

# Förbättrad modellering och mätning av belastningen från luftföroreningar

- samverkan mellan  
Krondroppsnetet och MATCH-  
modellen

Sofie Hellsten<sup>1)</sup> Christer Persson<sup>2)</sup> Gunilla Pihl Karlsson<sup>1)</sup>  
Cecilia Akselsson<sup>3)</sup> Per Erik Karlsson<sup>1)</sup> Helena Södergren<sup>2)</sup>

1) IVL

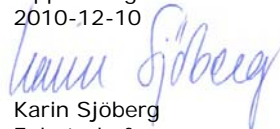
2) SMHI

3) Lunds Universitet

B 1951

November 2010

Rapporten godkänd  
2010-12-10



Karin Sjöberg  
Enhetschef



IVL Svenska  
Miljöinstitutet

<b>Organisation</b> IVL Svenska Miljöinstitutet AB	<b>Rapportsammanfattning</b>
<b>Adress</b> Box 5302 400 14 Göteborg	<b>Projekttitel</b> Utveckling av Krondropps nätet utifrån regionala och nationella behov – Del 2
<b>Telefonnr</b> 031-725 62 00	<b>Anslagsgivare för projektet</b> Naturvårdsverket
<b>Rapportförfattare</b> Sofie Hellsten(IVL), Christer Persson(SMHI), Gunilla Pihl Karlsson(IVL), Cecilia Akselsson (Lunds Universitet), Per Erik Karlsson (IVL) & Helena Södergren (SMHI)	
<b>Rapporttitel och undertitel</b> Förbättrad modellering och mätning av belastningen från luftföroreningar - samverkan mellan Krondropps nätet och MATCH-modellen	
<b>Sammanfattning</b> <p>Mätningarna inom Krondropps nätet, och modellsystemet MATCH- Sverige, används idag i den nationella miljöövervakningen av nedfall av olika luftföroreningar till skog och mark. Följande studie har utvärderat möjligheten att kombinera informationen från de två systemen och ger konkreta förslag på förbättringsmöjligheter för att skapa bättre förutsättningar för att uppnå en optimal nationell miljöövervakning samt modellering. I vissa hänseende har även andra nationella atmosfärskemiska stationsnät inkluderats i studien.</p> <p>När det gäller övervakningsmätningarna är det angeläget att samtliga mätstationer utrustas med enhetliga och testade nederbördsprovtagare, att beräkna våtdeposition med hjälp av mätningarna över öppet fält samt en korrektionsfaktor och att mätningarna vid fjällstationerna åter tas i drift. Vidare är det viktigt att strängprovtagare åter tas i drift för att möjliggöra uppskattningen av torrdepositionen, framför allt av föreningar som interncirkulerar i trädkronorna, såsom kväve och baskatjoner. Modellerade nederbördsmängder som tagits fram av SMHI kan eventuellt användas för att i efterhand beräkna nedfallet över öppet fält vintertid. När det gäller MATCH-modellen är det angeläget att torrdepositionen av baskatjoner åter modelleras med MATCH-Sverige, något som är möjligt nu då lufthaltsmätningar av baskatjoner återigen finns tillgängliga. Även införandet av strängprovtagare kan användas som underlag vid modelleringen av baskatjoner. Det är prioriterat att räkna om MATCH resultaten för 2005-2008 med samma höga upplösning som tidigare (11 x 11 km). Andra förbättringsmöjligheter för MATCH-modellen omfattar en omarbetning av parameteriseringen av torrdepositionen till skog, vilket skulle vara möjlig med hjälp av resultaten från mätningarna av torrdepositionen av kväve och baskatjoner med strängprovtagare.</p> <p>Vidare föreslås att resultaten från de olika atmosfärskemiska stationsnäten jämförs med modellvärden (MATCH och EMEP) för att få en övergripande bild av de kombinerade resultaten från samtliga mätningarna i kombination med modellresultat.</p> <p>Inom studien har ett antal förslag till utvecklingsprojekt tagits fram som kan bidra till att förbättra både mätningar och modellering av nedfallet av luftföroreningar över Sverige.</p>	
<b>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren</b> Miljöövervakning, nedfall, deposition, mätning, modellering, Krondropps nätet, MATCH-modellen	
<b>Bibliografiska uppgifter</b> IVL Rapport B 1951	
<b>Rapporten beställs via</b> Webbplats: www.ivl.se, e-post: publicationservice@ivl.se, fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm	

## Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	3
2.	Projektets målsättning .....	3
3.	Bakgrund.....	3
3.1	Tidigare samarbets- och närstående projekt .....	4
4.	Krondroppsnetet.....	5
4.1	Mätmetoder .....	6
5.	MATCH-Sverige-modellen.....	7
5.1	Modelleringsmetodik .....	7
5.2	MATCH-Sverige-systemets koppling till atmosfärskemiska mätdata.....	8
6.	Problembeskrivning och utvecklingsbehov .....	9
6.1	Nederbördsräkning .....	9
6.2	Totaldepositionen av kväve till skog .....	11
6.3	Deposition av baskatjoner .....	12
6.4	Atmosfärskemiska stationers representativitet .....	13
6.5	Enhetlig provtagningstid .....	15
6.6	Torrdepositionsberäkningar i MATCH-Sverige.....	15
6.7	Brister i tillgängligheten av datavärdsdata för MATCH-Sverige samt bristande geografisk upplösning för 2005-2008 .....	16
7.	Förbättringsprojekt .....	16
7.1	Pågående projekt .....	16
7.1.1	Test av nya nederbördskemiska provtagare .....	16
7.1.2	Bulkprover .....	17
7.1.3	Brister i MATCH-Sverige datavärdsdata .....	17
7.1.4	En förbättrad metod för att beräkna kvävedepositionen till skog baserat på strängprovtagare .....	17
7.2	Förslag till framtida projekt – Hög prioritet, snabb start.....	17
7.2.1	Förbättring av torrdepositionsberäkningarna av baskatjoner inom MATCH-Sverige-modellen .....	17
7.2.2	Empiriska uppskattningar av torrdepositionen av baskatjoner över Sverige baserat på mätningar med strängprovtagare .....	17
7.2.3	Förbättrad torrdeposition av andra komponenter i MATCH-Sverige.....	18
7.2.4	Fjällstationer .....	18
7.2.5	Specialstudie av mätresultaten från Krondroppsnetet, LNKN och EMEP. ....	18
7.2.6	Eventuell dataassimilation av Krondroppsnetets mätningar över öppet fält i MATCH-Sverige .....	18
7.2.7	Dubbla provtagare.....	18
7.2.8	Enhetliga start/stoptider.....	19
7.2.9	Korrigerig av tidigare resultat från mätningar över öppet fält med snösäckar .....	19
7.3	Förslag till framtida projekt – på längre sikt .....	19
7.3.1	Jämförelse av modellresultaten från MATCH-modellen, EMEP-modellen och mätresultaten från Krondroppsnetet.....	19
7.3.2	Samband mellan luftföroreningar och klimat.....	19
8.	Referenser.....	20



## 1. Inledning

Krondropps nätet och modellsystemet MATCH-Sverige har idag viktiga roller i den nationella miljöövervakningen för ett flertal miljö kvalitetsmål. IVL och SMHI har av Naturvårdsverket fått i uppdrag att utvärdera möjligheterna att kombinera resultaten från Krondropps nätet och MATCH-Sverige-systemet i syfte att förbättra en del av den nationella miljöövervakningen. Projektet har genomförts i form av två projektmöten (ett på IVL och ett på SMHI).

Föreliggande rapport utgör redovisning för projektet ”Utveckling av Krondropps nätet utifrån regionala och nationella behov – Del 2” och omfattas av avtal nr: 211 1040 Dnr: 237-2285-10Mn för IVL Svenska Miljöinstitutet AB samt avtal nr: 211 1031, Dnr: 235-2332Mn för SMHI.

## 2. Projektets målsättning

Projektets målsättning är att utvärdera och ge förslag till förbättrade möjligheter att kombinera information från Krondropps nätet och MATCH-Sverige-systemet. Genom att koppla samman information som finns tillgänglig inom miljöövervakningen, det vill säga genom att kombinera mätningar och modellering, så skapas förutsättningar för att uppnå en förbättrad nationell miljöövervakning inom detta område.

Under projektarbetets gång har dessutom behovet av en ytterligare vidgad översyn för att nå en effektiv kartläggning av deposition till mark, vatten och vegetation inom den svenska miljöövervakningen blivit uppenbar. Därför inkluderas i vissa avseenden ibland även de nationella stationsnäten: EMEP samt Luft- och Nederbördskemiska nätet (LNKN).

## 3. Bakgrund

Den nationella miljöövervakningen via Naturvårdsverket bidrar till de mätningar som bedrivs inom Krondropps nätet ([www.krondroppsnetet.ivl.se](http://www.krondroppsnetet.ivl.se)). Huvuddelen av undersökningarna i Krondropps nätet finansieras dock av Luftvårdsförbund och Länsstyrelser. Naturvårdsverkets anslag används i första hand till utökade mätningar över öppet fält på 19 lokaler (2010), spridda över landet. Resultaten från mätningarna ger i sig en bra kartläggning av luftföroreningsbelastningen över Sverige men kan även användas för jämförelse med modellberäknad deposition, t.ex. den som SMHI utför med MATCH-Sverige-modellen.

