

Programområde: **Sötvatten**

Undersökningstyp: **Beräkning av
ämnestransport**

Författare: Se avsnittet ”Författare och övriga kontaktpersoner”

Bakgrund och syfte med undersökningstypen

Syftet med undersökningstypen är att ge en vägledande information i frågor som rör ämne-transportberäkningar i samband med miljöundersökningar. Beräkning av ämnestransport kräver bestämning av ämnehalt i vattnet och vattenföring (se handledningen ”Vattenföringsbestämningar inom miljöövervakningen” och undersökningstypen ”Vattenkemi i vattendrag”). Ämnestransporten kan bestämmas för en mätplats vid en viss tidpunkt eller beräknas för en längre period. Ämnestransporten ger information om transporten från hela avrinningsområdet uppströms mätplatsen.

Ämnestransportberäkningar används för statistik över transportförhållanden, underlag för bedömning av variationer i tid och rum samt bedömning av långsiktiga förändringar och trender. Undersökningstypen är användbar för att fastställa ett vattenområdes status i förhållande till miljömålen *Ingen övergödning* samt *Levande sjöar och vattendrag*. Utifrån den beräknade ämnestransporten är det dock svårt att bedöma varifrån ämnet kommer i området, s.k. källfördelning och vad eventuella förändringar beror på. För detta krävs någon typ av statistisk bedömning eller modellberäkning, se under avsnittet ”Övrigt”.

Ämnehalterna i vattnet beror på markläckage och erosion längs stränder och bottnar, punktutsläpp och eventuellt atmosfäriskt nedfall på vattenytan. Variationerna i ämnehalter kan vara stora och för ämnen som är partikulära eller häftar vid partiklar kan de vara flödesberoende. Vattenföringen har stor påverkan på transporten med låga transporter under lågvattenflöden, även om halterna kan vara relativt höga, och med höga transporter vid högvattenflöden. I områden med stor sjöandel sker ofta en utjämning av både vattenföring och ämnehalt jämfört med förhållandena i små sjölösa områden.

Samordning

Kravet på noggrannheten i transportberäkningen påverkar strategi för provtagning av ämnehalt och vattenföringsbestämning. Samordning bör därför ske med handledningen ”Vattenföringsbestämningar inom miljöövervakningen” och undersökningstypen ”Vattenkemi i vattendrag”.

Strategi

Ämnestransport beräknas genom multiplikation av ämneshalt (i mg/l eller liknande sort) och vattenföring (i l/s eller m³/s). Ämneshalten kan vara bestämd genom momentan provtagning eller genom flödesvägd provtagning för en viss period. Motsvarande vattenföring kan vara mätt eller beräknad för det momentana provtagningstillfället respektive för perioden (se ”Vattenföringsbestämningar inom miljöövervakningen”).

Ämnestransport kan redovisas i mängd/tid, t.ex. kg eller ton per år, månad eller liknande. För att kunna jämföra förhållanden i olika områden kan det vara intressant att räkna om till transporten per area, s.k. arealspecifik ämnestransport (ämnestransport dividerad med avrinningsområdets totala storlek alternativt landareal).

Vid årstransportberäkningar och jämförelser mellan olika år får den naturliga variationen i vattenföringen stor betydelse. Det normala i dessa fall är att göra en flödeskorrigering (s.k. flödesnormalisering) (se avsnitt ”Rapportering, utvärdering”).

Variabiliteten i ämneshalter och vattenföring påverkar noggrannheten i transportberäkningen. Syftet med beräkningen och variabiliteten vid mätplatsen avgör därför mätupplägget. Beräkningarna kan syfta till en bedömning av förhållandena i ett område som ett årsvärde eller ett långtidsmedelvärde alternativt en noggrannare uppföljning av eventuella förändringar med tids- och rumsupplösning. Provtagningsfrekvensen för bestämning av ämneshalt beror därför på kravet på precision för området.

