


Vätternvårdsförbundet

Trafikens miljöbelastning på Vättern



Rapport 65 från Vätternvårdsförbundet

Vätternvårdsförbundet

Trafikens miljöbelastning på Vättern

Rapport nr 65 från Vätternvårdsförbundet*

Henrick Blank, Mette Hein och Måns Lindell

Omslagsbild: Vy över Vättern (foto Måns Lindell)

Beställningsadress: Vätternvårdsförbundet
Länsstyrelsen i Jönköpings Län
551 86 Jönköping
Tel 036-395000
Fax 036-167183
Email: Ingrid.Mansson@f.lst.se

ISSN: 1102-3791

**Rapporterna 1-29 utgavs av Kommittén för Vätterns vattenvård. Kommittén ombildades 1989 till Vätternvårdsförbundet som fortsätter rapportserien från Rapport 30*

Rapporten är tryckt på Länsstyrelsen i Jönköping 2001.
Andra upplagan 101-125 ex.

Innehåll

Sammanfattning	4
1. Inledning	6
2. Vättern	7
3. Salt i Vättern	10
4. Insamling av saltdata för Vättern	13
5. Saltbudget för Vättern	14
6. Trafikrelaterade föroreningar	18
6.1. Trafikbelastning	20
6.2. Bensin och diesel	20
6.3. Däckslitage	21
6.4. Bromsslitage	22
6.5. Vägslitage	23
6.6. Vägsaltning	23
6.7. Vägdragvatten	24
7. Riskanalys av olyckor med farligt gods	27
8. Transport av farligt gods vid Vättern	28
9. Sannolikhet för olycka med farligt gods vid Vättern	29
9.1. Förväntat antal olyckor - beräkningsmetod	30
9.2. Vilka vägsträckor analyseras?	30
9.3 Resultat	30
10. Konsekvensavgörande faktorer	31
11. Riskanalyser	35
11.1. Vanligaste ämnen i farligtgodstransporter	36
11.2. Farliga ämnen i farligt godstransporter	43
11.3. Farliga och vanliga ämnen i farligtgodstransporter	48
12. Gradering av studerade ämnen efter risk	49
13. Diskussion	49
14. Slutsatser	50
Litteratur	52

Bilaga 1. Medel, max och min värden av ledningsförmågan, natriumhalt och kloridhalt i Vättern och tillflöden.

Bilaga 2. Ämnen som förekom i störst kvantiteter och högst antal produkter i Sverige

Bilaga 3. Ämnen prioriterade enligt ramdirektivet för vatten (2000/60/EG)

Bilaga 4. Faktaruta om Spridningsprogrammet *Seatrack* Vättern.

SAMMANFATTNING

Vättern är en av Sveriges unikaste sjöar av betydande nationellt och internationellt intresse utpekad i Miljöbalken. Vättern har mycket höga naturvärden och är av riksintresse för såväl naturvärden, yrkesfisket, militär verksamhet, turism och rörligt friluftsliv. Vätterns näringsfattiga vatten är även dricksvattentäckt för 250 000 – 300 000 personer.

Vättern har flera speciella egenskaper som gör den särskilt känslig som recipient. Till exempel har Vättern en stor sjöyta i förhållande till tillrinningsområdet vilket leder till en extremt lång omsättningstid ca. 60 år. Den långa omsättningstiden för Vättern innebär att ämnen som tillförs Vättern sedimenterar i stor utsträckning och koncentrationen av toxiska ämnen i sedimenten blir därför höga.

Dessutom omges Vättern av stora vägar till exempel E4, Riksväg 49, 50 och 195, som ligger mer eller mindre i direkt anslutning till sjön, ofta närmare än 700 meter. Betydande delar av vägnätet är dessutom hårt trafikerade vilket medför utsläpp av föroreningar, till exempel bensin, tungmetaller och slitageprodukter, som kan påverka såväl vattenkvaliteten i Vättern som i miljötillståndet i övrigt.

Vägnätet runt sjön passerar ett stort antal bäckar med relativt korta rinntider till Vättern. Punktutsläpp från trafiken kan därmed uppstå vid olyckor med fordon innehållande farligt gods. Konsekvenser av olyckor med farligt gods vid väg/bäckpassagen har tidigare studerats av Vätternvårdsförbundet i samarbete med Vägverkets olika regioner.

Vägsaltning är en förorening som är kopplad till trafik. Vägsaltsförorening har negativ inverkan för såväl miljön som för de organismer som lever i den saltexponerade miljön. Grundvatten, ytvatten och vattentäkter visar på flera håll ökande salthalter.

Med utgångspunkt i Vätterns ökande ledningsförmåga genom de senaste decennier som ökat ca. 25 %, har Vätternvårdsförbundet på uppdrag av Vägverket Region Sydöst gjort en utvärdering av vägsaltningens bidrag till Vätterns ökande ledningsförmåga samt en utvärdering av trafikrelaterade föroreningar och konsekvensanalyser av transporter med farligt gods runt Vättern. Syftet med denna rapport har varit att:

- beräkna och värdera saltspridning på vägar runt Vättern samt dess bidrag till den ökande halten av natrium och klorid i Vättern,
- beräkna kvantitet och typer av trafikallstrade föroreningar runt Vättern och som kan tänkas påverka sjön,
- analysera konsekvenserna av transport med farligt gods runt Vättern.

Beräkningarna visar att vägsaltningens bidrag till saltökningen i Vättern kan utgöra drygt 40%.

De samlade trafikallstrade föroreningarna i direkt anslutning till Vättern är stora. Avgaserna koldioxid (CO₂), kolmonoxid (CO), kväveoxid (NO_x) och kolväte (HC) sprids i en samlad mängd runt 210000 ton/år och partikelutsläppet utgör 160 ton/år. Aromatiska kolväten, sot och bitumen (asfaltstoft) sprids i en mängd runt 300 ton/år medan gummistoft sprids i en mängd av drygt 70 ton/år.

För tungmetallerna är bidraget från trafiken relativt stort för krom och nickel jämfört med totaltillförseln från andra källor. Bidraget från vägtrafiken av dessa två tungmetaller beräknas vara runt 70 % av den totala tillförseln. Andelen trafikallstrad koppar, bly och zink är 15 %, 18 % respektive 8 % av den beräknade totaltillförseln. Kadmium tillförs främst via tillflöden och deposition, trafikrelaterade utsläpp av kadmium beräknas vara 5 % av den totala tillförseln.

Kring Vättern finns rekommenderade färdvägar för farligtgodstransporter, framför allt längs östsidan, men belastningen av farligtgodstransporter är betydande runt hela Vättern. Ungefär tre fjärdedelar av all transport av farligt gods utgörs av bensin- och oljetransporter. Kunskapen om transporten kring Vättern är dock inte tillfredsställande för andra ämnen än möjligen just petroleumföreningar.

Eldningsolja, fenol, bekämpningsmedel och bensin är exempel på ämnen/blandningar som kan ge långtgående effekter både i tid och rum. För Vättern, som är en kall och näringsfattig sjö, kan svårnedbrytbara ämnen som hamnar i vattenmassan och i sedimenten förbli där under decennier. Ett punktutsläpp från en farligtgodsolyma kan redan under måttliga vindstyrkor spridas ett tiotal kilometer på ett dygn och därmed påverka mycket stora vattenvolymer/arealer.

För de allra giftigaste ämnena (t ex PAH:er, fenoler och bekämpningsmedel) kan det räcka med några hundra liter eller enstaka kubikmeter för att dödliga koncentrationer för biota (även människor i extremfall) ska uppstå över flera kvadratkilometer. Därmed riskerar även ett eller flera dricksvattenintag blir otjänliga.

I denna studie har en metod tagits fram för att jämföra riskerna för Vätterns vattenkvalitet mellan olika ämnen. Metoden är enkel och kan snabbt användas på ämnen som inte tagits upp i denna studie. Tillsammans med spridningsmodellen Seatrack, (SMHI) utgör metoden ett verktyg att snabbt bedöma riskerna med ämnen som inte tagits upp i denna studie.

Både preventiva åtgärder och direkta åtgärder för begränsa spridning av farliga ämnen vid olycka bör prioriteras framgent.

Motalaström, foto Måns Lindell



1. INLEDNING

Vättern omges av vägar i nära anslutning till sjön, < 1 km. Vägnätet runt sjön passerar ett stort antal bäckar med relativt korta rinntider till Vättern samt avvattnas vägbanan, fram för allt längs östra sidan, via diken och trummor ut till bäckar med mycket korta rinntider till Vättern. I tidigare studier har Vätternvårdsförbundet kartlagt och konsekvensanalyserat effekter av olyckor med farligt gods i 144 stycken väg/bäckpassager (Vätternvårdsförbundet 1996, 2001). Betydande delar av vägnätet är dessutom hårt trafikerade, till exempel passerar ungefär 17.000 fordon per årsmedeldygn (ÅDT) på E4 varav ca 12 % utgörs av tung trafik (data från Vägverket).

Den hårda trafikeringen medför betydande lokala utsläpp som kan påverka närmiljön. Utsläpp kan vara i gasform, till exempel koldioxid, i löst form såsom oljor eller i fast form d v s partiklar. Men också partiklar av asfalt eller gummirester förekommer. Vissa av föroreningarna bidrar till långväga transporter, till exempel avgasutsläpp och vissa metaller. Huvuddelen av föroreningar deponeras huvudsakligen på vägbanan och inom de närmaste 100 meter från vägen (Vägverket 1995) varifrån de vid nederbörd kan spolas ut med vägdagvatten till Vättern.

Vägsaltning är ytterligare en förorening som är kopplat till trafik. Vägsalt sprids på vägen för halkbekämpning och transporteras från vägen genom ytavrinning, sprut och aerosoler. Spridningen kan vara upp till flera hundra meter (Bjerkås och Lindmark 1994).

Vägsaltsförorening har negativa konsekvenser för miljön och organismer liksom det är oönskat hos en del av trafikanterna på grund av modd och ökat korrosion av fordon (Vägverkets hemsida 2000). Växter i vägens närmaste omgivning påverkas negativt liksom att grundvatten, ytvatten och vattentäkter på flera håll har haft ökande salthalter (Bækken &

Jørgensen 1994, Löfgren 1999, Vägverket 2000).

Vägverket har i sitt ”inriktningsprogram för mark- och vattenfrågor det långsiktiga målet att;

.....avledning av vägdagvatten inte ska medföra att yt- och grundvatten påverkas så att negativa konsekvenser kan uppstå” (Vägverket 2000).

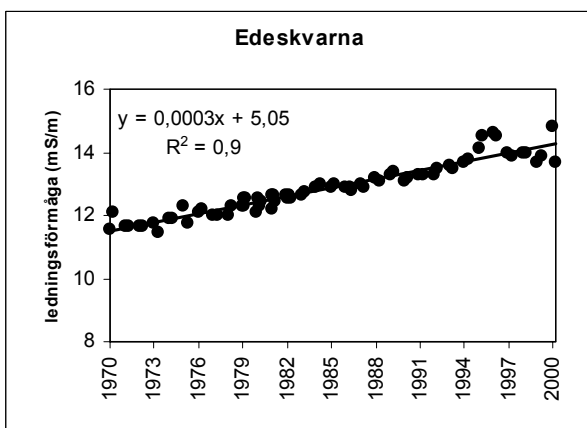
Dessutom förespråkas en målsättning om minimerat användning av salt.

Även punktutsläpp från olyckor vid farligt godstransporter kan medföra föroreningar av Vättern. Föroreningarnas omfattning beror på vilka ämnen som transporteras på vägen i direkt anslutning till sjön samt i vilka volymer.

Med utgångspunkt i Vätterns ökande ledningsförmåga (figur 1.1) och ökande salthalt genom de senaste decennierna, har Vätternvårdsförbundet på uppdrag av Vägverket Region Sydöst gjort en utvärdering av vägsaltningens bidrag till Vätterns ökande salthalt. Dessutom har beräkningar av den trafikrelaterade förorening samt analys av konsekvenserna av transport av farligt gods runt Vättern utförts.

Syftet med denna rapport har varit att:

- beräkna och värdera saltspridningens bidrag till den ökande halten av natrium och klorid i Vättern,
- beräkna kvantitet och typer av trafikallstrade föroreningar runt Vättern,
- analysera risken (sannolikhet och konsekvens) av transport av farligt gods runt Vättern.



Figur 1.1. Ledningsförmågan (mS/m) i Vättern (0,5 m) vid Edeskvärna under perioden 1970 till 2000. Ledningsförmågan ökar signifikant ($P < 0,01$). Linje är linjär regression.

2. VÄTTERN

Vättern är en av Sveriges unikaste sjöar av betydande nationellt och internationellt intresse. Vättern har flera speciella egenskaper som gör den särskilt känslig som recipient. Vättern har en stor sjöyta i förhållande till tillrinningsområdet. Detta i kombination med den stora sjövolym innebär att Vättern har en, i förhållande till andra sjöar, extremt lång omsättningstid ca. 60 år.

Den långa omsättningstiden för Vättern innebär att flertalet av de ämnen som tillförs Vättern sedimenterar eller bryts ned i stor utsträckning jämfört med andra sjöar. I sedimenten kan koncentrationen av ämnen, till exempel tungmetaller och organiska miljögifter, därför höjas. Trots den stora utspädnings-

faktorn, på grund av Vätterns storlek, är Vättern härigenom känslig för föroreningsbelastning. Den stora andelen sjöyta i avrinningsområdet, ca. 30 %, innebär att nedfall av lufttransporterade ämnen på sjöytan får stor inverkan på vattenkemin.

Vättern har mycket höga naturvärden. Den sammanlagda bedömningen är att Vätterns unika fauna har ett extremt högt skyddsvärde och att det är av såväl nationellt som internationellt intresse att denna fauna bevaras. Vättern är tillika av riksintresse för såväl naturvärden, yrkesfisket, militär verksamhet, turism och rörligt friluftsliv (se Miljöbalken). Vätterns näringsfattiga vatten medför att förbehandlingen för dricksvatten är enkel och Vättern är dricksvattentäckt för 250 000 – 300 000 personer.

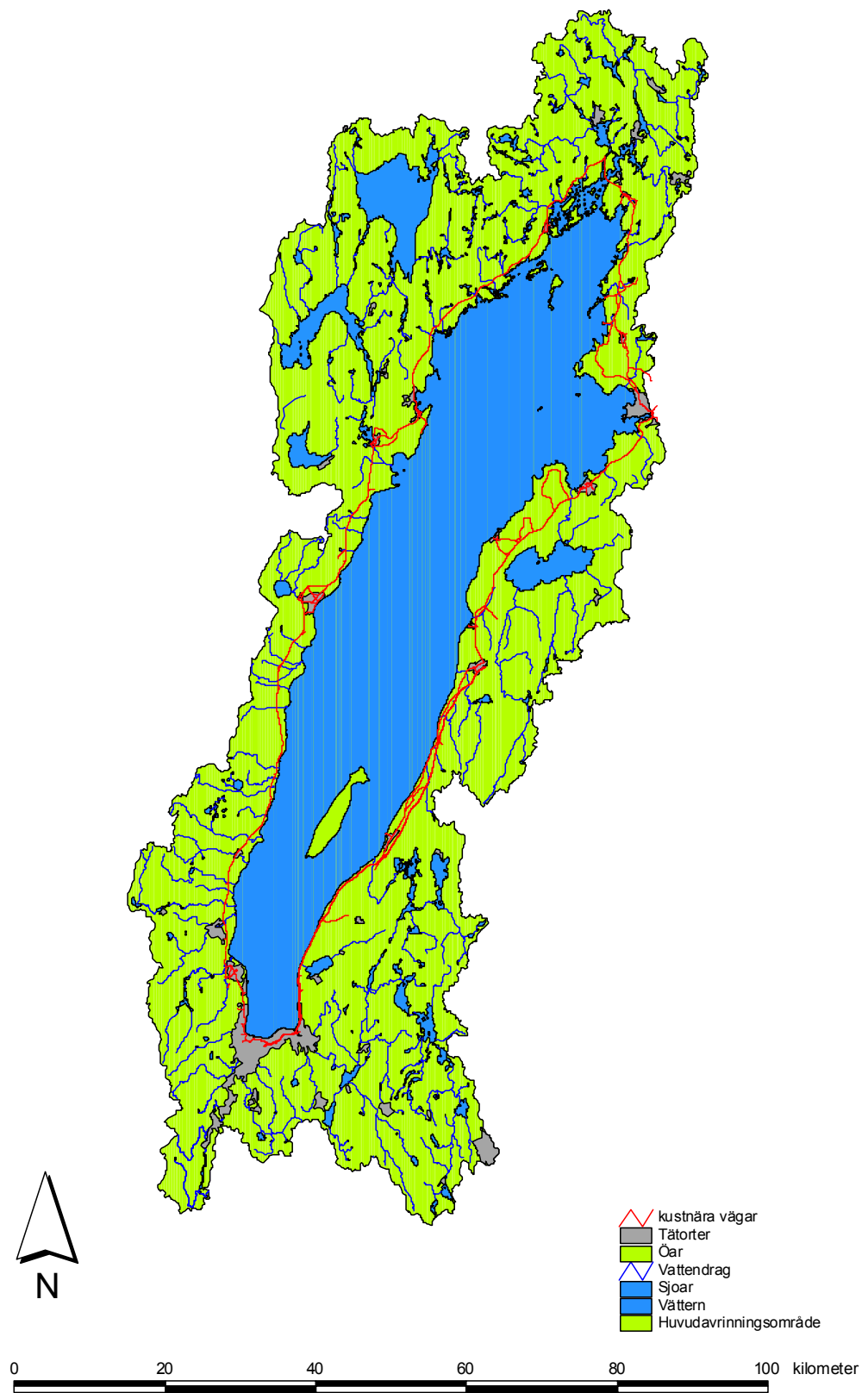
Vägnätet runt Vättern delas av 4 län (Jönköpings län, Östergötlands län, Västra Götalands län och Örebro län) och 8 kommuner (Habo, Hjo, Karlsborg, Askersund, Motala, Vadstena, Ödeshög och Jönköping). De vägsträckor som ingår i föreliggande studieprojektet är E4 (Jönköping - Ödeshög), riksväg 50 (Ödeshög - Askersund), riksväg 49 (Askersund - Möllstorp) och riksväg 195 (Jönköping - Möllstorp). Sammanlagt utgör vägnätet ca 275 km; en yta av 3,5 km² och det passera totalt drygt 29.000 fordon per dygn varav ca 12 % är tung trafik (tabell 2.1.).

Tabell 21. Väg och trafikdata för vägnätet runt Vättern. Väglängd (km), vägyta (km²) och beläggningstyp. Medelantal axelpar dvs. automatisk trafikräkning av axelpar, medelvärde av ÅDT fordon dvs. medeldygnstrafik över året av alla fordonstyper som medel för hela vägsträckan och procentandel lastbil av ÅDT fordon.

	längd km	yta km²	beläggning	axelpar (medel)	ÅDT fordon (medel)	% lastbil (medel)
<i>E4</i>	77,8	1,72	bituminös	20702	17748	12,0
<i>riksväg 50</i>	78,4	0,69	bituminös	5586	4829	11,8
<i>riksväg 49</i>	52,2	0,44	bituminös	4739	4168	9,8
<i>riksväg 195</i>	70,0	0,56	bituminös	3251	2747	13,0

Tabell 2.2. Data om Vättern. Vattenkemiska data är medelvärden för ytvatten (0,5 m) 2000.

Vättern	
Höjd över havet	88,6 möh
Sjöyta	1893 km ²
Sjövolym	74 km ³
Maxdjup	128 m
Medeldjup	40 m
Omsättningstid	ca 58 år
Tillrinningsområde (exkl sjöyta)	4466 km ²
Sjöandel i avrinningsområdet	30 %
Antal analyserade tillflöden (inkl. utfl. vid Motalaström)	20
Syrgas	12 mg/l
pH	7,9
Alkalinitet	0,6 mekv/l
Kalcium	0,8 mekv/l
Magnesium	0,2 mekv/l
Natrium	0,3 mekv/l
Kalium	0,04 mekv/l
Sulfat	0,4 mekv/l
Klorid	0,3 mekv/l
Totalkväve	625 µg/l
Totalfosfor	3 µg/l
Absorbans (420/5cm)	0,02
TOC (totalt organiskt material)	2,7 mg/l
Klorofyll	1,2 µg/l
Siktdjup	11,3 m



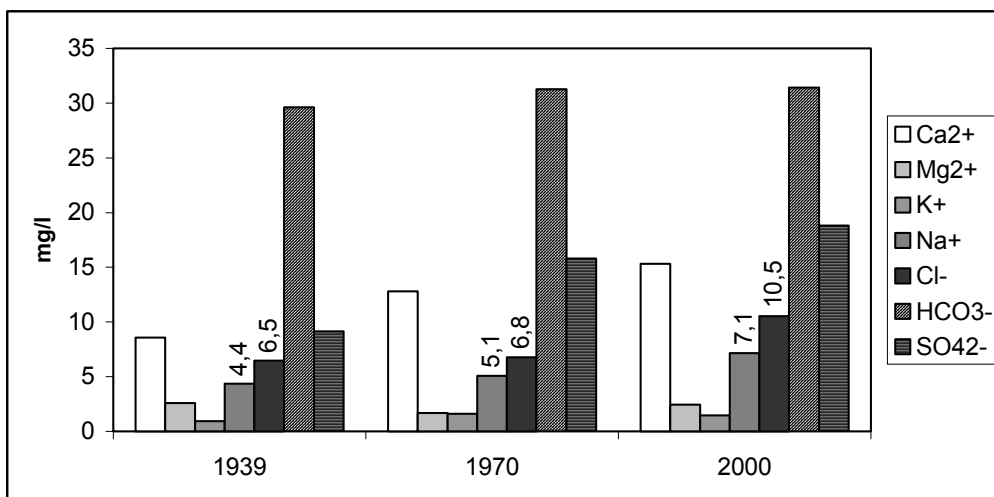
Figur 2.1. Karta över Vättern med tillflöden och avrinningsområde samt de kustnära vägarna.

