



Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Effekter på havbunden ved passage af højhastighedsfærger

Faglig rapport fra DMU, nr. 451



[Tom side]



Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Effekter på havbunden ved passage af højhastighedsfærger

*Faglig rapport fra DMU, nr. 451
2003*

Karsten Dahl
Danmarks Miljøundersøgelser

Henrik Kofoed-Hansen
DHI – Institut for Vand og Miljø

Datablad

Titel:	Effekter på havbunden ved passage af højhastighedsfærger
Forfattere: Afdelinger:	Karsten Dahl ¹⁾ , Henrik Kofoed-Hansen ²⁾ ¹⁾ Afdeling for Marin Økologi, ²⁾ DHI – Institut for Vand og Miljø
Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 451
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser© Miljøministeriet
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsestidspunkt:	Oktober 2003
Faglig kommentering:	Bo Riemann, DMU og Anne Grethe Ragberg, Skov- og Naturstyrelsen
Finansiell støtte:	Skov- og Naturstyrelsen
Bedes citeret:	Dahl, K. & Kofoed-Hansen, H. 2003: Effekter på havbunden ved passage af højhastighedsfærger. Danmarks Miljøundersøgelser. 36 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 451. http://faglige-rapporter.dmu.dk Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.
Sammenfatning:	For første gang er der målt og observeret påvirkninger på havbunden indenfor en afstand af 40 - 70 m fra en hurtigfærgerute besejlet af en større bilførende katamaranfærge. Bølgemålingerne viste, at for sejlads med overkritisk fart (dvs. skibets fart er større end de genererede bølgers udbredelseshastighed) forekommer de største strømhastigheder ved bunden i forbindelse med passage af den første bølge ("leading wave"). For sejlads med nær-kritisk fart (dvs. hvor skib og bølger udbreder sig med samme hastighed) er bølgebevægelsen mere regelmæssig, og den største strømhastighed optræder senere. Generelt er påvirkningen på havbunden størst ved sejlads med nær-kritisk fart, hvorfor sejlads med denne fart bør undgås i sensitive områder. Hurtigfærgens passage forårsagede omlejring af mindre sten på 10 m vanddybde, men ingen afrivning af stenedes vedhæftede undervandsplanter ved de 5 oversejlinger. Effekter på havbunden med vanddybder over 10 m i eksponerede dele af Kattegat som følge af hurtigfærgesejlads skønnes at være små, hvori- mod effekter i beskyttede områder ikke kan udelukkes pga. omlejring af bundsedi- menter.
Emneord:	Hurtigfærge, waterjets, InterOcean S4 Current Meter, bølgehastighedsprofiler, bølge- udbredelsesretning, bølgegrænselag, overfladeelevation, miljøeffekter, bølgemålinger, strømhastigheder, sediment, omlejring, sten, hårbund, makroalger, algevegetation, fysiske forstyrrelser.
Layout & korrektur:	Anne van Acker
Forsidefoto:	Småstenet bund med tangplante fra Lillegrund nord for Samsø – Foto Karsten Dahl
Tegninger/fotos:	Henrik Kofoed-Hansen, Karsten Dahl, Steffen Lundsteen og Kim Lundshøj
ISBN:	87-7772-747-9
ISSN (elektronisk):	1600-0048
Sideantal:	36
Internet-version:	Rapporten findes kun som PDF-fil på DMU's hjemmeside: http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR451.pdf
Købes hos:	Miljøministeriet Frontlinien Strandgade 29 1401 København K Tlf.: 3266 0200 Frontlinien@frontlinien.dk www.frontlinien.dk

Indhold

Sammenfatning 5

English summary 6

1 Indledning 8

2 Materiale og metoder 9

2.1 Lokalitet og tidspunkt 9

2.2 Hurtigfærgesejlds og afmærkning 11

2.3 Forsøgsdesign 12

3 Resultater 15

3.1 Beskrivelse af de udlagt sten med tilhørende alger 15

3.2 Bølgemålinger 16

3.3 Effekter på alger og substrat af hurtigfærgepassagen 20

4 Diskussion 22

5 Konklusion 25

6 Referencer 26

Bilag 1 GPS dataudskrifter fra Stena Carisma ved passage af målefelt 27

Bilag 2 Engelsk beskrivelse af S4-måleren 28

Bilag 3A Sten og tilhørende algevækst i ramme 1 før og efter færgepassager 29

Bilag 3B Sten og tilhørende algevækst i ramme 2 før og efter færgepassager 30

Bilag 3C Sten og tilhørende algevækst i ramme 3 før og efter færgepassager 31

Bilag 3D Sten og tilhørende algevækst i ramme 4-9 før færgepassager og efter 4. passage 32

Danmarks Miljøundersøgelser 35

Faglige rapporter fra DMU 36

[tom side]

Sammenfatning

For første gang er der målt og observeret påvirkninger på havbunden indenfor en afstand af 40 - 70 m fra en hurtigfærgerute besejlet af en større bilførende katamaranfærge. Bølgemålingerne viste, at for sejlads med overkritisk fart (dvs. skibets fart er større end de genererede bølgers udbredelseshastighed) forekommer de største strømhastigheder ved bunden i forbindelse med passage af den første bølge ("leading wave"). For sejlads med nær-kritisk fart (dvs. hvor skib og bølger udbreder sig med samme hastighed) er bølgebevægelsen mere regelmæssig, og den største strømhastighed optræder senere. Generelt er påvirkningen på havbunden størst ved sejlads med nær-kritisk fart, hvorfor sejlads med denne fart bør undgås i sensitive områder. Hurtigfærgens passage forårsagede omlejring af mindre sten på 10 m vanddybde, men ingen afrivning af stenenes vedhæftede undervandsplanter ved de 5 oversejlinger. Effekter på havbunden med vanddybder over 10 m i eksponerede dele af Kattegat som følge af hurtigfærgesejlads skønnes at være små, hvorimod effekter i beskyttede områder ikke kan udelukkes pga. omlejring af bundsedimenter.

English summary

Effects on the seabed by highspeed ferries

The aim of the project was to identify short-term effects on gravel seabeds very close to a high-speed ferry route.

The investigation focused on identifying immediate effects by passing high-speed ferries. This could either be ripped off algae vegetation from the substrate or reduced stability of the small stones. Reduced stability is expected to cause effects on the algae and fauna community over a longer time span than covered by this investigation.

The investigation was carried out north of the island Læsø at a water depth of approximately 10 m on 22/23 August 2001 under calm weather conditions (3 - 5 m/s from easterly and southerly directions).

The ferry company Stena Line AB participated in the project with the high-speed ferry "Stena Carisma" (88 m overall length, gross tonnage 480 t and service speed 38 knots).

Small stones with attached macrophytes were collected from a nearby stone reef at the same water depth, sorted in 3 sizes with an average diameter of 4 - 10 cm, 10 - 15 cm and 15 - 20 cm. Nine artificially mixed sediment seabeds were constructed, three for each stone size. The stones were gently pressed down in the sandy sediment imitating the mixed sediment from the nearby reef. A flat iron frame surrounded each stone bed.

Detailed current and wave measurements were made with an Inter-Ocean S4 Current Meter next to the artificial gravel beds at 1.28 m above the seabed. One of the beds was video recorded during two passages.

A surface buoy marked the experimental area at the seabed and two buoys – one north and one south – marked the outer range of the two possible shipping lanes (*Figure 1*) Stena Carisma passed between the two buoys four out of five times with a speed of approx. 37 knots. The fourth passage was made with a near-critical speed of 18.9 knots.

The measurements show that the largest ship-generated waves and currents occurred with a near-critical speed. With this speed the wave height was approx. 1.5 m and the current speed was approx. 0.6 m/s (1.28 m above the seabed). These figures were measured approx. 41 m from the ship track. For normal operational conditions (i.e. at supercritical speed) the maximum wave height was 0.6 - 0.7 m and the associated current speed 0.35 - 0.5 m/s. It was also shown that linear wave theory yields an excellent estimate of the transient current speed above the seabed. This indicates that the wave impact on the seabed is caused by the overall wave system generated by the hull of the vessel and by the propulsion system.

Waves induced by the high-speed ferry were able to move gravel up to 625 g out of the frame. Sandy sediments were found on algae leaves after the first passage. No short-term effects as torn off algae individuals or leaves were registered.

The experiment showed that passing high-speed ferries might effect gravel communities in sheltered areas by destabilising the substrate. However, on this particular location natural induced waves and currents of the same size or larger occur so frequently and for longer periods than the 10 daily ship-generated waves, that effects on the benthic algal community are expected to be undetectable.

The project was financed by the Danish National Forest and Nature Agency and carried out by the National Environmental Research Institute and DHI Water and Environment.

1 Indledning

Sejlads med hurtigfærger i danske farvandsområder forudsætter en miljøgodkendelse, som bl.a. baseres på vurderinger af, hvilke effekter sejladsen har på natur- og miljøforhold langs ruten. De danske farvandsområder rummer væsentlige naturbeskyttelsesinteresser med hensyn til de forekommende marine arter og eksisterende naturtyper.

