beløbene er rene anlægsomkostninger, ekskl. moms. Der er ikke indregnet omkostninger til projektering, tilsyn, overvågning eller til erstatninger til lodsejerne.

Okkerbegrænsende tiltag	Anlægsoverslag t.kr.	Årlige driftsomkostninger t.kr.
Lavvandet grødefyldt bassin ved Lundbæks opstrøms ende (opland: 15,64 km ² , vintermiddel: 310 l/sek)	2.600	20
Vandstandshævning på 40 cm i Lundbæk ved grusbanker (2 km Lundbæk samt 2 km tilløb, bundbredde ca. 2,5 og 0,5 m)	300	Alm. vandløbsvedligeholdelse
Vandstandshævning på 40 cm i Lundbæk ved gensnoning samt stenstryg i tilløb (2 km øges til 2,8 km)	700	Alm. vandløbsvedligeholdelse
Samlede omkostninger ved grusbanker	2.900	20
Samlede omkostninger ved gensnoning	3.300	20

Beregningerne af kvælstoffjernelsen er gennemført på baggrund af anvisningerne på By- og Landskabsstyrelsens hjemmeside (2008).

Kvælstoffjernelsen ved gennemsivning af lateralt oplandsvand udgør ca. 8,3 tons N/år, fjernelsen ved oversvømmelse udgør ca. 4,3 tons N/år, fjernelse i

okkeranlægget udgør ca. 1,3 tons N/år, mens reduktionen i kvælstofbidraget grundet driftsophør i projektområdet udgør ca. 2,5 tons N/år. Den samlede kvælstoffjernelse som følge af en realisering af projektforslaget bliver ca. 16,3 tons N/år, svarende til 119 kg N/ha/år. Dette svarer til en fjernelse på 12 % af det kvælstof, der transporteres ind i pilotområdet.

Den samlede fosforfjernelse ved projektgennemførelsen vurderes til ca. 342 kg/år, som svarer til ca. 34 % af den samlede transport til området eller til 2,5 kg P/ha/år.

Gennemførelse af de beskrevne tiltag for okkerbegrænsning vurderes alene at være af positiv karakter. Vandløbet vil på delstrækninger få væsentligt bedre fysiske forhold, ligesom vandkvaliteten forbedres betydeligt. Begge dele vil være til stor gavn for de biologiske forhold i vandløbet, og det vurderes, at vandløbet vil kunne leve op til en DVFI-værdi ≥ 5 og dermed en opfyldelse af målsætningen.

4.3 Pilotområde Gesten Å

Pilotområdet dækker et areal på ca. 470 ha, der afvandes til Gesten Å via henholdsvis Vestlige og Midterste tilløb (Orbicon 2008c). Vandløbssystemet fremgår af figur 4.3.1. Alle vandløbene er svagt til moderat okkerbelastede med vintermiddelmålkoncentrationer af henholdsvis total jern og opløst jern i intervallerne 2,3 - 3,1 og 0,1 - 1,0 mg/l.

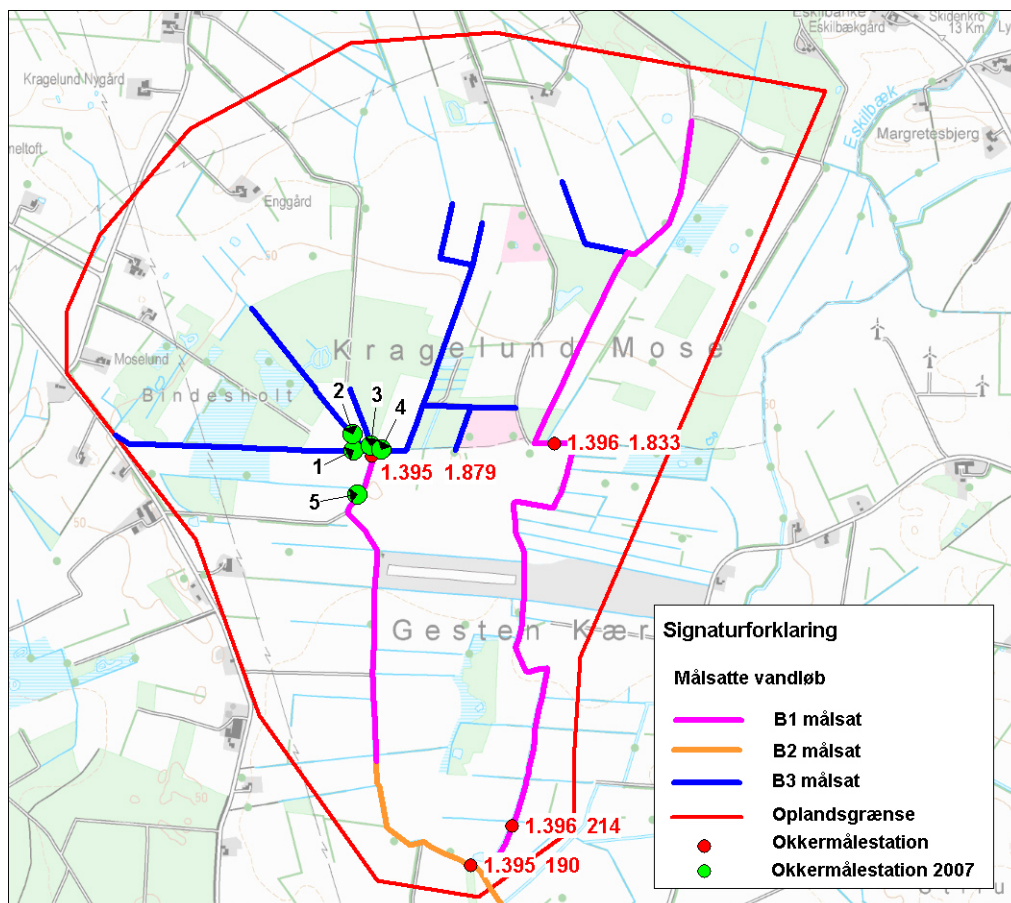
Vandløbenes målsætninger inden for oplandet fremgår af figur 4.3.1.

