

Programområde: **Kust och hav**

Undersökningstyp: **Primärproduktion**

Bakgrund och syfte med undersökningstypen

Undersökningstypen används för att beskriva ekofysiologisk respons på närsaltstillgänglighet och tillväxthastighet av växtplankton i havet samt årscykler av växtplanktonproduktionen. Växtplanktonproduktionen spelar en avgörande roll för kolets och närsaltens kretslopp i havet, eftersom det är genom denna process som oorganiskt kol och näringsämnen omvandlas till organiska ämnen. De organiska ämnena utnyttjas i andra trofiska nivåer och i processen ingår också utbyte med atmosfärens koldioxid.

Primärproduktionen är länkad till eutrofiering och sedimentation av organiskt material. Därigenom har den också en stark anknytning till djupvattnets syrgaskoncentration. Genom primärproduktionsmätningar kan förändringar i föroreningssituationen och miljötillståndet beskrivas. Observerade förändringar kan vara orsakade av både naturlig och antropogen närsaltsbelastning på havet. Målet för undersökningen uppnås genom att primärproduktionen av växtplankton mäts frekvent. Studier av primärproduktionen bidrar till att uppnå miljömålen *Hav i balans samt levande kust och skärgård*, samt *Ingen övergödning*.

De viktigaste målen är:

- att i långt tidsperspektiv kunna påvisa förändringar av primärproduktionen som indikation på ändrad näringsstatus.
- att i kort tidsperspektiv kunna ange den rådande primärproduktionen.
- att upptäcka eventuella produktionstoppar som orsakas av t.ex. uppvällning eller extrema algbloomningar.
- att kunna ge en solid beskrivning av primärproduktionens årscykel inom provtagningsregionen.

Samordning

Det kan vara lämpligt att samordna med undersökningar där undersökningstyperna "Växtplankton" samt antingen "Hydrografi och närsalter, kartering" eller "Hydrografi och närsalter, trendövervakning" används.

Strategi

Primärproduktionsundersökningar grundar sig på mätning av fotosyntetisk kolfixering med hjälp av radioaktivt kol (^{14}C). Primärproduktionen av växtplankton har en dygnsrytm, som resulterar i att den potentiella produktionen är lägre under natten, än under dagen. För att få jämförbara resultat bör därför primärproduktionsmätningarna koncentreras till dagtid. Primärproduktionens storlek visar de fotosyntetiserande planktonalgernas respons på närsaltstillgång och ljusförhållanden i vattnet.

Mätmetoden baseras antingen på inkubering *in situ* eller i *inkubator ombord på fartyg eller på laboratorium*. Den lägsta godtagbara mätfrekvensen är en gång per månad. Resultaten ger en grov överblick av primärproduktionens variation under året. Med ambitionen att kunna uttala sig om ett vattenområdes årliga primärproduktion och dess variation, grundad på algernas succession och generationstid, krävs mätningar minst varannan vecka. *In situ*-inkubering betyder att inkuberingen utförs i havet på de djup, varifrån vattnet härstammar. *In situ*-metoden anses ge sannare värden på primärproduktionen, än *inkubator*-metoden. Den senare innebär att mätningen sker på laboratorium i artificiellt ljus. Resultaten kan i efterhand omräknas till samma enhet som för *in situ*-metoden.

För att kunna utnyttja primärproduktionsdata ekologiskt krävs resultat som anges i enheten produktion per dag.

För utnyttjandet av primärproduktionsdata i analysen av det lokala och regionala miljötillståndet kan det vara tillfyllest att ange potentiell primärproduktion (produktion per timme vid ljusmättnad). Primärproduktionsdata från diskreta djup kan i vissa fall vara av intresse, men normalt har man störst nytta av vertikalintegrerade primärproduktionsvärden som anges per ytenhet.

Statistiska aspekter

Beroende på den snabba växlingen i tillväxthastigheten hos växtplankton kräver primärproduktionsmätningar i allmänhet en hög provtagningsfrekvens för att viktiga steg i successionen inte skall missas. För att täcka växtplanktonsuccessionen under året krävs 20 till 25 provtagningstillfällen per år. I allmänhet kan man minska provtagningsfrekvensen något under vintermånaderna (speciellt i Östersjön), för att öka frekvensen under blomningsperioderna under vår, sommar och höst.

Den viktigaste faktor som kontrollerar fotosyntesen i havet (primärproduktionen) är tillgången på ljus. Ljustillgången avtar med djupet, vilket gör att produktionen också avtar med djupet. Eftersom förekomsten av växtplankton kan variera avsevärt med djupet och det inte är sällsynt att vissa växtplankton samlas i tunna skikt på bestämda djup kan dock en stor primärproduktion ske även på större djup. Problemet undanröjs genom att man insamlar sanna integrerade prov med hjälp av slang. Samtidigt kan det vara viktigt att mäta produktionskapaciteten hos en stor population som förekommer i ett tunt skikt. Därför bör man studera hur fluorescensen varierar i djupled och ta ett prov på det faktiska djup, där ett planktonmaximum uppmätts.