- Beräkning av årsvärde eller långtidsmedelvärde löser man oftast med provtagning en gång per månad (eventuellt varannan månad i områden med mycket små variationer) eller med flödesviktad provtagning.
- För ökad precision, speciellt i små och sjölösa områden (< 100 km²) krävs tätare provtagning under perioder med hög vattenföring. För t.ex. fosfor har mätningar visat att mer än 50 % av den årliga transporten kan ske under en flödesperiod av 5 dygn i ett litet sjölost område.

Statistiska aspekter

Variationer i ämneshalt och vattenföring samt syftet med ämnestransportberäkningen styr frekvensen av mätningar och metod för vattenföringsbestämning (se ovan, avsnittet ”Strategi”, och i Undersökningstypen för Vattenkemi i vattendrag och handledningen för Vattenföringsbestämningar inom miljöövervakningen). Av praktiska skäl kan det dock vara svårt att få en flödesanpassad provtagning.

För att fastställa förändringar längs ett vattendrag respektive i en sjö (eller t.ex. i en våtmark) krävs tät provtagning av all tillförsel längs vattendragssträckan respektive till sjön och hög precision på vattenföringsbestämningarna i tillflödena och i utflödet.

För att välja lämplig statistisk bearbetning eller metoder rekommenderas den handledning i [Dataanalys och hypotesprövning för statistikanvändare](#), som finns under miljöövervakning på Naturvårdsverkets webbplats.

Plats/stationsval

Provtagningsplatsen skall ge representativa prover, vilket innebär att den inte skall ligga direkt efter ett utsläpp och att vattnet skall vara väl omblandat. Utformning av provtagningen

*Handledning för miljöövervakning
Undersökningstyp*

för bestämning av ämnehalt påverkas av ämnet. Lösta ämnen kan provtas i ytskiktet i väl omblandade vatten (se undersökningstypen ”Lokalbeskrivning”). Suspenderat material (partiklar) kan kräva djup-integrerad provtagning och vid noggrannare bestämning i en bred sektion även i flera mätprofiler (Nilsson 1971).

Valet av mätplats styrs av motivet till transportberäkningen. Provtagning i vattendrag med stora avrinningsområden sker företrädesvis i eller nära eventuella sjöars utlopp, där omblandningen är god. Vill man däremot t.ex. bedöma förhållandena i små jordbruksområden bör proverna tas uppströms partier med tät vattenvegetation eller dammar, där det kan ske sedimentation/resuspension av partiklar samt näringsupptag.

Kraven på val av vattenföringsplats framgår av ”Vattenföringsbestämningar inom miljöövervakningen”. Det kan många gånger vara svårt att göra vattenföringsbestämningar på samma plats som provtagningspunkten. Om möjligt bör man undvika tillflöden till vattendraget mellan dessa platser.

Mätprogram

Variabler

Vid beräkning av ämnestransport görs åtskillnad mellan lösta och partikelbundna ämnen samt suspenderat material. För suspenderat material är det vanligt med en koppling mellan koncentrationen av det suspenderat materialet och vattenföringens storlek och om möjligt bör hänsyn tas till detta vid beräkningarna.

Tabell1.

Område	Företeelse	Determinand (Mätvariabel)	Metod-moment	Enhet	Prioritet	Frekvens och tidpunkter	Referens till provtagnings- eller observationsmetodik	Referens till annan metod
Vattendrag, Station o.dyl. (namn, koordinater)	Avrinningsområde	Area		km ²				
	Vattendrag	Vattenföring	Metod ¹					
		Ämnestransport, Lösta och partikelbundna ämnen	Datorberäkning ¹	kg / tidsenhet	1	transport per månad/år	Ref 6.	Ref 3.
		Ämnestransport, Suspenderat material	Datorberäkning ¹	kg / tidsenhet	1	transport per månad/år	Ref 6.	Ref 3.

¹ Använda metoder redovisas!

Frekvens och tidpunkter

Se avsnittet ”Statistiska aspekter” och undersökningstyp för ”Vattenkemi i vattendrag”.