Jordbunden i hele oplandet udgøres primært af sand af forskellige aflejringstyper (72 %). I den resterende del af oplandet findes tørv til ca. 1,4 m's dybde. Der er gennemført detaildræning i relativ begrænset omfang i pilotområdet (13 % af området). Stort set hele pilotområdet er udpeget som okkerpotentielle områder af klasse I, hvor der er stor risiko for okkerudvaskning.

Naturindholdet er betydeligt indenfor pilotområdet, idet ca. 39 % er natur omfattet af naturbeskyttelseslovens § 3 om beskyttelse af særlige naturtyper, mens godt 10 % er skov. Den resterende del af området (ca. 50 %) er dyrket landbrugsjord, idet en mindre del dog er dækket af ejendomme, veje og andre tekniske anlæg.

Den nordlige del af pilotområdet benævnes Kragelund Mose, og her findes der i den vestlige del en lavtvoksende fattigkærs vegetation med forekomst af den meget sjældne og rødlistede otteradet ulvefod.

De gennemførte registreringer og undersøgelser viser, at der inden for pilotområdet findes væsentlige kilder til okkerbelastningen af Gesten Å i både det vestlige og det Midterste tilløb. I det Midterste tilløb er hovedkilden de opstrøms dele, mens det i det Vestlige tilløb drejer sig om de 4 tilløb, der ved sammenløbet danner det Vestlige tilløb (figur 4.3.1). Undersøgelser af smådyrsfaunaen viser, at målsætningen (DVFI ≥ 5) for det Midterste tilløb allerede under de eksisterende forhold er opfyldt.



Figur 4.3.1: Målsatte vandløb samt placering af okkermålestationer i pilotområdet ved Gesten Å.

Derfor foreslås det følgende okkerbegrænsende tiltag inden for pilotområdet:

1. Der gennemføres en generel vandstandshævning i alle 4 tilløb i det Vestlige tilløb. Der udlægges gydegrus, større sten og eventuelt mindre strømkoncentratorer, som kan sikre en vandstandshævning på i gennemsnit 20 cm målt ud fra vintermiddelvandstanden i vandløbene.
2. Som supplement til vandstandshævningen i de 4 tilløb bør der ligeledes ske sløjfning af dræn i de områder, der er direkte påvirkede af vandstanden i tilløbene.
3. Der gennemføres ingen okkerbegrænsende foranstaltninger i det Midterste tilløb, idet målsætningen som nævnt allerede er opfyldt.

Gennemførelse af vandstandshævningen omkring tilløbene til det Vestlige tilløb til Gesten Å (i alt ca. 3 km eksisterende vandløb) vil påvirke et areal på ca. 107,9 ha, hvoraf vandløbenes vandspejl og andre områder med frit vandspejl vil udgøre 0,3 ha eller 0,3 % af det påvirkede areal. Omkring vandløbene og de vanddækkede områder vil der etableres sumpområder på 7,2 ha (6,7 % af det påvirkede areal), mens de våde og tørre enge vil udgøre henholdsvis 50,4 ha (46,7 % af de påvirkede arealer) og 50,0 ha (46,3 % af de påvirkede arealer).

I tabel 4.3.1 er vist overslag over estimerede anlægs- og driftsomkostninger for de projekterede okkerbegrænsende foranstaltninger. Gennemførelse af

vandstandshævningen ved grusbanker vil medføre samlede anlægsomkostninger på ca. kr. 420.000. De årlige driftsomkostninger omfatter vandløbsvedligeholdelsen af de restaurerede vandløbsstrækninger, men disse er vurderet til at være af samme niveau, som under de eksisterende forhold, hvorfor der ikke vil være tale om ekstraudgifter.