Plats/stationsval

Olika kriterier styr valet av stationer och deras position inom respektive område. Områden med relativt snabb vattenomsättning och starka gradienter behöver fler stationer per ytenhet än områden där omsättningstiden är längre och gradienterna svagare. Vid val av positioner bör hänsyn tas till eventuella tidigare mätningar i området. Kan en äldre station återupptas eller fortsättas är detta en fördel då äldre data kan användas som jämförelsematerial, under förutsättning att mätmetoderna är jämförbara. Vid upprättandet av provtagningsstationer är det av vikt att stationens representativitet i området är undersökt.

Mätprogram

Mätning av primärproduktionen *in situ* anses utgöra den mest pålitliga metoden för bestämning av planktonalgernas dagliga produktion. Av praktiska skäl och kostnadsskäl är *in situ*-inkuberingar dock endast praktiskt genomförbara i mycket kustnära områden som fjordar, vikar och i närheten av ett laboratorium. I öppet hav och i områden som besöks av större forskningsfartyg är mätningarna normalt baserade på en laboratoriemätning i en ljusgradient vid en bestämd temperatur.

I denna anvisning prioriteras den senare metoden, d.v.s. mätning i inkubator i en ljusgradient. Det är dock lämpligt att fortsätta långa tidsserier mätta med *in situ*-metoden. De kan framledes utgöra en jämförelse och kalibrering för inkubatormetoden.

Primärproduktionsbestämning definieras således med två metoder:

- 1 Inkubatormetoden enligt det protokoll som föreslagits av den biologiska arbetsgruppen för kvalitetssäkring inom ICES/HELCOM (SGQAB) och som godkänts och ingår i Manual For Marine Monitoring in the COMBINE Programme of HELCOM.
- 2 *In situ*-metoden

Variabler

Tabell 1: Översiktstabell över variabler m.m.

| Företeelse | Determinand (Mätvariabel) | Metodmoment | Enhet / klassade värden | Prioritet | Frekvens och tidpunkter | Referens till provtagnings- eller analysmetodik |
|------------------|--|-----------------|---------------------------|-----------|---|---|
| Prov | Provtagningsdjup från ytan | | m | 1 | Kartering: 10-15 ggr per år Trendövervakning: 20-25 ggr per år | |
| | På filter: DPM (Sönderfall per minut) | | | 1 | | |
| | Totalt: DPM | Beräknat värde* | | | | |
| | Löst organiskt kol, halt | | mmol/l | 2 | | |
| | Potentiell primärproduktion resp. Primärproduktion | | mg C/(m ³ × h) | 1 | | |
| | Belysning (PAR) | | uE/(m ² × s) | 1 | | |
| Undersökt område | Daglig ljusexponering (PAR) | | E/m ² | | | |
| | Väder | | | | | |
| | Daglig primärproduktion | | mg C/m ² | | | |

| | | | | | |
|--------------------------------|---|--------------------------|--|------------|--|
| Vatten | Belysning (PAR) på olika djup | | $\mu\text{E}/(\text{m}^2 \times \text{s})$ | 1 | |
| | Siktdjup | Siktdjups-skiva xx cm | m | Alternativ | |
| | Fluorescens (<i>in situ</i> klorofyll a fluorescens) på olika djup | | (Relativ) | 1 | Se undersökningstyperna "Hydrografi och närsalter" |
| | Klorofyll a-halt ¹ | Beräknat värde | $\mu\text{g}/\text{l}$ | 2 | Se undersökningstyperna "Hydrografi och närsalter" |
| | Salinitet | | | 1 | |
| | Temperatur | | Cel (°C) | 1 | |
| | pH | | | 1 | |
| Totalalkalinitet (Alkalinitet) | | $\mu\text{mol}/\text{l}$ | 1 | | |

* Uppgifter om det ¹⁴C-märkta natriumvätekarbonatet registreras ihop med övriga data (tillverkare, tillverkarens specifikationer)

¹ Om omräkning från fluorescens till klorofyllhalt görs bör data åtföljas av uppgifter om förfarandet och vilken faktor som används

Frekvens och tidpunkter

Undersökningstypen kan användas för två olika syften, kartering respektive trendövervakning. För kartering krävs att prov tas mellan 10 och 15 gånger per år, delvis avhängigt vilket havsområde som avses, för att det ska vara möjligt att någorlunda spegla produktionscykelns olika stadier. Trendövervakning kräver provtagning mellan 20 och 25 gånger per år, delvis avhängigt vilket havsområde som avses, för att det ska vara möjligt att, med tillräcklig noggrannhet, beräkna den årliga primärproduktionen.

Längs den svenska västkusten, där isvintrar är relativt sällsynta och där vinterblomningar kan förekomma krävs, för kartering och trendövervakning, 15 respektive 25 provtagningar om året. Perioden december-januari kräver i allmänhet färre provtagningar, medan vårblooming och höstblooming kräver tätare provtagning.

Längs ostkusten och framför allt i Bottenhavet och Bottenviken kan, för kartering och trendövervakning, 10 respektive 20 provtagningar per år vara tillfyllest, speciellt vid starka isvintrar. Provtagningsfrekvensen kan minskas under vintermånaderna, men det är viktigt att påpeka att växtplankton kan utvecklas och även blomma under isen i slutet av vintern.