Projektet om effekter på havbunden ved passage af højhastighedsfærger blev gennemført med henblik på at påvise, om der sker umiddelbare biologiske effekter ved passage af hurtigfærger på naturtyper på hård bund, dvs. stenet substrat. Denne bundtype er mest interessant at undersøge i åbne farvande i det nordlige Kattegat, hvor der findes en række stenrev med typiske bevoksninger af makroalger og en stor rigdom af dyrearter. Stenrev er også en naturtype, som er omfattet af EF-habitatdirektivet (Rådets direktiv 92/43 EØF af 21. maj 1992). Revene indgår i udpegningsgrundlaget for i alt 51 danske marine Natura 2000-områder, hvoraf ét omfatter det udlagte forsøgsområde nord for Læsø. Den hårde bunds naturkvalitet afhænger i høj grad af stenenes stabilitet. Sten der er udsat for omløjring af strøm og bølger har ikke det samme potentiale som substrat for havbundens dyr og planter som stabile sten.

Projektet fokuserede derfor på at vise, om der i nærområdet af hurtigfærgers sejllinier dels sker omløjring af sten, der tjener som substrat for algevegetation, og dels om der forekommer afrivning af alger. De biologiske iagttagelser blev kombineret med aktuelle målinger af strøm- og bølgeforhold over bunden før, under og efter færgepassagen.

Projektet blev gennemført med DMU som hovedansvarlig og DHI som underleverandør på målinger og analyse af strøm og bølger. Endvidere medvirkede rederiet Stena Line AB til projektets gennemførelse ved omlægning af deres rute for hurtigfærge Stena Carisma for en dag.

2 Materiale og metoder

2.1 Lokalitet og tidspunkt

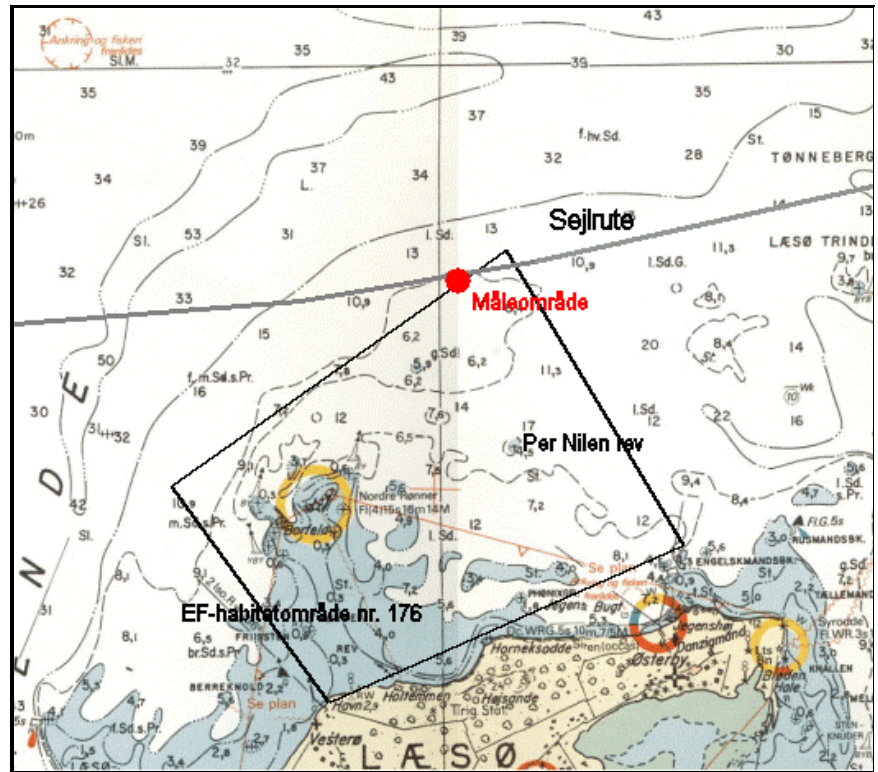
Området nord for Læsø blev valgt som forsøgsområde. Forsøgsfeltet viste sig at ligge i Stena Lines gamle sejlroute og tæt på nuværende rute for Frederikshavn-Göteborg forbindelsen, som besejles med hurtigfærgen Stena Carisma. Undersøgelsen blev gennemført på positionen 57°25,944'N, 11°00,500'E (WGS-84) med en vanddybde på 10,2 - 10,5 m. Undersøgelsesdybden blev valgt efter samråd med Stena Line, som havde et minimumskrav til vanddybden på 10 m af hensyn til sikker færgesejlad. Positionen af måleområdet samt hurtigfærgens rute er vist i *Figur 1*.

Bundtypen i det valgte forsøgsområde bestod af hårdt sand med en skønsmæssig diameter på maksimalt 1 - 2 mm næsten uden aflejringer af tomme muslingeskaller. Det var derfor nødvendigt at ændre det oprindelige forsøgsdesign, som var baseret på naturlig forekomst af mindre sten.

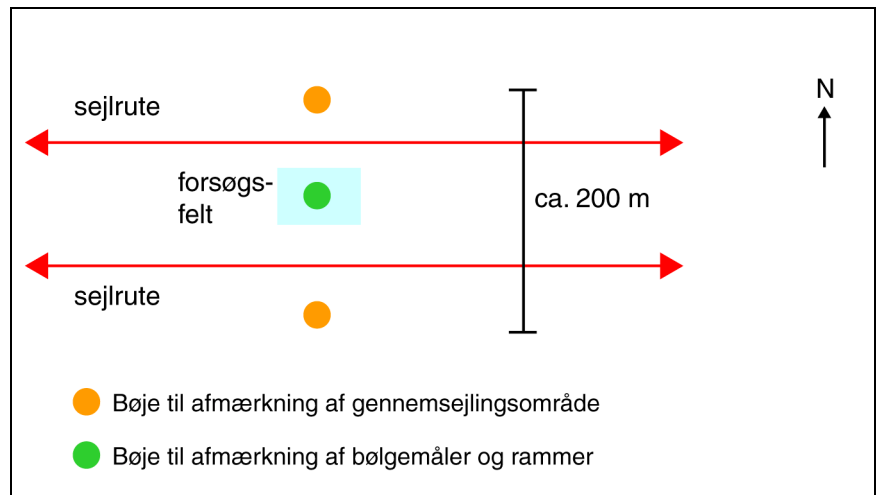
Undersøgelsen blev gennemført over to dage fra den 22/8 til 23/8 2001 under meget gunstige vejrforhold. Den 23/8 under selve forsøget varierede vinden fra 3,5 og 5,2 m/s fra retning 150 grader N ved de tre første passager skiftende til 4,1 m/s fra retning 105 grader N ved fjerde passage. Bølgeeffekten fra de svage vinde var således yderligere dæmpet af Læsø.

Undersøgelsen blev gennemført med Nationalmuseets undersøgelses-skib "Havternen" som dykkerplatform.

Figur 1 Udsnit af Kort- og Matrikelstyrelsens søkort 101 Kattegat, nordlige del, hvor måleområdet er angivet. Endvidere er hurtigfærgens midlertidige rute angivet.
 © Kort- og Matrikelstyrelsen (G. 102-95).



Detailplan af måleområdet.



2.2 Hurtigfærgesejlad og afmærkning

Hurtigfærgen, der indgik i forsøget, var Stena Lines katamaranfærge HSS 900 Stena Carisma, hvis data fremgår af nedenstående *Figur 2*.

Figur 2 Stena Carisma med tilhørende data.



Gross tonnage: 480 t
Overall length, L_{oa} : 88 m
Beam, B: 30 m
Draught, D: 3.9 m
Service speed, V_s : 38 knots
Ship type: High speed craft, HSS 900 (Highspeed Sea Service)
Passenger capacity: 900
Car capacity: 210
Freight capacity: 151 cars + 10 buses
Built/last rebuilt: 1997
Shipbuilder: Westamarin West Bygg, Norway
Port of registry: Göteborg
Flag: Swedish
Owner: Stena Line
Engines: 2 x ABB-Stal GT 35
kW/horsepower: 34 000 kW/ 46 200 hp
Propulsion: waterjets

Forsøget blev gennemført med fire passager med normal hastighed på 36 - 38 knob. Den fjerde skibspassage blev gennemført med en hastighed på 18,9 knob, hvilket svarer til nær-kritisk fart (dvs. skibet stort set sejler med samme hastighed, som bølgerne udbreder sig med). Hastighedsnedsættelsen på fjerde passage blev påbegyndt godt 0,5 sømil før forsøgsområdet og holdt til godt 0,5 sømil efter forsøgsområdet.

For at sikre så tæt skibspassage som muligt på forsøgsfeltet på bunden blev der anbragt en bøje lige ved bølgemålerens rig. Tilsvarende blev der anbragt ydre markeringsbøjer nord og syd for forsøgsfeltet. Hurtigfærgens passager blev iagttaget fra undersøgelsesfartøjet, og det lykkedes for Stena Lines besætning at bringe færgen meget tæt på selve forsøgsfeltets afmærkning hver gang.

Tidspunktet for de enkelte passager fremgår af *Tabel 1* samt oplysninger om lastvægt, afstand fra målområde, dybdegang m.v. Yderligere oplysninger om skibets passage ved målefeltet fremgår af *Bilag 1*. Det har ikke været muligt at fremskaffe kontinuerte skibsdata for position, kurs og vanddybde.

Tabel 1 Tidsangivelse for hurtigfærgens passage af måleområdet (lokaltid) samt navigations- og lastforhold. Nedenfor er angivet DGPS-data modtaget fra Stena Line. Disse data viser positionen af hurtigfærgen ved passage af målebøjen. Det har ikke været muligt at fremskaffe kontinuerte data for position, kurs og vanddybde.