Tabel 4.3.1: Estimerede anlægs- og driftsomkostninger for de projekterede okkerbegrænsende tiltag i pilotområdet Gesten Å. Beløbene er rene anlægsomkostninger, ekskl. moms. Der er ikke indregnet omkostninger til projektering, tilsyn, overvågning eller til erstatninger til lodsejerne.

Okkerbegrænsende tiltag	Anlægsoverslag t.kr.	Årlige driftsomkostninger t.kr.
Vandstandshævning på 20 cm i Vestlige tilløb til Gesten Å ved grusbanker (ca. 900 m vandløb, bundbredde ca. 0,3 - 0,5 m)	120	Alm. vandløbsvedligeholdelse
Vandstandshævning på 20 cm i Bække Gesten Skelbæk ved grusbanker (ca. 900 m vandløb, bundbredde ca. 0,5 m)	105	Alm. vandløbsvedligeholdelse
Vandstandshævning på 20 cm i Tilløb 3.2 ved grusbanker (ca. 700 m vandløb, bundbredde ca. 0,4 m)	100	Alm. vandløbsvedligeholdelse
Vandstandshævning på 20 cm i Tilløb 3.3 ved grusbanker (ca. 500 m vandløb, bundbredde ca. 0,4 m)	95	Alm. vandløbsvedligeholdelse
Samlede omkostninger ved grusbanker	420	-

Beregningerne af kvælstoffjernelsen er gennemført på baggrund af anvisningerne på By- og Landskabsstyrelsens hjemmeside (2008).

Kvælstoffjernelsen ved gennemsivning af lateralt oplandsvand udgør ca. 3,7 tons N/år, fjernelsen ved oversvømmelse udgør ca. 0,3 tons N/år, mens reduktionen i kvælstofbidraget grundet driftsophør i projektområdet udgør ca. 0,4 tons N/år. Den samlede kvælstoffjernelse som følge af en realisering af projektforslaget bliver ca. 4,4 tons N/år, svarende til 41 kg N/ha/år. svarer til en fjernelse på 60 % af det kvælstof, der transporteres til det Vestlige tilløb til Gesten Å.

Den samlede fosforfjernelse ved projektgennemførelsen vurderes således til ca. 89 kg/år, som svarer til ca. 47 % af den samlede transport til det Vestlige tilløb til Gesten Å eller til 0,8 kg P/ha/år.

Gennemførelse af de beskrevne tiltag for okkerbegrænsning vurderes alene at være af positiv karakter. Vandløbene vil på delstrækninger få væsentligt bedre fysiske forhold, ligesom vandkvaliteten forbedres betydeligt. Begge dele vil være til stor gavn for de biologiske forhold i vandløbet, og det vurderes, at vandløbene vil kunne leve op til en DVFI-værdi ≥ 5 og dermed en opfyldelse af målsætningen.

4.4 Generelt for pilotområderne

Som det fremgår af ovenstående, er de 3 pilotområder valgte, idet de er meget forskellige, hvorfor de er medvirkende til at få belyst en stor del af de problematikker, man kan møde i forbindelse med okkerbelastede oplande og målopfyldelsen for deres vandløbssystemer. Karakteristiske parametre for pilotområderne er vist i tabel 4.4.1.

Tabel 4.4.1: Karakteristiske parametre for de 3 pilotområder ved Skonager Lilleå, Lundbæk og Gesten Å.