3. SALT I VÄTTERN

Genom de senaste decennierna har Vätterns ledningsförmåga ökat med ca. 20 % (figur 1.1.). Ledningsförmågan är ett mått på vattnets förmåga att leda elektrisk ström, dvs. den samlade mängd joner i vattnet. Analys av de enskilda jonerna i vattnet indikerar att de joner som främst ansvarar för den ökade ledningsförmågan är natrium (Na) och klorid (Cl) som tillsammans utgör vanligt salt.

I figur 3.1 visas en jämförelse mellan historiska data från 1939 (Stålberg 1939 i Håkanson och Ahl 1976) och data från 1970 och 2000 (Vätternvårdsförbundet). Även historiska data kan vara behäftat med metodsvårigheter som inte finns idag samt troligen har större analysosäkerhet (Stefan Löfgren muntlig kommentar 2001), finns det en klar tendens att ökningen i natrium- och kloridhalterna främst har ägt rum efter 1970, vilket sammanfaller med att salt användas som halkbekämpningsmedel (figur 3.1).

Provtagning i Vättern, foto Måns Lindell



Figur 3.1. Halterna av de olika jonerna (mg/l) i Vättern åren 1939, 1970 och 2000. För natrium och klorid är vikten angivet i figuren. Data från Stålberg (1939) i Håkanson och Ahl (1976) och Vätternvårdsförbundet.

Salt är ett naturligt ämne som i vatten löses till jonerna Na^+ och Cl^- . Jonerna är essentiella för levande organismer och har samtidig betydelse för ett vattens omsättning genom att salt påverkar densiteten (Bækken & Jørgensen 1994). Höga salthalter i färskvatten kan dock innebära problem för både djur, alger och växter i vattnet liksom hög salthalt kan påverka vattnets pH, omröring, syresättning och kvalitet som dricksvatten.

Sålunda kan den ökande ledningsförmåga i vattnet vara oroväckande genom att;

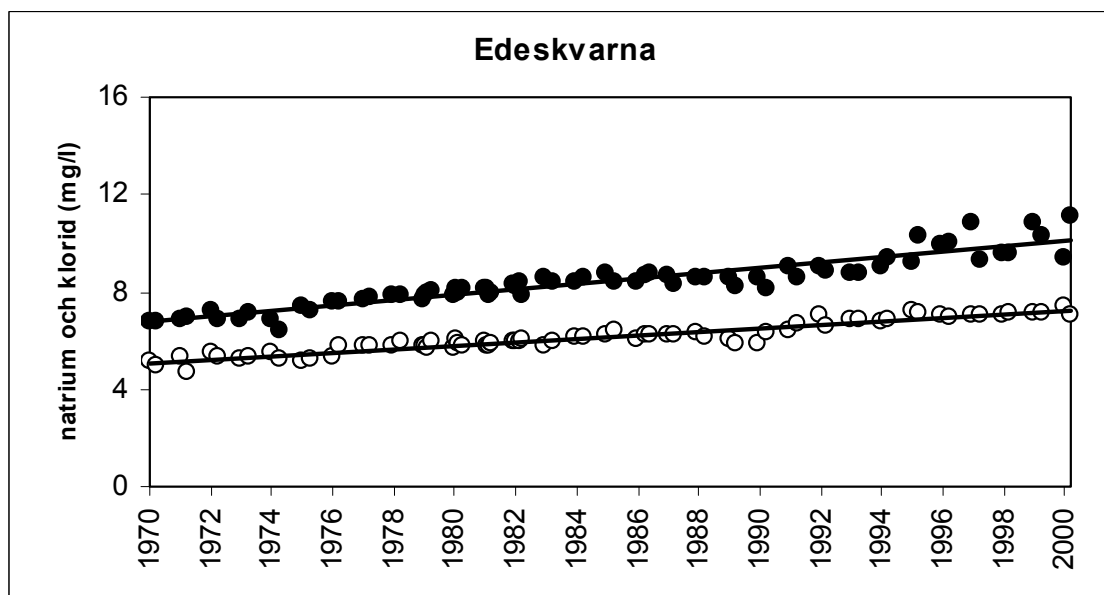
- salthalten i vattnet påverkar både djur, alger och växters fysiologi genom ändrade osmotiska förhållanden.
- salthalten påverkar kvaliteten av vattnet som nyttjas till dricksvatten.
- salt i stor mängd kan öka mobiliteten av vissa tungmetaller (till exempel kadmium och zink) genom bildning av vattenlösliga kloridkomplex. Vägsaltning kan därmed indirekt öka tungmetallhalter i avrinningsvattnet (Bækken & Jørgensen 1994, Löfgren 1999).
- saltvatten är tyngre än sötvatten och kan därmed utgöra ett undre stabilt vattenskikt. Detta kan medföra en sämre uppblandning av vattenmassorna och därmed bidra till en sämre syresättning av bottenvattnet (Bækken & Jørgensen 1994).
- saltning kan ge upphov till ökat pH i marken genom jonbyte (natriumjoner mot vätejoner) vilket i sin tur leder till ökad vätejonkoncentration i det avrinnande vatten, förbrukning av alkalinitet och kan slutligen medföra minskat pH i sjön (Löfgren 1999).
- saltning kan ge upphov till surstötter i mindre vattendrag (Löfgren 1999).

Salthalten i Vättern har ökat ungefär 30 % respektive 20 % sedan provtagningarna startade 1970 söder om Visingsö (Edeskvärna) (figur 3.3.) och 1979 vid ön Jungfrun (figur 3.4.).

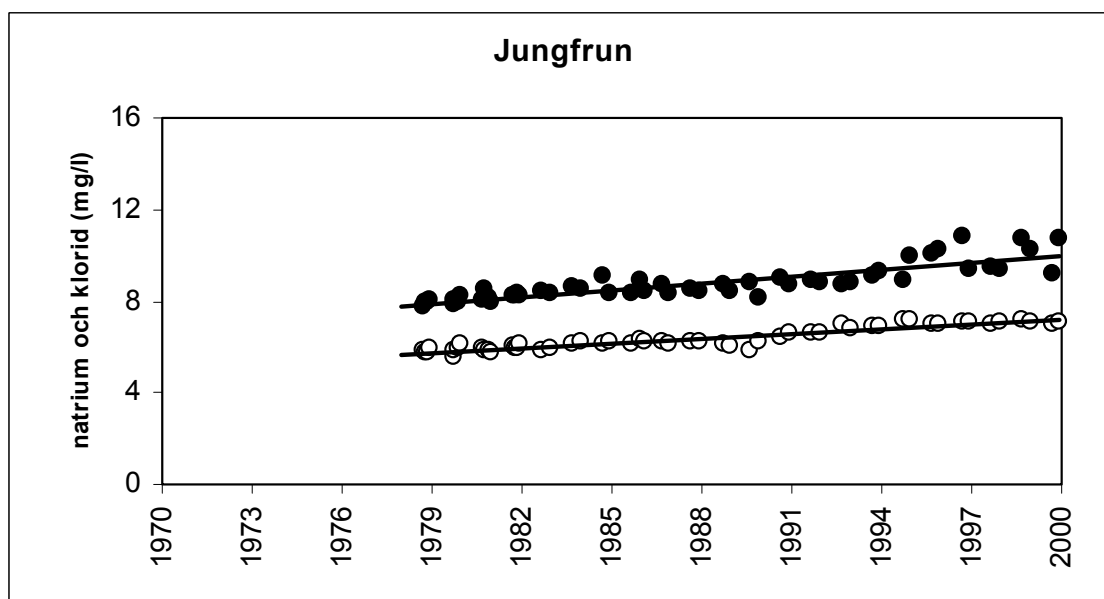
För övrigt kan det noteras att sulfathalterna i det närmaste har fördubblats under de senaste 50-60 åren.



Drivis, foto Måns Lindell



Figur 3.3. Halten av natrium (vit punkt) och klorid (svart punkt) i mg/l mätt i ytvatten (0,5m) vid Edeskvärn från 1970 till 1999. Halterna har ökat statistisk signifikant Na; $P < 0,01$, $\text{natrium} = 0,0002 \times \text{tid} + 0,10$, $R = 91\%$ och Cl; $P < 0,01$, $\text{klorid} = 0,0003 \times \text{tid} - 1,02$, $R = 87\%$.



Figur 3.4. Halten av natrium (vit punkt) och klorid (svart punkt) i mg/l mätt i ytvatten (0,5m) vid Jungfrun från 1979 till 1999. Halterna har ökat statistisk signifikant Na; $P < 0,01$, $\text{natrium} = 0,002 \times \text{tid} + 0,2$, $R = 87\%$ och Cl; $P < 0,01$, $\text{klorid} = 0,0003 \times \text{tid} + 0,01$, $R = 74\%$.

Av de 19 större tillflöden samt utflödet vid Motalaström där mätningar av natrium och klorid har utförts inom ram för miljöövervakning av Vättern har 12 ökande halter av de båda jonerna medan ett tillflöde har haft ökande natriumhalter och samtidig oförändrade kloridhalter (Lillån). Ett tillflöde har haft ökande kloridhalter och oförändrade natriumhalt (Rödesund). Även Motalaström, Vätterns

utlopp uppvisar ökande salthalter vilket återspeglar sjöhalten (tabell 3.1.). De tillflöden med högsta medelhalter av natrium och klorid finns främst inom Jönköping tätortsområde (Dunkehallaån och Munksjöns utlopp), längs östsidan av Vättern (Huskvarnaån, Röttleån, Orrnäsån och Mjölnaån) liksom vid Habo tätort (Hökesån) och Bankeryd tätort (Lillån) (bilaga 1).

Tabell 3.1. Statistiska data av linjära regressioner på den tidsmässiga utveckling av natrium och kloridhalten i Vätterns tillflöden. + är ökande halter, - är minskande halter och n.s. inte signifikant ändrade halter. P anger signifikansnivå och R anger förklaringsvärdet i %.

Tillflöden	Natrium			Klorid		
	utveckling	signifikansnivå	R (%)	utveckling	signifikansnivå	R (%)
<i>Aspaån</i>	+	P<0,01	35	+	P<0,01	44
<i>Domneån</i>	+	P<0,01	12	+	P<0,01	15
<i>Dunkehallaån</i>	+	P<0,05	11	+	P<0,05	7
<i>Forsviksåån vid Forsvik</i>	+	P<0,01	18	+	P<0,01	39
<i>Gagnån vid Kvarnliden</i>	+	P<0,05	5	+	P<0,01	22
<i>Hammarsundet</i>	-	P<0,01	16	-	P<0,01	40
<i>Hjoån</i>	n.s.			n.s.		
<i>Huskvarnaån</i>	n.s.			n.s.		
<i>Hökesåån vid Habo</i>	+	P<0,01	6	+	P<0,01	11
<i>Knipån vid Kvarnkulla</i>	n.s.			n.s.		
<i>Lillån</i>	+	P<0,01	11	n.s.		
<i>Mjölnaån</i>	+	P<0,01	17	+	P<0,01	12
<i>Munksjöns utlopp</i>	-	P<0,01	23	-	P<0,01	27
<i>Orrnäsaån vid Ödeshög</i>	+	P<0,01	23	+	P<0,01	18
<i>Rödesund</i>	n.s.			+	P<0,01	24
<i>Röttleån vid Gränna kraftverk</i>	+	P<0,01	22	+	P<0,01	25
<i>Röttleån vid Röttle</i>	+	P<0,01	5	+	P<0,05	2
<i>Svedån vid Sved</i>	+	P<0,01	4	+	P<0,01	13
<i>Åmmelången</i>	+	P<0,01	9	+	P<0,01	14
<i>Motalaström vid Motala</i>	+	P<0,01	58	+	P<0,01	46

4. INSAMLING AV SALT-DATA FÖR VÄTTERN

De vägar som ingår i beräkningarna av tillförsel av NaCl är E4, riksväg 50, 49 och 195 samt väg 47/48 (tabell 2.2.). Saltdata har erhållits från Vägverket Region Sydöst, Region Mälardalen, Region Väst samt de kommuner som ligger inom området.

I datainsamlingen har ansträngningar gjorts att erhålla en längre tidsserie för användningen av salt runt Vättern. Detta har visat sig inte att vara möjligt då det enligt Vägverket och de involverade kommuner inte finns äldre data (före 1990-talet). Längst tidsserie finns för den del av riksväg 195 och 49 som finns

inom Västra Götalands län samt att dokumentation om saltning inom vissa kommuner finns från början eller mitten av 1980-talet (tabell 4.1). Bristen på tidsserie har gjort att den spridda saltmängden vintern 1999/2000 har ansetts vara representativ även för äldre spridningsår och har därför använts för budgetberäkningar. Denna approximation har varit nödvändig då vi trots upprepade förfrågningar inte lyckats få fram någon egentlig dokumentation om saltanvändning från 1960-talet och framåt.

Avsaknaden av tidsserie med avseende på saltanvändning är således en allvarlig brist i befintlig utvärdering och av kommande översyner.

Tabell 4.1. Spridd saltmängd (NaCl) i ton på vägarna runt Vättern. Data från Vägverket och kommunerna.

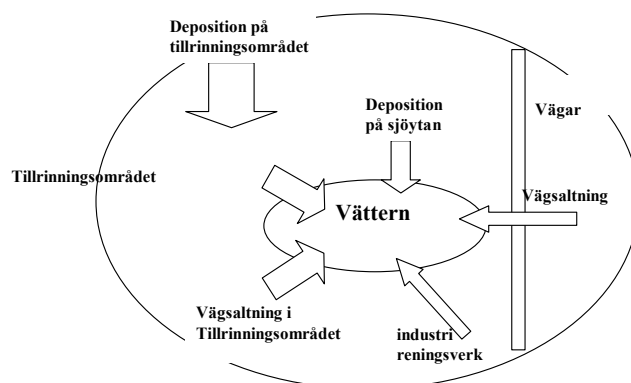
	00/99	99/98	98/97	97/96	96/95	95/94	94/93	93/92	92/91	anmärk
<i>E4</i>	830	1072	793	785						
<i>Riksväg 195 (län 6)</i>	535	690	510	505						
<i>Riksväg 195 (län 14)</i>	575	1209	891	634	1189	934	1449	979	828	saltning började 68/69
<i>Riksväg 49 (län 14)</i>	421	499	355	308	376	398	617	417	355	saltning började 68/69
<i>Riksväg 49 (län 18)</i>	237	201	210	176	197	159				
<i>Riksväg 50 (län 18)</i>	242	205	214	180	201	163				
<i>Riksväg 50 (län 5)</i>	715	923	682	676						
<i>Karlsborg</i>	0									
<i>Habo</i>	0									
<i>Hjo</i>	?									
<i>Askersund</i>	0									
<i>Motala</i>	342									
<i>Vadstena</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ingen saltning efter 1983, okänd mängd före saltning började 1985
<i>Ödeshög</i>	18	18	15	15	15	15	15	15	15	tidsserie från 84/85
<i>Jönköping</i>	1780	2715	1398	1503	1846	1800	2600	1700	1750	
<i>Salt (NaCl) totalt (ton)</i>	5700									

5. SALT BUDGET FÖR VÄTTERN

För att utvärdera vägsaltningens betydelse för den ökade salthalten i Vättern från början av 1970-talet fram tills 2000 har ett saltbudget beräknats. Budgeten grundar sig på de ändringar som skett över en 29-års period (medelförändring mellan 3-års medelvärden i 70-72 och 98-00).

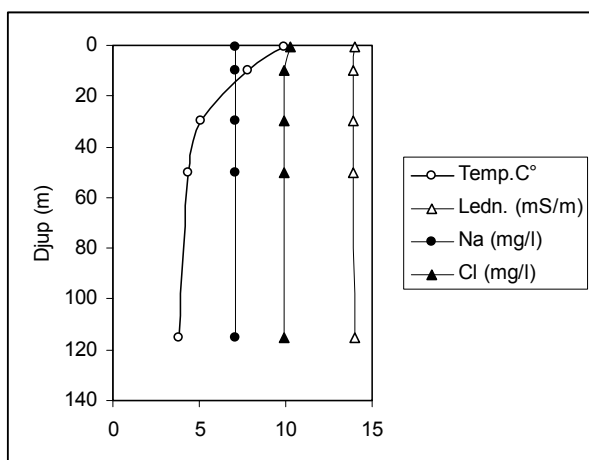
Salt kommer till Vättern via (se figur 5.1.)

- deposition på sjöytan (data från nederbördsstationen på Visingsö),
- deposition i tillrinningsområdet och därifrån via tillflöden till Vättern sjöytan (data från nederbördsstationen på Visingsö),
- från reningsverk som använder FeCl_3 som fällningskemikalie,
- från industri, främst kloranvändning inom pappersindustri,
- från vägsaltningen i Vätterns närområde,
- från vägsaltning i tillrinningsområdet.



Figur 5.1. Skiss av salts transportväga till Vättern.

Halten av natrium och klorid i Vättern har beräknats med "start" år 70-72 (ett medelvärde för 70-72) och ett "slut" år 98-00 (ett medelvärde för 98-00). Halterna har multiplicerats till hela Vätterns vattenvolym då det inte finns säkerställda vertikala skillnader i halterna (figur 5.2).



Figur 5.2. Profiler av temperatur (°C), ledningsförmåga (mS/m), natrium (mg/l) och klorid (mg/l) medelvärden 1998-2000 vid Edeskvärna.

I kloridbudgetberäkningarna (tabell 5.1) har det antagits att kloriddeposition på sjöytan och kloriddeposition på tillrinningsområdet, i ett långt tidsperspektiv, är i balans med halterna i Vättern. I och med att klorid inte har jonbyte i marken kommer deponerad klorid antingen via grundvatten, ytvattenavrinning eller direktdeposition för eller senare hamna i recipienten = Vättern. Det finns inte belägg för ökad deposition av

klorid inom tidsperioden 1970-2000, även om mellanårsvariationen i kloriddepositionen kan vara stor (Gustafsson och Hallgren-Larsson 2000). Det finns inte heller belägg för ökad nederbördsmängd och/eller ökad/minskat vattenstånd i Vättern. Vi antar därför att deposition av klorid inte bidrar till förändringar i halterna av klorid i Vättern, även om t ex avdunstning medför en koncentrationsökning av ämnen i vatten.

Tre nya lokala kloridkällor har emellertid uppstått inom den senaste 30-års period nämligen reningsverk, industri och vägsaltning.

Kloridanvändning i reningsverken där FeCl_3 används som fällningskemikalie började ungefär under början av 70-talet. Sammantaget rör det sig om ca 15.000 ton klorid under den senaste 29-års perioden (Roland Thulin, muntl.).

Kloridanvändningen i främst pappersindustrin har minskad sedan tidigt 1980-tal men utgör sammantaget drygt 56000 ton klorid under den 29-års perioden (Dan Björk, muntl.).

Vägsaltningen runt Vättern grundar sig på data från Vägverket och relevanta kommuner (tabell 4.1.). En egentlig tidsserie av spridd mängd salt har inte varit möjlig att få då statistik över spridda saltmängder endast kunnat erhållits för de senaste 3-4 åren. Historisk spridda saltmängder baseras därför, i brist på annat, på data från vintern 99/00 som visar sig

utgöras av ett sk. ”normalår”. Den spridda saltmängden har antagits vara konstant över den senaste 29-års perioden. Detta är ett rimligt antagande baserat på att det nationella saltförbrukningen i Sverige inte har ändrat sig betydande under denna period.

Vägsaltningen i hela tillrinningsområdet (utanför E4, riksväg 49, 50 och 195) har inte varit möjligt att uppskatta. Troligen har även denna en betydelse för salthalten i tillflöden vari ökande salthalter har noterats (tabell 3.1) och slutligen för Vättern som recipienten. Flera nya källor för klorid finns dokumenterade inom den senaste 30-års perioden. Av stor betydelse är vägsaltningen som spritt ca. 240000 ton klorid. Denna mängd motsvarar ca 42 % av kloridökningen.

Som jämförelse kan nämnas att det på Vättern årligen deponeras via nederbörden ca 1400 ton Cl, eller 42.000 ton för hela 30-års perioden.

Budgeten för klorid är, på grund av klorids kemiska egenskaper och kända källor, lättare beräknad än budgeten för natrium. En oförklarad ”rest” på 29 % bör anses som acceptabelt. Med tanke på klorids kemiska egenskaper kommer även den klorid som sprids genom vägsaltning i Vätterns hela tillrinningsområde att nå Vättern. Denna saltanvändning har inte kunnat uppskattas i denna studie och finns alltså inte med i budgeten.

Tabell 5.1. Budgetberäkning för klorid.

	Klorid (ton)	Relativ andel (%)
<i>Mängd i Vättern (70-72)</i>	511400	
<i>Mängd i Vättern (98-00)</i>	751100	
Ökning	239700	
Tillskott		
<i>Industri (70-00)</i>	56250	23 %
<i>Reningsverk (70-00)</i>	15000	6 %
<i>Vägsaltning (70-00)</i>	100800	42 %
<i>rest (t.ex. övrig vägsaltning , övrig industri. i tillrinningsområdet, förändring i tillflöden)</i>	67650	29 %

Tabell 5.2. Budgetberäkning för natrium.

	Natrium (ton)	Relativ andel (%)
Mängd i Vättern (70-72)	382600	
Mängd i Vättern (98-00)	528400	
Ökning	145800	
Tillskott		
Vägsaltning (70-00)	64500	44 %
rest (t.ex. vittring, övrig vägsaltning mm. i tillrinningsområdet förändring i tillflöden)	81300	56 %

För natrium ser budgeten lite annorlunda ut. Natrium är en baskatjon som har stor jonbytningskapacitet och som naturligt vittra från berggrunden, en process som påskyndas vid t ex markförsurning. Även för natrium sker en viss deposition både direkt på sjöytan och i tillrinningsområdet. Utifrån samma argument som för klorid har depositionen och halten i Vättern antagits vara i balans. Enda nya natriumkälla inom den senaste 30-års perioden av betydelse är vägsaltningen som spritt ca. 64500 ton natrium. Denna mängd motsvarar ca 44 % av ökningen. Källor till övriga faktorer än vägsalt har ej penetrerats närmare i föreliggande studie.