Observations/provtagningsmetodik

Inkubator-metoden

Principen för denna metod är att representativa prover av den naturliga växtplanktonpopulationen inkuberas i en ljusgradient för att ge ett samband mellan fotosyntes och ljus, en så kallad P/E mätning, där P betyder produktion (eller egentligen fotosyntetisk flux) och E ljusstrålning. Ur detta samband kan parametrarna P_{max} (maximala produktionen) och α (initiala lutningen på P/E-kurvan) bestämmas. Fördelen med denna metod är att ekofysiologisk information om växtplanktonsamhället kan erhållas från P/E-kurvan. Vidare är det möjligt att beräkna den dagliga produktionen och ge ett mått på den årliga produktionen.

Provtagning för inkubator-metoden

Ett prov som representerar skiktet 0-10 meter tas. Provet bör tas som ett integrerat prov med hjälp av slang (Lindahl, 1986). Om slang inte används rekommenderas att man blandar flera prover tagna med vattenhämtare (icke-transparent och icke-toxisk) från olika djup. I områden där den eufotiska zonen (den zon där fotosyntesen äger rum) är skiktad rekommenderas ytterligare prover. Provtagningen skall ske dagtid. Före provtagning för inkubationen bör man utföra temperatur-, salinitets- och fluorescensprofilering för att klarlägga det omblandade skiktets djuputbredning och den vertikala fördelningen av växtplankton.

***In situ*-metoden**

Principen för denna metod är att representativa prover av den naturliga växtplanktonpopulationen inkuberas i havet på det djup där vattnet hämtades. Vid *in situ*-mätningar är inkuberingstidens längd ett problem. För att erhålla värden på dygnsproduktionen där en naturlig korrektion för respirationen ingår krävs 24 timmars inkubering. Mot detta står risken för så kallade "flaskeffekter", dvs. effekter av att planktonpopulationen innesluts i en inkuberingsflaska utan utbyte med omgivande vatten. Detta kan medföra risk för ökad bakterietillväxt på väggytorna, vilket medför förändrade närings- och ljusförhållanden i inkuberingsflaskan. För att efterlikna växtplanktons naturliga tillväxtförhållanden vill man ha så kort inkuberingstid som möjligt. Ett annat skäl till att föredra korta exponeringar är kostnaden för fartyg. I denna beskrivning rekommenderas 4 timmars inkubering förlagd till mitt på dagen.

Provtagning för *In situ*-metoden

Separata vattenprover tas med vattenhämtare (icke-transparent och icke-toxisk) från olika djup i den eufotiska zonen. Då primärproduktionen vanligen är högst nära ytan och ofta har en smal topp bör man ta täta prover i ytskiktet, för att sedan glesa ut dem. Rekommenderade provtagningsdjup är 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 15 samt 20 meter. Ytterligare prov kan vara nödvändigt om växtplanktonpopulationer ligger koncentrerade i smala skikt på större djup. För att utröna detta bör fluorescensprofilering ske före provtagningen.

Utrustningslista***Inkubator*-metoden**

| |
|---|
| Inkubator:akvarium flaskhållare/rotationshjul, slangar, pumpar, (ev. kylare), ljuslåda, lysrör i reserv (TL33) |
| ¹⁴ C som natriumvätekarbonat, ampuller med BATCH-nummer (alkalinitet på 1.5 mM, specifik aktivitet av 4-20 µCi/ml (150-750 kBq/ml)) |
| Automatpipett (kalibrerad) |
| Pincetter |
| Filtreringsställ |
| Vakuumpump samt vattensug som reserv |
| 6 st inkubationsflaskor med olika ljusgenomsläpplighet, märkta |
| Kontrollerad termometer |
| 10 m slang för provtagning |
| Provtagningsflaskor (mörka) |
| Scintillationsvätska |
| Scintillator |

| |
|--|
| Scintillationsflaskor |
| Glasfiberfilter (Whatman GF/F, porstorlek ca 0.7 µm) |

In situ-metoden

| |
|---|
| Vattenhämtare |
| Lina och boj |
| ¹⁴ C som natriumvätekarbonat, ampuller med BATCH nummer (alkalinitet på 1.5 mM, specifik aktivitet av 4-20 µCi/ml (150-750 kBq/ml)) |
| Automatpipett (kalibrerad) |
| Pincetter |
| Filtreringsställ |
| Vakuumpump samt vattensug som reserv |
| Inkuberingsflaskor, märkta |
| Provtagningsflaskor (mörka) |
| Scintillationsvätska |
| Scintillator |
| Scintillationsflaskor |
| Glasfiberfilter (Whatman GF/F) |

Tillvaratagande av prov, analysmetodik**Inkubator-metoden****Inkubatorn**

En standardiserad inkubator, rekommenderad av ICES bör användas (Colijn et al. 1996). Inkubatorn består av en ljusdel med 10 lysrör (av typ TL33) och ett plastakvarium (av akrylatplast, t.ex. Perspex) med tempererat vatten. Flaskorna sätts på ett hjul som får rotera i akvariet. Anpassningen av temperaturen till motsvarande den i havet kan ske med kylare och akvariepump, eller med flödande havsvatten från provtagningsfartygets pumpsystem. Flödet av vatten driver hjulets rotation. Inkubatorn skall placeras så att omgivande ljus inte påverkar provflaskorna.