Parameter	Skonager Lilleå	Lundbæk	Gesten Å
Størrelse, ha	4.130	1.340	470
Højeste vandløbsmålsætning i området	B ₂ (et enkelt sideløb er B ₁ (F))	B ₃	B ₁
Jordbund	ca. 8 % ler ca. 10 % tørv ca. 82 % sand	100 % sand	ca. 28 % tørv ca. 72 sand
Detaildrænet, %	18	0,4	13
Arealanvendelse	ca. 10 % natur ca. 10 % skov ca. 80 % landbrug	ca. 1 % natur ca. 99 % landbrug	ca. 40 natur ca. 10 % skov ca. 50 % landbrug
Meget værdifuld natur	Ingen	Ingen	Den rødlistede otteradet ulvefod
Okkerbelastning i vandløb	Betydelig	Moderat	Lav
Total-jern, vintergennemsnit, mg/l	3,4 - 11,9	5,8 - 6,4	2,3 - 3,1
Opløst jern, vintergennemsnit, mg/l	0,7 - 7,5	0,3 - 2,3	0,1 - 1,0
Okkerpotentielle områder	Næsten alle ånære arealer er klasse I	Kun meget små områder er okkerpotentielle (klasse I)	Store dele af området er okkerpotentielt (klasse I)
Foreslåede tiltag	2 okkersøer (lavvandede grødefyldte bassiner) samt vandstandshævning (40 cm) på 2 strækninger (i alt 7,5 km vandløb)	1 okkersø (lavvandet grødefyldt bassin) samt vandstandshævning (40 cm) på 1 strækning 4 km vandløb)	Vandstandshævning (20 cm) på 4 strækninger (i alt 3 km)
Påvirkede arealer, ha	72,7	136,3	107,9
Forventes tiltagene at kunne opfylde DVFI \geq 5	Ja, idet mindste på delstrækninger	Ja	Ja
Beregnet kvælstoffjernelse	24,7 tons/år 340 kg N/ha/år 22 % af belastning	16,3 tons/år 119 kg N/ha/år 12 % af belastning	4,4 tons/år 41 kg N/ha/år 60 % af belastning
Beregnet fosforfjernelse	688 kg/år 9,5 kg P/ha/år 50 % af belastning	342 kg/år 2,5 kg P/ha/år 34 % af belastning	89 kg/år 0,8 kg P/ha/år 47 % af belastning

I forbindelse med forundersøgelserne er der ligeledes gennemført overslagsberegninger af de anlægsomkostninger, der er forbundet med etablering af de okkerbegrænsende foranstaltninger. Det skal understreges, at der er tale om overslag, der er forbundet med nogen usikkerhed, men omkostningerne vurderes at være i den rigtige størrelsesorden. Der er tale om rene anlægsomkostninger, der ikke indeholder udgifter til projektering, tilsyn, overvågning eller erstatninger til lodsejere. I tabel 4.4.2 og 4.4.3 er der opstillet en række enhedspriser for anlægsomkostninger ved henholdsvis okkersøer (lavvandede grødefyldte bassiner) samt for vandstandshævning ved anvendelse af henholdsvis grusbanks og gensnoning af vandløb.

Tabel 4.4.2: Beregnede anlægsomkostninger ved etablering af okkersøer (lavvandede grødefyldte bassiner) angivet som samlede omkostninger samt som omkostninger for hver 10 l/sek (vintermiddelvandføring). Beløbene er rene anlægsomkostninger, ekskl. moms. Der er ikke indregnet omkostninger til projektering, tilsyn, overvågning eller til erstatninger til lodsejerne.

Vandløb	Vintermiddel- vandføring l/sek	Samlede om- kostninger t. kr.	Anlægsomkost- ninger pr. 10 l/sek t. kr.
Vrenderup Mosebæk	120	1.350	113
Årre Nørre Enge	140	1.475	105
Lundbæk	310	2.600	84
Gennemsnit	-	-	95

Anlægsomkostningerne vist i tabel 4.4.2 er beregnet ud fra forudsætninger om, at søerne udelukkende etableres ved gravning, samt at jorden kan udsættes i nærområdet som terrænhøjninger, der indpasses så naturligt som muligt i det eksisterende landskab. Nogle steder vil en del af det nødvendige volumen kunne opnås ved opstemning af vandløbet samt etablering af en lav dæmning på tværs af ådalen. Dette vil kunne reducere anlægsomkostningerne, men i mange tilfælde vil der i stedet skulle udbetales erstatning for forringede afvandingsforhold på opstrøms liggende arealer.

Det fremgår af tabellen, at der er stordriftsfordele, der gør sig gældende for den beregnede enhedspris. Jo større anlæg, jo lavere enhedspris.

Tabel 4.4.3 viser, at anlægsomkostningerne ved vandstandshævning pr. km vandløb er stærkt afhængig af, hvilken metode, der anvendes, samt af hvor stor en bundbredde vandløbet har. Jo større bundbrede, jo højere pris pr. km. På trods af dette er enhedsprisen for gensnoning af Skonager Lilleå vurderet højere end enhedsprisen for Lundbæk, men dette skyldes, at Skonager Lilleå ligger dybere i terrænet end Lundbæk på de pågældende projektstrækninger.

Table 4.4.3: Calculated construction costs for water level regulation by establishment of grass banks and by reinforcement of water courses. The amounts are pure construction costs, excl. VAT. There are not included costs for projecting, supervision, monitoring or for compensation to landowners.

Vandløb	Bundbredde m	Længde af vandløb km	Samlede omkostninger t. kr.	Anlægsomkostninger pr. km t. kr.
Vandstandshævning ved grusbanker				
Skonager Lilleå	2,0	4	610	153
Troesmose Bæk	0,4	3,5	300	86
Lundbæk	2,5	2	700	150
Gesten Å (små tilløb)	0,3 - 0,5	3	420	140
Vandstandshævning ved gensnoning				
Skonager Lilleå	2,0	4	1.500	375
Troesmose Bæk	0,4	3,5	600	170
Lundbæk	2,5	2	700	350

Andersen, P.S. (1996). Tilskud til Okkerbekæmpelse. Vand & Jord, nr. 2. 1996.