Budgeten för natrium är, på grund av natriums kemiska egenskaper och på grund av att andra externa källor än vägsaltningen, inte kan bestämmas, mer svårtolkad. En ”rest” på

drygt 81000 ton (56%) motsvarar t ex vittringsprocessor och jonbyte i tillrinningsområdet. Natriumbidraget från vittringsprocesser har enligt våra beräkningar svarat mot en årlig vittringshastighet på 27 mekv/m² under den senaste 29-års perioden vilket stämmer bra överens med de beräknade vittringshastigheter från ståndortskartering på 30-60 mekv/m² (Skogsstyrelsen 1997). Försurningspåverkan i Vätterns tillrinningsområdet är inte direkt påtaglig.

Som jämförelse kan nämnas att det på Vättern årligen deponeras via nederbörden 750 ton Na. För hela 30-års perioden blir detta 22.500 ton Na.

Enligt budgetberäkningarna har vägsaltningen runt Vättern bidraget med drygt 40 % av den ökande saltmängden i sjön. Vägsaltets bidrag kan även vara större om vägsaltningen i de resterande delarna av tillrinningsområdet hade kunnat inkluderas.

6. TRAFIKRELATERADE FÖRORENINGAR

Trafik och fordon ger upphov till föroreningar både direkt (slitage av broms, korrosion av plåt, vägslitage m.m.) och indirekt (bränsle och användning av bilvårdsprodukter) (tabell 6). Föroreningsbelastningen på Vättern från

fyra av dessa processor har beräknats/uppskattats; bränsle, däckslitage, broms-
slitage och vägslitage liksom transporten av föroreningar med vägdagvatten är uppskattat. På de övriga processer finns inte tillräckligt data för tillförlitliga beräkningar.

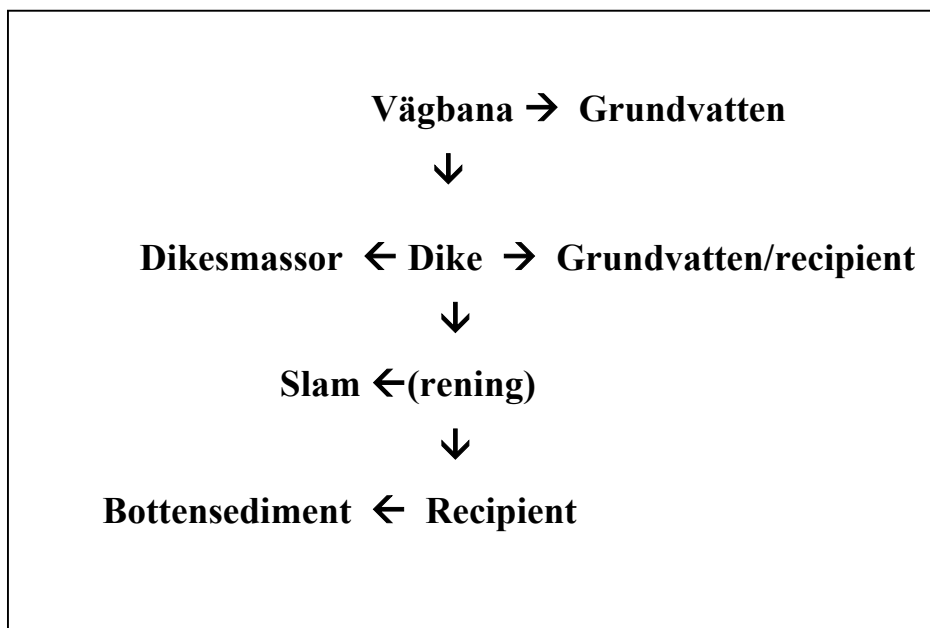
Tabell 6.1. Olika föroreningar från trafik och fordon från Vägverket (1995) och Bergbäck (1998).

Process	Föroreningar
<i>bränsle</i>	CO, CO ₂ , NO _x , kolväte (t ex eten, acetylen, toluen och xylen), partiklar som innehåller tungmetaller och polyaromatiska kolväten (PAH)
<i>däckslitage</i>	polyaromatiska kolväten (PAH), gummipolymerer, zinkoxid, svavel, sot, tungmetaller
<i>däckdubbslitage</i>	metallfragment
<i>broms- slitage</i>	tungmetaller
<i>korrosion</i>	tungmetaller från färgpigment,
<i>spill från fordon</i>	bränsle, oljor och fett som innehåller betydande mängder tungmetalltillsatser, frostskyddsmedel, rostskyddsmedel
<i>balansvikter</i>	bly
<i>fordonstvätt</i>	olja, tensider, organiska lösningsmedel, tungmetaller
Vägbanor	
<i>vägslitage</i>	bitumen som innehåller, polyaromatiska kolväten (PAH), hartser, asfaltener, klorerade organiska ämnen, fettaminer, fibrer, gummi, pigment (järn- och kromoxid), tungmetaller
<i>slitage av marke- ringsfärg</i>	olja, gummi, plast, pigment t ex TiO ₂
<i>utlakning från vägkroppen</i>	cellplast, lättklinker, olika restprodukter t ex massungsslagg (svavel), ferrokromslag (tungmetaller och cyanid), kolbottenaska (klorid och sulfat), flygaska (metaller) och avfallsslagg

Föroreningsspridning

Förorening från trafik och vägbanor sprids via luften, vägdagvatten och stänk. De luftburna föroreningarna förekommer antingen som gaser eller i partikelform. Partiklarna kan bestå av fast material, vätska eller en kombination av dessa. Gas kan vara löst i vätska eller adsorberad till partiklar. Ju större partiklarna är desto närmare vägen avsätts de. Föroreningskomponenter som är associerade till större partiklar, främst metaller och vägslitage material, avsätts i normala fall på vägbanan eller inom ett område på 0 – 100 meter från vägbanan. Mindre partiklar och gaser som till exempel kolväten (inklusive PAH), koldioxid (CO₂) och kväveoxider (NO_x) sprids däremot primärt via atmosfären längre bort. Även bly kan vara associerat till små partiklar och spridas långväga via atmosfären. (Bjelkås och Lindmark 1994).

Föroreningar som transporteras med vägdagvatten varierar kraftigt över tiden med bland annat mängden nederbörd, vägkonstruktion, omgivande markanvändning, drift- och underhållsåtgärder och trafikkaraktistik (Vägverket 1995). Snösmältvatten innehåller betydligt högre koncentrationer av föroreningar än avrinningsvatten efter regnväder då snötäckets har legat kvar en längre tid och föroreningarna har kunnat ackumuleras då snöflingor kan fungera som ett ”adsorberande filter” (Vägverket 1995). Från vägbanan kan föroreningar avrinna till grundvatten via infiltration, till diken, till recipienter eller dagvattendammar, eller fastläggas i slam antingen i dikesmassor eller i kommunala reningsverk (figur 6.1.).



Figur 6.1. Principskiss över vägdagvattnets avrinning från vägbanan, delvis från Bjelkås och Lindmark 1994.

Infiltration av föroreningar till grundvattnet sker genom vägbanorna eller via infiltration från diken och /eller ledningar. Nylagda vägar är i princip ogenomtränglig för vatten. Med tiden ökar dock ytbeläggnings genomsläpplighet på grund av sättningar av asfalt, frostsprängningar, temperatursprickor och utmattningsbrott med resultatet att en viss infiltration till grundvattnet sker (Vägverket 1995). Även under transporten från vägbana till recipient avgår en del vatten till grundvattnet på grund av infiltration och/eller läckande ledningar (Bjelkås och Lindmark 1994).

Fastläggning av föroreningar i dikesmassor har samband med jordens sammansättning. Finkorning och humusrik jord har en större specifik yta och kan därför adsorbera större mängd ämnen (till exempel metaller) än en grovkornig och humusfattig jord (Vägverket 1995). Speciellt bly binds hårt till organiskt material. Även pH har betydelse då ett flertal tungmetallers rörlighet i marken är beroende av pH. Lågt pH ökar rörligheten av till exempel kadmium och zink vilket kunnat ses i tidsstudier (referenser i bl a Hein 2000). De olika petroleumföreningarna har en opolär yta

och fastläggs därför inte på jordpartiklar. Diken rensas för att underhålla dikets hydrauliska funktion genom att skala bort de översta drygt 10 cm som deponeras eller nyttiggörs som fyllning i anläggningsprojekt. Slam från dagvattenbrunnar klassas däremot som farligt avfall och omhändertagas. Om vägdagvattnet transporteras till kommunala reningsverk fastläggs föroreningarna i slammet och problem med gränsvärden för farliga ämnen kan uppstå om slammet skall saluföras eller överlåtas till jordbruksändemål (Vägverket 1995).

En del av vägdagvattnet föroreningar når emellertid recipienten genom ytavrinning. Hur mycket dagvattnet innehåller beror på hur lång sträcka dagvattnet runnit. När föroreningar väl når recipienten är dennas storlek, strömningsförhållande m.m. avgörande för hur stor utspädningseffekten blir vilket i sin tur påverkar toxiciteten. En del föroreningar hamnar i bottensedimentet, ofta tungmetaller som binds till större partiklar (Vägverket 1995). Fastläggningen i sedimenten beror som för fastläggning i diken och mark på den mineraliska sammansättningen, pH, oxidationsförhållande, biologisk störning av sedimenten

m.m. Stänk; däcksprut och luftpustar från fordon, kan transportera föroreningar till exempel däckslitageprodukter och tungmetaller, längre bort från vägbanan än vad avrinningen kan. Detta har störst betydelse vid våt vägyta (Bjelkås och Lindmark 1994).

6.1. Trafikbelastning

Trafikbelastningen runt Vättern är beräknat utifrån data erhållit från Vägverket tabell 2.2.). Vid hjälp av kartskikt i GIS-programvara har den totala längd och bred av vägbanorna beräknats liksom ytbeläggningen är känd. Siffror för årlig dygns medeltrafik (ÅDT) för olika vägsträckor har erhållits från Vägverket och utifrån dessa data har antalet

körda kilometer beräknats delat på personbilar och lastbilar/bussar. I avgasberäkningarna antas att 90 % av personfordon har katalysator och att 10 % inte har katalysator.

6.2. Bensin och diesel

Förbränningsprocessen av bensin och diesel ger upphov till en rad förorenande ämnen. De kvantitativt mest betydande komponenter är koldioxid (CO₂), kolmonoxid (CO), kolväten (HC) och kväveoxider (NO_x). Bensin innehåller även en lång rad miljöfarliga komponenter som partiklar, tungmetaller och PAH (Bjelkås och Lindmark 1994) (tabell 6.2).

Tabell 6.2. Utsläppsvärde från olika fordonstyper av koldioxid (CO₂), kolmonoxid (CO), kolväten (HC) och kväveoxider (NO_x). Data från 1) Jensen, Gudmundsson, Fenger och Christensen 1998 och 2) Lenner 2000 (interval anger kall versus varm motor. Alla siffror i g/kilometer. För beräkning av partiklar är använd 0,1 för bensinbilar.

Biltyp	CO ₂	CO	HC	NO _x	partiklar
Bensinbil utan katalysator ¹	165	15	2,0	2,5	< 1 (0,1)
Bensinbil med katalysator ¹	170	5	0,6	0,5	< 1 (0,1)
Dieselfordon ¹	900	5	1,0	10,0	1
Bensinbil med katalysator ²			2,3-0,1	0,8-0,5	

De sammanlagde utsläppen av gaser och partiklar runt Vättern uppgår till drygt 200.000 ton CO₂, 4500 ton CO och 1500 ton NO_x. Drygt 600 ton kolväte släpps ut medan partiklar utgöt 160 ton (tabell 6.3). Beräkningarna är baserat på ”standardvärden” från Jensen m

fl (1998) (tabell 6.2.). De här beräknade utsläppsmängderna stämmer överens med de jämförbara NO_x värden som angivs i Jalde-mark (1998) vilka beräknats utifrån Airviro-modellen.

Tabell 6.3. Beräkningar av utsläpp av gaser och partiklar runt Vättern.

Utsläpp	CO ₂ (ton/år)	CO (ton/år)	HC (ton/år)	NO _x (ton/år)	partiklar (ton/år)
Runt Vättern	202742	4658	609	1429	162

Från Ward 1990 i Bergbäck (1998) finns intervaller av tungmetallinnehållet i bensin och diesel (tabell 6.4). Bly, nickel och zink är de tungmetaller som finns i störst mängd medan till exempel kobolt finns i mycket små mängder. Enligt Bergbäck (1998) är haltvärdet be-

roende av mätmetod och värden i den nedre delen av intervallet bör användas (Bergbäck 1998). För beräkning av tungmetallutsläpp från bensin och diesel har det antagits att alla personbilar kör på bensin med en förbrukning på 15 km/l och alla lastbilar kör på diesel med

en förbrukning på 5 km/l (tabell 6.5). Beräkningarna, min- och maxvärden, visar att bly- och zinkutsläppen är störst med drygt 95 kg/år respektive 12 kg/år som min-

värden. De andra tungmetallerna släpps ut i mängder mindre än 1 kg/år från förbränning av bensin och diesel (tabell 6.5).

Tabell 6.4. Intervall av tungmetallhalter i bensin och diesel. Data från Ward 1990 i Bergbäck 1998.

Ämne	Bensin mg/l	Diesel mg/l
<i>Bly</i>	2 – 650	0,14 – 0,47
<i>Nickel</i>	< 0,01 – 19,14	0,04 – 4,25
<i>Zink</i>	< 0,2 – 5,23	0,17 – 2,34
<i>Koppar</i>	0,005 – 4,48	0,002 – 0,49
<i>Kadmium</i>	0,018 - < 1,00	0,009 – 0,039
<i>Krom</i>	< 0,001 - < 0,3	0,0002 – 0,0017
<i>Kobolt</i>	0,0001 – 0,0004	0,0001 – 0,0008

Tabell 6.5. Min- och maxutsläpp av tungmetaller från användning av bensin och diesel.

Ämne	Bensin (kg/år)	Diesel (kg/år)	Totalt (kg/år) minimi
<i>Bly</i>	93,1-30250	2,6-98	95,7
<i>Zink</i>	9,3-243	3,2-44	12,4
<i>Nickel</i>	0,5-891	0,8-80	1,3
<i>Kadmium</i>	0,8-47	0,2-0,7	1,0
<i>Koppar</i>	0,2-208	0,04-9	0,2
<i>Krom</i>	0,05-14	0,004-0,03	0,05
<i>Kobolt</i>	0,005-0,02	0,0018-0,02	0,007

6.3. Däckslitage

Däcktillverkning baseras till stor del på fossil olja som är råvara till både gummi och tillsatserna kimrök/sot och aromatisk olja, ofta hög-aromatisk olja som är cancerogen och toxisk för vattenlevande organismer. Men däcktillverkning innefattar även vulkmedel (svavel), acceleratorer, aktivatorer (zinkoxid, zinksalter), fördröjningsmedel, åldringsskydd och hartser varav flera uppvisar någon form av hälso- och/eller miljöfarlighet (Naturvårdsverket 1995). När däckets slitbana nöts sprids dess innehåll i omgivningarna. I Sverige sprids cirka 9.000 - 10.000 ton gummipartiklar årligen på detta sätt (Naturvårdsverket

1995, Vägverket 1995). Även metallfragment (volfram och titan) från dubbar sprids vintertid men denna föroreningskälla är försumbar (Bergbäck 1998).

Utsläpp av föroreningar från däckslitage runt Vättern är beräknat utifrån standardvärden (tabell 6.6 och tabell 2.2) och visar att utsläppen av gummipolymer, sot och aromatiska kolväten är drygt 70 ton/år, 35 ton/år respektive 30 ton/år. Zinkoxid släpps ut i en mängd på 3 ton/år. Av tungmetallerna släpps mest bly med 174 kg/år, medan koppar, krom och zink släpps ut i mängder runt 30-40 kg/år (tabell 6.6).

Tabell 6.6. Utsläpp av olika ämnen från däckslitage. Standarddata från 1) Vägverket 1995. Siffror gäller en vägsträcka på 1 km med 15000 ÅDT varav 10 % är lastbilar. 2) från Muschack 1990 i Storhaug 1996, huvudväg uppskattat till 3000 ÅDT.

	standardvärde ¹ ton/km*år – ² g/ km*år	runt Vättern (ton/år)
<i>gummistoft</i> ¹	1	145
fördelat på		
<i>gummipolymere</i> ¹	0,50	72
<i>sot</i> ¹	0,25	36
<i>aromatiska kolväten</i> ¹	0,20	29
<i>övriga tillsatser</i> ¹	0,03	4
<i>zinkoxid</i> ¹	0,02	3
<i>svavel</i> ¹	0,01	1
<i>Bly</i> ²	241	0,174
<i>Koppar</i> ²	55	0,040
<i>Krom</i> ²	40	0,029
<i>Nickel</i> ²	38	0,028

6.4. Bromsslitage

Bromsbeläggning består i huvudsak av järn, koppar, nickel, krom och bly. Tidigare innehöll de även asbest. I dag är bromsbeläggningar asbestfria men i övrigt med liknande metallinnehåll. Bromsslitage ger även viss mängd zink. (Bjelkås och Lindmark 1994). Det finns dock en stor spännvidd i rapporterade metallhalter i bromsbelägg och tillverkare och ålder på beläggen är av avgörande betydelse liksom fordonstyp (Bergbäck 1998).

Tabell 6.7. anger standardvärde för utsläpp av tungmetaller vid däckslitage och de beräknade värden för vägarna runt Vättern. Bromsslitage ger upphov till främst kopparutsläpp med drygt 600 kg/år. Nickel släpps ut i en mängd på ca. 150 kg/år medan utsläppet av bly och krom är på ungefär 50 kg/år. Utsläppen av zink från bromsslitage är ca. 3 kg/år.

Tabell 6.7. Utsläpp av tungmetaller från bromsslitage. Standarddata från Muschack (1990 i Storhaug 1996) på huvudväg uppskattat till 3000 ÅDT.

	standardvärde (g/ km*år)	runt Vättern (kg/år)
<i>Koppar</i>	838	607
<i>Nickel</i>	204	148
<i>Bly</i>	79	57
<i>Krom</i>	55	40
<i>Zink</i>	3,7	3

6.5. Vägslitage

Vägbanor är utsatt för ett ständigt slitage och stora mängd vägbeläggning slits bort varje år, ungefär 450 Mton/år (1987/88, Mton = 1.000.000 ton) i Sverige (Vägverket 1995). Slitaget är beroende av ytbeläggningen och utveckling av nya typer (HABS beläggning). Nya typer däckdubb har nedsatt slitaget och vägverkets prognos för vägslitage år 1999/2000 är 150 Mton/år (Vägverket 1995), dvs 1/3 av nivån 1987/1988. Vägbeläggningen innehåller även tungmetaller dels i stenmaterialet dels i bitumen, det svarta bindemedlet i asfaltmassor (Bergbäck 1998). Uppskattning av tungmetallutsläppen från vägslitage är be-

lagt med osäkerhet då många parametrar har inflytande på slitaget; vägbeläggningens sammansättning, vädret, saltning, fordonshastighet, axellast och ringtryck (Bergbäck 1998). Tabell 6.8. anger de beräknade mängden föroreningar från vägslitage runt Vättern. Beräkningarna visar att vägslitage ger upphov till ungefär 5000 ton stenmaterial per år medan utsläppet av bitumen är på drygt 200 ton/år. Av tungmetallerna frigörs mest nickel och krom med 5,9 ton/år respektive 1,8 ton/år. Även bly zink och koppar frigörs vid vägslitage i mängder runt 0,5 ton/år (tabell 6.8).

Tabell 6.8. Utsläpp av olika ämnen från vägslitage. Standardvärde från 1) Vägverket 1995. Siffror gäller en vägsträcka på 1 km med 15000 ÅDT varav 10 % är lastbilar. 2) från Muschack 1990 i Storhaug 1996 på huvudväg uppskattat till 3000 ÅDT.

	standardvärde	runt Vättern (ton/år)
	¹ ton/ km*år – ² g/ km*år	
vägslitage ¹	34	4899
FÖRDELAT PÅ		
sten ¹	32,3	4654
bitumen ¹	1,7	245
Nickel ²	8114	5,9
Krom ²	2476	1,8
Zink ²	1173	0,9
Bly ²	707	0,5
Koppar ²	354	0,3

6.6. Vägsaltning

Vägsalt (NaCl) innehåller inte bara natrium och klorid utom även andra ämnen, bland annat tungmetaller. Tabell 6.9. anger analysvärden på tungmetaller av amerikansk bergsalt och motsvarande beräkningar för saltspridningens bidrag runt Vättern. Beräkningarna har gjorts under det antagandet att

analyssiffrorna för amerikansk bergsalt motsvarar den typ salt som används på svenska vägar. Vägsaltning ger upphov till drygt 40 kg/år bly och nickel medan koppar och zink tillförs i mängder på runt 10-20 kg/år. Krom och kadmium tillförs i minst mängd drygt 5 kg/år via vägsaltning (tabell 6.9).

Tabell 6.9. Tungmetallhalten i bergsalt (Bjerkås & Lindmark 1994) och det beräknade utsläpp runt Vättern via vägsaltning.

	Standardvärde (mg/kg)	runt Vättern (kg/år)
<i>Bly</i>	6,29	42
<i>Nickel</i>	6,29	42
<i>Koppar</i>	3,15	21
<i>Zink</i>	1,57	10
<i>Krom</i>	1,02	7
<i>Kadmium</i>	0,94	6

6.7. Vägtagvatten

Vägtagvatten karakteriseras av en mångfald föroreningar där de viktigaste är organiska föreningar (petroleumprodukter), näringsämnen (fram för allt kväve), tungmetaller och salter (Jaldemark 1998). Avrinningen från vägbanorna har beräknats från vägytans areal och en årlig nederbörd på 655 mm och en avrinningskoefficient på 0,9 (Jaldemark

1998). Tabell 6.10. anger det beräknade interval av föroreningsmängden som förs bort med vägtagvatten. Suspenderat material för med vägtagvatten i en mängd svarande mot 250 till drygt 10.000 ton/år medan mängden oljor är mellan 20 och 900 ton/år. Den biologiska syreförbrukningen som vägtagvattnet ger upphov till är runt 20-70 ton/år (tabell 6.10).