Cellodlingsflaskor med en ungefärlig volym av 50 ml bör användas. För att de olika ljusintensiteterna i ljusgradienten ska uppnås skall flaskorna täckas med ett plastmaterial med tillsats av mörka pigment i olika mängd för de olika flaskorna (Colijn et al. 1993, Zemoko, de Keyzer 1994). Det rekommenderas att använda ca 10 olika ljusnivåer, dvs. 10 olika flaskor för att skapa en godtagbar P/E-kurva.

Mycket noggrann rengöring av flaskorna krävs, för att föroreningar inte ska påverka algernas aktivitet. Allt handhavande av prover före och efter inkuberingen skall ske i begränsat ljus. Experimentflaskorna fylls så att det finns plats för tillsatsen av ¹⁴C och en liten luftbubbla som underlättar omrörningen av provet.

¹⁴C

¹⁴C som används ska ha en alkalinitet på 1.5 mM och en specifik aktivitet av 4-20 µCi/ml (150-750 kBq/ml).

Övrig utrustning

- Kalibrerad mikropipett för injicering av ¹⁴C

- Filtreringsapparat

Inkuberingsteknik

- Inkuberingen skall påbörjas snarast möjligt efter provtagningen.
- ^{14}C tillsätts separat till varje provflaska med kalibrerade pipetter.
- Koncentrationen av ^{14}C i provflaskan skall vara tillräckligt stor för att den upptagna radioaktiviteten i växtplankton skall kunna mätas med tillräcklig statistiskt noggrannhet.
- Inkubationstiden är 2 timmar och flaskorna skall rotera med en hastighet av ungefär 10 varv per minut.
- Inkuberingstemperaturen skall vara densamma som *in situ*-temperaturen. För prover i skiktade vatten kan det krävas 2 inkuberingar.
- Ljusintensiteten i inkubatorn skall vara så hög att ljusmättnad uppnås i den helt transparenta flaskan (upp till $400 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).
- Efter inkuberingen skall vattenproverna genast filtreras genom GF/F-filter. Vakuüm får ej överstiga 0.3 bar. Filtren placeras i scintillationsburkar, som utan lock får stå i 3 timmar i 40-50 °C, för att filtren skall torka och icke inkorporerat ^{14}C skall dunsta från filtret.

Radioaktivitetsmätning

Filtrens radioaktivitet (^{14}C -) mäts i vätskescintillationsräknare efter tillsats av scintillationsvätska. Proverna skall räknas så länge att resultaten har ett statistiskt fel på högst 3 %. Quench-kurvor skall göras och scintillationsräknarens effektivitet skall kontrolleras med intern standard. Räkneeffektiviteten skall bestämmas genom regelbunden kalibrering med ^{14}C -standard.

Koncentration av Total koldioxid i havsvattnet

Löst oorganiskt kol skall bestämmas enligt Strickland & Parsons (1972), eller beräknas med de relationer Buch (1945) uppställt.

Beräkning av kolupptaget

Det totala kolupptaget under inkuberingen beräknas enligt formler i Manual For Marine Monitoring in the COMBINE Programme of HELCOM. Mörkervärden skall subtraheras från ljusvärden, men också redovisas separat.

$$\text{mg KOL (C) m}^{-3}\text{h}^{-1} = \text{dpm(a)} \cdot \text{total CO}_2 \text{ (c)} \cdot 12 \text{ (d)} \cdot 1.05 \text{ (e)} \cdot 1.06 \text{ (f)} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 // \text{dpm (b)}$$

a: netto dpm på filter (resultat från scintillationsanalysen)

b: tillsatt ^{14}C -dpm (framgår av batchnumrets kalibreringsdata¹)

c: Conc. CO_2 (mmol/dm^3) (se ovan: totalt koldioxid)

d: kolets atomvikt

e: korrektion för ^{14}C -diskriminering (den radioaktiva kolisotopen tas upp långsammare än den normala, p.g.a. att den är tyngre)

f: korrektion för respiration av ^{14}C under inkuberingen

k_1 : subsamlingsfaktor (i de fall inte hela provvolymen filtreras måste man kompensera för detta)

k_2 : tidkorrektion

¹ Kan, beroende på leverantör, behöva analyseras.

k_3 : omvandling från dm^{-3} till m^{-3}

k_4 temperaturkorrektion

Temperaturkorrektion är inte nödvändig om proven är inkuberade vid *in situ* temperatur. Om inkuberingen skett vid annan temperatur än *in situ* sker korrektion enligt:

Temp. Korr. Faktor (k_4) = $\exp(\ln 2/10 \cdot (t_2 - t_1))$

t_1 = inkubatortemp.

t_2 = *in situ*-temp.

Resultatet redovisas som **potentiell primärproduktion**, $\text{mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$.