By- og Landskabsstyrelsen (2008). Beregning af kvælstoffjernelse i et vådområde.
<http://www.blst.dk/Vand/VMP/GenopretningAfVaadomraader/Naeringsstoffer/Kvaelstoffjernelse/BeregningAffjernelse.htm>

Christensen, L. B. (1992). Dimensionering af grødefyldte bassiner til okkerrensning. Miljøprojekt nr. 192.

Christensen, L.B. (1997). Evaluering af private okkerrensningsanlæg samt driftserfaringer med okkerrensningsanlæg i vandløb. Rapport udarbejdet for Miljøstyrelsens Ferskvands- og Landbrugskontor.

Christensen, L.B. (1999). Okkerundersøgelser - Vurdering af risiko for okkerforurening ved vejbygning - Erfaringsopsamling. Rapport udarbejdet af Hedeselskabet Miljø og Energi as for Vejdirektoratet, maj 1999.

DMU (2006). Overvågning af Vandmiljøplan II. Vådområder 2005. Faglig rapport fra DMU nr. 576.

Finansministeriet, Fødevareministeriet, Miljøministeriet, Skatteministeriet og Økonomi- og Erhvervsministeriet (2007). Fagligt udredningsarbejde om virkemidler i forhold til implementering af vandrammedirektivet. Juni 2007.

Freeman, M.F. og Tukey, J.W. (1950). Transformation related to the angular and square root. The Annals of Mathematical Statistics, 21: 607-611.

Herning Kommune (2004). Plantebestanden i okkerrenseanlæggene i Herning Kommune. Udarbejdet af Birthe Thordahl Christensen, efteråret 2004.

Marcus, E. og Christensen, L.B. (1998). Forskrifter for vedligeholdelse af okkerbelastede vandløb. Rapport udarbejdet for Miljøstyrelsens Ferskvands- og Spildevandskontor.

Miljøcenter Ribe (2007a). Anmodning om tilbud. 23. juli 2007.

Miljøcenter Ribe (2007b). Vedr. tilbud på værktøjskasse for okkerbegrænsende tiltag. Acceptskrivelse af 7. september 2007.

Moeslund, B. (1994). Okkerrensning ved Savstrup Å. Rensningseffekt, driftserfaringer og miljømæssige forbedringer 1992-1994. Ringkjøbing Amtskommune, Vandmiljøafdelingen.

Nielsen, J. (1997). Biologiske undersøgelser over effekten af okkerrensning i jyske vandløb. Miljøstyrelsen, Ferskvands- og Spildevandskontoret.

Orbicon (2007a). Værktøjskasse til løsning af okkerproblemer. Tilbud af 24. august 2007 til Miljøcenter Ribe.

Orbicon (2007b). Værktøjskasse til løsning af okkerproblemer. Revideret tilbud af 6. september 2007 til Miljøcenter Ribe.

Orbicon (2008a). Okkerværktøjskasse - Pilotområde Skonager Lilleå. Rapport udarbejdet for Miljøcenter Ribe og Ringkøbing, marts 2008.

Orbicon (2008b). Okkerværktøjskasse - Pilotområde Lundbæk. Rapport udarbejdet for Miljøcenter Ribe og Ringkøbing, marts 2008.

Orbicon (2008c). Okkerværktøjskasse - Pilotområde Gesten Å. Rapport udarbejdet for Miljøcenter Ribe og Ringkøbing samt Vejen Kommune, marts 2008.

Prange, H. (2005). Ochre Pollution as an Ecological Problem in the Aquatic Environment – Solution Attempts from Denmark. Dissertation Work. International Degree Course Environmental Biology University of Applied Sciences Bremen.

Ribe Amt (1989): Notat udarbejdet af Ribe Amt, Teknisk Forvaltning d. 10. oktober 1989 til for et møde afholdt d. 20. oktober 1989 vedrørende forslag til ny vanløbslov.

Skriver, J. (1984). Okkers indvirkning på invertebratfaunaens forekomst og mængde i midt- og vestjyske hedeslettevandløb. Okkerreddegørelse Bilag 9, Miljøstyrelsen.

Sode, A. (2008). Undersøgelse af makroinvertebratfaunaen i okkerbelastede vandløb i Sydvest- og Vestjylland.

Søby, P. (2007). Okkerrensning ved etablering af bassinanlæg og opstemmede søer i ådale. Indlæg på okkerworkshop d. 12. oktober 2007.

Sønderjyllands Amt (2005). Okkerstatus (udkast).