Tabell 6.10. Interval för standardvärden för halter av föroreningar i vägtagvatten (Vägverket 1995) och de beräknade värden runt Vättern.

	standardvärde mg/l	runt Vättern ton/år
<i>Vägtagvatten (m³/år)</i>		2 233 550 m ³
<i>Suspenderat material</i>	110-5700	246 – 12731
<i>Oljor</i>	7,5-400	17 – 893
<i>Biologisk syreförbrukning</i>	12-32	27 – 71

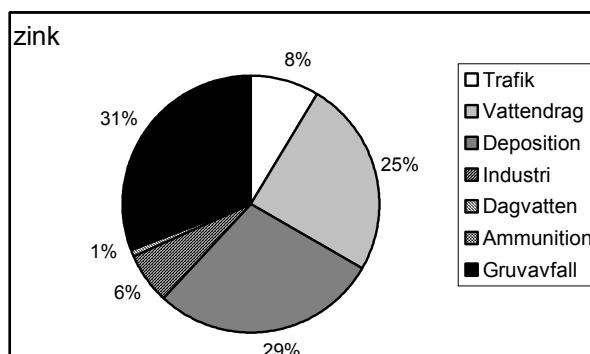
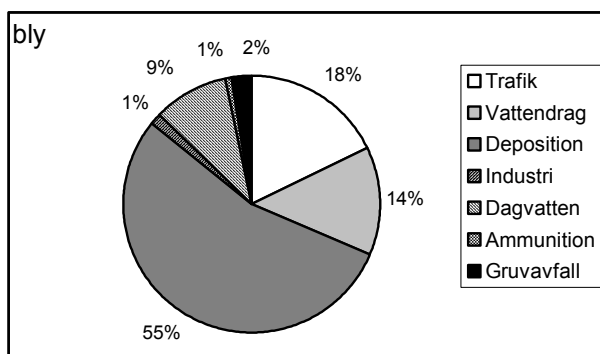
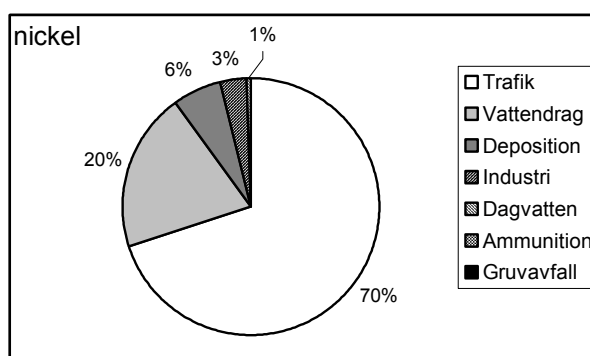
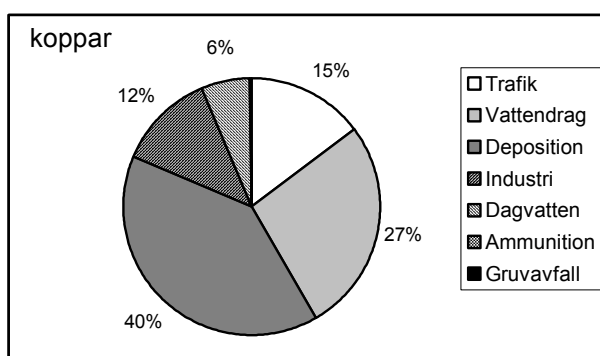
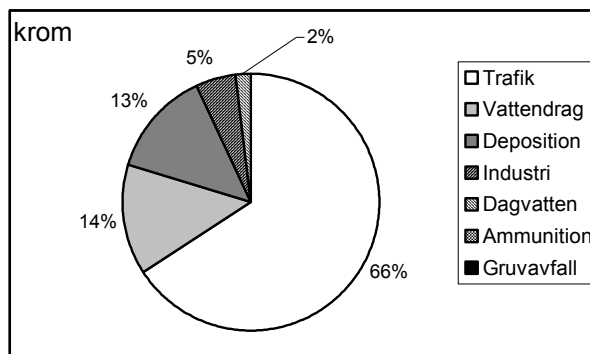
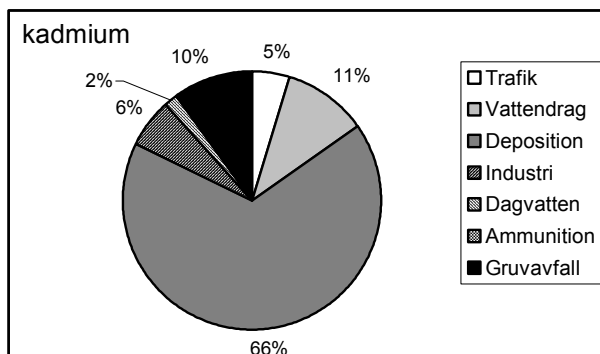
De samlade trafikallstrade föroreningar framgår av tabell 6.11. För tungmetallerna är bidraget från trafiken jämfört med den totaltillförsel som tidigare beräknats (Vätternvårdsförbundet 1996) och som inkludera vattendrag, deposition, gruvindustri, verkstadsindustri, skogsindustri, kommunala ARV, dagvattnet (exkl. regn), ammunition och gruvavfall (Vätternvårdsförbundet 1996) men inte den

trafikallstrade föroreningen (figur 6.2.). För krom och nickel överstiger de trafikallstrade föroreningarna den beräknade totaltillförsel och utgör runt 70 % av den totala förorening medan siffrorna för koppar, bly och zink är 15 %, 18 % respektive 8 %. Kadmium tillförs främst via tillflöden och deposition, trafikrelaterat utsläpp av kadmium är 5 % av den totala tillförsel.

Tabell 6.11. Beräknade trafik och fordonsrelaterade föroreningar. Totaltillförsel är den trafikrelaterade tillförsel + data på tungmetalltillförsel ifrån vattendrag, deposition, gruvindustri, verkstadsindustri, skogsindustri, kommunala ARV, dagvatten (exkl. regn), ammunition och gruvavfall (Vätternvårdsförbundet 1996).

Förorening	Trafikalstrat förorening	Beräkning av trafikalstrad förorening	
	runt Vättern (ton/år)	Totalt tillförsel	Trafikens andel (%)
<i>Koldioxid (CO₂)</i>	202742		
<i>Kolmonoxid (CO)</i>	4658		
<i>Sten</i>	4654		
<i>Kväveoxid (NO_x)</i>	1429		
<i>Kolväten (HC)</i>	609		
<i>Bitumen</i>	245		
<i>Partiklar</i>	162		
<i>Gummipolymere</i>	72		
<i>Sot</i>	36		
<i>Aromatiska kolväten</i>	29		
<i>Övriga tillsatser</i>	4		
<i>Svavel</i>	1		
<i>Tungmetaller</i>	kg/år	kg/år	
<i>Nickel</i>	6091	8691	70 %
<i>Zink och zinkoxid</i>	3873	45573	8 %
<i>Krom</i>	1868	2841	66 %
<i>Koppar</i>	924	6284	15 %
<i>Bly</i>	879	4959	18 %
<i>Kadmium</i>	7	150	5 %
<i>Kobolt</i>	0,007		

Figur 6.2. Diagram av fördelningen av tungmetallförorening till Vättern. Data från föreliggande studie och från Vätternvårdsförbundet (1996).



7. RISKANALYS AV OLYCKOR MED FARLIGT GODS

Följande avsnitt innehåller analys av riskerna vid olyckor med farligt gods och skall besvara frågorna:

- Vilken är sannolikheten att farligtgods-olyckor inträffar vid Vättern?
- Vilka kemiska ämnen har störst sannolikhet att bli inblandade i en olycka med farligt gods?
- Vilka ämnen ger störst skada om de hamnar i Vättern?
- Vilka blir konsekvenserna för Vättern vid utsläpp av ovanstående ämnen?

Här identifieras ej några specifika punkter kring Vättern som är särskilt känsliga för utsläpp av farligt gods. För detta hänvisas istället till det arbete som utförts av Vägverket konsult (Enwall & Lagerkvist 1999 och 2000, samt Enwall 2001), där man klassificerar olika punkter kring Vättern med avseende på konsekvens, men ej risk.

Risk definieras vanligen som sannolikheten att en olycka ska inträffa multiplicerat med dess konsekvens (Räddningsverket, 1996).

Farligt gods

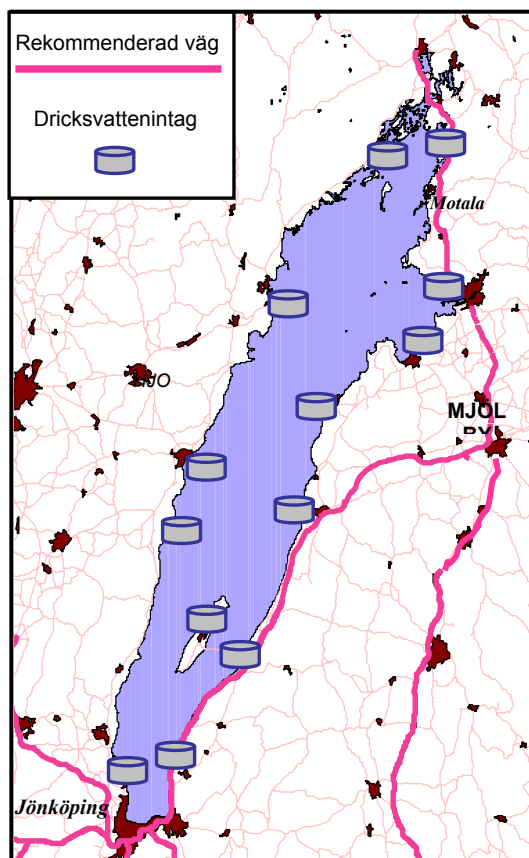
Det finns ingen enkel definition av farligt gods, utan det definieras som gods, vilka omfattas av vissa bestämmelser enligt SRVFS (Statens räddningsverks författningssamling). Farligt gods kan beskrivas som gods med egenskaper vilka under vissa omständigheter kan vara skadebringande och ge upphov till mycket allvarliga konsekvenser för människor, miljö och egendom. Exempel på sådant gods är kemikalier och produkter innehållande kemikalier där speciella åtgärder måste vidtagas för att en acceptabel säkerhet skall kunna upprätthållas (Räddningsverket 1997).

Farligtgodsolycka = Olycka där det farliga ämnet kommit ut i miljön från avsedd behållare

8. TRANSPORT AV FARLIGT GODS VID VÄTTERN

Flest transporter av farligt gods sker på de vägar som vägverket rekommenderat för transport av farligt gods. Totalt transporteras årligen ca 15 miljoner ton farligt gods på vägar i Sverige (Räddningsverket 1997). Vättern är i hela sin omkrets tätt omgärdad av högtrafikerade vägar på vilka många transporter med farligt gods förekommer. Kring Vättern är E4:an mellan Jönköping och Ödeshög och riksväg 50 mellan Motala och Askersund, samt riksväg 47/48 från Jönköping mot

Falköping rekommenderade vägar för transport av farligt gods (fig.8.1). På den mest trafikerade sträckan, E4:an mellan Jönköping och Ödeshög, transporteras mellan 29 000 och 84 000 ton farligt gods per år (Jaldemark, 1998). Även de vägar som inte är rekommenderade för farligtgodstransport belastas också med transporter för farligt gods för att destinationer (t ex bensinmackar) belägna vid icke-rekommenderade färdvägar ska nås. Av Vätterns totalt 13 dricksvattenintag är sex belägna i närheten av rekommenderad färdväg för transporter av farligt gods. Dessa dricksvattenintag är belägna vid Jönköping, Huskvarna, Gränna, Ödeshög, Motala och Askersund (fig. 8.1).



Figur 8.1. Rekommenderade färdvägar för farligt gods, samt kommunala dricksvattenintag kring Vättern.

Årligen sker ungefär 20 farligtgoodsolyckor i Sverige. Flera av dessa gäller tankbilar där tusentalsliter bensin eller olja runnit ut i miljön (Räddningsverket 1996). Generellt utgör farligtgodstrafiken 1 promille av den totala trafiken. På de vägar som är rekommenderade för farligtgodstransporter är dock andelen högre, t ex utgörs 9 promille av fordonstrafiken på sträckan Jönköping-Gränna av farligtgodstransporter (Jaldemark 1998).

Utsläpp från en olycka med farligt gods kan nå Vätterns vatten direkt från läckande lastbil som hamnat i vattnet eller genom att rinna ovanpå marken eller via mark- och grundvatten efter utsläpp på mark. ner i Vätterns vatten Penetrationshastigheten varierar mycket på olika marktyper och för olika ämnen (tabell 8.1).

Tabell 8.1. Penetrationshastigheter för olika ämnen i morän/sand och lera

Ämne	Marktyp	Penetrationshastighet
Bensin	morän/sand	60 m/dygn
Eldningsolja	morän/sand	30 m/dygn
Fenol	morän/sand	20 m/dygn
Svavelsyra	morän/sand	4 m/dygn
Alla ämnen	lera	~0 m/dygn

Enligt räddningsverkets författningssamling (SRVFS 1998:8) delas kemiska ämnen in i följande klasser:

- Explosiva ämnen och föremål
- Övriga gaser (ej giftiga) t ex brandfarliga
- Brandfarliga vätskor
- Brandfarliga fasta ämnen, självtändande ämnen och ämnen som utvecklar brandfarlig gas vid kontakt med vatten
- Självantändande ämnen som utvecklar brandfarlig gas vid kontakt med vatten
- Oxiderande ämnen
- Organiska peroxider
- Giftiga ämnen
- Smittförande ämnen (virus, bakterier, genmodifierade organismer mm)
- Radioaktiva ämnen
- Frätande ämnen
- Övriga farliga ämnen, inklusive miljöfarliga ämnen, litiumbatterier etc

Av dessa klasser dominerar brandfarliga vätskor (t ex bensin, diesel, eldningsolja) som normalt utgör ca 75 % av den totala

transporten av farligt gods (Räddningsverket, 1997). Näst vanligast är frätande ämnen med ca 10 %, medan övriga utgör enstaka procent eller promille (Räddningstjänst Jönköping 2001).

9. SANNOLIKHET FÖR OLYCKA MED FARLIGT GODS VID VÄTTERN

Att beräkna det förväntade antalet farligtgoodsolyckor kan göras antingen genom att använda sig uteslutande av befintlig olycksstatistik eller schablonvärden för olika vägtyper. Ett stort material om olycksstatistik krävs för att kunna användas som statistiskt underlag då beräkningarna endast baseras på olycksstatistik. Beräkningar med schablonvärden har fördelen att de är direkt jämförbara med andra sträckor som beräknats med samma modell. I denna studie används schablonvärden för sannolikhetsberäkningar. Båda beräkningsmodellerna presenteras i Räddningsverkets rapport "Farligt gods – riskbedömning vid transport" (1996).

9.1. Förväntat antal olyckor - beräkningsmetod

Den data som behövs för att kunna beräkna det förväntade antalet olyckor per år är:

- Vägtyp (hastighetsbegränsning, antal filer mm)
- Väglängd (km)
- Antal olyckor / år (ej kollisioner med vilt eller cyklister)
- Fordon / dygn (=ÅDT)
- Antal fordon skyltade med farligt gods per dygn

Det förväntade antalet olyckor beräknas med formeln:

Antalet fordon skyltade med farligt gods inblandade i trafikolyckor / år

$$=O((Y*X) + (1-Y)(2X-X^2))$$

För att få antalet farligtgoodsolyckor per år där utsläpp av farliga ämnen sker multipliceras ovanstående med ett index.

O = Antalet polisrapporterade trafikolyckor på vägdelen per år (exkl. olyckor med gående, cyklister eller vilt)

Y = Andel singelolyckor på den studerade vägdelen (schablonvärde enligt metod)

X = Andelen transporter skyltade med farligt gods (antal fordon skyltade med farligt gods / ÅDT)

9.2. Vilka vägsträckor analyseras?

De sträckor som analyseras i denna studie är:

- Jönköping - Ödeshög (E4:an)
- Ödeshög – Motala (riksväg 50)
- Motala – Askersund (riksväg 50)
- Askersund – Karlsborg (riksväg 49)
- Karlsborg – Jönköping (riksväg 195)

Ovanstående uppdelning har gjorts då vägsträckorna bedömts relativt homogena avseende trafikbelastning, andel farligtgoods-transport, säkerhet mm.

9.3 Resultat

Totalt för Vättern kan enligt modellen en farligtgoodsolycka förväntas förekomma mellan vart tredje och vart fjärde år. Sannolikheten för farligtgoodsolyckor är störst på Vätterns östra sida. På västsidan beräknas en farligtgoodsolycka inträffa ca vart 64:e år, medan motsvarande siffra för östsidan är vart 4:e år. Den främsta förklaringen till denna skillnad är att vägarna på Vätterns östra sida i större utsträckning är rekommenderade färdvägar för farligt gods och generellt har högre trafikbelastning (tab. 9.1). Med tanke på att det årligen rapporteras ett 20-tal farligtgoodsolyckor i Sverige (Räddningsverket, 1996) verkar en farligtgoodsolycka ca vart fjärde år på vägarna runt Vättern kanske rimligt. Man bör dock ha klart för sig att denna beräkningsmodell är en av flera tillgängliga modeller. En annan modell skulle sannolikt gett ett annat värde. Existerande data tyder dessutom på att modellen överskattar sannolikheten för farligtgoodsolyckor då de hittills skett med betydligt längre intervall.

Vare sig man utgår från modellen eller existerande data är sannolikheten tillräckligt stor för att fortsatt arbete att ytterligare minska sannolikheten och konsekvenserna bör prioriteras.

Tabell 9.1. Vägdata, statistik och beräknat antal farligtgodsolyckor för de studerade vägsträckorna kring Vättern.

Vägavsnitt	Jönköping – Ödeshög*	Ödeshög - Motala	Motala – Askersund*	Askersund - Karlsborg	Karlsborg - Jönköping
<i>Väg</i>	<i>E4</i>	<i>RV 50</i>	<i>RV 50</i>	<i>RV 49</i>	<i>RV 195</i>
Längd (km)	66	47	45	63	88
ÅDT	17 748	4 829	4 829	4 168	2 747
Antal olyckor/år (1995-99)	85	59**	56**	26	42
Andel singelolyckor	0,6	0,6	0,35	0,35	0,35
Index för farligtgodsolycka (enl. schablon) ***	0,42	0,22	0,22	0,22	0,22
Andel fordon skyltade med farligtgods	0,009	0,003	0,006	0,003	0,003
Antal fordon skyltade med farligt gods i trafikolycka/år	0,47	0,083	0,081	0,0273	0,044
Antal förväntade farligt godsolyckor per år	0,20	0,023	0,061	0,0060	0,0097
Förväntat år mellan varje farligtgodsolycka	5,1	43	16	167	103

*Rekommenderad färdväg för farligt gods

** Baserat på genomsnittlig olycksfrekvens för hela riksväg 50

***Se vidare Räddningsverket 1996

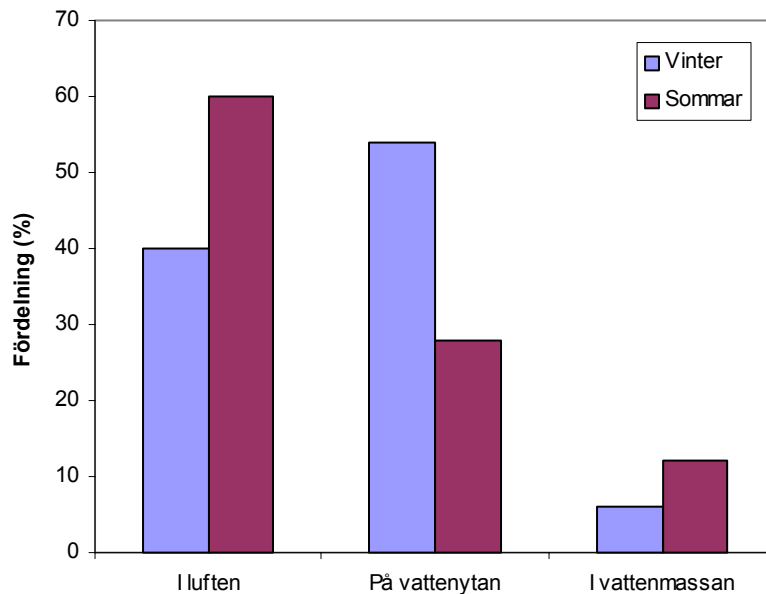
10. KONSEKVENSAV-GÖRANDE FAKTORER

Totalt känner man till 20 miljoner kemiska ämnen i hela världen, 20 000 av dessa uppskattas förekomma i kommersiellt bruk i Sverige idag (Naturvårdsverket 1999). En stor del av dessa transporteras på våra vägar, inte minst på vägarna kring Vättern. Följaktligen måste denna studien begränsas till ett greppbart antal ämne som potentiellt kan förekomma vid olyckor med farligt gods vid vatten. Därför görs först en genomgång av vilka kemiska och fysikaliska egenskaper som styr ett ämnes konsekvenser vid utsläpp till Vättern. Konsekvenserna vid utsläpp av kemiska ämnen i Vättern vid olyckor med farligt gods beror förutom på ämnets kemiska och fysikaliska egenskaper också på utsläppets storlek, lokal och spridning.

Ångtryck och förångning

Förångning är en av de viktigaste processerna för bortförel av flyktiga ämnen vid utsläpp till vatten. Ju högre ångtryck ett ämne har desto större benägenhet har ämnet att förångas (koka) och övergå i gasform. Ett högt ångtryck innebär därmed att ämnet förångas och transporteras från vatten till omgivande luft. Hastigheten på ett ämnes övergång från vattenfasen till luften beror på ämnets inneboende egenskaper. Denna hastighet är även beroende av temperaturen och vindförhållanden. Ju högre temperatur och starkare vind, desto snabbare förångas ämnet. Avdunstningen är följaktligen tydligt säsongsb beroende och utsläpp av flyktiga ämnen till vatten förblir längre tid i vattnet under vintern då temperaturen generellt är lägst. Till exempel är mängden bensin på vattenytan dubbelt så hög under vinterförhållanden som under

sommarförhållanden 6 timmar efter ett bensinutsläpp (fig. 10.1).



Figur 10.1. Fördelning av bensin 6 timmar efter utsläpp av bensin till vatten under vinter (vattentemp. $0,8^{\circ}\text{C}$) och sommarförhållanden (vattentemp. 14°C). Simulering gjord i Seatrack (Spridningsmodell för Vättern, SMHI).