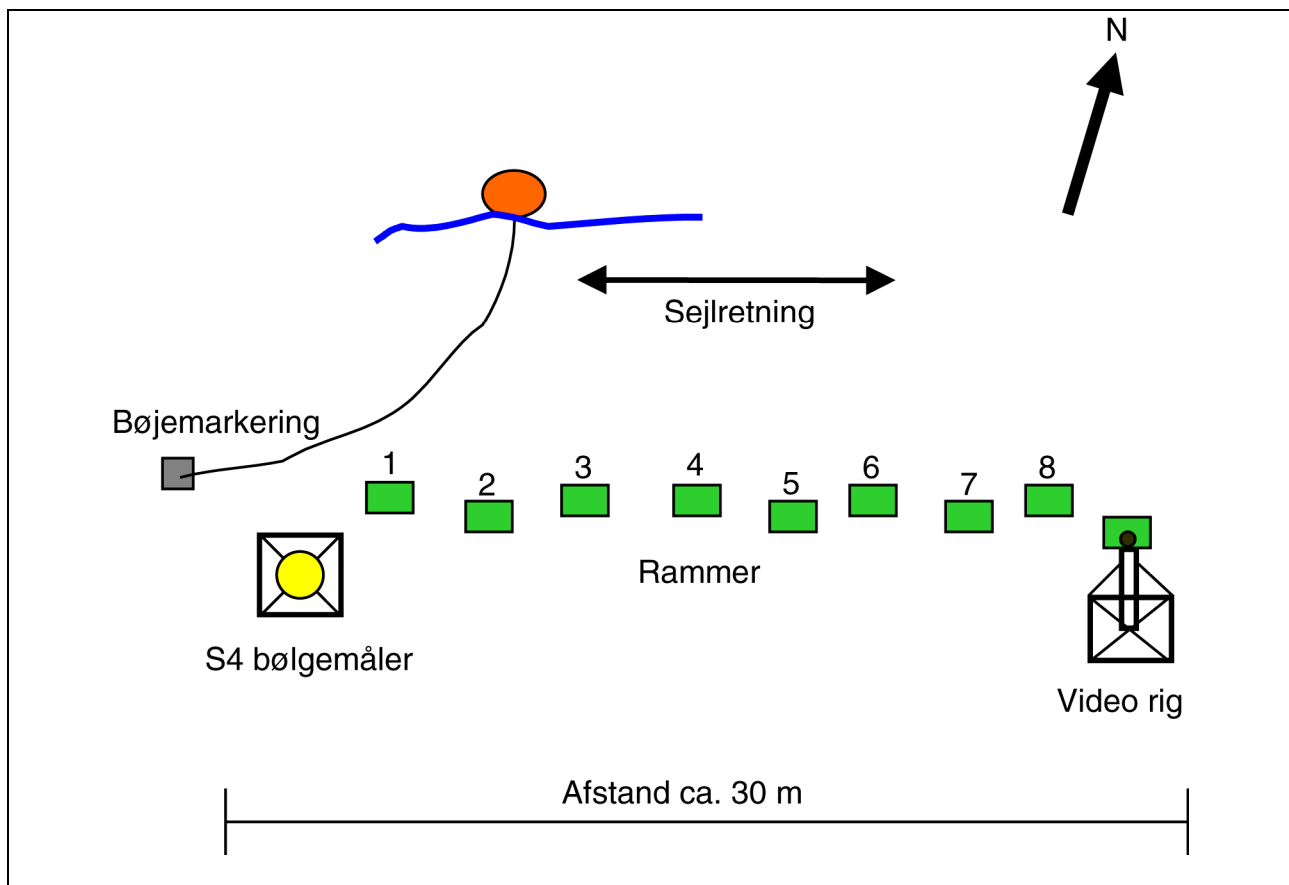
	Passage 1	Passage 2	Passage 3	Passage 4	Passage 5
Tid ved bøje	23/08/01 10:36	23/08/01 14:16	23/08/01 16:05	23/08/01 19:27	23/08/01 21:17
Sejlretning	Østgående	Vestgående	Østgående	Vestgående	Østgående
N eller S om bøje	S	S	N	S	S
Fart ved bøje	38,2 knob	36,6 knob	36,1 knob	18,9 knob	38 knob
Afstand mellem sejllinie (skibsmidte) og målefelt	67 m	64 m	50 m	41 m	66 m
Dybgang for	2,90 m	3,45 m	3,75 m	3,20 m	2,90 m
Dybgang agter	3,65 m	3,45 m	3,85 m	3,85 m	3,80 m
Last	326 passager 86 biler	583 passager 126 biler	598 passager 124 biler	466 passager 116 biler	267 passager 82 biler

2.3 Forsøgsdesign

Prøvefeltet bestod af 9 udlagte nummererede flade rammer á 1/6 m² på 10,2 - 10,5 m vanddybde. Rammerne blev placeret på en linie parallel med færgeruten. Rammerne blev trykket godt ned i sandet, således at deres overflade omtrent var ens med det omliggende sandede sediment (*Figur 3*).

I rammerne blev der placeret sten med tilhørende algevegetation. Stenene var få timer forinden hentet på det nærliggende rev Per Nilen på samme vanddybde. Under transport til forsøgsområdet fra Per Nilen blev stenene opbevaret i store vandfyldte kar overdækket med en presenning. Vandtemperaturen blev holdt forholdsvis kølig ved løbende udskiftning af vandet og nedkøling med fryseelementer.

Stenene blev forud for udlægningen vejret og sorteret efter størrelse og dominerende vegetationstype, som det fremgår af *Tabel 2*. Det blev tilstræbt, at et stort antal sten skulle have en meget væsentlig fraktion af trådformede alger til stede, da netop denne algetype skønnes mest følsom over for afrivning ved bølgebevægelse. I hovedparten af tilfældene voksede de trådformede algearter epifytisk på andre algearter. En anden fraktion af stenene skulle indeholde store brunalger på store sten, for at se om algernes størrelse havde en indflydelse på stenenes eventuelle omlejring som følge af færgegenereret bølgebevægelser.



Figur 3 Skitse over udlagt grej og afmærkning i forhold til sejlretningen.

Tablet 2 Fordelingen af sten og væsentlige forekomster af enten trådformede algearter eller store brunalger.

Ramme	Stenfraktion	Vegetationstype
1	4 - 7,9 cm	Trådformede alger
2	4 - 7,9 cm	Trådformede alger
3	4 - 7,9 cm	Trådformede alger
4	8 - 14,9 cm	Trådformede alger
5	8 - 14,9 cm	Trådformede alger
6	8 - 14,9 cm	Store brunalger
7	15 - 25 cm	Trådformede alger
8	15 - 25 cm	Store brunalger

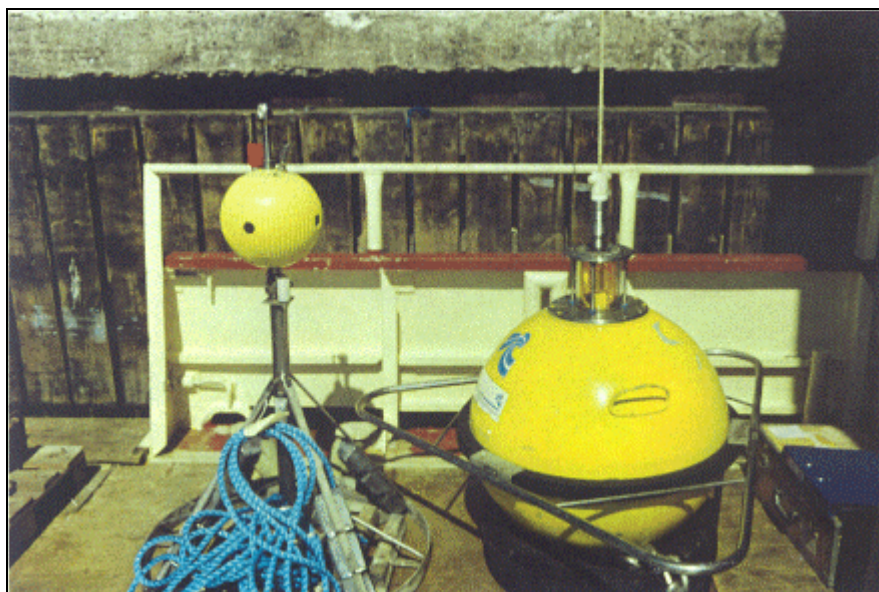
Stenene blev fordelt i de udlagte rammer efter størrelse og vegetationstype. Det blev tilstræbt, at halvdelen af rammernes areal blev fyldt med sten. Stenene blev arbejdet godt ned i sandet med deres oprindelige orientering bevaret, dvs. med algevegetationen på oversiden. Resultatet var en konstrueret blandet bundtype bestående af sand og sten i ralfractionen, hvilket er almindeligt forekommende i naturen, bl.a. på det nærliggende rev Læsø Trindel.

De udlagte rammer med sten blev fotograferet umiddelbart efter, at stenene var placeret. Der blev anvendt et Nikon Coolpix 990 digital kamera (opløsning 3,34 mio. pixels) i et Ikelite undervandshus, der sammen med en blitz var monteret på en rig tilpasset de udlagte rammer. Rammerne blev herefter fotograferet efter hver af de første fire passager af hurtigfærgen. Efter den femte passage var lysforholdene under vandet for ringe pga. det sene tidspunkt. Enkelte billeder blev fejlbelyst men giver alligevel information og er derfor medtaget.