Observations-/provtagningsmetodik**Beräkningsmetodik**

Vid val av beräkningsmetodik kan en indelning i tre fall göras utifrån tillgängliga data:

- 1) Både koncentration och vattenföring har mätts med relevant frekvens.
- 2) Koncentrationsmätningar finns med relevant frekvens. Vattenföringen kan skattas från näraliggande vattenföringsstationer eller med modellberäkningar (Johansson 1992).
- 3) Koncentrationsmätningar saknas eller finns endast med mycket låg frekvens.

Fall 1

I fall 1) rekommenderar OSPAR-kommissionen att transporten för en viss period beräknas utifrån en flödesviktad medelkoncentration och medelvattenföring (OSPAR 1998):

$$T = Q_M \cdot \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (1)$$

T = ämnestransporten för beräkningsperioden

Q_M = medelvattenföring under beräkningsperioden

C_i = ämneskoncentrationen vid mättillfället

Q_i = vattenföring vid mättillfället

n = antal mättillfällen under beräkningsperioden

Om det finns en tydlig årstidsvariation i koncentrationerna (som exempelvis för kväve) bör beräkningsperioden i ovanstående formel väljas med hänsyn till detta. Årstransporten beräknas då som summan av transporten för respektive årstid.

Ett alternativ till att använda flödesviktad medelkoncentration är att anta att koncentrationen är konstant mellan mättillfällena eller att den varierar linjärt (Reinelt, 1990). I Sverige är det den metodik som använts i flest tillämpningar:

$$C_t = C_i \quad \text{om} \quad \frac{t_{i-1} + t_i}{2} \leq t < \frac{t_i + t_{i+1}}{2} \quad (2a)$$

eller

$$C_t = C_i + (t - t_i) \cdot \frac{C_{i+1} - C_i}{t_{i+1} - t_i} \quad \text{om} \quad t_i \leq t < t_{i+1} \quad (2b)$$

C_t = koncentrationen vid tidssteget t

t_i = tidpunkt för mättillfälle i

Ämnestransporten beräknas som:

$$T = \sum_{t=1}^l C_t \cdot Q_t \quad (3)$$

Q_t = vattenföring för tidssteget t

l = antal tidssteg i beräkningen

Lämpligt tidssteg är dygn.

För suspenderat material med ett entydigt samband mellan vattenföring och koncentration kan transporten beräknas som en funktion av vattenföringen (HARP guidelines, 2000, Reinelt, 1990, Jansson, 1985):

$$T = \sum_{t=1}^l f(Q_t) \quad (4)$$

Sambandet antas oftast vara linjärt eller logaritmiskt:

$$T_t = f(Q_t) = a + b \cdot Q_t \quad (5a)$$

eller

$$\ln(T_t) = a + b \cdot \ln(Q_t) \quad \text{dvs.} \quad T_t = a \cdot Q_t^b \quad (5b)$$

T_t = ämnestransporten för tidssteget t

a, b = regressionskoefficienter

Denna metodik kan vara svår att tillämpa i praktiken eftersom det oftast saknas tydliga samband. Den kräver historiska dataserier för bestämning av regressionskoefficienterna a och b . Tidssteget i beräkningarna bör inte vara längre än dygn eftersom en stor transport av partikulära ämnen oftast är kopplad till enstaka flödestillfällen. Sambandet mellan vattenföring och koncentration kan också skilja sig beroende på om vattenföringen är stigande eller sjunkande.

En jämförande studie mellan olika beräkningsmetoder finns bl.a. i Reinelt (1990). HARP guidelines (2000) och Stålnacke (1996) beskriver alternativ för flödesnormaliserade transportberäkningar.

Fall 2

I fall 2) antas att det inte finns några vattenföringsobservationer vid mätplatsen för ämnehalt. Då måste vattenföringen skattas från näraliggande stationer eller genom modellberäkningar, vilket innebär att dynamiken inte kan beskrivas i detalj. Vattenföringsuppgifterna finns därför endast som vecko- eller månadsvärden. Ett undantag är när vattenföringen skattas från en station i samma vattendrag strax uppströms eller nedströms mätplatsen och utan mellanliggande sjöar och/eller stora tillflöden. Då kan den observerade vattenföringen multipliceras med en arealfaktor och samma beräkningsmetoder som i fall 1) tillämpas.