Smältpunkt och kokpunkt

För ämnen som transporteras i flytande form är risken större att de snabbt sprider sig i vattnet än för ämnen som transporteras i fast form eller i gasform. Vid en del transporter har trycket eller temperaturen justerats för att hålla gaser i flytande form. Detta innebär att när det vid en olycka kommer ut i atmosfäriskt tryck och temperatur går det över från vätskeform till gasform, dvs ämnet kokar. För ämnen som har en smältpunkt en bit över noll har temperaturen i omgivningen avgörande betydelse för hur spridningen av det utsläppta ämnet sker. Ju kallare det är i omgivande luft eller vatten vid utsläppet desto fortare övergår ämnet i fast form och därmed minskar även spridningen av ämnet. Konsekvenserna varierar således för vissa ämnen med årstiden. Vätterns ytvatten har normalt en temperatur mellan 0 och $+20^{\circ}\text{C}$. Bottenvattnet i Vätterns djupare delar håller en temperatur på ca $+4^{\circ}\text{C}$ året runt. En del ämnen som förekommer i fast form vid rumstemperatur transporteras

lösta i t ex vatten eller alkohol, dvs i flytande form.

För dessa avgörs spridningen av egenskaperna hos lösningsmedlet.

Densitet

För densitet är det intressant att veta om det utsläppta ämnet är lättare eller tyngre än vatten, eftersom åtgärdsinsatser kräver att man känner till om utsläppet flyter eller sjunker. Ämnen som är tyngre än vatten och sjunker riskerar att brytas ned långsammare eftersom både ljus och syre, som ofta är förutsättningar för snabb nedbrytning, minskar med ökat djup. Under stora delar av året sjunker även temperaturen med ökat djup, vilket också minskar den biologiska nedbrytningshastigheten. Effekter på dricksvatten är i regel också större då råvattenintagen oftast är belägna djupare än 10-15 meter. Ämnen som flyter på vatten har också goda förutsättningar att avdunsta, vilket skyndar på bortförselelsen av vissa ämnen. De biologiska effekterna kan dock bli mer betydande när föroreningarna stannar vid ytan på grund av att primärpro-

ducenter (framför allt växter i strandzonen) där drabbas och sedan indirekt påverkar organismer högre upp i näringskedjan.

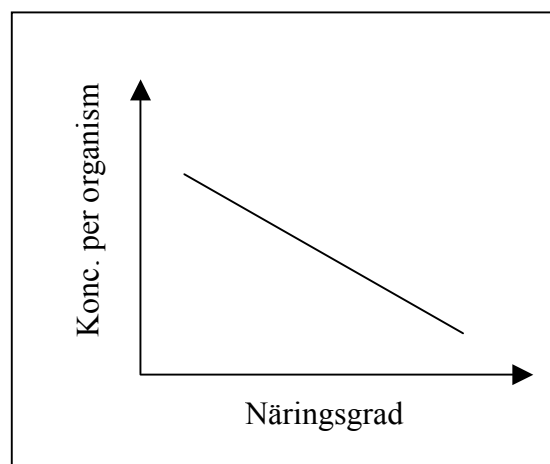
Fettlöslighet, vattenlöslighet och bioackumulering

Ett ämnes löslighet i fett och vatten anges vanligen som $\text{Log } K_{ow}$, vilket beskriver ett ämnes fördelning i en behållare med lika delar oktanol och vatten. Ju större andel som löser sig i oktanol, ju mer fettlösligt är ämnet och ju högre blir $\text{Log } K_{ow}$ -värdet. I praktiken innebär detta att fettlösliga ämnen, t. ex. bensin och polyaromatiska kolväten (PAH:er), ackumuleras och adsorberas till ytor, sediment, partiklar och fetthaltiga organismer (bioackumulering), medan vattenlösliga ämnen stannar i vattenfasen. Hög fettlöslighet innebär också att ämnet som släppts ut inte blandar sig särskilt väl med vattnet utan håller sig i en separat fas. Detta gör att förutsättningarna att begränsa effekterna är förhållandevis goda, då det tar längre tid för fettlösliga ämnen än för vattenlösliga att sprida sig över stora arealer. Spridningshastigheten är dock mycket beroende av de rådande väderförhållandena. Omrörning i vattenmassan p g a kraftiga vindar skyndar på spridningsprocessen markant.

Vid farligtgodsolyckor på mark intill sjöar har fettlösliga ämnen fördelen att de binds hårdare till organiskt material än vattenlösliga ämnen och fastnar därmed till större del innan de når grundvattnet och vatten-systemyt. Dock kan fettlösliga ämnen snabbt infiltrera minerogena jordar (t ex sandjordar) och jordar som är mättade av det utläckande ämnet. Svårnedbrytbara ämnen kan sedan läcka ut ur marken under flera år, särskilt i minerogena jordar eftersom de i regel hyser en lägre mikrobiologisk aktivitet och därmed en sämre förmåga att bryta ned t ex farliga ämnen.

På grund av att Vättern är en näringsfattig sjö med klart vatten, få partiklar och liten biomassa spåds den mängd fettlösliga äm-

nen som hamnar i vattnet ut på färre partiklar och organismer än vad som hade varit fallet i en grumlig och näringsrik sjö med mycket partiklar (alger och humus) och mycket biomassa (fig 10.2). Detta gör att koncentrationerna av fettlösliga ämnen, t ex många petroleumämnen, kan bli hög i organismer. Redan idag rekommenderar livsmedelsverket ett begränsat intag av Vätterrödning för kvinnor i barnafödande ålder (Livsmedelsverkets hemsida 2001). De olika kemiska egenskaperna som styr ämnenas fördelning i miljön illustreras schematiskt i fig 10.3.



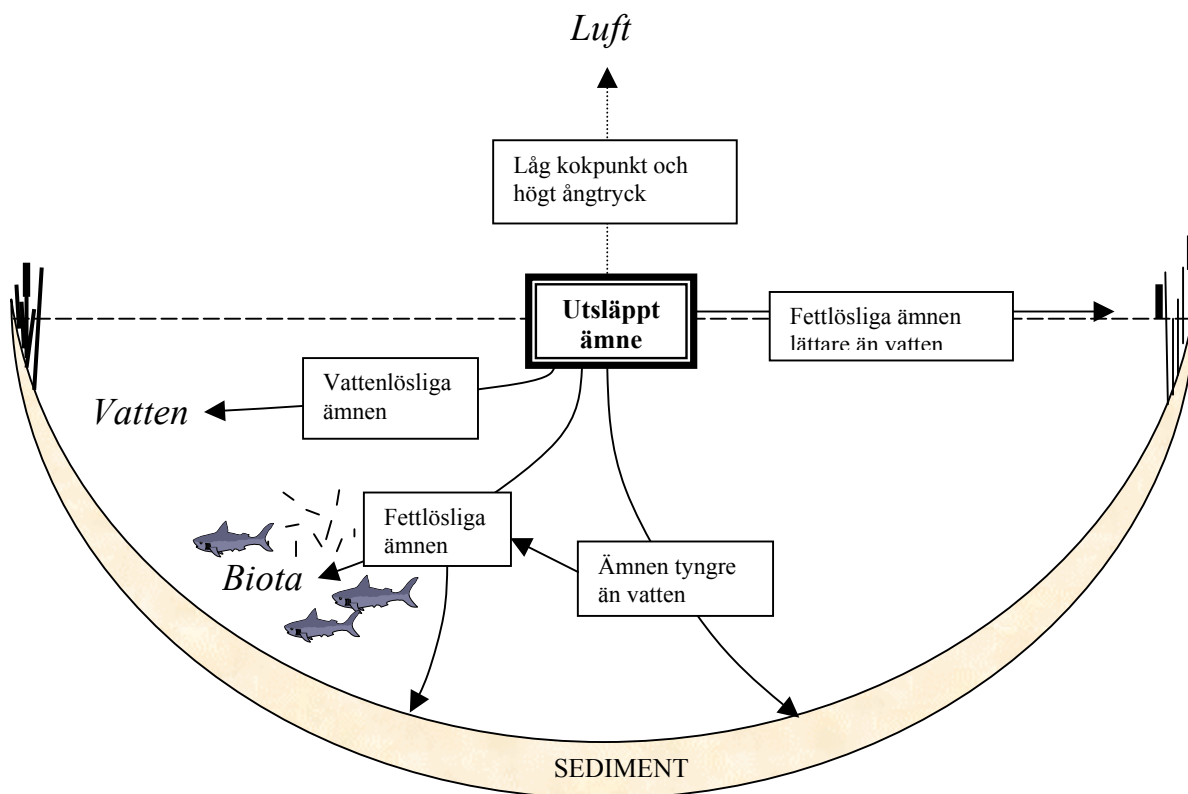
Figur 10.2 Principskiss av förhållandet mellan sjöars näringsgrad och koncentrationen av bioackumulerande ämnen per organism (baserat på Larsson et. al 1992)

Nedbrytning

Nedbrytningshastigheten är en av de viktigare processerna att kartlägga vid analys av konsekvenserna vid utsläpp. Ju längre tid det tar innan ämnet bryts ned och inte förångas eller försvinner på annat sätt, desto längre tid kan det påverka recipienten och desto längre sträckor hinner det förflytta sig. Nedbrytning kan ske på många olika sätt, dels abiotiskt av ljus (fotolys) och i vatten (hydrolys), dels biotiskt av framför allt bakterier, men också kemiskt (t ex oxidering). Den biologiska nedbrytningen är för de flesta ämnen snabbare i syrerik miljö än i syrefattig. Med tanke på att Vättern inte har några syrefria bottnar (fig. 10.4, Vätternvårdsförbundet 2000) finns här goda förutsättningar att ha en förhållandevis snabb biotisk nedbrytning.

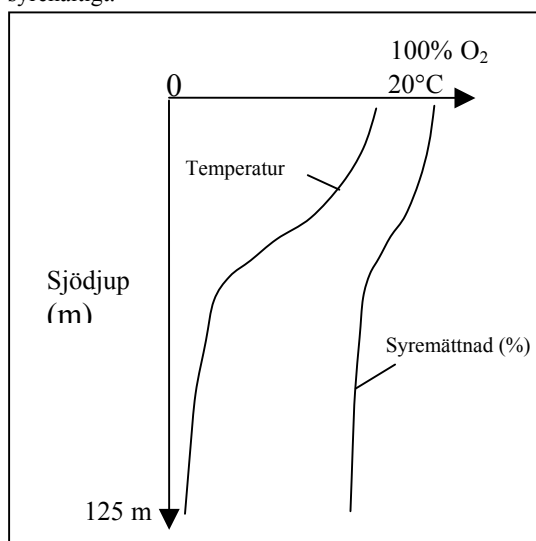
Dock medför den naturligt sparsamma förekomsten av organiskt material att den

mikrobiella aktiviteten är låg, vilket ger en långsam biologisk nedbrytning.



Figur 10.3 Schematisk överblick över ett ämnes fördelning efter utsläpp till en sjö.

Figur 10.4. Schematisk skiss över temperatur- och syreförhållanden i Vättern. Notera att även bottenvattnet är syrehaltigt.



Liten förekomst av organiskt material bidrar till Vätterns goda siktdjup (10 – 15 m). Stort siktdjup medför att ljusets nedbrytande effekter kan verka på relativt stora djup. Eftersom nedbrytningshastigheten minskar med minskad temperatur kan den i ytvattnet väntas vara mycket lägre på vintern än på sommaren. På sommaren är bottenvattnet betydligt kallare än ytvattnet och nedbrytningen är då betydligt långsammare vid botten (fig. 10.4). Nedbrytningshastigheten varierar således både med årstiden och vattendjup.

Toxicitet

Toxiciteten avgör till stor del effekterna av ett utsläpp vid olycka med farligt gods. Ju högre toxicitet ett ämne har desto större effekter kan man vänta sig och desto större

måste nedbrytningen, utspädningen eller bortförelsen vara för att effekterna ska

upphöra. Vissa ämnen är s k fototoxiska (t ex antracen), dvs de blir giftiga först vid exponering för ljus. I detta fall kan det

alltså vara en nackdel att Vättern har ett stort siktdjup då fotoaktivering kan ske på ett stort djup. Detta gör att en större

vattenvolym påverkas av det fototoxiska ämnet än vad som varit fallet i en sjö med litet siktdjup.

11. RISKANALYSER

Det finns idag få schablonmetoder för att beräkna risker av utsläpp till vattendrag, diken och avlopp. Oftast görs enskilda bedömningar från fall till fall.

Nedan görs enkla riskanalyser med exempel på ämnen som:

- Antas transporteras i störst grad vid Vättern (vissa ej klassade som farligt gods)
- Bedöms utgöra störst risker vid ett utsläpp till Vättern
- Finns väl beskrivna i litteraturen

För att göra *konsekvensanalyser* för olika ämnen görs en poängsättning för de av ämnens inneboende egenskaper som ansetts avgörande för konsekvensen, nämligen halveringstid, bioackumuleringsgrad och toxicitet (tab 11.1).

Poängsättningsmetoden bygger på samma kriterier som använts för att prioritera särskilt farliga ämnen inom EU. Metoden är dock enkom utarbetad för denna studie och

bör generaliseras med försiktighet. Syftet med poängsättningen är förutom att jämföra utvalda ämnen, också att skapa en enkel metod för jämförelser med ämnen som kan bli intressanta att undersöka i framtiden. Halveringstiden anger tiden för ämnet att halvera sin koncentration i vatten/sedimentet. Den är en funktion både av nedbrytningshastigheten och förångningshastigheten.

För att kunna jämföra *sannolikheterna* att en farligtgoodsolycka med ett visst ämne ska ske har en relativ bedömning gjorts avseende transportintensiteten (tab. 11.1). Då denna ofta är svår att bedöma har den i många fall angetts som ett intervall.

För att jämföra *riskerna* (sannolikhet * konsekvens) mellan olika ämnen multipliceras genomsnittspoängen (avrundad till närmsta heltal) för de tre konsekvensparametrarna med poängen från sannolikhetsbedömningen.

Tabell 11.1. Poängsättning (SIDS 1994) för bedömning av olika kemiska ämnens egenskaper avseende farlighet för Vättern.

	0p	1p	4p	7p	10p
Halveringstid	< 10 timmar	10 - 48 t	48 t - 2 veckor	> 2 - 6 v	> 6 v
Bioackumulering	< 10	10 - 100	100 - 1000	1000 - 10 000	> 10 000
Toxicitet (mg/l)	> 10	1,0 - 10	0,1 - 1,0	0,01 - 0,1	< 0,01
Transportintensitet	Mycket låg	låg	måttlig	hög	Mycket hög

För samtliga ämnen nedan har data om ämnet samlats i faktaruta. Denna data baseras om inte annat anges på information från Toxnet (sökbar databas, www.toxnet.nlm.nih.gov) och kemikalieinspektionen (www.kemi.se). Den data som presenteras är framtagen under särskilda standardförhållanden, vilka i många fall avviker betydligt från de förhållanden som råder i Vättern.

Densitet: För vätskor och fast material varierar generellt densiteten endast marginellt med varierande temperatur och tryck så länge man håller sig inom naturliga intervall. Med undantag av vatten som har sin högsta densitet vid + 4°C ökar densiteten med minskande temperatur. Där inte annat angivits gäller densiteten vid temperaturer kring + 20 till + 25°C. Under temperaturer som råder kring Vättern (+ 1 till + 20°C) stämmer den angivna temperaturen väl för vätskor och fasta ämnen.

Smältpunkt och kokpunkt: Temperaturen då ämnen smälter respektive kokar är beroende av trycket. Angivna smältpunkter och kokpunkter gäller vid normalt atmosfäriskt tryck (1018 mbar).

Ångtryck: Ångtrycket, vilket anger det tryck då ett ämne övergår till gasform är beroende av temperaturen. Temperaturen för de angivna ångtrycken varierar mellan + 18 och + 20°C. Då temperaturen kring Vättern kan vara betydligt lägre sjunker ångtrycket och avdunstningen minskar. Således kvarstannar ämnet längre i vattenmassan (jfr fig. 10.1).

Fettlöslighet: Log K_{ow} anger hur ett löst ämne fördelar sig i en blandning av oktanol och vatten. Ju större del av ämnet som fördelar sig till oktanolfasen, desto mer fettlösligt är det och ju högre log K_{ow} -värde får det. Fördelningen påverkas inte av temperatur eller tryck, dock ökar hastigheten för att jämvikt ska inställa sig under högre temperatur och högre tryck.

Bioackumulerbarhet: Bioackumulerbarhet visar hur många gånger högre koncentrationen av ett ämne är i biota än i omgivande medium (vanligen vatten). Bioackumuleringsgraden varierar beroende på vilken testorganism man använt sig av och anges därför oftast som ett intervall. Ju fetare organism desto högre bioackumulering (jmf fig. 10.2).

Nedbrytbarhet: Den angivna halveringstiden gäller både vatten och/eller sediment beroende på vad som är relevant.

Toxicitet: Toxiciteten anger den lägsta akuta toxiciteten i form av LC_{50} eller EC_{50} som hittats avseende akvatiska organismer. LC_{50} och EC_{50} anger koncentrationen där halva undersökta populationen dött (LC = Lethal Concentration) respektive halva populationen påverkats negativt (EC = Effect Concentration). Akut toxicitet testas normalt under 48 – 96 timmar. Vid olycka med farligtgods skulle det i vissa fall innebära längre exponering än 96 timmar och därmed skulle effektkoncentrationer vara lägre än de som anges under toxicitet. Toxiciteten kan påverkas av strålning, vattnets hårdhet mm.

Förångning: Tiden då hälften av en gas fördelat sig från att varit helt i vattnet till atmosfären. Hastigheten på denna process är till stor del beroende på vind och strömförhållanden. Ju mera vind och starkare ström, desto snabbare fördelar sig gasen från vattnet till luften. Denna process påskyndas även av stigande temperatur.

11.1. Vanligaste ämnen i farligtgods-transporter

Någon statistik över vilka specifika ämnen som transporteras på vägarna finns ej tillgänglig. Urvalet av ämnen har istället baserats på nationell statistik från kemikalieinspektionen (bilaga 2). De ämnen som förekommer i störst kvantiteter i Sverige, undantaget de flesta rena grundämnen och gaser, har valts ut. Dessutom behandlas

inte alla petroleumämnen utan endast bensin, gasol (propan + butan) och eldningsolja som exempel på petroleumbaserade ämnen/blandningar.

Ett stort antal ämnen (egentligen blandning av många ämnen) av de vanligast förekommande är petroleumbaserade, vilket också avspeglas i dessa ämnen dominerar transporten av farligt gods. Exempel på vanliga petroleumbaserade ämnen är bensin, råolja, fotogen, eldningsolja, diesel och lacknafta. Petroleumbaserade ämnen består samtliga av liknande komponenter, dvs olika typer av kolväten. Merparten utgörs av raka kolväten med färre än tio kolatomer. Dock förekommer ett stort antal ämnen och bland dessa märks miljöfarliga ämnen som t ex PAH:er.

Gasol

Gasol är en gas som oftast används som bränsle. Gasol består främst av propan och butan. Gasol är en flytande gasblandning som består av korta, raka kolväten. Gasolen hålls flytande genom att förvaras under högt tryck. Ämnen som transporteras under tryck förvaras i behållare som är betydligt starkare än de behållare som används vid transport under atmosfäriskt tryck. Detta gör också att de sistnämnda lättare går sönder vid olyckor. Normalt transporteras gasol i stora kvantiteter (fulla tankbilar, ca 40 m³). Vid utsläpp av gasol förångas en stor del direkt vid utsläppsögonblicket, men en del riskerar hamna i vattnet. Den relativt höga vattenlösligheten gör att butan och propan inte adsorberas i mark, utan kan transporteras med grundvatten till Vättern.

- Densitet: 590 g/l (-45 °C)
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 2,4 – 2,9
- Smältpunkt: - 190 °C (butan -138) °C
- Bioackumulerbarhet: låg (butan ca 1,9)
- Kokpunkt:- 42 (butan +0,5) °C
- Nedbrytbarhet (T_{1/2}): 33-99 d
- Ångtryck: 760 (butan 1856) mm hg
- Toxicitet (LC₅₀ el. EC₅₀): låg – måttlig
- Förångning (T_{1/2}): 2,3 – 2,6 d (sjö)

Enligt riskbedömningen ovan får gasol 12 poäng (tab. 12.1).