Ved ramme 9 blev der nedsænket en rig påmonteret et digitalt videokamera på en lang arm. Kameraet blev placeret således, at det kunne filme sten og alger før, under og efter færgepassagen. Desværre fungerede kameraet kun under de to første færgepassager.

Ved ramme 1 blev bølgemåleren placeret på toppen af en rig, hvis samlede højde var ca. 1,4 m over bunden.

Bølgemåleren var af typen InterOcean S4 Current Meter og måler strøm hastighed- og retning samt vandtryk forårsaget af hurtigfærgen. Vandtrykket blev målt 1,18 m over bunden, og strømmens hastighed og retning 1,28 cm over bunden. Dette instrument har flere gange tidligere været anvendt i forbindelse med målinger af bølger genereret af hurtigfærger både i Danmark og i udlandet. Instrument inkl. stativ er vist i *Figur 4*. I *Bilag 2* er vedlagt en mere detaljeret beskrivelse af instrumentet.



Figur 4 InterOcean S4 Current Meter inkl. stativ er vist til venstre. Målebøjen til højre er en såkaldt WaveRider (ej benyttet i dette projekt).

3 Resultater

3.1 Beskrivelse af de udlagte sten med tilhørende alger

De udlagte stens gennemsnitsvægt og størrelse i de enkelte rammer fremgår af Tabel 3.

Vegetationssammensætningen i ramme 1 – 3 var domineret af "tynde" eller "grovere" trådformede alger. Blandt de "tynde" – dvs. uden veludviklet barkceller – fandtes *Ceramium nodulosum*, *Sphacelaria* arterne *cirrosa* og *plumosa*, *Spermothamnion repens* og *Polysiphonia* arterne *fibrillosa* og *elongata*. De tilstedeværende mere grove trådalgearter med veludviklet bark bestod af *Chorda filum*, *Chordaria flagelliformis*, *Brongniartella byssoides*, *Cystoclonium confervoides* og *Desmarestia aculeata*. Der fandtes kun enkelte små eksemplarer af brunalger som *Halidrys siliquosa* og *Furcellaria lumbricalis* på de små sten og ingen *Laminaria* arter. Vegetationshøjden på småstenene var mellem 10 og 20 cm.

Vegetationen på den mellemste stenstørrelse havde, i forhold til de mindre sten, et mere veludviklet "bundlag" af bladformede rødalger som *Delesseria sanguinea*, *Coccotylus truncatus*, *Phyllophora pseudoceranoides*, *Chondrus crispus* og *Plumaria elegans*. Rødalgen *F. lumbricalis* forekom også hyppigere og var også mere veludviklet end på de mindre sten. Stenene i rammerne 4 og 5 var udvalgt således, at der ud over den bladformede bundvegetation tillige var trådformede algearter til stede af samme type og med en skønnet dækningsgrad som på de mindre sten. De trådformede alger sad enten direkte på stenene eller hyppigt som epifytter på bundvegetationen. Vegetationens højde på stenene i de to rammer var ca. 20 - 25 cm.

Tabel 3 Antal udlagte sten, deres gennemsnitsdiameter og -vægt samt største og mindste vægt af udlagte sten i hver af de 9 udlagte rammer.

Ramme nr.	Antal sten	Gennemsnitlig diameter på sten (cm)	Gennemsnitsvægt (g)	Maks. vægt (g)	Min. vægt (g)
1	16	6,5	263	640	80
2	16	6,3	233	450	80
3	9	5,6	193	325	75
4	7	10,1	1046	2300	530
5	8	10,6	1119	2140	650
6	5	12,4	1594	2320	700
7	4	18,5	4317	5999	1370
8	3	19,3	4933	5500	4000

Vegetationen på de mellemstore sten i ramme 6 var derimod domineret af store eksemplarer af brunalgerne *H. siliquosa*, *D. aculeata* og *Laminaria saccharina*. Under brunalgerne fandtes en spredt vegetation af mindre blad- og trådformede rødalger. Vegetationens højde på stenene var op til 30 - 40 cm.

Stenene i ramme 7 skulle efter planen have været store sten domineret af trådalger. Det viste sig imidlertid ikke muligt at finde denne kombination. De valgte sten havde enkelte større brunalger af typen *L. saccharina*, *H. siliquosa* og *F. lumbricalis* og en undervegetation bestående af de røde bladformede alger *C. truncatus*, *C. crispus* og *P. pseudoceranoides*. Derudover fandtes en rimelig veludviklet forekomst af trådalgearter identisk med de arter, der også var registreret på de to mindre stenstørrelser. Vegetationshøjden varierede betydeligt fra sten til sten fra ca. 15 cm til ca. 40 cm på stenene, hvor *H. siliquosa* var til stede.

Ramme 8 indeholdt 3 store sten. Den ene stens algevækst var helt domineret af en 50 cm stor *Laminaria digitata*. Den anden stens alger var domineret af en enkelt 40 cm stor *H. siliquosa* plante med påvækst af enkelte trådformede alger. Den sidste stens algevækst bestod primært af en lav tæt vegetation af bladformede rødalger som *C. truncatus* og *P. pseudoceranoides* med påvækst af trådalger, som set på de øvrige mindre sten.

De sidste rammer indeholdt en blanding af de udvalgte stenstørrelser. Algesammensætningerne på stenene varierede fra dominans af *L. saccharina* på en stor sten til samfund identiske med dem beskrevet for de to mindste stenstørrelser.

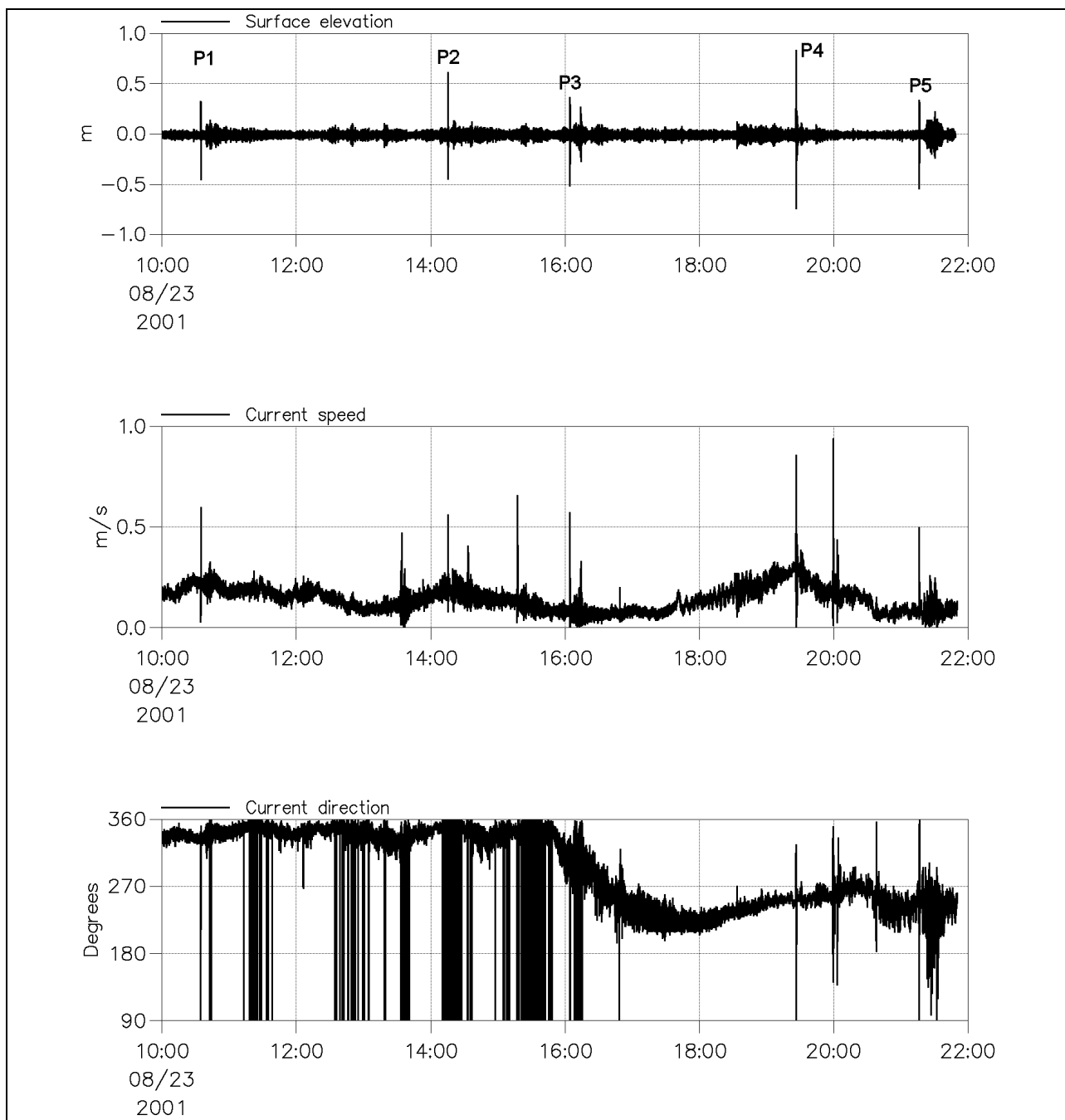
3.2 Bølgemålinger

Som tidligere nævnt var vejret under målingerne særdeles gunstigt, idet vinden var svag fra forskellige retninger. Som det ses af bølgemålingerne vist i *Figur 5*, betød disse vindforhold, at de vindgenererede bølger var af en sådan størrelsesorden, at de ikke havde nogen indflydelse på målinger og observationer. Det var således problemfrit, at identificere hurtigfærgens genererede langperiodiske bølger.