Sørensen, F. (2004a). Effektundersøgelse ved Ål Præstesø og Gåsekær 1996 – 2004. Notat, Ribe Amt.

Sørensen, F. (2004b). Effektundersøgelse ved Ål Præstesø og Gåsekær 1996 – 2004. Betydningen af vandstandshævning for okkerudvaskningen til Fåresø. Ribe Amt, Vandmiljøkontoret. Notat.

Waagepetersen, J., Grant, R.O. og Clausen, S. U. (1987). Overfladeaktiveret ferrojerniltning ved neutralt pH. Hedeselskabets Forskningsvirksomhed. Beretning 33.

1.1 Analyser

Indledningsvis er der gennemført to overordnede analyser, én af tilbageholdelse af jern i okkerrenseanlæggene og én af koncentrationen af jern i udløbet. Formålet med analyserne er en generel screening for, hvad der er betydende for jerntilbageholdelse i okkerrenseanlæggene. Efterfølgende er der lavet operationelle modeller for jerntilbageholdelsen i anlæggene. Med "operationelle modeller" menes modeller, der kan anvendes til at afgøre dimensionering af okkerrenseanlæg, når indløbskoncentrationen af total- og opløst jern kendes og under forudsætning af, at der ønskes niveauer af disse under bestemte koncentrationer i udløbsvandet.

Alle data, både afhængige og uafhængige variable, blev transformeret for at imødekomme kravene til parametrisk statistik om normalfordeling og varians-homogenitet af data. Data for jerntransport ind i anlæggene blev rodtransformeret, og data for den relative fjernelse af total-jern og opløst jern blev Arc-Sin-transformeret i henhold til Freeman and Turkey (1950). Data for opholdstid blev naturliglogaritmen-rod-transformeret.

Alle analyser er lavet i programmet SPSS 15.0.

Screening for betydende faktorer for jerntilbageholdelse i okkerrenseanlæg

Til begge analyser blev der anvendt en MANOVA.

I analysen af tilbageholdt jern er følgende fire afhængige parametre anvendt:

Mængde tilbageholdt total-jern (ind - ud koncentration) (mg/l)
Andel tilbageholdt total-jern, (ind - ud koncentration / ind koncentration) (%)
Mængde tilbageholdt opløst jern (ind - ud koncentration) (mg/l)
Andel tilbageholdt opløst jern (ind - ud koncentration / ind koncentration) (%)

I analysen af jernkoncentrationen i udløbene blev følgende to afhængige parametre anvendt:

Total-jern fjernet i anlæggene (mg/l)
Opløst jern fjernet i anlæggene (mg/l)

Følgende uafhængige parametre (P) og kovarianter (k) blev inkluderet analysen:

- (P) Vegetationsdækningsgrad (0-3)
- (k) Opholdstid (timer)
- (k) Vandføring (l/s)
- (k) pH i indløbsvandet
- (k) Total-jernkoncentrationen i indløbsvandet (mg/l)
- (k) Ferrojernkoncentrationen i indløbsvandet (mg/l)

Operationelle modeller for jerntilbageholdelsen i okkerrenseanlæg

På baggrund af resultaterne af screeninger for betydende faktorer for jerntilbageholdelse er der lavet operationelle modeller for tilbageholdelse af total- og opløst jern i okkerrenseanlæg. Der er anvendt både lineære og nonlineære modeller. Der blev anvendt "backward elimination" i de lineære regressioner. Konstanterne i de nonlineære modeller blev bestemt ved Levenberg-Marquard-iterations metoden.

1.2 Resultater

I afsnittet " Screening for betydende faktorer for jerntilbageholdelse i okkerrenseanlæg" er alle resultater for konstanter givet for transformerede parametre. Dette vil sige, at de enkelte estimerede konstanter ikke giver de faktiske værdier uden forudgående tilbagetransformation. I næste afsnit " Operationelle modeller for jerntilbageholdelsen i okkerrenseanlæg" er modellerne for jerntilbageholdelsen opstillet med tilbagetransformerede værdier, således at jerntilbageholdelsen og jernkoncentrationerne i udløbsvandet gives som faktiske værdier.

Screening for betydende faktorer for jerntilbageholdelse i okkerrenseanlæg

I tabel 1.1.1 er de signifikant betydende faktorer for tilbageholdelsen af jern i okkerrenseanlæggene vist. Modellerne har generelt en meget høj grad af forklaring med en R^2 mellem 87 og 91 %. Dette betyder, at 9 - 13 % af variationen i jerntilbageholdelsen i okkerrenseanlæggene ikke forklares af modellerne. Partial Eta Squared (PES) i nedenstående tabeller angiver den relative betydning af parameteren i forhold til de øvrige parametre i modellen.