Då vattenföringen endast finns som medelvärden över veckor eller månader används lämpligen ekvationerna (2) och (3) från fall 1) för att beräkna ämneskoncentrationen mellan mättillfällen. Skillnaden vid själva transportberäkningen är att vattenföringen antas konstant under respektive vecka/månad:

$$T = \sum_{t=1}^l C_t \cdot Q_{m,t}$$

$Q_{m,t}$ = vattenföring för månad/vecka som innehåller tidssteget t

Beräkningstekniskt kan det vara enklast att använda tidssteget dygn, även om Q_m och C sätts konstant över ett antal dygn.

Fall 3

Då observationer av ämneshalter saknas kan transporten i vissa fall modelleras utifrån klimatvariabler, geologi, markanvändning och utsläppsinformation (Arheimer och Olsson 2003). I Sverige är det framför allt kväve- och fosfortransporten som hittills modellerats i operationella tillämpningar (Arheimer m.fl. 1997, Brandt och Ejhed 2003, Sonesten m.fl. 2003). Endast för kväve finns det en Sverigetäckande modell. För andra ämnen är modellerna ännu på forskningsstadiet.

Bakgrundsinformation

Ämneshalter och dynamiken i både koncentration och vattenföring påverkas i stor utsträckning av egenskaperna för det aktuella avrinningsområdet. Tillsammans med uppgifter om ämnestransporten bör det därför finnas information om området såsom:

- avrinningsområdets areal
- dominerande markanvändning i avrinningsområdet
- jordbruksmark, areal i avrinningsområdet uppdelad i åker och vall
- dikning
- skogsmark, areal i avrinningsområdet
- artificiell mark (urban mark)
- sjöars storlek och fördelning inom området
- dominerande jordart
- industriutsläpp, avloppsvatten

Kvalitetssäkring

Se exempelvis avsnitten ”Databehandling” nedan och ”Bakgrundsinformation” ovan.

Databehandling, datavärd

Databehandling

Den beräkningsmetodik som väljs påverkar i någon mån resultatet, även när samma data utnyttjas. Därför måste det finnas en dokumentation som visar vilken metod som använts. Det måste också dokumenteras vilka indata som använts för beräkningarna, hur ofta koncentrationen mätts och hur den analyserats, huruvida vattenföringen observerats eller skattats (och i så fall på vilket sätt). Sådan dokumentation är viktig eftersom ändringar i metoder kan leda till homogenitetsbrott som kan tolkas som trender i ämnestransporten. Innan beräkningar genomförs bör koncentrations- och vattenföringsdata rimlighetskontrolleras.

När lämplig metod valts är beräkningen av ämnestransport utifrån koncentration och vattenföring tämligen okomplicerad och kan med fördel göras i kalkylbladsprogram som exempelvis Excel.

Datavärdskap

Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för miljöanalys, är datavärd för sjöar och vattendrag (med undantag för hydrologi, organiska miljögifter och biologisk material samt fisk). I detta ingår ett delprogram för flodmynningar, där transporten av näringsämnen och andra substanser till kust och hav följs. Delprogrammet omfattar 50 stationer för vilka

*Handledning för miljöövervakning
Undersökningstyp*

ämneshalter lagras, vattenföringen hämtas från SMHI och vid behov omräknas till mätplatsen samt transporten beräknas och lagras på årsbasis. Mängden transporterat material beräknas dygnvis som produkten av linjärinterpolerade halter och dagliga vattenföringsdata (se ekv 2a och 3 ovan).

Under åren 1967-1994 fanns ett nationellt nätverk för sedimenttransport (Brandt, 1996).

För övrigt finns idag ingen nationell datavärd för ämnestransport, men det finns möjlighet att lagra data i SLU:s vattendatabas samt i Länsstyrelsernas databas för miljöövervakning och Naturvård (DMN).

Grunddata, dvs. ämneshalter med provtagningsuppgifter och uppmätt/beräknad vattenföring skall lagras digitalt, liksom transportberäkningen.