Bensin

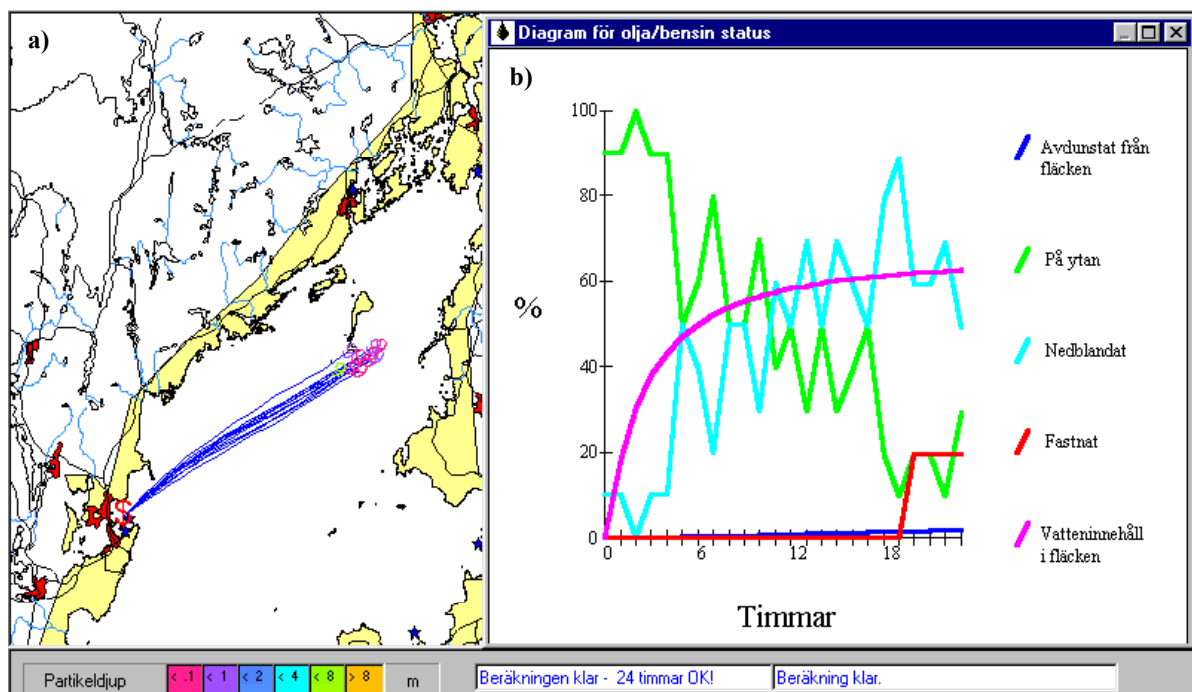
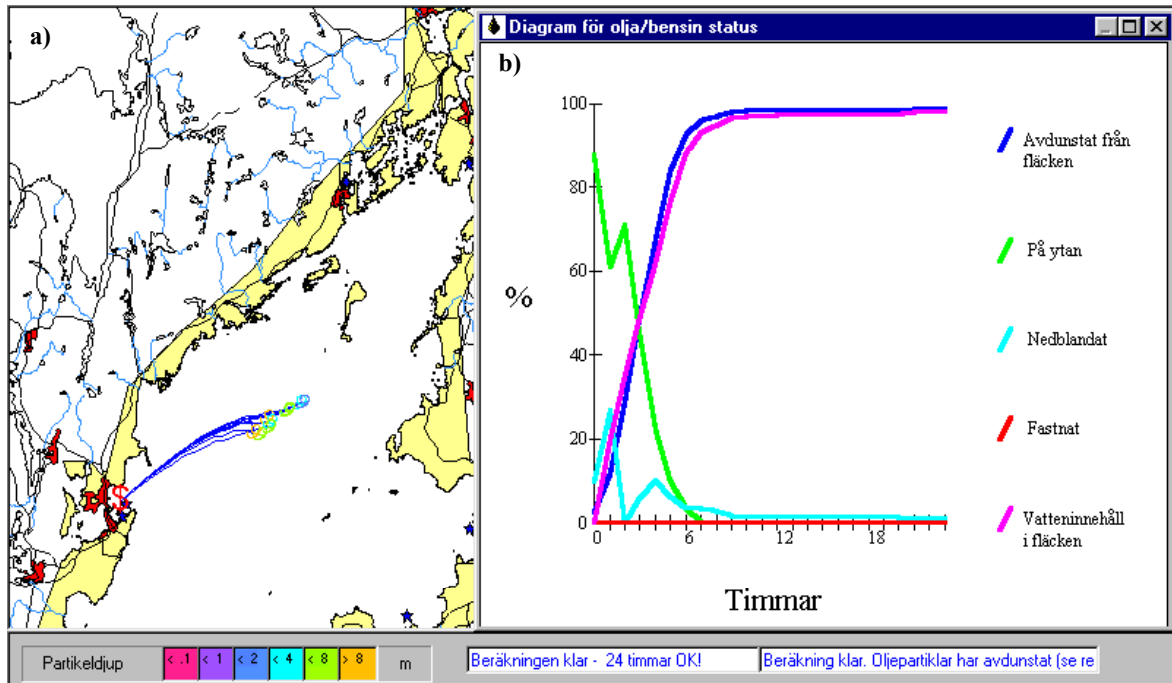
Bensin används framför allt som bränsle, men även i andra syften som t ex polermedel i mindre utsträckning. Bensin är ett av de vanligaste ämnen som transporteras i farligtgodstransporter och transporteras i mycket stora kvantiteter. Eftersom bensin består av ett stort antal ämnen anges nedanstående egenskaper som ungefärliga värden eller intervaller. Till största delen består bensin av alifatiska (ca 65 - 70 %) och aromatiska (ca 25 - 30%) kolväten, medan ca 1 % utgörs av polycykliska aromatiska kolväten, PAH:er (Guidelines for assessing and managing petroleum hydrocarbon contaminated sites in New Zealand). Mer info om PAH:er återfinns i nästa kapitel. Bensin är lättare än vatten och flyter därför ovanpå det.

Detta bidrar till att förångning är en viktig bortförselsprocess. Bensin är giftigt för både människor och akvatiska organismer. Dessutom tar det relativt lång tid för bensin att brytas ned. Den mest betydande bortförseln av bensin sker via avdunstning (fig 11.1). Enligt modellering med Seatrack har hälften av bensinen avdunstat efter ca tre timmar vid en temperatur på 13°C och en sydvästlig vind på 5 m/s (fig. 11.1). Under dessa förhållanden hinner ca 50 m³ bensin nästan avdunsta helt. Ämnen i bensinen som inte avdunstar eller bryts ned fördelas företrädesvis till sediment, partiklar och biota. Enligt riskbedömningen nedan får bensin 17 poäng (tab. 12.1).

- Densitet: ~750 g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): ca 3 (2,3 – 3,9)
- Smältpunkt: ca - 93 °C
- Bioackumulerbarhet: ca 50 (2,5 – 89)
- Kokpunkt: +39 till +200 °C
- Nedbrytbarhet (T_{1/2}): låg
- Ångtryck: 200 (97 – 689) mm Hg
- Toxicitet (LC₅₀ el. EC₅₀): ca 0,3 mg/l (0,003 – 32)

• Förlängning ($T_{1/2}$): Några timmar

Figur 11.1 Modellerad spridning av ett bensinutsläpp från Karlsborg. a) Geografisk spridning under 24 h. b) Fördelning av bensin i olika medier under 24 h. Modellerade väderförhållanden var vattentemperatur 13°C, vind 5 m/s SV.



Figur 11.2 Simulerad spridning av ett simulerat utsläpp av eldningsolja (No. 1) från Karlsborg. a) Geografisk spridning under 24 h. b) Fördelning av bensin i olika medier under 24 h. Modellerade förhållanden var vattentemperatur + 13°C, vind 5 m/s SV.

Eldningsolja

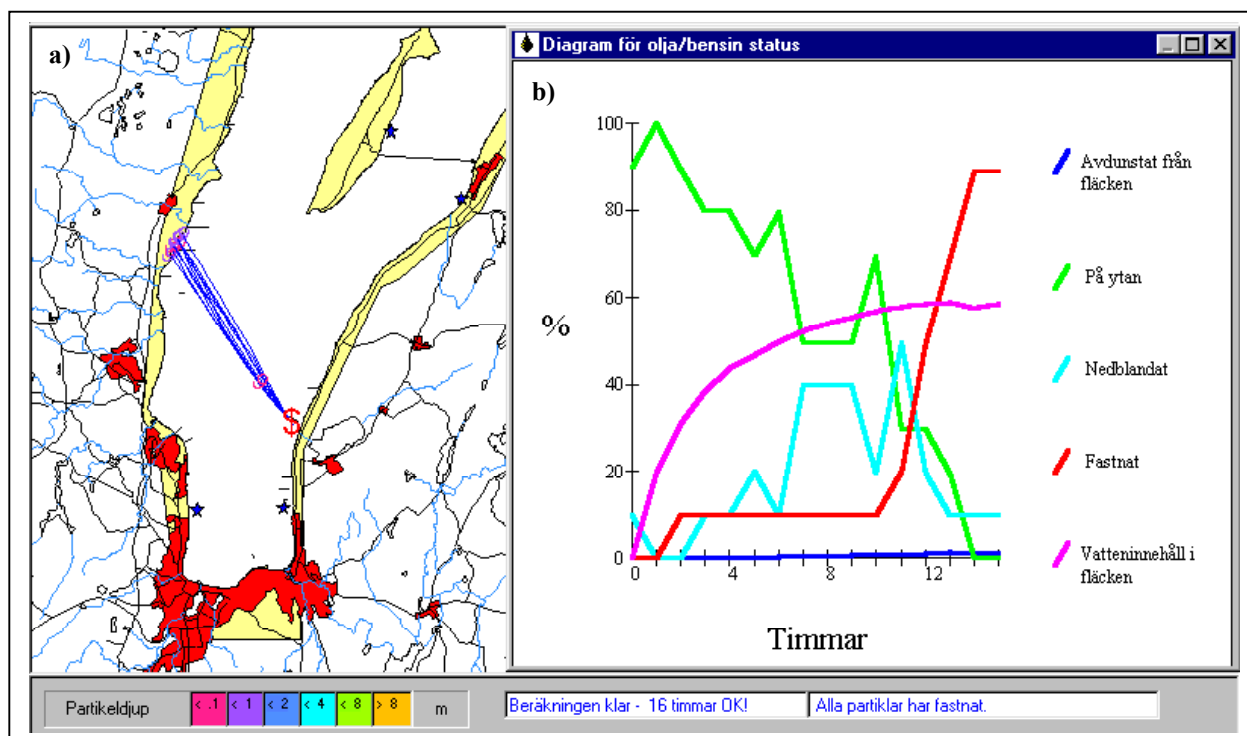
Eldningsoljor används framför allt för uppvärmning och transporteras i mycket stora kvantiteter på våra vägar. Liksom bensen innehåller eldningsolja mycket raka kolväten. Även små mängder PAH:er och klorerade föreningar förekommer. Eldningsolja är giftigt för både människor och akvatiska organismer. Dessutom tar det relativt lång tid för eldningsolja att brytas ned.

Däremot är eldningsolja mindre flyktig än bensen, vilket minskar hastigheten på bortförselelsen från vattnet. Eldningsolja blandas istället upp med vattnet och fördelas främst till sediment, partiklar och biota, samt fastnar på stränder och andra ytor (fig. 11.2). Vid utsläpp av olja till Vättern är det inte endast närliggande vatten och strandzoner som är i farozonen. Eftersom oljan inte avdunstar eller bryts ned kan den färdas

långa sträckor och påverka mycket stora vattenområden och stränder långt ifrån utsläppsplatsen. Vid ett simulerat utsläpp vid Gränna och en SÖ vind på 5 m/s transporteras en stor del av utsläppet tvärs över hela Vättern (fig. 11.3). Effekter kan således uppstå över mycket stora ytor och på stora avstånd från olycksplatsen.

- Densitet: ~900 g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): ca 3 (2,3 – 3,9)
- Smältpunkt: ca - 93 °C
- Bioackumulerbarhet: ca 50 (2,5 – 89)
- Kokpunkt: 39 – 200 °C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): låg
- Ångtryck: 200 (97 – 689)mm Hg
- Toxicitet (LC_{50} el. EC_{50}): ca 0,3 mg/l (0,003 – 32)
- Förångning ($T_{1/2}$):> Några dagar

Enligt riskbedömningen får eldningsolja 30 poäng (tab. 12.1).



Figur 11.3 Modellerad spridning av ett simulerat utsläpp av eldningsolja (No. 1) från Gränna. a) Geografisk spridning under 24 h. b) Fördelning av bensin i olika medier under 24 h. Modellerade förhållanden var vattentemperatur +13°C, vind 5 m/s SV.

Ammoniak

Ammoniak används främst som syntesråvara, kylmedel, pH-regulator och rengöringsmedel och transporteras i stora kvantiteter på vägarna. Den huvudsakliga effekten av ammoniak består i att det höjer pH på vattnet i recipienten och tillför näring i form av kväve. Bakterier omvandlar snabbt ammoniak till nitrat (nitrifikation). Ammoniak är giftigt för vattenlevande organismer vid relativt låga koncentrationer. Ammoniak löser sig i vatten och koncentrerar sig därför inte i biota.

- Densitet: 0,77 g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): låg
- Smältpunkt: - 78 °C
- Bioackumulerbarhet: låg
- Kokpunkt: - 33 °C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): lätt nedbrytbar
- Ångtryck: 7,5 mm Hg
- Toxicitet (LC₅₀ el. EC₅₀): 0,080 m
- Förångning ($T_{1/2}$): långsam

Enligt riskbedömningen ovan får ammoniak 9-16 poäng (tab. 12.1).

Svavelsyra

Svavelsyra används främst som syntesråvara, pH-regulator och metallytbehandlingsmedel. Det transporteras i stora mängder på vägarna. När svavelsyra hamnar i vattnet bildas inga direkt toxiska produkter, däremot sänks pH så drastiskt att fiskdöd och skador på akvatiskt liv kan uppstå. Då denna effekt försvinner vid utspädning förväntas effekter endast uppstå lokalt och fortgå under kort tid. Svavelsyra löser sig i vatten och ackumuleras därför inte i biota. Eftersom svavelsyran är tyngre än vatten sjunker det och försvårar därmed eventuell sanering.

- Densitet: 1800 g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): vattenlös
- Smältpunkt: +10 °C
- Bioackumulerbarhet: låg
- Kokpunkt: +290 °C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): bildar snabbt salter
- Ångtryck: $6 \cdot 10^{-5}$ mm Hg
- Toxicitet (LC₅₀ el. EC₅₀): 42 mg/l
- Förångning ($T_{1/2}$): -

Svavelsyra riskbedöms ej enligt modellen då den ej är anpassad till konsekvenser av den typen som starka syror och baser ger upphov till.

Asfalt

Asfalt består till 90% av sten, 5% fyller (finkornigt stenmaterial) och 5% bitumen (bindemedel). Det används framför allt i vägbeläggningar, men förekommer även i färger och impregneringsmedel. Även om stenmaterialet kan innehålla vissa metaller är det i bitumen som det finns mest kolväten varav en liten del utgörs av PAH:er (se mer om PAH:er nedan). Även metaller förekommer i låga koncentrationer. Asfalt transporteras i stora mängder. Då bitumen baseras på petroleum kan det förväntas ha liknande effekter som eldningsolja ovan. Detta indikerar att asfalt (egentligen avseende bitumen) får 12-21 poäng i riskbedömningen (tab. 12.1).

Ammoniumnitrat

Ammoniumnitrat används till störst del i gödselmedel och explosivämnen. Både ammoniumjonen och nitratjonen fungerar som näringsämnen för primärproducenters (alger, växter) och tas därmed snabbt upp. Detta kan orsaka algbloomningar åtminstone under den varma och ljusa delen av året. Ämnet kan dock vara toxiskt för vissa vattenlevande organismer i för höga koncentrationer.

- Densitet: 1730 g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): vattenlös
- Smältpunkt: +170 °C
- Bioackumulerbarhet: -
- Kokpunkt: +210 °C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): Tas snabbt upp av bakterier
- Ångtryck: -
- Toxicitet (LC₅₀ el. EC₅₀): 15 mg/l (endast svamp)
- Förångning ($T_{1/2}$): -

I riskbedömningen får ammoniumnitrat 0 poäng (tab. 12.1).

Natriumklorid (koksalt, vägsalt)

Natriumklorid används framför allt till halkbekämpning, avisningsmedel, livsmedeltillsatser och vattenavhårdning. Natriumklorid är inte giftigt, men dess huvudsakliga effekt på recipienten blir förändrad konduktivitet. Den förändrade konduktiviteten kan dock påverka biota i högre koncentrationer.

Påverkan består delvis i att vattenorganismernas saltbalans rubbas, vilket kan leda till döden. Vid ett farligt godsutsläpp av salt förväntas dock effekterna bli lokala och fortgå under en kort tid. Andra vanliga salter som inte tas upp specifikt är, t ex kalciumoxid (osläckt kalk), kalciumnitrat, magnesiumsilikat (ingår i talk), kaliumklorid, titandioxid och aluminiumoxid. Effekterna från dessa ämnen liknar till stor del de från natriumklorid. De är inte giftiga och deras effekt på recipienten blir förändrad konduktivitet.

Aluminium har visats vara giftigt för vattenlevande organismer i höga koncentrationer. Höga koncentrationer av aluminium uppstår normalt endast då pH är lågt och aluminiumet löses ut i vattnet och blir tillgängligt för organismerna. Aluminium börjar lösas i vattnet vid pH lägre än 6 och anses därmed inte idag vara ett problem för Vättern som har ett stabilt högt pH på ca 7,3.

- Densitet: 2200 g/ml
- Fettlöslighet (log K_{ow}): vattenlöslig
- Smältpunkt: +801 °C
- Bioackumulerbarhet: -
- Kokpunkt: +1413 °C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): -
- Ångtryck: -
- Toxicitet (LC_{50} el. EC_{50}): > 10 mg/l
- Förångning ($T_{1/2}$): -

I riskbedömningen får natriumklorid 0 poäng (tab. 12.1).

Polyeten

Polyeten används främst som syntesråvara (plaster), i färgämnen och förpackningar.

Polyeten består av polymeriserad eten. Polyeten är olösligt och transporteras oftast i fast form, vilket gör att det inte förorenar recipienten på ett okontrollerbart sätt. Data om polyetens inneboende egenskaper har inte hittats. Polyeten kan ge upphov till utsläpp av eten (se eten nedan). Transporter av polyeten torde inte utgöra något hot mot Vättern då de transporteras i fast form (smältpunkt 250°C) och är olösligt i vatten.

Natriumhydroxid

Natriumhydroxid används som syntesråvara, pH-regulator, vid pappersframställning samt som rengöringsmedel. Det transporteras i relativt stora mängder på vägarna. När natriumhydroxid hamnar i vattnet bildas inga direkt toxiska produkter, däremot höjs pH så drastiskt att fiskdöd och skador på akvatiskt liv kan uppstå. Då denna effekt försvinner vid utspädning förväntas effekter endast uppstå lokalt och fortgå under kort tid. Natriumhydroxid löser sig i vatten och koncentrerar sig därför inte i biota. Eftersom natriumhydroxiden är tyngre än vatten sjunker det och försvårar därmed eventuell sanering.

- Densitet: 2130 g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): vattenlöslig
- Smältpunkt: +323°C
- Bioackumulerbarhet: låg
- Kokpunkt: +1388°C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): -
- Ångtryck: 1 mm Hg
- Toxicitet (LC_{50} el. EC_{50}): 99 mg/l
- Förångning ($T_{1/2}$): -

Natriumhydroxid riskbedöms ej enligt modellen då den ej är anpassad till konsekvenser av den typen som starka syror och baser ger upphov till.

Metan

Metan är en gas som förekommer främst i bränslen (t ex naturgas). Merparten av metantransporten sker via rör och endast en liten del förväntas transporteras på vägarna. Vid utsläpp av metan till Vättern skulle förångningen relativt snabbt föra bort metanet från vattnet. Vid farligt godsolycka

förväntas dessutom metangasen snabbt spridas med luften.

- Densitet: 0,72 g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 1,1
- Smältpunkt: - 183°C
- Bioackumulerbarhet: -
- Kokpunkt: - 161°C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): Bryts ned biologiskt
- Ångtryck: högt
- Toxicitet (LC₅₀ el. EC₅₀): -
- Förångning ($T_{1/2}$): 14 h

Eftersom ekotoxicitetsuppgifter inte varit möjliga att finna får metan minst 0-1 poäng i riskbedömningen (tab. 12.1).

Butanal

Butanal används till störst del som syntesråvara. Då ämnet flyter på vatten förångas en väsentlig del av ämnet vid utsläpp till vatten. Nedbrytning i vatten och sediment är ungefär lika viktiga bortförselprocesser som förångning.

- Densitet: 800 g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 0,88
- Smältpunkt: - 99°C
- Bioackumulerbarhet: 1,1 – 2,8
- Kokpunkt: +75°C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): ca 5 d
- Ångtryck: 92 mm Hg
- Toxicitet (LC₅₀ el. EC₅₀): ?
- Förångning ($T_{1/2}$): 4,1 d (damm)

Då toxicitetsuppgifter för butanal i vatten inte kunnat hittas erhåller det minst 1-5 poäng i riskbedömningen (tab. 12.1)

Eten

Eten används nästan uteslutande som syntesråvara. Den huvudsakliga processen för bortförsel av eten är förångning då nedbrytningen i vatten är långsam. En viss bioackumulering förväntas.

- Densitet: 570 g/l (- 104°C)
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 1,13
- Smältpunkt: - 169°C
- Bioackumulerbarhet: 4-40
- Kokpunkt: - 102°C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): långsam

- Ångtryck: 52 000 mm Hg
- Toxicitet (LC₅₀ el. EC₅₀):-
- Förångning ($T_{1/2}$): ca 50 h (sjö)

Då toxicitetsuppgifter för eten i vatten inte kunnat hittas erhåller det minst 3 - 6 poäng i farlighetsbedömningen (tab. 12.1).

Polyvinylklorid (PVC)

Polyvinylklorid används framför allt som syntesråvara vid plasttillverkning (PVC-plast). Det ingår även i betydande mängder i vissa färger. Liksom polyeten transporteras PVC i fast form och är olösligt i vatten. Även om PVC innehåller farliga ämnen kommer de därmed inte att lösas ut nämnvärt i vatten och dessutom vara lätta att omhänderta. Låg risk.

Fenol

Fenol används som utgångsämne för tillverkning av många olika kemiska ämnen och material t ex alkylfenol, bisfenol A och nylon. Dessutom används det i lim.

Fenol är inte något av de ämnen som används allra mest i Sverige, men eftersom det transporteras i relativt stora mängder behandlas det i denna studie. Fenol har en smältpunkt på +41°C och transporteras normalt under hög temperatur eller i vattenlösning för att hållas flytande (fenol övergår till flytande form vid ett vatteninnehåll på 8%). Vid utsläpp i låga temperaturer klumpar fenolen sig snabbt och dess spridning blir därmed begränsad. Från vattenmassan försvinner fenol främst genom biologisk nedbrytning och under vissa omständigheter är även fotolys en betydande process. Dock försvinner endast obetydliga mängder via förångning. Fenol är giftigt för människor och vattenlevande organismer. Fenol är relativt vattenlösligt och sprids därför snabbt i vatten.

En olycka i Danmark med där 23 000 kg fenol läckte ut i mark och vatten ledde bl a till att en dricksvattentäkt förstördes för en lång tid, samt betydande fisk- och fågeldöd (Helmersson 1994).

- Densitet: 1050g/l (- 104°C)
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 1,46
- Smältpunkt: +41°C
- Bioackumulerbarhet: låg
- Kokpunkt: +182°C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): några dagar (exkl. fotolys)
- Ångtryck: 0,35 mm Hg
- Toxicitet (LC_{50} el. EC_{50}): 1,06 mg/l
- Förångning ($T_{1/2}$): 107 d (sjö)

Fenol får 15 – 26 poäng i riskbedömningen (tab 12.1).