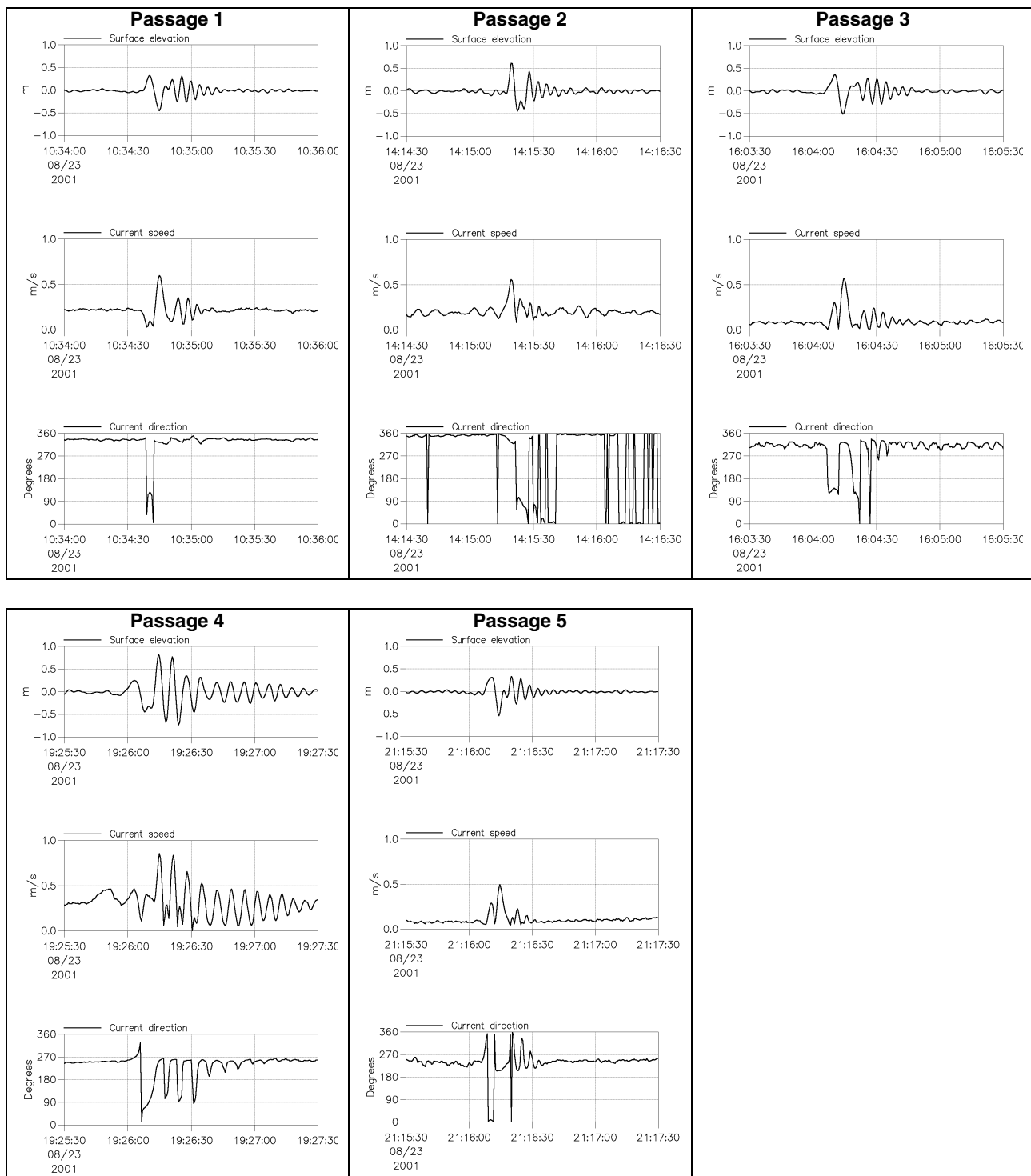
Af *Figur 5* ses også, at der optrådte en varierende strøm i løbet af måleperioden. Strømhastigheden var 0,05 - 0,3 m/s med retninger mellem N og V under de første tre passager og mellem V og S under de to sidste passager. Der er registreret en enkelt markant bølge lidt efter Stena Carismas tredje passage, som kun kan tilskrives undersøgelsesfartøjet Havternens aktivitet i området. Tilsvarende optræder der markante kortvarige strømhastigheder mellem passagerne, som må tilskrives dykkernes svømmeaktivitet på bunden omkring S4-enheden mellem Stena Carismas passager.

I *Figur 6* er vist tidsserier af overfladeelevation, strømhastighed samt strømmens retning for hver af de fem passager. For passager, hvor færgen sejlede med overkritisk fart ($F_{nh} > 1$, P1,2,3 og 5), udviste de målte overfladeelevationer og strømdata stort set samme karakteristika på trods af færgens forskellige lastkonditioner. Tidsserier af overfladeelevationen er karakteriseret ved, at der først optræder en

markant såkaldt "transient leading wave", bestående af en bølgetop og bølgedal. Denne efterfølges af et mere regelmæssigt bølgetog med gradvis aftagende bølgehøjde og bølgeperiode. De største strømhastigheder ved bunden blev målt under passage af denne "leading wave", som er så karakteristisk for hurtigfærgesejls på lavt vand (høje værdier for F_{nh}). For passage 4, hvor færgen sejlede med nær-kritisk fart ($F_{nh} \sim 1$), var bølgemønstret anderledes. Den såkaldte "leading wave" var væsentlig mindre end ved overkritisk sejlads, og overfladeelevationen var karakteriseret ved en række relativt høje og regelmæssige bølger, hvis højde og periode aftog med tiden.



Figur 5 Tidsserie (lokal tid) af målt overfladeelevation ("surface elevation") i meter øverst, strømhastighed ("current speed") 1,28 m over bunden i m/s i midten samt strømmens retning ("current direction") i grader nederst. Overfladeelevationen er beregnet ud fra det målte tryk ved hjælp af et digitalt LP filter. Cut-off frekvensen er 0.2674 Hz. Endvidere er angivet tidspunktet for de enkelte passager.



Figur 6 Tidsserie (lokal tid) af målt overfladeelevation ("surface elevation") i meter øverst, strømhastighed ("current speed") 1,28 m over bunden i m/s i midten samt strømmens retning ("current direction") i grader nederst for hver af de fem passager.

I Tabel 4 er angivet karakteristiske bølge-/strømrelaterede parametre for hver af de fem passager. Af tabellen ses, at den maksimale strømhastighed målt 1,28 m over havbunden var 0,5 - 0,6 m/s for sejlads med overkritisk fart ($F_{nh} = 1,84 - 1,94$) og 0,86 m/s for sejlads med nærkritisk fart ($F_{nh} = 0,96$). Fjernes den meteorologisk betingede baggrundsstrøm, fås den hurtigfærge-relaterede bølgestrøm til 0,35 - 0,49

m/s ved overkritisk fart ($F_{nh} = 1,84 - 1,94$) og 0,56 m/s ved nær-kritisk fart. ($F_{nh} = 0,96$).

Tabel 4 viser også, at bølgeperioden ($T/2$ og T) var forholdsvis lille sammenlignet med de bølgeperioder, der hidtil er målt og rapporteret i litteraturen. Dette hænger sammen med, at langt de fleste tidligere målinger er gennemført på lokaliteter i stor afstand fra skibets rute. Eftersom de transiente bølgers periode vokser med afstanden fra ruten (og bølgehøjden aftager), er det forventeligt at bølgeperioden er væsentligt mindre nær skibet. Det er – så vidt vides – første gang, der er målt bølger og strøm forårsaget af store hurtigfærger, hvor afstanden mellem skibsmidte og måleinstrumenter er 40 - 0 m.