Total-jern koncentration i indløbet

Total-jern-koncentrationen i indløbet har langt den største betydning for totaljerntilbageholdelsen i anlæggene (tabel 1.1.2, mg/l: PES = 0,766 og %: 0,766); jo mere jern der kommer ind i anlægget, jo mere kan der tilbageholdes (hædningskoefficient b: 1,187 mg/l tilbageholdt total-jern pr. mg/l total-jern-ind).

Der er en signifikant effekt af total-jern-ind på mængden af tilbageholdt opløst jern (tabel 1.1.2, PES = 0,113 og 0,111 for henholdsvis total og relativ mængde opløst jern).

Opløst jern i indløbet

Mængden af opløst jern i indløbet har en svag men dog signifikant effekt på tilbageholdelsen af total-jern (tabel 1.1.2, PES=0,099), mens koncentrationen af opløst jern har en relativt stor signifikant effekt på mængden af opløst jern tilbageholdt i anlæggene, både absolut og relativt, PES hhv. 0,402 og 0,404 (tabel 1.1.2).

Tabel 1.1.1: Tilbageholdelse af jern. MANOVA. Kun de faktorer, der har en signifikant effekt på tilbageholdelsen, er vist i tabellen. PES angiver den relative betydning af den enkelte faktor. DF: frihedsgrader. SE: Standard Error.

Uafhængigvariabel	Afhængig variabel	Df	P	PES
Model	Total-jern tilbageholdt (mg/l)	7	0,00000	0,913
	Total-jern tilbageholdt (%)	7	0,00000	0,913
	Opløst jern tilbageholdt (mg/l)	7	0,00000	0,873
	Opløst jern tilbageholdt (%)	7	0,00000	0,873
Skæringspunkt	Total-jern tilbageholdt (mg/l)	1	0,00410	0,095
	Total-jern tilbageholdt (%)	1	0,00355	0,097
	Opløst jern tilbageholdt (mg/l)	1	0,00129	0,080
	Opløst jern tilbageholdt (%)	1	0,00138	0,079
Opholdstid (timer)	Total-jern tilbageholdt (mg/l)	1	0,00002	0,137
	Total-jern tilbageholdt (%)	1	0,00003	0,131
	Opløst jern tilbageholdt (mg/l)	1	0,00004	0,128
	Opløst jern tilbageholdt (%)	1	0,00006	0,122
Total-jern ind (mg/l)	Total-jern tilbageholdt (mg/l)	1	0,00000	0,766
	Total-jern tilbageholdt (%)	1	0,00000	0,766
	Opløst jern tilbageholdt (mg/l)	1	0,00011	0,113
	Opløst jern tilbageholdt (%)	1	0,00013	0,111
Opløst jern ind (mg/l)	Total-jern tilbageholdt (mg/l)	1	0,00031	0,099
	Total-jern tilbageholdt (%)	1	0,00032	0,099
	Opløst jern tilbageholdt (mg/l)	1	0,00000	0,402
	Opløst jern tilbageholdt (%)	1	0,00000	0,404
pH	Total-jern tilbageholdt (mg/l)	1	0,57561	0,003
	Total-jern tilbageholdt (%)	1	0,54181	0,003
	Opløst jern tilbageholdt (mg/l)	1	0,02376	0,040
	Opløst jern tilbageholdt (%)	1	0,02193	0,041
Vegetationsdække	Total-jern tilbageholdt (mg/l)	3	0,00000	0,231
	Total-jern tilbageholdt (%)	3	0,00000	0,228
	Opløst jern tilbageholdt (mg/l)	3	0,00000	0,248
	Opløst jern tilbageholdt (%)	3	0,00000	0,243

Total-jern tilbageholdt (mg/l): Adjusted $R^2 = 0,91$
 Total-jern tilbageholdt (%): Adjusted $R^2 = 0,91$
 Opløst jern tilbageholdt (mg/l): Adjusted $R^2 = 0,87$
 Opløst jern tilbageholdt (%): Adjusted $R^2 = 0,87$

Tabel 1.1.2: De estimerede konstanter, B, for kovariaterne i modellen. Bemærk at værdierne gælder for transformerede variable, se tekst for nærmere forklaring.