11.2 Farliga ämnen i farligt gods-transporter

Dessa ämnen har valts ut från EU:s ramdirektiv för vatten (2000/60/EG, bilaga 2). Ämnena upptagna i detta direktiv anses utgöra ett hot mot vattenkvaliteten eftersom de har vissa eller alla av följande egenskaper, hög exponeringsrisk (oftast baserat på använda mängder och användningssätt), låg nedbrytbarhet, bioackumulerande och hög toxicitet.

I ramdirektivet för vatten anges att det ska tas fram miljö kvalitetsnormer för de ämnen som är upptagna i direktivet. Detta medför att dessa ämnen, på relevanta platser, ska analyseras framgent för att undersöka om miljö kvalitetsnormer överträds. Därför kommer man i Vättern att under hösten 2001 att mäta de ämnen i direktivet som är relevanta att mäta i Vättern.

Antracen

Eftersom antracen består av tre kopplade bensenringar är den per definition en PAH. Dock behandlas den separat i vattendirektivet och således även här. Antracen förekommer naturligt i fossila bränslen och används även i organisk färgindustri, produktion av syntetfibrer och plast samt som spädningmedium för träskyddsmedel. Då koncentrationerna av antracen normalt är mycket låga i kemiska produkter sprids endast små mängder vid en eventuell farlig godsolycka. Dock är ämnet mycket giftigt (fototoxiskt) och även små mängder

kan få betydande konsekvenser. Det låga ångtrycket gör att ämnet snabbt föredelar sig till sediment och biota.

Antracen är akut toxiskt för vissa fiskar vid en koncentration av 12,7 µg/l (toxnet 2001) då exponeringen sker i direkt solljus. Koncentrationen för akut toxicitet är i regel betydligt högre än koncentrationerna för toxicitet under långtidsexponering. Vid experiment för att utreda ett ämnes akuta toxicitet studeras försöksorganismerna i regel under fyra dagar.

Med tanke på att antracen bryts ned långsamt kan vi vänta oss en betydligt längre exponering och därmed är effektkoncentrationerna rimligtvis under de uppmätta 12,7 µg/l. Vid antagandet att antracen är toxiskt ned till 1 µg/l innebär det att teoretiskt kan ett utsläpp på 1000 liter göra ca 1,25 km³ vatten giftigt för vattenlevande organismer. Om ämnet fördelas jämnt i den översta metern av vattenpelaren skulle det innebära teoretiskt att en yta på ca 1250 km² "förgiftas". Detta motsvarar över två tredjedelar av Vätterns yta. I teorin kan dock den totala ytan som påverkas bli ännu större då det kontaminerade vattnet driver över sjön och exponerar nya vattenmassor och "nya" organismer. Även mindre utsläpp kan följaktligen ge upphov till att stora ytor kontamineras.

Eftersom många av de mest toxiska ämnena är fettlösliga, inklusive antracen, förväntas de adsorberas eller ackumuleras i biota, partiklar eller sediment innan de sprider sig över ytor stora som halva Vättern.

- Densitet: 1250 g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 4,5
- Smältpunkt: +218°C
- Bioackumulerbarhet: 162 - 9200
- Kokpunkt: +342°C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): > 12 d (fotolys)
- Ångtryck: $2,7 \cdot 10^{-6}$ mm Hg
- Toxicitet (LC_{50} el. EC_{50}): 0,013 mg/l
- Förångning ($T_{1/2}$): 13 d (sjö)

I riskbedömningen får antracen 6 poäng (tab. 12.1).

Polybromerade difenyletrar (PBDE)

PBDE används framför allt som flamskyddsmedel i elektronisk utrustning, textilier, målarfärg, plaster och gummi. Sedan användningen av PCB förbjöds 1977 har det delvis ersatts av PBDE. De båda ämnena liknar varandra i många avseenden och de ökande värdena av PBDE i näringskedjan oroar.

Idag används oftast högbromerad PBDE (7-10 st brom) eftersom den är minst tillgänglig för biota. Dock har den nyligen återfunnits fisk från stora sjöarna i Nordamerika (ENN:s hemsida) och i ägg från svenska pilgrimsfalkar (Naturskyddsföreningen 2001). Dessutom bryts PBDE ner genom debromering, dvs genom avspjälkning av bromatomer. Detta gör att högbromerade molekyler blir lågbromerade under nedbrytningen och därmed även mera biotillgängliga.

PBDE transporteras normalt ej i stora volymer, men kan pga sin giftighet, bioackumulerbarhet och fettlöslighet få allvarliga konsekvenser som består under lång tid redan vid små utsläpp.

- Densitet: -
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 5,9 - 10
- Smältpunkt: -
- Bioackumulerbarhet: > 220 000
- Kokpunkt: -
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): > 2 d
- Ängtryck: mycket lågt
- Toxicitet (LC_{50} el. EC_{50}): hög
- Förångning ($T_{1/2}$): Förångas långsamt

I riskbedömningen får PBDE 0-6 poäng (tab. 12.1). Då exakt värde saknas för toxicitet har ”hög” antagits indikera en giftighet på minst 1,0 mg/l vid poängsättningen.

Metaller

I ramdirektivet för vatten finns kadmium, kvicksilver, bly och kvicksilver upptaget. Samtliga dessa kan vara giftiga i vissa

former, i synnerhet gäller det kvicksilver och kadmium.

Användningen av kadmium och kvicksilver är begränsad idag då dispens krävs för all användning av kvicksilver och viss användning av kadmium (t ex ytbehandling). Kvicksilver används idag framför allt inom tandvården, medan kadmium har sina största användningsområden i uppladdningsbara batterier och som pigment i färg. Blyanvändningen har minskat, vilket mest beror på att det sedan 1995 inte längre tillsätts i bensin. För nickel finns inga begränsningar för användningen.

Då metaller oftast transporteras i fast form och är olösliga i vatten innebär en olycka med metallinnehållande last normalt inte några större risker. Skulle dock metallerna vara i biotillgänglig form (bundna till exempelvis hydroxidjoner, karbonater, organiska eller oorganiska komplex) kan de ackumuleras i biota och sediment. För de flesta metaller ökar rörligheten med sjunkande pH, vilket innebär att de flesta metaller inte är särskilt rörliga i Vättern som har högt stabilt pH.

Nedan ges en kort kommentar om de upptagna metallernas egenskaper. Nedbrytningshastighet är inte beaktat då det inte är relevant för grundämnena.

- Kadmium är mycket giftigt (LC_{50} EL. $EC_{50} = 0,17$ ug/l) och mycket bioackumulerande (<164 000).
- Bly är giftigt (LC_{50} el. $EC_{50} = 0,2$ mg/l för metalliskt bly) och bioackumulerande (499 – 1700).
- Kvicksilver är giftigt (LC_{50} el. $EC_{50} = 0,35$ mg/l) och mycket bioackumulerande (< 63 000). Giftigheten ökar väsentligt till exempel då ämnet binder till en kolatom (metylkvicksilver). Då LC_{50} el. EC_{50} -värdet ca 0,005 mg/l.

- Nickel är ganska giftigt (0,13 mg/l) och bioackumuleras måttligt (40 – 100).

Kloralkaner (klorparaffiner)

Kloralkaner är en grupp av ämnen som består av en rak kolkedja med olika antal kloratomer på. Ju större molekylen blir desto mer fettlöslig blir den. Den största användningen av kloralkaner är som kyl- och smörjmedel inom metallindustrin. Andra användningsområden är bindemedel, mjukgörare och flamskyddsmedel och ingår därför i produkter som plaster (t ex PVC), färger, fogmassor, textilier, gummi mm.

Kloralkaner kan på grund av sin höga toxicitet, bioackumulerbarhet, fettlöslighet samt låga nedbrytbarhet ge allvarliga effekter på biota under lång tid. Dock transporteras normalt kloralkaner endast i mindre volymer, vilket begränsar det påverkade området vid farligt godsolycka.

- Densitet: -
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 4,4 – 6,9
- Smältpunkt: -
- Bioackumulerbarhet: 7155 - 248 000
- Kokpunkt: -
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): mån – år
- Ångtryck: ca 0,001 mm Hg
- Toxicitet (LC_{50} el. EC_{50}): 0,018 mg/l
- Förångning ($T_{1/2}$): Förångas obetydligt

I riskbedömningen får kloralkaner 9 poäng (tab. 12.1).

Klorfenvinfos

Klorfenvinfos används som insecticid. Årligen används 1-1,5 ton per år i Sverige. Således väntas endast mycket små volymer transporteras på vägar. Ämnets höga giftighet och låga nedbrytningshastighet indikerar dock att lokala effekter kan förekomma under lång tid.

- Densitet: -
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 3,8
- Smältpunkt: -20°C
- Bioackumulerbarhet: 40 - 470
- Kokpunkt: +167°C

- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): 1,1 år (ingen fotolys)
- Ångtryck: ca 0 mm Hg
- Toxicitet (LC_{50} el. EC_{50}): < 0,070 mg/l
- Förångning ($T_{1/2}$): Förångas ej

I riskbedömningen får klorfenvinfos 0-7 poäng (tab. 12.1).

Klorpyrifos

Klorpyrifos används som insecticid och ingår idag i fem godkända preparat. Användningen av ämnet i Sverige är begränsad och således väntas endast mycket små volymer transporteras på vägar. Ämnets väldigt höga giftighet och höga fettlöslighet samt låga nedbrytningshastighet indikerar dock att lokala effekter kan förekomma under lång tid.

- Densitet: 1400 g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 5,3
- Smältpunkt: +41°C
- Bioackumulerbarhet: 100 – 4670
- Kokpunkt: +160°C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): 25 d, sed (långsam fotolys)
- Ångtryck: ca 0 mm Hg
- Toxicitet (LC_{50} el. EC_{50}): 0,00025 mg/l
- Förångning ($T_{1/2}$): 179 d (sjö)

I farlighetsbedömningen får klorpyrifos 0-9 poäng (tab. 12.1).

Diklormetan

Diklormetan används främst som lösningsmedel och ingår i avfettningsmedel, färgborttagningsmedel. Ämnet ingår även i lim och sprayer (som drivmedel). Då diklormetan endast får användas efter dispens i Sverige förväntas inte stora kvantiteter av ämnet transporteras på vägarna.

Ämnets låga bioackumulerbarhet och relativt låga giftighet gör att smärre utsläpp torde få obetydliga konsekvenser. Diklormetan bryts dock endast ner måttligt fort och kan därför förväntas verka under relativt lång tid (veckor till månader).

- Densitet: 1320 g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 1,25

- Smältpunkt: -95°C
- Bioackumulerbarhet: 2
- Kokpunkt: +40°C
- Nedbrytbarhet (T½): dagar - månader
- Ångtryck: 342 mm Hg
- Toxicitet (LC₅₀ el. EC₅₀): 2,24 mg/l
- Förångning (T½): 4 d (sjö)

I riskbedömningen får diklormetan 0-2 poäng (tab. 12.1).

Di-(2-etylhexyl)ftalat (DEHP)

Di-(2-etylhexyl)ftalat används som mjukgörare i PVC, lim, lack och gummi. Dessutom förekommer det i dielektriska vätskor och vissa pesticider. 1998 tillverkades 62339 ton DEHP i Sverige (plus 5671 ton i import). Således finns det risk att ämnet transporteras på vägarna kring Vättern i betydande mängder. Ämnets höga bioackumulerbarhet, relativt låga nedbrytbarhet samt giftighet gör att ämnet kan få konsekvenser under lång tid, särskilt i sediment och biota dit det fördelar sig huvudsakligen.

- Densitet: 990 g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 7,6
- Smältpunkt: -55°C
- Bioackumulerbarhet: 42 - 2680
- Kokpunkt: +230°C
- Nedbrytbarhet (T½): ca 18 d (ingen fotolys)
- Ångtryck: 7,2*10⁻⁸ mm Hg
- Toxicitet (LC₅₀ el. EC₅₀): 1 mg/l
- Förångning (T½): Förångas ej

I riskbedömningen får DEHP 6 poäng (tab. 12.1).

Naftalen

Då naftalen består av två bensenringar är den per definition en PAH. Dock behandlas den separat i vattendirektivet och således även här. Naftalen används som syntesråvara och färgpigment. Ämnet förekommer också i fungicider, konserveringsmedel, lösningsmedel, skärvätskor mm. Naftalen förekommer således vitt spritt i samhället och kan väntas transporteras i måttliga mängder på vägarna kring Vättern. Förutsatt att ämnet transporteras i

biotillgänglig form (löst form) kan negativa konsekvenser uppstå vid farligtgodslutsläpp då naftalen är relativt giftigt samt har måttlig bioackumulerbarhet och nedbrytbarhet.

- Densitet: -
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 3,3
- Smältpunkt: +80°C
- Bioackumulerbarhet: 6 - 700
- Kokpunkt: +218°C
- Nedbrytbarhet (T½): dagar - månader
- Ångtryck: 0,08 mm Hg
- Toxicitet (LC₅₀ el. EC₅₀): 0,51 mg/l
- Förångning (T½): Ämnet förångas

I riskbedömningen får naftalen 5 poäng (tab. 12.1).

Nonylfenol

Nonylfenol används som syntesråvara vid tillverkning av nonylfenoletoxylater (NFEO), vilka i sin tur används i smörjmedel, värmestabilisatorer i polymerer och som antioxidant i plaster samt som baktericid och fungicid. Vid nedbrytning av NFEO bildas nonylfenol. Sedan 1990 har användningen av nonylfenol och NFEO minskat med 90%.

Användningen är dock fortfarande betydande och därför kan det antas att ämnet transporteras på vägar kring Vättern. Ämnets bioackumulerande och toxiska egenskaper gör att stora effekter kan uppstå vid utsläpp vid farligtgodslolycka. Eftersom ämnet även är svårnedbrytbart och ej förångas nämnvärt kan effekterna bestå under flera månader.

- Densitet: 950 g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 4,5
- Smältpunkt: -10°C
- Bioackumulerbarhet: 100 - 7000
- Kokpunkt: +295°C
- Nedbrytbarhet (T½): 10-15 h (ljus), 30d (sed.)
- Ångtryck: 2,4*10⁻⁵ mm Hg
- Toxicitet (LC₅₀ el. EC₅₀): 0,020 mg/l
- Förångning (T½): 160 000 d

I farlighetsbedömningen får nonylfenol 5-6 poäng (tab. 12.1). Poängen är angiven i ett intervall då nedbrytningshastigheten beror på de aktuella ljusförhållande. Oktylfenol är också upptaget på vattendirektivets lista över prioriterade ämnen, men behandlas inte separat här, då det används i mindre utsträckning än nonylfenol. De kemiska egenskaperna för oktylfenol liknar nonylfenolens.

Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)

Polycykliska aromatiska kolväten används som råvara vid tillverkning av PVC, pigment, plast, färg och pesticider. PAH:er förekommer också naturligt i petroleum. Dessutom bildas det vid ofullständig förbränning. Produkter med PAH:er förekommer således vitt spridda i vårt samhälle och antas därför transporteras på vägar kring Vättern.

Normalt är koncentrationen av PAH:er i produkter mycket låg. Även små utsläpp av PAH:er vid farligtgodsolycka kan ge förhållande allvarliga konsekvenser då vissa PAH:er är mycket giftiga och svårnedbrytbara, samt ackumuleras i biota.

- Densitet: > 1000g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): ca 6
- Smältpunkt: t ex +164°C
- Bioackumulerbarhet: 8,7 – 100 000
- Kokpunkt: t ex +536°C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): År (fotolys - några dagar)
- Ångtryck: ca 0 mm Hg
- Toxicitet (LC_{50} el. EC_{50}): 0,001 mg/l
- Förångning ($T_{1/2}$): Förångas ej

I riskbedömningen får polycykliska aromatiska kolväten 10-40 poäng (tab. 12.1).

Tributyltennföreningar

Tributyltennföreningar används främst som syntesråvara och som i biocid i båtbottnfärger. Ämnena förekommer i rostskyddsmedel, träskyddsmedel, vattenavstötande medel mm. Restriktioner för användningen av tributyltennföreningar finns i Sverige idag och användningen är begrän-

sad. Detta gör att endast små mängder kan väntas transporteras på vägarna kring Vättern. Även små utsläpp av tributyltennföreningar vid farligtgodsolycka kan ge förhållande allvarliga konsekvenser då ämnena är mycket giftiga och svårnedbrytbara, samt ackumuleras i biota.

- Densitet: t ex 1170 g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): -
- Smältpunkt: -
- Bioackumulerbarhet: 100 - 6000
- Kokpunkt: t ex +254°C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): 6 – 245 d
- Ångtryck: < 1 mm Hg
- Toxicitet (LC_{50} el. EC_{50}): 0,001 mg/l
- Förångning ($T_{1/2}$): Förångas ej

I farlighetsbedömningen får tributyltennföreningar 9 poäng (tab. 12.1).

Triklorbensen

Triklorbensen används som lösningsmedel och avfettningsmedel. Dessutom förekommer det i smörjmedel och pesticider. Användningen i Sverige är blygsam och transporten på vägarna förväntas därför vara mycket liten. Då triklorbensen är relativt giftigt, beständigt och bioackumulerande kan negativa effekter uppkomma vid utsläpp vid farligtgodsolycka.

- Densitet: 1450 g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 4 – 4,2
- Smältpunkt: +208-218°C
- Bioackumulerbarhet: 120-2400
- Kokpunkt: +17-64°C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): 28 – 110 d
- Ångtryck: 0,46 mm Hg
- Toxicitet (LC_{50} el. EC_{50}): 0,28 mg/l
- Förångning ($T_{1/2}$): 5,6 d (sjö)

I riskbedömningen får triklorbensen 0-6 poäng (tab. 12.1).

Hexa- och pentaklorbensen är två andra klorbensener som är upptagna på vattendirektivets lista över prioriterade ämnen. Eftersom giftigheten ökar och nedbrytbarheten minskar med ökad kloreringsgrad är dessa ämnen mera skadliga för miljön än triklorbensen. Dock används dessa ämnen

nästan inte alls i Sverige idag och studeras därför ej närmare här. Notera dock att dessa ämnen kan bildas vid t ex sopförbränning. Låga koncentrationer kan följaktligen förekomma på vägarna vid transport av farligt avfall.

Triklormetan (kloroform)

Triklormetan används framför allt vid produktion av kylmedel och plaster. Dessutom ingår det som lösningsmedel i fetter, gummi, vaxer mm. Triklormetan bildas även naturligt bl a av vissa växter. Användningen av triklormetan är begränsad enligt kemikalieinspektionens författningssamling. Dock transporteras förmodligen en del på vägarna runt Vättern.

Då triklormetan varken är särskilt giftigt eller bioackumulerande är ämnet relativt oskadligt. Eftersom ämnet är ganska persistent kan dock ett utsläpp av triklormetan vid farligtgodsolycka ge upphov till konsekvenser då exponeringen kan finnas kvar relativt länge.

- Densitet: 1480 g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 2,0
- Smältpunkt: -63°C
- Bioackumulerbarhet: 2,9 – 10,4
- Kokpunkt: +61°C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): långsam
- Ångtryck: 0,2 mm Hg
- Toxicitet (LC₅₀ el. EC₅₀): 28,9 mg/l
- Förångning ($T_{1/2}$): 4,4 d (sjö)

I riskbedömningen får triklormetan 1 poäng (tab. 12.1).

11.3. Farliga och vanliga ämnen i farligtgodstransporter

Två ämnen, bensen och 1,2-diklorethan, återfanns både på vattendirektivets lista över prioriterade ämnen och på listan över de ämnen som används i störst kvantitet i Sverige.

Bensen

Bensen förekommer naturligt i råolja (ca 4 g/l). Det används som bränslekomponent, men även vid tillverkning av färger, plaster

och kemikalier. Förekomsten av bensen i bränsle tillsammans med dess flyktighet gör att det är ett av de absolut vanligaste kolvätena i luft. Då bensen snabbt förångas kommer effekterna för vatten att vara relativt begränsade. Dock kommer förångningen vara betydligt långsammare vid låga temperaturer vilket ofta råder i Vättern. Dessutom kan ämnet p g a sin giftighet ge upphov till stora konsekvenser i närheten av utsläppspunkten.

Bensen bioackumuleras endast i liten grad.

- Densitet: 880g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 2,1
- Smältpunkt: +5°C
- Bioackumulerbarhet: 1,1 - 20
- Kokpunkt: +80°C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): ca 22 d (sed.)
- Ångtryck: 95 mm Hg
- Toxicitet (LC₅₀ el. EC₅₀): 0,1 mg/l
- Förångning ($T_{1/2}$): 1 h (flod)

I riskbedömningen får bensen 11 poäng (tab. 12.1).

1,2-diklorethan

1,2-diklorethan används för att producera klorerade lösningsmedel och vinylklorid. Klorerade lösningsmedel ingår i avfettningsmedel och färger. Dessutom används 1,2-diklorethan som bindemedel för bly i blyad bensin. 1,2-diklorethan är varken bioackumulerande eller särskilt giftigt. Nedbrytningshastigheten är dock ganska låg och eventuella effekter kan bli relativt långvariga.

Ämnet används i stora kvantiteter och därmed förväntas transporteras i viss utsträckning på vägarna kring Vättern.

- Densitet: 1240 g/l
- Fettlöslighet (log K_{ow}): 1,8
- Smältpunkt: -35°C
- Bioackumulerbarhet: < 2
- Kokpunkt: +84°C
- Nedbrytbarhet ($T_{1/2}$): mkt långsam
- Ångtryck: 638 mm Hg
- Toxicitet (LC₅₀ el. EC₅₀): 20,7 mg/l
- Förångning ($T_{1/2}$): 10 d (sjö)

I riskbedömningen får 1,2-dikloretan 1 poäng (tab. 12.1).

12. GRADERING AV STUDERADE ÄMNEN EFTER RISK

I nedanstående tabell (12.1) sammanfattas poängbedömningen som gjordes i föregående stycke. Bland de ämnen som transporteras i större mängder på vägarna fick eldningsolja, fenol, asfalt och bensin högst poäng. Bland dessa utgör framför allt de tre förstnämnda betydande risker för Vättern, eftersom de riskerar att stanna kvar i Vättern under lång tid. Med bensin är risken mindre då den förångas relativt snabbt. Värt att notera är också att eldningsolja, bensin och asfalt kan innehålla små mängder PAH:er som är mycket toxiska, bioackumulerbara och svårnedbrytbara.