Tabel 4 Karakteristiske bølge-/strømrelaterede parametre for hver af de fem passager, hvor:

$$F_{nh} = \text{dybde-baseret Froude tal} = \frac{V_s}{\sqrt{gh}}, \text{ hvor vanddybden } h \text{ er } 10,35 \text{ m}$$

$$F_{nl} = \text{længde-baseret Froude tal} = \frac{V_s}{\sqrt{gL_{wl}}}, \text{ hvor færgens vandlinielængden } L_{wl} \text{ er } 77,35 \text{ m}$$

a_{max} = målt maksimum amplitude for overfladeelevation og $T/2$ er den tilhørende halve bølgeperiode

H_{max} = målt maksimum bølgehøjde og T er den tilhørende bølgeperiode

$U_{max, z=1,28 m}$ = målt maksimum strømhastighed 1,28 m/s over bund

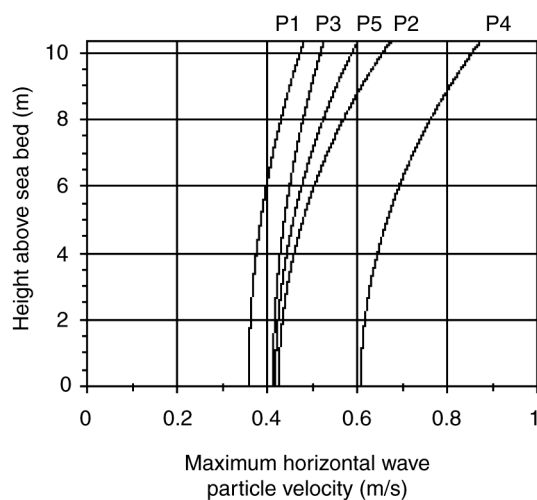
Netto $U_{max, z=1,28 m} = U_{max, z=1,28 m} - \text{baggrundstrøm}$

Beregnet netto $U_{max, z=1,28 m}$ er baseret på lineær bølge teori og målte værdier for a_{max} og $T/2$

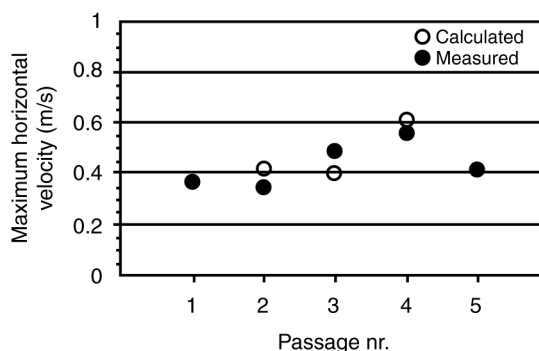
Parameter	Passage 1	Passage 2	Passage 3	Passage 4	Passage 5
Fart ved bøj V _s (knob)	38,2	36,6	36,1	18,9	38
F _{nh} (-)	1,94	1,87	1,84	0,96	1,94
F _{nl} (-)	0,71	0,69	0,67	0,35	0,71
a _{max} (m)	0,45	0,60	0,50	0,80	0,55
T/2 (s)	4,4	3,6	4,8	4,0	4,0
H _{max} (m)	0,60	0,67	0,60	1,50	0,67
T (s)	4,8	4,5	4,4	6,4	4,5
U _{max, z=1,28 m} (m/s)	0,60	0,55	0,57	0,86	0,50
Baggrundsstrøm (m/s)	0,23	0,20	0,08	0,30	0,08
Strømrretning (°N)	335	350	305	245	235
Netto U _{max, z=1,28 m} (m/s)	-0,37	-0,35	-0,49	-0,56	-0,42
Beregnet netto U _{max, z=1,28 m} (m/s)	0,36	0,42	0,41	0,61	0,42

Det potentialteoretiske hastighedsprofil er vist i Figur 7 for hver af de fem passager. Profilerne er beregnet på basis af lineær bølge teori og de i Tabel 4 angivne værdier for a_{max} og $T/2$. I Figur 8 er der vist en sammenligning mellem målt og beregnet maksimum horisontal strømhastighed forårsaget af hurtigfærgens bølger. Taget i betragtning, at der ikke er taget hensyn til eventuelle forskelle mellem bølgeudbredelsesretningen og retningen for baggrundsstrømmen, samt at der er anvendt en relativ simpel beregningsmodel, vurderes overensstemmelsen at være god. De i Figur 7 viste hastighedsprofiler er gyldige udenfor det såkaldte bølgegrænselag, der optræder nær havbunden. I bølgegrænselaget aftager partikelhastigheden gradvist til nul på selve havbunden. I det aktuelle tilfælde vurderes grænselagets

tykkelse at være mindre end 0,03 m. Af figuren ses, at der er relativ lille variation i hastigheden mellem målepunktet i 1,28 m dybde og ned til bølgegrænselaget umiddelbart over bunden.



Figur 7 Estimerede bølgehastighedsprofiler ("maximum horizontal wave particle velocity") i m/s for hver passage (P1 til P5) i en given højde over bunden ("height above sea bed"). Profilerne er beregnet på basis af lineær bølgeteori samt a_{max} og $T/2$ angivet i Tabel 4.



Figur 8 Sammenligning mellem målt og beregnet maksimum horisontal bølgepartikelhastighed ("maximum horizontal wave particle velocity") i m/s 1,28 m over bunden.

3.3 Effekter på alger og substrat af hurtigfærgepassagen

Den fysiske effekt på det udlagte substrat af sten fremgår af Tabel 5 og Tabel 6. Det ses, at mindre sten op til 650 g flyttes helt ud af rammerne eller op på rammekanten. Det er også tydeligt på de vedlagte fotoskvenser (Bilag 3A - C), at stenene i rammerne 1 - 3 flyttes ud mod rammekanterne. De fysiske effekter på de større sten og de tilhæftede alger består primært af sedimentpålejring på sten og alger, dog er en enkelt større sten i ramme 5 også flyttet og delvist væltet under den fjerde passage med transkritisk fart (Bilag 3D).

Ved forsøgets afslutning efter fire færgepassager gennemførte dykkeren en visuel vurdering af algesammensætningen på de sten, der fortsat lå inden for rammerne. Det var ikke muligt for dykkeren, at identificere ændringer i forekomsten af hverken trådformede eller andre alger. Den samme konklusion nås ved vurdering af billederne.

Tabel 5 Registrerede effekter på sten og alger fordelt på ramme efter hver af de 4 passager med hurtigfærgen Stena Carisma.

Ramme	Effekttype	1. passage	2. passage	3. passage	4. passage
1	Sten flyttet uden for ramme	3	2	3	3
	Sten flyttet op på ramme	1	2	-	2
	Sedimentpålejring				
2	Sten flyttet uden for ramme	1	2	1	4
	Sten flyttet op på ramme	4	3	4	0
	Sedimentpålejring				
3	Sten flyttet uden for ramme	1	2	2	2
	Sten flyttet op på ramme	-	-	-	-
	Sedimentpålejring				
4	Sten flyttes inden for ramme	-	-	-	-
	Sedimentpålejring	-	-	-	-
5	Sten flyttes inden for ramme	-	-	-	1
	Sedimentpålejring	-	Meget på sten	På sten + alger	På sten + alger
6	Sten flyttes inden for ramme	Sten væltet	Sten fortsat væltet	Sten fortsat væltet	Sten fortsat væltet
	Sedimentpålejring	På Laminaria alger	På sten	På sten + alger	På sten + alger
7	Sedimentpålejring	På sten og alger	På sten	På sten + alger	På sten + alger
8	Sedimentpålejring	Lidt på sten og alger	På sten	På sten + alger	På sten + alger
9	Sedimentpålejring	?	Noget på sten	På sten + alger	På sten + alger

Tabel 6 Vægt af sten fra rammerne 1 - 3, som ved forsøgets afslutning blev fundet uden for rammerne.

	Ramme 1	Ramme 2	Ramme 3
	625 g	335 g	145 g
	100 g	165 g	195 g
	105 g	300 g	
	100 g	210 g	
	85 g		

4 Diskussion

Fokus i denne undersøgelse har været at undersøge, om der sker umiddelbare effekter på den småstenede bunds algesamfund som følge af hurtigfærgesejls over lavvandede områder. Den stenede – eller hårde bund – er valgt som undersøgelsesobjekt, da der er stor interesse nationalt som internationalt for at bevare sådanne områder så intakte som muligt. Den hårde bunds algeskove rummer en stor biologisk artsdiversitet og tjener som opvækstområde og spisekammer for en lang række dyr, fisk, fugle og enkelte havpattedyr.

Den hårde bunds naturkvalitet afhænger i høj grad af stenenes stabilitet. Sten, der er udsat for omlejring af strøm og bølger, har ikke det samme potentiale som substrat for havbundens dyr og planter som stabile sten. På det ustabile substrat domineres algesamfundene af relativt få opportunistiske arter med lav biomasse og ofte i et enlaget vegetationsdække. På stabile sten på samme dybde og ved samme salinitet, domineres algesamfundene derimod af komplekse samlinger af flerårige arter, vegetation er typisk flerlaget ned til 12 - 14 m vanddybde og den samlede biomasse er stor (fx *Dahl et al. 2001*).

De udlagte sten, der stammer fra det nærliggende stenrev Per Nilen, afspejler også dette forhold. De mindre sten var domineret af trådformede algearter om end i veludviklede mængder, men artssammensætningen afspejler ikke desto mindre, at stenene i perioder er udsat for så stort et stress, at langsomtvoksende arter har haft svært ved at etablere sig. Et stenrev med vekslende forekomster af store og små sten yder en bedre beskyttelse mod omlejring af de mindre sten ved en given fysisk påvirkning end en relativ jævn bund bestående af sand iblandet småsten, som det her udlagte forsøgsfelt efterlygnede.

Ud fra visuelle vurderinger kunne der ikke påvises umiddelbare effekter af de 5 færgepassager på algevegetationen på de udlagte sten. Undersøgelsen viste imidlertid, at de genererede bølger fra hurtigfærgen sammen med den eksisterende baggrundsstrøm på 0,08 - 0,20 m/s havde et potentiale til at omleje de udlagte mindre sten på op til 8 cm størrelse på 10 m vanddybde ved sejlads med servicefart 36 -38 knob (svarende til overkritisk fart) og større sten ved reduceret sejlhastighed svarende til nær-kritisk fart. Det er derfor rimeligt at antage, at der ved længere tids påvirkning vil kunne iagttages en ændring i vegetationen på sten med en størrelse på under 8 cm såfremt forsøget var fortsat.