Övriga nödvändiga mätningar för produktionsbestämning

- Ljutmätning i vattnet vid provtagningen skall ske med ett instrument som mäter PAR (Photosynthetic Active Radiation). Om ljutmätning inte kan göras kan Secchi-djupet omvandlas till ett approximativt värde på extinktionskoefficienten.

Extinktionskoefficienten = $x / \text{Secchi-djup}$.

x i svenska marina vatten varierar mellan 1.7 och 1.85.

- Om den dagliga produktionen skall beräknas krävs data på den totala instrålningen i provtagningsområdet.
- Klorofyll
- Djup av klorofyllmaximum från fluorescensprofilering
- Salinitet, temperatur, pH, om så önskas alkalinitet

Beräkning av daglig primärproduktion

Omräkningen av kolupptaget per timme till daglig primärproduktion i vattenpelaren sker enligt metoder beskrivna i Gargas and Hare (1976), Ærtebjerg Nielsen and Bresta (1984) och Richardson (1987). Resultatet redovisas som DAGLIG PRIMÄRPRODUKTION, $\text{mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dag}^{-1}$. En mall för beräkningen av daglig produktion återfinns i bilaga 1.

Sal.faktor, för beräkning av CO_2 , kan erhållas ur Buch 1945, HELCOM COMBINE 2002 och Ærtebjerg Nielsen and Bresta (1984).

In situ-metoden

Inkubering

Vattenprover fylls på 50-100 ml flaskor av högkvalitativt glas eller polykarbonat. ^{14}C tillsätts och flaskorna inkuberas i havet genom att hängas på det djup där vattnet hämtades.

Inkuberingen skall ske kring middagstiden och skall vara 4 timmar (lämpligen kl 10-14, normaltid). Allt handhavande av prover före och efter inkubering skall ske i begränsat ljus. Experimentflaskorna fylls så att det finns plats för tillsatsen av ^{14}C och en liten luftbubbla, som underlättar omrörningen av provet.

^{14}C

^{14}C som används ska ha en alkalinitet på 1.5 mmol/l och en specifik aktivitet av 4-20 $\mu\text{Ci/ml}$ (150-750 kBq/ml).

Inkuberingsteknik

- Inkuberingen skall påbörjas snarast möjligt efter provtagningen.
- ^{14}C tillsätts separat till varje provflaska med kalibrerade pipetter.
- Koncentrationen av ^{14}C i provflaskan skall vara tillräckligt stor för att radioaktiviteten skall kunna mätas med tillräcklig statistiskt noggrannhet.
- Inkuberingstiden bör vara ca 4 timmar. Exakt inkuberingstid skall noteras i protokoll.
- Efter inkuberingen skall vattenproverna genast filtreras genom GF/F-filter. Vakuum får ej överstiga 0.3 bar. Filtren placeras i scintillationsflaska, som utan lock får stå i 3 timmar i 40-50 °C, för att filtret skall torka och icke inkorporerat ^{14}C skall dunsta från filtret.

Radioaktivitetsmätning

Filtrens radioaktivitet mäts i scintillationsräknare efter tillsats av scintillationsvätska. Proverna skall räknas så länge att resultaten har ett statistiskt fel på högst 3 %. Quench-kurvor skall göras och scintillationsräknarens effektivitet skall kontrolleras med ”internal standard”. Räkneeffektiviteten skall bestämmas genom regelbunden kalibrering med ^{14}C -standard.

Total koldioxid

Löst oorganiskt kol skall bestämmas enligt Strickland & Parsons (1972), eller beräknas med de relationer Buch (1945) uppställt.

Beräkning av kolupptaget

Det totala kolupptaget under inkuberingen beräknas enligt formler i Manual For Marine Monitoring in the COMBINE Programme of HELCOM. Mörkervärden skall subtraheras från ljusvärden, men också redovisas separat.

$$\text{mg KOL (C) m}^{-3}\text{h}^{-1} = \text{dpm(a)} \cdot \text{total CO}_2 \text{ (c)} \cdot 12 \text{ (d)} \cdot 1.05 \text{ (e)} \cdot 1.06 \text{ (f)} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 / \text{dpm (b)}$$

a: netto dpm på filter

b: tillsatt ^{14}C -dpm

c: Conc. CO_2 (mmol/m^3)

d: kolets atomvikt

e: korrektion för ^{14}C -diskriminering

f: korrektion för respiration av ^{14}C under inkuberingen

k_1 : subsamlingsfaktor

k_2 : tidkorrektion

k_3 : omvandling från dm^{-3} till m^{-3}

Resultatet är **primärproduktion**, $\text{mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{exponeringstid}^{-1}$ (4 timmar).

Beräkning av daglig primärproduktion

Omräkningen av kolupptaget per exponeringstid till daglig primärproduktion i vattenpelaren sker enligt ljusfaktormetoden. Ljusfaktorn erhålls genom att den uppmätta totala instrålningen under exponeringsdagen divideras med instrålningen under exponeringstiden. Ljusfaktorn multipliceras med produktionsvärdet för exponeringstiden.