Bland ämnena från ramdirektivet för vatten märks återigen PAH:er (se ovan). Även många andra ämnen får höga poäng som t ex TBT, kloralkaner och DEHP (tab. 12.1)

13. DISKUSSION

Olyckor med farligt gods leder ofta endast till små utsläpp, men utsläpp upp till ca 50 m³ kan inträffa, då det motsvarar en helt fullastad stor tankbil. Volymen av svårnedbrytbara ämnen i den storleksordningen kan under goda spridningsförhållanden (stark vind och jämn vattentemperatur som medger lätt omrörning) snabbt kontaminera stora delar av Vättern om de inte avdunstar. Ämnen som kan ge upphov till den här typen av skador är t ex eldningsolja, fenol och asfalt samt flertalet av ämnena prioriterade enligt ramdirektivet för vatten. För de allra giftigaste ämnena (t ex PAH:er, fenol och bekämpningsmedel) kan det räcka med några hundra liter eller enstaka kubikmeter för att dödliga koncentrationer för biota (även människor i extrem-

fall) ska kunna uppstå över flera kvadratkilometer. Därmed riskerar även ett eller flera av Vätterns dricksvattenintag blir otjänliga.

Vad som idag är begränsande för att göra en mera applicerbar studie är den sparsamma kunskapen om vad som egentligen transporteras på våra vägar. En relativt god kunskap existerar för petroleumprodukter, men för övriga ämnen, inklusive produkter (t ex färger och lim), saknas tillräckliga data. Utifrån toxicitets-, avdunstnings-, bioackumulerings- och nedbrytningsdata kan ytterligare ämnen snabbt jämföras med de ämnen som studerats i detta arbete med hjälp av poängsättningsmetoden. Utifrån den informationen som krävs för poängsättning kan även den påverkade vattenvolymens storlek och utbredning i tiden grovt uppskattas. Förfinad upplösning när det gäller ämnenas spridning är nu även tillgänglig i form av en den nya spridningsmodellen, *Seatrack* (SMHI) för Vättern. Läs mer om *Seatrack* i Vätternvårdsförbundets rapport nummer 63 (2001b).

Eftersom många vägar med betydande belastning av farligtgodstransporter går alldeles intill Vättern och dess tillflöden är det i praktiken omöjligt att säkra Vätterns vattenkvalitet genom enbart preventiva åtgärder. Framöver bör det preventiva arbetet ha fortsatt prioritet, men bör kompletteras ytterligare med åtgärder för ökade möjligheter att göra snabba insatser vid olyckor. Till exempel skulle lastbilar som transporterar farliga ämnen (t ex eldningsolja och fenol) kunna vara försedda med GPS eller ha följevagn för att veta exakt var lastbilen befinner sig vid eventuell olycka. Eventuella utsläpp kan sedan modelleras med hjälp av *Seatrack* och åtgärder sättas in på effektivaste sätt. Vid användning av *Seatrack* är det viktigt att information om utsläppets innehåll och karaktär samt väderdata snabbt finns tillgängliga för att kunna göra optimala prognoser över utsläppets utveckling.

Tabell 12.1. Översikt av konsekvensbedömning för vanliga ämnen/beredningar och ämnen upptagna som prioriterade i ramdirektivet för vatten (2000/60/EG).

Ämne/beredning	Konsekvens			Sannolikhet för olycka		Anmärkning
	Halverings-tid	Bioackumulering	Toxicitet	Transport-intensitet	Riskpo-äng	
<i>Vanligast förekommande ämnen i farligtgodstransporter</i>						
Eldningsolja	4	1	4	10	30	Kan innehålla små mängder PAH:er, se nedan
Fenol	4	0	7	4 - 7	15-26	
Asfalt	4	1	4	4 - 7	12-21	Kan innehålla små mängder PAH:er, se nedan
Bensin	0	1	4	10	17	Kan innehålla små mängder PAH:er, se nedan
Ammoniak	0	0	7	4 - 7	9-16	
Gasol	4	0	1 (?)	7	12	
Natriumklorid	0	0	0	10	0	Korttidsverkande (rubbar saltbalansen)
Butanal	4	0	?	1 - 4	1-5 (?)	
Svavelsyra	0	0	0	4 - 7	-	Korttidsverkande (frätande)
Eten	1	1	?	1 - 4	1-3 (?)	
Metan	1	0	?	1 - 4	0-1 (?)	
Natriumhydroxid	0	0	0	1 - 4	-	Korttidsverkande (pH-höjande)
PVC	?	?	?	1 - 4	Låg risk	
Ammoniumnitrat	0	0	0	1 - 4	0	
<i>Prioriterade ämnen enligt ramdirektivet för vatten</i>						
PAH	10	10	10	1-4	10-40	Förekommer i petroleumprodukter
TBT	10	7	10	1	9	
Kloralkaner	10	10	7	1	9	
Klorpyrifos	10	7	10	0-1	0-9	
Klorfenvinfos	10	4	7	0-1	0-6	
DEHP	7	7	4	1	6	
Antracen	4	7	7	1	6	
Nonylfenol	1 - 4	7	7	1	5-6	
PBDE	4	10	4 (?)	0-1	0-6	
Naftalen	7	4	4	1	5	
Triklorbensen	4	7	4	0-1	0-6	
Triklormetan	4	0	0	1	1	
Diklormetan	4	0	1	0 - 1	0-2	
<i>Ämnen som både är vanliga i farligtgodstransporter och prioriterade enligt ramdirektivet för vatten</i>						
Bensen	0	1	7	4	11	
1,2-diklorethan	4	0	0	1	1	

14. SLUTSATSER

Kunskapen om transporten kring Vättern är inte tillfredsställande för andra ämnen än

möjligen petroleumföreningar. Kompletterande studier bör göras.

Även om sannolikheten för farligtgodsolyckor är liten, är den tillräckligt stor för att fortsatt arbete att ytterligare minska sannolikheten för farligtgodsolyckor och dess eventuella konsekvenser bör prioriteras. Utifrån sannolikhetsberäkningar bör åtgärder på Vätterns östsida prioriteras då sannolikheten för farligtgodsolycka är betydligt större där än på Vätterns västsida.

Eldningsolja, fenol, bekämpningsmedel, bensin är exempel på ämnen/blandningar som kan ge långtgående effekter både i tid och rum. För Vättern som är en kall och näringsfattig sjö kan svårnedbrytbara ämnen som hamnar i sedimenten förbli där under tiotals år. Ett punktutsläpp från en farligtgodsolycka kan redan under måttliga vindstyrkor spridas ett 10-tals kilometer på

ett dygn och därmed påverka mycket stora vattenvolymer.

Metoden att sätta ”riskpoäng” för olika ämnen erbjuder tillsammans med spridningsmodellen verktyg att snabbt bedöma riskerna med ämnen som inte tagits upp i denna studie.

För de allra giftigaste ämnena (t ex PAH:er, fenoler och bekämpningsmedel) kan det räcka med några hundra liter eller enstaka kubikmeter för att dödliga koncentrationer för biota (även människor i extremfall) ska uppstå över flera kvadratkilometer. Därmed riskerar även ett eller flera dricksvattenintag blir otjänliga.

Både preventiva åtgärder och åtgärder för ökad beredskap vid olycka bör prioriteras framgent.

LITTERATUR

- Bækken, T och Jørgensen, T. (1994) Vannforurening fra veg – langtidseffekter. Vegdirektoratet, Oslo. Publikasjon nr 73. Norsk.
- Bergbäck, B. editor (1998) Metaller i Stockholm, kunskapssammanställning av metallflöden via olika verksamheter i Stockholm. Naturvårdsverket rapport 4952.
- Bjelkås, J. och Lindmark, P. (1994) Förorening av mark och vägdagvatten på grund av trafik. Statens geotekniska institut.
- Dayteg, J & Nohrstedt, L. (2001). Undersökning av vattendirektivets prioriterade ämnen: Situation i Stockholms akvatiska miljö (under tryckning)
- ENN:s hemsida, www.enn.com (ENN = Environmental News Network)
- Enwall, G. (2001). Konsekvensklassificering för Vättern (Vätternvårdsförbundets rapport nr 60)
- Enwall, M & Lagerkvist, G. (1999). Konsekvensklassificering för Vättern (Vätternvårdsförbundets rapport nr 58)
- Gustafsson, och Hallgren-Larsson (2000) Spatial and temporal patterns of chloride deposition in southern Sweden. *Water, Air and Soil pollution* 124: 345-369.
- Hein, M. (2000) Metaller i den akvatiska miljön i Jönköpings län. Länsstyrelsen i Jönköpings län, meddelande 2000:53.
- Helmersson, L. (1994). Konsekvensanalys av olika olycksscenarier vid transport av farligt gods på väg och järnväg (VTI rapport 387:4)
- Håkanson, L. och Ahl, T. (1976) Vättern-recenta sediment och sedimentkemi. Statens Naturvårdsverk PM 740, NLU rapport 88.
- Jaldemark, B. editor (1998) Åtgärdsplan Vättern Öst. Vätternvårdsförbundet, rapport nr 52.
- Jensen, M., Gudmundsson, H., Fenger, J. och Christensen, L. (1998) Bilisme og miljø – en svær balance. TEMA-rapport, Danmarks Miljøundersøgelser. Dansk.
- Kemikalieinspektionens författningssamling (KIFS)
- Kemikalieinspektionens hemsida. www.kemi.se
- Larsson, P., Collvin, L., Olka, L. och Meyer, G. 1992. Lake productivity and water chemistry as governors of the uptake of persistent pollutants in fish. *Environ. Sci. Technol.* 26: 346-352.
- Lenner, M. (2000) Bränsleförbrukning och avgasemissioner vid körförlopp. Väg- och transportforskningsinstitutet, meddelande 892:2000.
- Livsmedelsverkets hemsida. www.slv.se
- Löfgren, S. (1999) Vägsaltets effekter på mark- och vattenkemi i små skogsområden i sydöstra Sverige. Institutionen för Miljöanalys, Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Naturskyddsföreningen.(2001). Bromerade flamskyddsmedel (PBDEs) ifunna i ägg av pilgrimsfalkar (*Falco peregrinus*) häckande i Sverige
- Naturvårdsverket (1995) Däck i kretsloppet. Faktablad.
- Naturvårdsverket. (1999). Att finna farliga flöden, Rapport 5036
- Räddningstjänst Jönköping. (2001). Muntlig kommunikation med Stefan Waltersson, Räddningsexpert
- Räddningsverket. (1996). Farligt gods – riskbedömning vid transport
- Räddningsverket. (1997). Transport av farligt gods – Lägesrapport 1997
- SIDS. (1994). Initial assessment report: 10
- Statens räddningsverk. (1998). Statens räddningsverks föreskrift (1998:8) om transport av farligt gods på väg och i terräng.
- Storhaug, R. (1996) Miljøgifter i overvann. Statens forureningstillsyn, rapport 96:18. Norsk.
- Toxnets sökbara databas på internet: <http://toxnet.nlm.nih.gov>
- Vägverket (1995) Minskad förorening av mark och vatten. Underlagsrapport 6 för Vägverkets miljöprogram. Publikation 1995:59.
- Vägverket (2000) Inriktningsprogram för mark- och vattenfrågor i Vägverket. Publikation 2000-07.
- Vätternvårdsförbundet (1996) Metaller i Vättern, tillförsel och källfördelning av Lindeström, L. Rapport nr 39.
- Vätternvårdsförbundet (2000) Årsskrift 2000. Redaktör M. Lindell. Rapport nr 59.
- Vätternvårdsförbundet. (2001a). Kommunikation med Måns Lindell
- Vätternvårdsförbundet. (2001b). Seatrack Vättern – ett simuleringsprogram för spridning av ämnen i Vättern. Rapport nr 63.
- Vätternvårdsförbundets hemsida, <http://www.vattem.org>

Bilaga 1. Medel, max och min värden av ledningsförmågan, natriumhalt och kloridhalt i Vättern och tillflöden.

Station	period	ledningsförmåga (mS/m)			natrium (mekv/l)		klorid (mekv/l)			
		medel	min	max	medel	min	max	medel	min	max
Vättern Jungfrun	84/79-00	13,40	12,20	14,60	0,28	0,24	0,31	0,25	0,22	0,31
Vättern Edeskvamn	84/70-00	12,80	11,40	14,80	0,27	0,20	0,32	0,26	0,18	0,31
Aspaån	86-96	6,07	4,24	9,85	0,14	0,11	0,20	0,13	0,08	0,19
Dummeån	84/66-99	12,10	6,59	22,30	0,30	0,13	0,59	0,31	0,12	0,62
Dunkehallaån	86-96	15,60	6,76	74,30	0,54	0,22	5,30	0,57	0,27	5,27
Forsviksån vid Forsvik	84/66-99	7,22	5,93	9,19	0,18	0,13	0,23	0,18	0,14	0,26
Gagnån vid Kvarnviden	86-99	6,03	3,78	8,35	0,19	0,11	0,25	0,16	0,08	0,24
Hammarsundet	96-99	13,60	11,30	15,00	0,31	0,25	0,33	0,25	0,19	0,31
Hjoån	86/66-99	12,50	8,62	25,10	0,34	0,21	1,27	0,39	0,23	1,39
Huskvarnaån	86-99	20,40	12,40	44,20	0,53	0,26	1,33	0,58	0,28	1,34
Hökesån	86/67-99	13,20	6,85	32,40	0,35	0,16	1,09	0,36	0,15	1,09
Knipån vid Kvarnkulla	86-99	9,56	5,56	17,20	0,24	0,15	0,33	0,27	0,14	0,40
Lillån	86-96	31,00	21,40	45,30	0,77	0,48	1,25	0,93	0,64	1,62
Mjölnaån	84/66-99	44,60	26,90	77,50	0,47	0,25	1,06	0,55	0,22	1,42
Motalaström	84/66-99	14,13	12,80	17,40	0,28	0,20	0,41	0,25	0,17	0,47
Munksjöns utlopp	96-99	20,50	15,40	30,30	0,57	0,40	0,91	0,57	0,39	1,03
Orrnäsaån	86/66-99	33,00	15,60	74,20	0,41	0,21	1,80	0,48	0,18	2,02
Rödesund	90-96	9,31	7,38	13,20	0,23	0,19	0,30	0,22	0,19	0,27
Röttleån vid Gränna kraftverk	84/72-96	15,30	13,50	19,50	0,25	0,20	0,47	0,27	0,18	0,62
Röttleån vid Röttle	84/66-99	31,90	16,50	58,10	0,62	0,25	1,73	0,76	0,26	2,37
Svedån vid Sved	84/66-99	5,88	4,42	7,55	0,18	0,13	0,25	0,14	0,10	0,24
Ämmelången	84/67-96	11,19	8,97	12,90	0,17	0,13	0,22	0,18	0,12	0,24

Bilaga 2. Ämnen som förekom i störst kvantiteter och högst antal produkter i Sverige 1998 (kemikalieinspektionens hemsida)

Ämnesnamn	CAS-nr	Antal produkter	Kvantitet (ton)
Råolja	8002-05-09	24	17571069
Dieselolja	68334-30-5	122	9348067
Bensin	86290-81-5	88	6252177
Avaromatiserad tung lacknafta / Diesel MK1	64742-47-8	742	2958530
Kväve	7727-37-9	24	2529359
Vatten	7732-18-5	19650	2004034
Portlandcement	65997-15-1	307	1369184
Koldioxid	124-38-9	119	1050799
Eldningsolja, återstoder	68476-34-5	12	1035450
Eldningsolja, No 2	68476-34-6	5	966376
Syre	7782-44-7	14	962088
Asfalt	8052-42-4	243	841961
Kolmonoxid	630-08-0	6	824358
Ammoniumnitrat	6484-52-2	176	791015
Fotogen	8008-20-6	83	760243
Metan	74-82-8	9	700367
Propan	74-98-6	646	669241
Natriumklorid	7647-14-5	844	660011
Alifatisk lätt lacknafta	64742-89-8	298	645047
Kalciumoxid	1305-78-8	253	615559
Destillat (petroleum), straight-run bred fraktion	92045-37-9	12	569422
Straight-run petroleumdestillat	68915-96-8	25	517979
Polyeten	9002-88-4	1179	456838
Svavelsyra	7664-93-9	394	444774
Medeltunga vätebehandlade petroleumdestillat	64742-46-7	132	381570
Magnesiumsilikat	13776-74-4	54	353439
Butan	106-97-8	610	309630
Ammoniak	7664-41-7	383	282106
Tunga nafteniska petroleumdestillat	64741-53-3	42	271307
Natriumhydroxid	1310-73-2	1397	254246
Talloljebeck	8016-81-7	27	232423
Kaliumklorid	7447-40-7	188	230823
Butanal	123-72-8	5	230776
Aluminiumoxid	1344-28-1	703	226182
Kalciumnitrat	10124-37-5	25	225407
Vätgas	1333-74-0	13	213623
Eldningsolja, högsvavlig	68476-32-4	7	212086
Petroleumgaser, flytande	68476-85-7	44	208109
Eten	74-85-1	19	208029
Polyvinylklorid	9002-86-2	259	206911
Propen	115-07-1	5	191324
Nafta (petroleum), lätt, sweetened	68783-66-4	2	183851
Bensen*	71-43-2	109	183445
Svavel	7704-34-9	96	183104
Fotogen (petroleum), straight-run bred fraktion	92045-37-9	5	157198
1,2-Diklorethan*	107-06-2	9	148509

*Upptagna på ramdirektivet för vatten

Bilaga 3. Ämnen prioriterade enligt ramdirektivet för vatten (2000/60/EG)

Ämnesnamn	CAS-nr	Anmärkning
Alaklor	15972-60-8	Används ej i Sverige
Antracen	120-12-7	Är en PAH
Atrazin	1912-24-9	Används ej i Sverige
Bensen	71-43-2	
Polybromerade difenyletrar		
Kadmium	7440-43-9	
Kloralkaner	85535-84-8	
Klorfenvinfos	470-90-6	Bekämpningsmedel
Klorpyrifos	2921-88-2	Bekämpningsmedel
1,2 dikloretan	107-06-2	
Diklormetan	75-09-2	
Di-(2-etylhexyl)ftalat	117-81-7	
Diuron	330-54-1	Används ej i Sverige
Endosulfan	115-29-7	Används ej i Sverige
Hexklorbensen	118-74-1	Används ej i Sverige
Hexaklorbutadien	87-68-3	Används ej i Sverige
Hexaklorcyklohexan (lindan)	608-73-1	Används ej i Sverige
Isoproturon	34123-59-6	Bekämpningsmedel
Bly	7439-92-1	
Kvicksilver	7439-97-6	Används endast vid dispens
Naftalen	91-20-3	Är en PAH
Nickel	7440-02-0	
Nonylfenol	25154-52-3	
Oktylfenol	27193-28-3	
Pentaklorbensen	608-93-5	
Pentaklorfenol	87-86-5	Används ej i Sverige
Polycykliska aromatiska kolväten (PAH:er)		
Simazin	122-34-9	Används ej i Sverige
	688-73-3 m	
Tributyltennföreningar	fl	
Triklorbensen	12002-48-1	
Triklormetan	67-66-3	
Trifluralin	1582-09-8	Används ej i Sverige

Bilaga 4. Faktaruta om Spridningsprogrammet *Seatrack* Vättern. Mer information kan fås från Vätternvårdsförbundets sekretariat.

***Seatrack* — simulering av kemikaliers, oljors och föremåls spridning i vatten**

I samband med bekämpning av förorenande utsläpp är det av stor vikt att kunna förutsäga hur ett visst utsläpp kommer att spridas. För detta ändamål har SMHI utvecklat programsystemet *Seatrack*, vilket bygger på lång erfarenhet av strömningsmodeller och simulering av spridning i vatten. *Seatrack* har applicerats på flera olika vattenområden i Sverige, både på regional och lokal nivå. Systemet används för närvarande vid riskanalys beträffande vattentäkter, inom operativ oljebekämpning och som ett utbildningsverktyg.

***Seatrack* — lättanvänt och flexibelt**

Då ett utsläpp upptäckts påbörjas en prognosberäkning i *Seatrack* genom att användaren på ett enkelt och intuitivt sätt anger utsläppets position, typ, djup och mängd, samt övrig nödvändig information, i ett beräkningsformulär. Användaren kan också påverka hur programmet ska beräkna utsläppets beteende och spridning i vattnet. Därefter anges de förväntade ström- och väderförhållandena för var tredje timme under den period man vill simulera och beräkningen startas. Resultatet, en prognos över hur utsläppet kan komma att spridas, presenteras på en karta i form av partiklars rörelser eller koncentrationer. Förloppet kan även animeras och via olika menyval kan användaren få närmare information om utsläppets egenskaper vid olika tidpunkter, både grafiskt och i tabellform. *Seatrack* är ett avancerat och mångsidigt PC-baserat programsystem för att beräkna och visualisera hur olika ämnen eller föremål förflyttas och sprids i havet, i sjöar och i flodsystem.

***Seatrack* — tekniska egenskaper**

- Lättanvänt grafiskt användargränssnitt med standardiserade kartverktyg, implementerat i MapX™ från MapInfo vilket medför hög kompatibilitet med annan GIS-baserad data och programvara.
- Beräkningsresultat kan visualiseras och animeras på ett flertal olika sätt, samt sparas, skrivs ut och exporteras.
- Hanterar olika typer av petroleumprodukter, lösta, sjunkande eller flytande ämnen och föremål (t ex en livbåt eller en person) samt beräkningar bakåt i tiden.
- Inkluderar funktionalitet för att simulera effekten av en länsa.

Seatrack skräddarsys för ett visst område genom att strömmen under ett antal olika väder-, vind-och vattenförhållanden beräknas i förväg. Relevanta situationer bestäms utifrån statistisk analys av mätserier tagna ur SMHIs databanker. Strömberäkningarna görs med samma välbeprövade 3-dimensionella simuleringsprogram som använts vid miljöprovningen av Öresundsbron.

För mer information kontakta

Cecilia Ambjörn

Mats Ivarsson

Olof Liungman

E-post Fornamn.Efternamn@smhi.se