Den påviste effekt på stenenes stabilitet skal imidlertid vurderes i forhold til den naturligt forekommende stresspåvirkning forårsaget af vindbølger og strøm. Den undersøgte lokalitet er karakteriseret ved at være påvirket af forholdsvis stræk strøm og bølger, hvilket bekræftes af, at havbunden består af groft sand.

For at gennemføre denne vurdering er der lavet estimater på det antal gange en given strømhastighed overskrides på den undersøgte lokalitet for sommerperioden maj - august (i alt 4 måneder) ved forskellige naturgivne påvirkningsfaktorer. Sommerperioden er valgt

som eksempel, idet en meget væsentlig del af algernes vækst foregår i denne periode, og det er også her kraftige vind- og strømændelser er mindre sandsynlige. En evt. effekt af færgesejlds forventes derfor at være størst i denne periode. For hurtigfærgen er det antaget, at der forekommer 6 passager pr. dag eller 180 om måneden, hvor passage af den første bølge giver anledning til en maksimal horisontal strømhastighed på ca. 0,40 m/s 1,28 m over bunden (Tabel 7).

For baggrundsstrømmens vedkommende er fyrskibsobservationer (1931 - 1960) af overfladestrøm fra Læsø N/Læsø Trindel anvendt (ANON 1982). Det er antaget, at overfladestrømhastigheden ved måleområdet er 50% af overfladestrømhastigheden observeret ved Læsø N/Læsø Trindel på grund af den mindre vanddybde. Endvidere er det estimeret, at strømhastigheden 1,28 m over bunden er ca. 0,77 gange overfladestrømhastigheden. Af Tabel 7 fremgår, at det er forholdsvist sjældent, at baggrundsstrømmen overskrider strømhastigheden 0,4 m/s fra maj til august, med 2 - 3 perioder af op til 4 timers varighed pr. måned. Det skal bemærkes, at disse estimater er forbundet med meget stor usikkerhed.

Hyppigheden af vindbølger er også estimeret på baggrund af fyrskibsobservationerne (1931 - 1960) fra Læsø N/Læsø Trindel (ANON 1982), eftersom en egentlig beregning af en sæsonopdelt bølgestatistik for målelokaliteten ligger uden for rammerne af dette projekt. På den givne vanddybde vil vindbølger, der har en signifikant bølgehøjde og tilhørende peak-periode på mere end 1,5 m og 5,5 s, medføre maksimale strømhastigheder større end 0,40 m/s 1,28 m over bunden i en meget stor del af tiden. Ud fra fyrskibsobservationerne er antallet af sådanne hændelser estimeret til ca. 20 intervaller á op til 4 timers varighed i hver af sommermånederne (Tabel 7). I vurderingen er der set bort fra bølger genereret af vind fra retningerne SV, S og SØ, hvor måleområdet ligger i læ af Læsø. Igen skal det pointeres, at de i Tabel 7 angivne estimater er forbundet med meget stor usikkerhed.

Fyrskibsobservationerne blev fortaget hver fjerde time. Den observerede bølgehøjde karakteriserer således en søtilstand og har ofte vist sig at være et godt estimat for den såkaldte signifikante bølgehøjde. Den signifikante bølgehøjde er defineret som middelværdien af den højeste tredjedel af bølgerne i et bølgetog. Eftersom de enkelte bølgehøjder i bølgetoget er Rayleigh-fordelt, kan sandsynligheden for overskridelse af en bølgehøjde på 1,5 m estimeres til ca. 14%, hvilket svarer til, at mere end 400 enkeltbølger i middel vil medføre bølgepartikelhastigheder, der overskrider 0,4 m/s. Det er her forudsat, at

Tabel 7 Eksempel på estimeret antal hændelser en given strømhastighed overskrides i sommerperioden (juni, juli og august) pga. 1) bølge fra hurtigfærge passage (overkritisk fart), 2) baggrundsstrøm for 4 timers intervaller og 3) vindbølger i fire timers intervaller på målelokalitet med vanddybden 10,35 m.

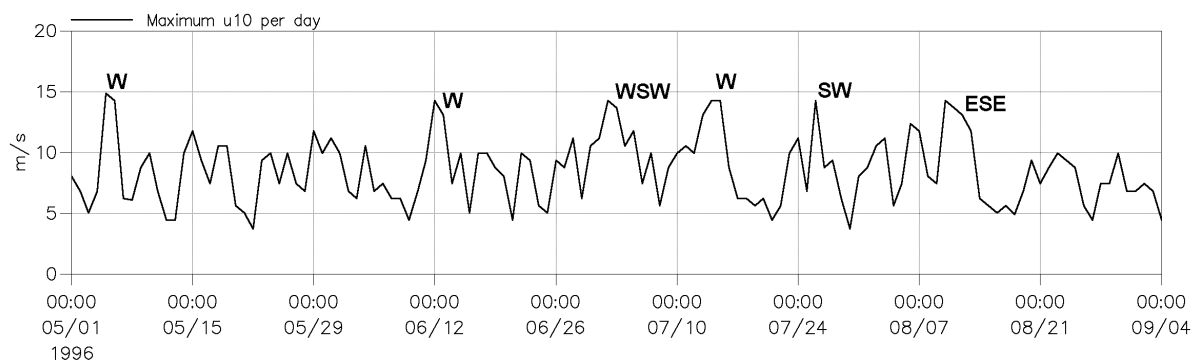
Maksimum strømhastighed 1,28 m over havbund	Antal hændelser strømhastigheden overskrides pga. bølger fra hurtigfærgen				Antal hændelser strømhastigheden overskrides pr. måned pga. baggrundsstrøm (baseret på fyrskibsobs. 1931 - 1960)				Antal hændelser (dvs. søtilstande) pr. måned strømhastigheden overskrides pga. vindbølger (baseret på fyrskibsobs. 1931 - 1960)			
	Maj	Juni	Juli	August	Maj	Juni	Juli	August	Maj	Juni	Juli	Aug
0,4 m/s	180	180	180	180	3	2	2	2	18	21	21	21

der i løbet af en fire timers periode forekommer godt 3000 enkeltbølger (middelperiode 5 s). Dette betyder, at der for hver af de i *Tabel 7* angivne hændelser (i alt ca. 20 pr. måned) statistisk set forekommer mere end 400 overskridelser af strømshastigheden 0,40 m/s pr. hændelse eller med andre ord lang flere end 1000 overskridelser pr. måned.

Det er ikke muligt på baggrund af fyrskibsobservationerne at fastlægge, hvorledes hændelser med strømshastigheder over 0,40 m/s – genereret af vindbølger eller baggrundsstrøm – er fordelt over en måned. Sammenhængende perioder med en given effekt efterfulgt af længere pauser kunne tænkes at have en anden effekt end en vedvarende men kort påvirkning fra en færgerute. I det første tilfælde med lange pauser mellem påvirkningen har det biologiske system en vis regenerationstid, som opportunistiske arter kunne nyde godt af.

For at få et indtryk af hvordan overskridelser af strømshastigheder på 0,40 m/s er fordelt over sommerperioden, er der i *Figur 9* vist en tidsserie af den maksimale vindhastighed pr. dag for fire måneder i 1996. Tidsserien er baseret på vindmålinger i Aalborg lufthavn. Vindhastigheden over vand er øget med 20% pga. den mindre overfladeruhed sammenlignet med land. Af figuren fremgår, at de største vindhastigheder primært optræder i forbindelse med vestlige vind. For at opnå en søtilstand, svarende til en signifikant bølgehøjde der overstiger 1,5 m, kræves en vindhastighed, der er større end 10 - 12 m/s for vestlige og østlige retninger. For nordlige vinde skal vindhastigheden blot være 8 m/s eller større.

Den naturgivne forstyrrelse af bundsedimenterne på undersøgelseslokaliteten af en størrelsesorden eller større end den, der finder sted ved hurtigfærgesejlads, vurderes at finde sted gentagne gange pr. måned og forstyrrelserne for hver "hændelse" er af væsentlig længere varighed end blot den ene bølge som hurtigfærgen genererer (jf. *Figur 9*). Selv om den færgegenererede bølgeenergi i nogle tilfælde vil forstærke den naturgivne strømshastighed ved bunden, vil den tilsvarende i andre tilfælde modvirke den. Sandsynligheden for at færge-sejladsen væsentligt forringer vækstvilkårene for algevegetationen på den småstenede bund, pga. af øget fysisk stress ved bunden, må derfor forventes at være lille på en eksponeret lokalitet som det valgte forsøgsområde.



Figur 9 Tidsserie af maksimum vindhastighed U10 (vindhastighed 10 m over middelvandspejlet) pr. dag i sommermånederne i 1996. Baseret på DMI's vindmålinger i Aalborg lufthavn.

5 Konklusion

Det er første gang, der er målt og observeret påvirkninger på havbunden inden for en afstand af 40 - 70 m fra en hurtigfærgerute besjlet af en større bilførende katamaranfærge. Undersøgelsen blev gennemført i området nord for Læsø på ca. 10 m vanddybde under meget gunstige vejrforhold.

Bølgemålingerne viste, at for sejlads med overkritisk fart ($F_{nh} > 1$) forekommer de største strømhastigheder ved bunden i forbindelse med passage af den første bølge ("leading wave"). For sejlads med nær-kritisk fart er bølgebevægelsen mere regelmæssig, og den største strømhastighed optræder senere. Generelt er påvirkningen på havbunden størst ved sejlads med nær-kritisk fart, hvorfor sejlads med denne fart bør undgås i sensitive områder.