Övriga nödvändiga mätningar för *in situ*-produktionsbestämning

- Klorofyll
- Djup av klorofyllmaximum från fluorescensprofilering
- Salinitet, temperatur, pH, om så önskas alkalinitet

Fältprotokoll

Exempel på fältprotokoll återges i bilaga 2.

Bakgrundsinformation

Primärproduktionsmätningar utförs normalt tillsammans med provtagning och mätningar av klorofyll, växtplankton (undersökningstyp, "Växtplankton") och hydrografi (undersökningstyp, "Hydrografi och närsalter, kartering" respektive "trendövervakning"). Klorofyll, temperatur, salinitet, pH, alkalinitet och ljusextinktion är viktiga stödvariabler. Dessutom krävs i allmänhet ljustransmission i vattnet, alternativt siktdjup, samt väderinformation.

Kvalitetssäkring

Mycket höga kvalitetskrav är viktigt för programmets meningsfullhet. Kvalitetskraven måste upprätthållas genom kontinuerlig kontroll av materiel och analysinstrument, samt vidareutbildning. Metoden skall vara kvalitetssäkrad och bör vara ackrediterad (finns ännu inte i Sverige) vid det utförande laboratoriet. Det är av stor vikt att noggrannheten i mätningarna är tillräckligt hög, eftersom variansen i datamaterialet bestämmer hur länge man måste mäta för att statistiskt kunna säkerställa en förändring.

Dokumentation skall ske i enlighet med de regler som gäller för ackrediterade laboratorier (d.v.s. uppgifter om utförare, signering, beständig skrift, rutiner för lagring av protokoll m.m.). Kvalitetsgranskning och sammanställning skall vara obligatorisk innan resultaten lämnas till uppdragsgivaren. Data som levereras till datavärd skall vara genomgångna och kvalitetssäkrade. För att felaktigheter ska kunna spåras bör, förutom bearbetade data, vissa delar av rådata också levereras till datavärd. (Framgår av protokoll)

Interkalibrering och parallellanalys är ett absolut krav och bör utföras minst en gång per år. Detta bör ske dels nationellt (lokalt/regionalt) dels i mån av möjlighet också internationellt. På sikt bör ackreditering för analyser och provtagning i havsvatten avkrävas utföraren.

Databehandling, datavärd

Data bör så snart som möjligt efter analys föras in i en databas. En kvalitetskontroll (rimlighetskontroll) skall utföras så fort alla variabler är analyserade. Jämförelse med normalvärden från området för aktuell årstid är ett sätt. Det är mycket viktigt att säkerställa att spårbarhet kvarstår i datalagringen avseende såväl analysmetoder som mätdata.

En förteckning över datavärden finns att hitta på Naturvårdsverkets webbplats under adressen <http://www.naturvardsverket.se/tillstandet-i-miljon/miljoovervakning/miljoovervakningsdata/>

En årlig sammanställning av databasens status görs av datavärden, vilken innehåller statistik över databasens innehåll, vad som tillkommit under året respektive vilka dataleveranser som gjorts.

Rapportering, utvärdering

Kvalitetsgranskning och sammanställning är obligatorisk innan resultatet lämnas till uppdragsgivare m.fl.. Årsrapporter bör produceras med en kortfattad sammanställning, inklusive bakgrundsinformation, om årets resultat och händelser.

Denna undersökningstyp är värdefull för EG:s ramdirektiv för vatten (2000/60/EG) som trädde i kraft i slutet av år 2000. Det övergripande syftet med direktivet är att se till att en ”god ekologisk vattenstatus” uppnås och bibehålls. Detta innebär en fokusering på det ekologiska systemet där primärproduktionen utgör basen för resten av näringsväven.

Primärproduktionen, uppmätt i inkubator, kan redovisas som potentiell primärproduktion, $\text{mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ vid ljusmättnad, dvs. den maximala produktionen, P_{max} . Detta utgör ett medelvärde för djupintervallet 0-10 meter. Som tillägg bör även α (den initiala lutningen på P/E-kurvan)³ redovisas.

En omräkning av den potentiella produktionen till den dagliga primärproduktionen per kvadratmeter, dvs. primärproduktionen i hela vattenpelaren under en kvadratmeters yta kan göras enligt beräkningsmodellerna i referenserna **1**, **4** och **8**. För denna beräkning krävs den totala ljusinstrålningen under dagen, uppdelad i perioder om timmar, samt bestämning av vattnets ljusgenomsläpplighet, extinktionskoefficienten. Primärproduktionen, uppmätt *in situ*, redovisas som daglig primärproduktion, $\text{mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{dag}^{-1}$, enligt beräkningsmodellerna i referenserna **1**, **4** och **8**. För denna beräkning krävs den totala ljusinstrålningen under dagen, uppdelad i perioder om timmar.

Med ett antal mätningar fördelade över året kan, för båda metoderna, den årliga primärproduktionen framräknas genom integrering. Säkerheten i denna bestämning ökar med ökat antal mätningar.