Rapportering, utvärdering

Syftet med beräkningen av ämnestransport bestämmer var och hur rapporteringen sker. Beräkningarna kan presenteras i tabeller, i grafer (t.ex. årstransport) eller på kartor (t.ex. arealspecifik transport).

Resultaten kan också presenteras som trender, men det är viktigt att observera att naturliga variationer mellan år kan ge tydliga kortvariga trender. Till stor del beror dock dessa på variationer i vattenföringen mellan år. Trendberäkningar kan därför lämpligen göras separat på halter, vattenföring och transport. För att göra trendbedömning av transporten krävs någon typ av flödeskorrigering som representerar ett normalklimat (s.k. normalisering, HARP 2000, Stålnacke 1996). Ett sätt är att bedöma trender är att beräkna årsmedelkoncentration genom division av årets beräknade transport med vattenföringen (kräver att ämneshalten inte har ett beroende av vattenföringens storlek), ett annat sätt är att beräkna trender utifrån långtidsmedeltransporter för ett antal års beräkningar, ett tredje sätt är någon typ av viktning av årets vattenföring mot ett långtidsmedelvärde. Det är dock svårt att helt ta bort effekten av variationerna i vattenföringen i trendberäkningar av transportvärden. Stålnacke (1996), Stålnacke et al. (2003) redovisar närmare ett antal icke-parameteriserade tester, som kan användas.

Kostnadsuppskattning

Fasta kostnader

Beräkning av ämnestransport kräver tillgång till dator och licens för relevanta program. Eftersom standardprogram som finns installerade på de flesta datorer kan utnyttjas blir de fasta kostnaderna låga.

Analyskostnader

Avseende kostnaderna för bestämning av koncentration och observerad vattenföring hänvisas till respektive undersökningstyp.

En vanlig metod för att skatta vattenföring i provtagningspunkter är med HBV/PULS-modellen (Johansson, 1992). Detta görs vid SMHI som (år 2005) debiterar en initial kostnad på 6300:- per beräkningspunkt (inklusive en historisk serie) och därefter en årlig kostnad på ca. 1700:- per punkt.

Tidsåtgång

Det krävs en initial insats för att bygga upp rutiner för beräkning, datalagring och dokumentation. Omfattningen av denna insats bör ställas i relation till antalet beräkningspunkter. Med ett stort antal beräkningspunkter kan det vara värt att lägga tid på att få effektiva rutiner så att de årliga beräkningarna kan genomföras med en liten arbetsinsats. Med få beräkningspunkter blir arbetsinsatsen för de årliga beräkningarna ändå måttlig och den initiala insatsen kan därför vara mindre.

Skattningar av den tid som krävs för olika aktiviteter måste ses som mycket ungefärlig. Den är beroende av erfarenhet hos handläggaren och lättillgängligheten av olika typer av information.

Tiden för att ta fram lämpliga rutiner ligger runt 1-2 veckor. Ytterligare tid kan krävas om olika beräkningsmetoder skall användas för olika punkter och ämnen, t.ex. för att ta fram regressionskoefficienterna i ekvation 5. Att samla in och lagra bakgrundsinformation om ett avrinningsområde tar troligen runt 1-4 timmar per område.

Den årliga insatsen för transportberäkningar bör också ligga runt 1-4 timmar per punkt. Utöver det tillkommer tid för rapportering och redovisning av resultat.

Övrigt

Syftet med beräkningen påverkar mätinsatsen av vattenföring och ämnehalt. Det är viktigt att inte skifta beräkningsmetodik och analysmetodik under arbetets gång. Ändras analysmetodik för bestämning av ett ämne eller dess fraktioner kan det ge homogenitetsbrott i den beräknade ämnestransporten.

Flödesnormalisering kräver kunskap om de statistiska grunderna för detta. Detta beskrivs t.ex. i HARP (2000) och Stålnacke (1996).