Afhængig variabel	Parameter	B	P	PES
Total-jern tilbageholdt (mg/l)	Skæringspunkt	-1,971	0,002	0,077
	Opholdstid	0,613	0,000	0,137
	Total-jern ind	1,187	0,000	0,766
	Opløst jern ind	-0,080	0,000	0,099
	pH ind	0,056	0,576	0,003
Total-jern tilbageholdt (%)	Skæringspunkt	-9,909	0,001	0,079
	Opholdstid	2,954	0,000	0,131
	Total-jern ind	5,862	0,000	0,766
	Opløst jern ind	-0,396	0,000	0,099
	pH ind	0,304	0,542	0,003
Opløst jern tilbageholdt (mg/l)	Skæringspunkt	-1,783	0,004	0,065
	Opholdstid	0,581	0,000	0,128
	Total-jern ind	0,231	0,000	0,113
	Opløst jern ind	0,196	0,000	0,402
	pH ind	0,227	0,024	0,040
Opløst jern tilbageholdt (%)	Skæringspunkt	-8,663	0,004	0,065
	Opholdstid	2,774	0,000	0,122
	Total-jern ind	1,116	0,000	0,111
	Opløst jern ind	0,961	0,000	0,404
	pH ind	1,123	0,022	0,041

Opholdstid og vandføring

Opholdstiden beregnes på baggrund af vandføringen og anlæggets volumen. Da anlægsvolumen er konstant, er opholdstid og vandføring 100 % korrelerede inden for de enkelte anlæg.

Når både opholdstid og vandføring medtages i samme analyse (ikke vist), kommer alene vandføring ud signifikant ($p < 0,0001$). Årsagen er, at opholdstiden er direkte afhængig af vandføringen og beregnes ud fra denne. Jern tilbageholdelsen er omvendt proportional med vandføringen, både for total-jern og opløst jern; jo højere vandføring desto ringere jerntilbageholdelse (ikke vist).

Da opholdstiden er central for udformningen okkerrenseanlæg, er analysen gennemført alene med opholdstid medtaget som Kovariat (tabel 1.1.1). Tilbageholdelsen af total-jern og opløst jern, både absolut og relativt, er positivt korreleret med opholdstiden (tabel 1.1.1).

pH

pH har en svag men signifikant positiv effekt på den relative tilbageholdelse af opløst jern (PES=0,040 og 0,041), men ingen effekt på tilbageholdelsen af total-jern ($p > 0,542$). Årsagen til, at der ikke ses en effekt på tilbageholdelsen af total-jern er formentlig, at pH-variationen i indløbsvandet i denne undersøgelse er for lille til, at en eventuel effekt slår igennem (tabel 1.1.1., pH: 5,57 - 7,42).

Effekt af vegetationsdække

Vegetationsdækket har en relativt stor effekt på tilbageholdelsen af jern (PES: 0,231 - 0,248). Af tabel 1.1.3 fremgår det, at et vegetationsdække i kategori 3 har en højere renseseffekt end både 0, 1 og 2 (for alle: $P \leq 0,047$). Ingen af de tre første kategorier var signifikant forskellige ($P \geq 0,195$).

Tabel 1.1.3: Vegetationsdækkets (Veg) effekt på tilbageholdelsen af total-jern (mg/l). Bemærk at værdierne gælder for transformerede variable.

Afhængig variabel	Veg	Mean	SE
Total-jern tilbageholdt (mg/l)	0	2,410	0,137
	1	2,569	0,092
	2	2,530	0,067
	3	2,967	0,036
Total-jern tilbageholdt (%)	0	11,801	0,676
	1	12,634	0,453
	2	12,351	0,332
	3	14,513	0,177
Opløst jern tilbageholdt (m/l)	0	2,162	0,135
	1	2,060	0,090
	2	1,974	0,066
	3	2,458	0,035
Opløst jern tilbageholdt (%)	0	10,571	0,659
	1	10,106	0,442
	2	9,658	0,324
	3	11,998	0,173

Andre betydende parametre

Ovenstående modeller forklarede mellem 87 og 91 % af variationen af jerntilbageholdelsen i anlæggene. Altså skyldes 9 - 13 % af variationen i jerntilbageholdelsen i okkerrensaneanlæggene andre faktorer end den, der indgik i analysen, herunder måleusikkerheder.

Ilt og temperatur - der er ikke analyseret for effekten af temperatur og ilt på jerntilbageholdelsen, da kun er lavet sporadiske målinger af disse parametre. Både iltmætning og temperatur har betydning for omsætningen af opløst jern. Da der alene er anvendt data fra vinterhalvåret, oktober - april, har temperaturen næppe haft nogen stor effekt i denne undersøgelse. Alle temperaturmålinger der findes ligger, bortset fra to hændelser, da også under 10 °C. De målte iltmætninger ligger i intervallet 54 - 80 %. Det kan ikke udelukkes at lave iltmætninger har påvirket iltningen af opløst jern og dermed tilbageholdelsen af jern i anlæggene.

Forhold omkring anlæggene. Der er ikke lavet en egentlig analyse af effekten af anlæggenes udformning, selvom dette forhold delvist ligger i parameteren V vegetationsdække. Okkersøerne uden vegetationsdække er som udgangspunkt dybere end anlæg med. Anlæggenes med vegetation er også forskellige med hensyn til størrelse, dybde, og andel med grødebevoksning. Betydningen af anlæggenes udformning er behandlet videre i diskussionsafsnittet.