Framräknade värden kan jämföras dels över tidsperioder, dels med andra provtagningsstationer eller havsområden. Påtagliga avvikelser från kända, eller förväntade förhållanden kan påkalla undersökningar av orsakerna, men man måste hålla i åtanke den naturliga rumsliga och tidsmässiga variationen. Primärproduktionens storlek och variation över året kan också jämföras med och ställas i relation till litteratordata. Det största värdet med dessa data ligger i kontinuiteten. Långa tidsserier kan dokumentera relativa och verkliga förändringar. En tumregel är att man bör vara speciellt uppmärksam om det, vid en specifik provtagningsplats, visar sig att medelvärdet är signifikant högre än gränsen för övre kvartilen (75 %) hos äldre data.

På tidsserier över 5 år kan trendanalyser genomföras. Förändringar bör främst jämföras med näringsförhållanden och klimatologiska faktorer.

Kostnadsuppskattning

Kostnaderna är beräknade för år 2002.

Fasta kostnader

Båtkostnader utgör en betydande del av kostnaden för ett primärproduktionsprogram. Denna kostnad delas emellertid normalt med programmen för hydrografi, närsalter, klorofyll och växtplankton. Båtkostnaderna är beroende av det område som ska undersökas, samt hur

viktigt det är att provtagningsstidpunkt kan hållas. Ett provtagningsprogram längs en öppen kust kräver större båtar och är därigenom dyrare än ett program inomskärs. Kvalitetssäkringskostnader innefattar inköp av litteratur, deltagande i kurser och deltagande i interkalibreringar.

Utrustning

| | |
|-----------------------|------------|
| Inkubator | 30 000 SEK |
| In situ-materiel | 10 000 SEK |
| Filtreringsutrustning | 10 000 SEK |

Förbrukningsmaterial för en provtagning (station)

| | |
|----------------------|---|
| Radioaktivt kol | Färska prisuppgifter kan erhållas från exempelvis http://www.dhiwebshop.com |
| Filter | 100 SEK |
| Scintillationsburkar | 50 SEK |
| Scintillationsvätska | 50 SEK |
| Scintillationsanalys | 200 SEK |

Provtagning

| | |
|------------|---|
| Båtkostnad | Går ej att precisera. Är helt beroende av båtstorlek, antal provtagningsstationer, avstånd, delade kostnader med annan provtagning, samt av metod – inkubator/ <i>in situ</i> . |
| Personal | Beroende på utförarens debitering och provtagningsstiden |

Analys och beräkning 4 timmar

Kvalitetssäkring 2 000 – 3 000 SEK per station och år

Rapportering Beroende av avtal med beställaren

Utvärdering Beroende av avtal med beställaren

Övrigt

Primärproduktionsundersökningar grundar sig på mätning av fotosyntetisk kolfixering med hjälp av radioaktivt kol (^{14}C). Arbeta med radioaktiva ämnen kräver speciella tillstånd och stor noggrannhet krävs vid arbetet.

Undersökningar har visat att primärproduktionen av växtplankton kan ha en dygnsrytm, som gör att den potentiella produktionen är lägre under natten. För att få jämförbara resultat bör primärproduktionsmätningarna koncentreras till dagtid.

Avgörande för programmets framgång och meningsfullhet är **kontinuitet** och **långsiktighet**. Detta kräver en säker och långsiktig finansiering.

Författare och övriga kontaktpersoner

Programområdesansvarig, Naturvårdsverket

Sverker Evans
Miljöövervakningsenheten
Naturvårdsverket
106 48 Stockholm
Tel: 08-698 13 02
E-post: sverker.evans@naturvardsverket.se

Experter, SMHI

Lars Edler
SMHI
Nya Varvet 31
426 71 Västra Frölunda
Tel: 031-751 8906
E-post: lars.edler@smhi.se

Elisabeth Sahlsten
SMHI
Nya Varvet 31
426 71 Västra Frölunda
Tel: 031-751 8990
E-post: elisabeth.sahlsten@smhi.se

Författare: Lars Edler

Referenser

Metodreferenslista

1. Ærtebjerg Nielsen, G. and Bresta, A.M. (ed). 1984. Guidelines for the Measurement of Phytoplankton Primary Production. Publication / The Baltic Marine Biologists No. 1. 2nd edition.
2. Buch, K. 1945. Kolsyrejämvikten i Baltiska Havet. Fennia, 68(5).
3. Colijn, F. and Edler, L. 1998. Working Manual on the use of a Standardized Incubator Technique in Primary Production Measurements. In: Report of the ICES WG on Phytoplankton Ecology. Lisbon, March 1998. ICES CM 1998/C:3
4. Gargas, E. and Hare, I. 1976. User's manual for estimating the daily phytoplankton production measured in incubator. Contributions from the Water Quality Institute. Danish Academy of Technical Science. No. 2.
5. HELCOM COMBINE (2002). Manual for marine monitoring in the COMBINE Programme of HELCOM,
<http://sea.helcom.fi/Monas/CombineManual2/CombineHome.htm>

*Handledning för miljöövervakning
Undersökningstyp*

6. Lindahl, O. 1986. A dividable hose for phytoplankton sampling. ICES. C.M. 1986/L:26, annex 3.
7. O'Reilly, J.E. and Thomas, J.P. 1983. A Manual for the Measurement of Total Daily Primary Productivity. Biomass Handbook No. 10. SCAR, SCOR, IABO, ACMRR.
8. Richardson, K. (ed). (1987). Primary Production: Guidelines for measurement by 14C incorporation. ICES. Techniques in Marine Environmental Sciences No. 5
9. Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada.. 167. Ottawa. 310 s.
10. Zemoko, de Keyzer. 1994. Irradiance Differentiation and Control in the ICES incubator. Maritiem technish bureau, Zemoko, Torenstraat 23 Oostkapelle. The Netherlands.