Författare och övriga kontaktpersoner

Programområdesansvarig, Havs- och vattenmyndigheten:

Ulrika Stensdotter Blomberg,
Enheten för miljöövervakning
Havs- och vattenmyndigheten
Box 119 30
404 39 Göteborg
Tfn: 010 – 698 60 11
E-post: ulrika.stensdotter@havochvatten.se

Författare, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut:

Barbro Johansson
SMHI
603 81 Norrköping
Tel: 011-495 82 04
E-post: barbro.johansson@smhi.se

Maja Brandt
SMHI
603 81 Norrköping
Tel: 011-495 83 39
E-post: maja.brandt@smhi.se

Referenser

1. Arheimer, B., Olsson, J. 2003. Integration and Coupling of Hydrological Models with Water Quality Models: Applications in Europe. World Meteorological Organization. Technical Reports in Hydrology and Water Resources. No. 75, WMO/TD-No.1174, 50 s.
2. Arheimer, B., Brandt, M., Grahn, G., Roos, E. och Sjöo, A. 1997. Modellerad kvävetransport, retention och källfördelning för södra Sverige. – Norrköping: SMHI, 1997. 79 s. (SMHI reports Hydrology; 13). ISSN 0283-1104
3. Brandt, M. och Ejhed, H. 2003. TRK Transport – Retention – Källfördelning. Belastning på havet. – Stockholm: Naturvårdsverket, 2003, 117 s. (Rapport / Naturvårdsverket; 5247). ISSN 0282-7398
4. Brandt, M. 1996. Sedimenttransport i svenska vattendrag, exempel från 1967-1994. – Norrköping: SMHI, 1994 (SMHI Hydrologi, 94). ISSN 0283-7722
5. HARP Guidelines 2000. Development of HARP Guidelines. Harmonised Quantification and Reporting Procedures for Nutrients. Guidelines 7. – Oslo, Norge: Statens forurensningstilsyn; 1759/2000 (SFT Report 1759/2000). ISBN 82-7655-401-6. (www.sft.no/publikasjoner/vann/1759/ta1759.pdf)
6. Jansson, M. 1985. A comparison of detransformed logarithmic regressions and power function regressions. Geografiska Annaler, 67A(1-2), s. 61-70.
7. Johansson, B. 1992. Vattenföringsberäkningar i recipientkontrollpunkter – en utvärdering av PULS-modellen. Vatten 48, 2, s. 111–116.
8. Nilsson, B. 1971. Sedimenttransport i svenska vattendrag. Ett IHD-projekt. Del 1. Metodik. – Uppsala: Naturgeografiska institutionen, 1971, 84 s. (UNGI Rapport 4).
9. OSPAR 1998. Principles of the Comprehensive Study on Riverine Inputs and Direct Discharges. Reference 1998-05. (The Oslo and Paris Commission for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic). www.ospar.org/asp/ospar/dra_spider.asp
10. Reinelt, L. 1990. Nonpoint Source Water Pollution Management. Monitoring, Assessment and Wetland Treatment. – Linköping: Linköpings Universitet, 1990, 155 s. (Linköping studies in arts and science; No. 57). Avhandling vid Tema Vatten. ISSN 0282-9800
11. Sonesten, L., Wallin, M. och Kvarnäs, H. 2003. Kväve och fosfor till Väner och Västerhavet. Transporter, retention och åtgärdsscenarioer inom Göta älvs avrinningsområde. – Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för miljöanalys, 2003. (In press)
12. Stålnacke, P. 1996. Nutrient Loads to the Baltic Sea. - Linköping: Linköpings Universitet, 1996, 188 s. (Linköping studies in arts and science; No. 146). Avhandling vid Tema Vatten. ISSN 0282-9800

13. Stålnacke, P., Grimvall, A., Libiseller, C., Laznik, M., and Kokorite. I. 2003. Trends in nutrient concentrations in Latvian rivers and the response to the dramatic change in agriculture. *Journal of Hydrology*, 283 (2003), 184-205.

Uppdateringar, versionshantering

Version 1:0, 2005-03-21. Ny undersökningstyp.

Version 1:1, 2016-12-02. Korrigering till HaV-logotyp och –kontaktperson.