En sammenligning mellem målt og beregnet maksimum horisontal strømhastighed forårsaget af hurtigfærgens bølger stemmer godt overens. Dette indikerer, at påvirkningen af katamaranfærgens fremdrivningssystem (waterjets) på havbunden sker igennem bølgebevægelsen, hvor bølgesystemet fra skibsskroget og bølgesystemet genereret af waterjet'en interfererer konstruktivt (de to bølgesystemer er i fase).

Hurtigfærgens passage forårsagede omlejringer af mindre sten på 10 m vanddybde. Det var imidlertid ikke muligt at påvise korttidseffekter på vegetationssammensætningen som følge af 5 oversejlinger af hurtigfærgen.

Ud fra viden om naturgivne frekvenser af bølgestørrelser og strømme formodes de færgegenererede bølger ikke at forårsage en væsentlig forringelse af algernes vækstvilkår på en småstenet bund på eksponerede lokaliteter i Kattegat. Effekter af hurtigfærger på den bentiske algevegetation i mere beskyttede områder, hvor de færgegenererede bølger er den væsentligste kilde til fysiske forstyrrelser, kan derimod ikke udelukkes.

Taksigelse

Tak til Stena Line for rederiets konstruktive medvirken til undersøgelsens gennemførelse.

6 Referencer

Dahl, K., Hansen, J., Helmig, S., Nielsen, R. & Larsen, H.S. 2001: Naturkvalitet på stenrev – Hvilke indikatorer kan vi bruge? Danmarks Miljøundersøgelser. 130 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 352.

ANON 1982: Det Danske Meteorologiske Institut, Danmarks Klima, Fyskibsstatistik II. Bølger og strøm i overfladen, København, 1982.

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljøministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

URL: <http://www.dmu.dk>

Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399
Postboks 358
4000 Roskilde
Tlf.: 46 30 12 00
Fax: 46 30 11 14

Direktion
Personale- og Økonomisekretariat
Forsknings- og Udviklingssektion
Afd. for Systemanalyse
Afd. for Atmosfærisk Miljø
Afd. for Marin Økologi
Afd. for Miljøkemi og Mikrobiologi
Afd. for Arktisk Miljø
Projektchef for kvalitets- og analyseområdet

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejlsovej 25
Postboks 314
8600 Silkeborg
Tlf.: 89 20 14 00
Fax: 89 20 14 14

Overvågningssektionen
Afd. for Terrestrisk Økologi
Afd. for Ferskvandsøkologi
Afd. for Marin Økologi
Projektchef for det akvatiske område

Danmarks Miljøundersøgelser
Grenåvej 12-14, Kalø
8410 Rønde
Tlf.: 89 20 17 00
Fax: 89 20 15 15

Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet

Publikationer:

DMU udgiver faglige rapporter, tekniske anvisninger, temarapporter, samt årsberetninger. Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web.

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer.

Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports

2002

- Nr. 413: Vegetation i farvandet omkring Fyn 2001. Af Rasmussen, M.B. 138 s. (elektronisk)
- Nr. 414: Projection Models 2010. Danish Emissions of SO₂, NO_x, NMVOC and NH₃. By Illerup, J.B. et al. 194 pp., 100,00 DKK.
- Nr. 415: Potential Environmental Impacts of Soil Spills in Greenland. An Assessment of Information Status and Research Needs. By Mosbech, A. (ed.) 116 pp. (electronic)
- Nr. 416: Ilt- og næringsstoffsfluxmodel for Århus Bugt og Mariager Fjord. Modelopsætning. Af Fossing, H. et al. 72 s., 100,00 kr.
- Nr. 417: Ilt- og næringsstoffsfluxmodel for Århus Bugt og Mariager Fjord. Modelopsætning og scenarier. Af Fossing, H. et al. 178 s. (elektronisk)
- Nr. 418: Atmosfærisk deposition 2001. NOVA 2003. Af Ellermann, T. (elektronisk)
- Nr. 419: Marine områder 2001 - Miljøtilstand og udvikling. NOVA 2003. Af Ærtebjerg, G. (red.) (elektronisk)
- Nr. 420: Landovervågningsoplande 2001. NOVA 2003. Af Bøgestrand, J. (elektronisk)
- Nr. 421: Søer 2001. NOVA 2003. Af Jensen, J.P. (elektronisk)
- Nr. 422: Vandløb og kilder 2001. NOVA 2003. Af Bøgestrand, J. (elektronisk)
- Nr. 423: Vandmiljø 2002. Tilstand og udvikling - faglig sammenfatning. Af Andersen, J.M. et al. 56 s., 100,00 kr.
- Nr. 424: Burden Sharing in the Context of Global Climate Change. A North-South Perspective. By Ringius, L., Frederiksen, P. & Birr-Pedersen, K. 90 pp. (electronic)
- Nr. 425: Interkalibrering af marine målemetoder 2002. Af Stæhr, P.A. et al. 88 s. (elektronisk)
- Nr. 426: Statistisk optimering af monitoringsprogrammer på miljøområdet. Eksempler fra NOVA-2003. Af Larsen, S.E., Jensen, C. & Carstensen, J. 195 s. (elektronisk)
- Nr. 427: Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2001. By Kemp, K. & Palmgren, F. 32 pp. (electronic)

2003

- Nr. 428: Vildtbestande, jagt og jagttider i Danmark 2002. En biologisk vurdering af jagtens bæredygtighed som grundlag for jagttidsrevisionen 2003. Af Bregnballe, T. et al. 227 s. (elektronisk)
- Nr. 429: Movements of Seals from Rødsand Seal Sanctuary Monitored by Satellite Telemetry. Relative Importance of the Nysted Offshore Wind Farm Area to the Seals. By Dietz, R. et al. 44 pp. (electronic)
- Nr. 430: Undersøgelse af miljøfremmede stoffer i gylle. Af Schwærter, R.C. & Grant, R. 60 s. (elektronisk)
- Nr. 432: Metoder til miljøkonsekvensvurdering af økonomisk politik. Af Møller, F. 65 s. (elektronisk)
- Nr. 433: Luftforurening med partikler i København. En oversigt. Af Palmgren, F., Wählin, P. & Loft, S. 77 s. (elektronisk)
- Nr. 434: Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug. Resultater og konklusioner. Af Fjordback, C. et al. 270 s., 150,00 kr.
- Nr. 435: Preliminary Assessment based on AQ Modelling. Ploiesti Agglomeration in Romania. Assistance to Romania on Transposition and Implementation of the EU Ambient Air Quality Directives. By Jensen, S.S. et al. 53 pp. (electronic)
- Nr. 436: Naturplanlægning - et system til tilstandsvurdering i naturområder. Af Skov, F., Buttenschøn, R. & Clemmensen, K.B. 101 s. (elektronisk)
- Nr. 437: Naturen i hverdagslivsperspektiv. En kvalitativ interviewundersøgelse af forskellige danskeres forhold til naturen. Af Læssøe, J. & Iversen, T.L. 106 s. (elektronisk)
- Nr. 438: Havternen i Grønland. Status og undersøgelser. Af Egevang, C. & Boertmann, D. 69 s. (elektronisk)
- Nr. 439: Anvendelse af genmodificerede planter. Velfærdsøkonomisk vurdering og etiske aspekter. Af Møller, F. 57 s. (elektronisk)
- Nr. 440: Thermal Animal Detection System (TADS). Development of a Method for Estimating Collision Frequency of Migrating Birds at Offshore Wind Turbines. By Desholm, M. 25 pp. (electronic)
- Nr. 441: Næringsstofbalancer på udvalgte bedrifter i Landovervågningen. Af Hansen, T.V. & Grant, R. 26s. (elektronisk)
- Nr. 442: Emissionsfaktorer og emissionsopgørelse for decentral kraftvarme. Eltra PSO projekt 3141. Kortlægning af emissioner fra decentrale kraftvarmeværker. Delrapport 6. Af Nielsen, M. & Illerup, J.B. 113 s. (elektronisk)
- Nr. 443: Miljøøkonomisk analyse af skovrejsning og braklægning som strategier til drikkevandsbeskyttelse. Af Schou, J.S. 43 s. (elektronisk)
- Nr. 444: Tungmetaller i tang og musling ved Ivittuut 2001. Af Johansen, P. & Asmund, G. 32 s. (elektronisk)
- Nr. 445: Modeller til beskrivelse af iltsvind. Analyse af data fra 2002. Af Carstensen, J. & Erichsen, A.C. 60 s. (elektronisk)
- Nr. 447: Modelanalyser af mobilitet og miljø. Slutrapport fra TRANS og AMOR II. Af Christensen, L. & Gudmundsson, H. 114 s. (elektronisk)
- Nr. 448: Newcastle Disease i vilde fugle. En gennemgang af litteraturen med henblik på at udpege mulige smittekilder for dansk fjerkræ. Af Therkildsen, O.R. 61 s. (elektronisk)
- Nr. 449: Marin recipientundersøgelse ved Thule Air Base 2002. Af Glahder, C.M. et al. 143 s. (elektronisk)
- Nr. 450: Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2002. By Kemp, K. & Palmgren, F. 36 pp. (electronic)

[Tom side]

Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

ISBN 87-7772-747-9
ISSN 1600-0048