Rekommenderad litteratur

11. Colijn, F., Kraay, G.W., Duin, R.N.M., Tillman, U. and Veldhuis, M.J.W. 1996. Design and test of a novel P_{max} incubator to be used for measuring the primary production in ICES monitoring studies. ICES CM 1996/L3. DRAFT.
12. Li, W.K.W and Maestrini, S.Y. (ed.). 1993. Measurement of Primary Production from the Molecular to the Global Scale : proceedings of a symposium held in La Rochelle, 21-24 April 1992. ICES Marine Science Symposia. Volume 197. ISSN 0906-060X.
13. Richardson, K. 1993. The ICES 14C Primary Production measurement intercomparison exercise. Mar. Ecol. Prog. Ser. 72: 189-201.
14. Williams, P.J.le B., Thomas, D.N. and Reynolds, C.S.. 2002 Phytoplankton productivity :. carbon assimilation in marine and freshwater ecosystems. Blackwell Sciences, 386 s..

Uppdateringar, versionshantering

Arbetsmaterial 1997-06-13

Version 1:1 2006-01-30

Bilaga 1. Mall för beräkning av daglig produktion. Exempel

| | | | | | | | | | |
|---|------------|---|--------------|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| STATION: | | PROV: | | | | | | | |
| DATUM: | | | | | | | | | |
| BATCH: | | | | | | | | | |
| DPM: | | | | | | | | | |
| TILLSATT ml: | | | | | | | | | |
| EXP. TID: | | INK. TEMP.: | | | | | | | |
| EXP. TEMP.: | | TEMP.FAKTOR: | | | | | | | |
| | | SALINITET: | | | | | | | |
| | | SAL. FAKTOR: | | | | | | | |
| | | OORG. C: | | | | | | | |
| | | P _{max} : µg C /L/h 30 | | | | | | | |
| | | KLOROF. µg/L: | | | | | | | |
| | | ASSNO. (P _{max} * Chl ⁻¹ * h ⁻¹): | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| P/E samband | | Exempel | | Ta fram riktningsskoefficienten a | | | | | |
| E | P | E (x) | P (y) | | | | | | |
| 1 (mörk) | 01 | 0 | 1 | | | | | | |
| 2 (a ljus) | 05 | 25 | 5 | | | | | | |
| 3 (b ljus) | 09 | 50 | 9 | | | | | | |
| 4 (c ljus) | 19 | 75 | 19 | | | | | | |
| 5 (d ljus) | 28 | 100 | 28 | | | | | | |
| 6 (e ljus) | 30 | | | | | | | | |
| | | α: | | 0,272 | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Använd Jassby & Platt (1976) för att beräkna värdet inom varje 2-timmarsperiod och djup | | | | | | | | | |
| Lägg värdena i Produktionstabellen | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| P = P_{max} * tanh (a * E_d / P_{max}) | | | | | | | | | |
| E _d = Daglig ljusexponering | | | | | | | | | |
| α = Kvoten mellan produktion och belysning | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Ljustabell | | | | | | | | | |
| E _d (µE * m ⁻² * s ⁻¹) | | | | | | | | | |
| | 4-6 | 6-8 | 8-10 | 10-12 | 12-14 | 14-16 | 16-18 | 18-20 | 20-22 |
| Luft | 06 | 39 | 55 | 110 | 83 | 39 | 28 | 17 | 06 |
| 0 | 05 | 35 | 50 | 100 | 75 | 35 | 25 | 15 | 05 |
| 1 | 05 | 32 | 45 | 90 | 68 | 32 | 23 | 14 | 05 |
| 2 | 04 | 28 | 41 | 81 | 61 | 28 | 20 | 12 | 04 |
| 3 | 04 | 26 | 36 | 73 | 55 | 26 | 18 | 11 | 04 |
| 4 | 03 | 23 | 33 | 66 | 49 | 23 | 16 | 10 | 03 |
| 5 | 03 | 21 | 30 | 59 | 44 | 21 | 15 | 09 | 03 |
| 6 | 03 | 19 | 27 | 53 | 40 | 19 | 13 | 08 | 03 |
| 7 | 02 | 17 | 24 | 48 | 36 | 17 | 12 | 07 | 02 |
| 8 | 02 | 15 | 22 | 43 | 32 | 15 | 11 | 06 | 02 |
| 9 | 02 | 14 | 19 | 39 | 29 | 14 | 10 | 06 | 02 |
| 10 | 02 | 12 | 17 | 35 | 26 | 12 | 09 | 05 | 02 |