MATCH-Sverige modellen simulerar på nationell skala föroreningshalter och deposition i Sverige med dygns eller månads tidsupplösning. Framtagna årsmedelhalter och årsdepositioner över Sverige för olika föroreningskomponenter finns tillgängliga för olika användare i samhället via webbgränssnitt från SMHI:s datavärdskap för atmosfärskemi. Data finns lagrade med 20 x 20 km geografisk upplösning. Dessa data används t.ex. även som underlag för de av Naturvårdsverket koordinerade svenska beräkningarna av kritisk belastning (Persson and Kahnert, 2006). Viktiga indata till MATCH-modellen är, förutom emissions-, meteorologiska och fysiografiska data, också mätdata från EMEP och LNKN. Det finns alltså ett beroende mellan data från dessa båda mätnät och MATCH-Sverige-modellens resultat. Däremot är idag Krondropps nätet och MATCH-Sverige helt oberoende av varandra.

### 3.1 Tidigare samarbets- och närstående projekt

Det har inom den svenska nationella och regionala luftmiljöövervakningen redan tidigare genomförts en rad samarbetsprojekt mellan IVL och SMHI avseende kartläggning på nationell skala av transport, spridning och deposition av luftföroreningar. Nedan ges några exempel på tidigare studier som fortfarande har relevans. En uppdelning har gjorts baserat på frågeställning:

#### Övergripande miljöövervakning luft:

1. Nationell miljöövervakning av luft- och nederbörds kemi 1997, 1998 och 1999. (2001, Kindbom K., Svensson A., Sjöberg K., IVL samt Persson C., SMHI). IVL Rapport B1420/SMHI Meteorologi Nr 96, 2001. Dessutom flera liknande IVL/SMHI-gemensamma rapporter under 1990-talet.
2. Nationell miljöövervakning med MATCH-Sverige modellen – Metod- och resultatsammanställning 1999-2002 samt diskussion av osäkerheter, trender och miljömål. (2004, Persson C., Ressonner E., Klein T., SMHI). SMHI Meteorologi Nr 113.
3. Jämförelse mellan uppmätt och modellberäknad deposition av svavel och kväve i Sverige (2003, Uggla, E., Hallgren Larsson, E. Knulst, J. & Westling, O., IVL). IVL-Rapport 1530.
4. Försurande och övergödande nedfall i skog – Delprogram Krondropp inom programområde Luft (2006, Hellsten, S. & Westling, O., IVL, Sakrapport till Naturvårdsverket).
5. Luftföroreningar i skogliga provytor – Resultat till och med september 2005 (2006, Nettelbladt, A., Westling, O., Akselsson, C., Svensson, A. & Hellsten, S., IVL). IVL-Rapport B 1682.
6. Krondroppsnetet – Tidsutveckling, trendbrott och nationella miljömål (2004, Uggla, E., Hallgren Larsson, E. & Malm, G., IVL) IVL-Rapport B 1599.
7. Krondroppsnetet - Tidsutveckling för lufthalter, nedfall och markvattenkemi i relation till förändringar av Europas emissioner (2010, Karlsson, P.E., Akselsson, C., Hellsten, S. & Pihl Karlsson, G., IVL), IVL Rapport B1896.
8. Övervakning av luftföroreningar i Skåne län – mätningar och modellering. Resultat till och med september 2009. (2010, Pihl Karlsson, G., Akselsson, C., Hellsten, S., Karlsson, P.E., & Gunnar Malm, G., IVL), IVL Rapport B 1903. Samt flera liknande årsvisa länsrapporter från Krondroppsnetet ([www.krondroppsnetet.ivl.se](http://www.krondroppsnetet.ivl.se)).

#### Atmosfärskemiska stationsnät:

9. The Swedish Precipitation Chemistry Network – Studies in network design using MATCH modelling system and statistical methods. (1996, Persson C., Ullerstig A., Robertson L., SMHI och Kindbom K., Sjöberg K., IVL). SMHI RMK No 72.
10. Kvaliteten hos nederbörds kemiska mätdata som assimileras i MATCH-Sverige modellen. (2002, Persson C., SMHI). SMHI Meteorologi Nr 105.
11. Kvaliteten i uppmätta nederbörds mängder inom svenska nederbörds kemiska stationsnät. (2003, Persson C., Magnusson M., SMHI). SMHI Meteorologi Nr 108.
12. Ozonmättnätet i södra Sverige. Marknära ozon i bakgrundsmiljön i södra Sverige med hänsyn till ozonets variation i landskapet, Resultat 2009. (2010, Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Karlsson, P.E., IVL m.fl.). IVL Rapport B 1918.

#### Modellformuleringar av depositionsprocesser i MATCH-Sverige:

13. Parameterization of dry deposition in MATCH. (2002, Klein T., Bergström R. and Persson C., SMHI). SMHI RMK No 100.

#### Baskatjoner:

14. Deposition of base cations in the Nordic countries. NMR-project. (2004, Lövblad G., IVL, Persson C., Klein T., SMHI, m.fl. från övriga Norden). IVL Report B1583.
15. Emission, transport, deposition and effects of base cations in relation to acidification. UNECE LRTAP workshop. (2004, eds Westling O., Lövblad G., IVL). IVL Report B1585.
16. Base cations deposition in Europe. (2007, Hellsten S., Kindbom K., IVL m.fl.). IVL Report B1722.

#### Problembeskrivning och förbättringsförslag:

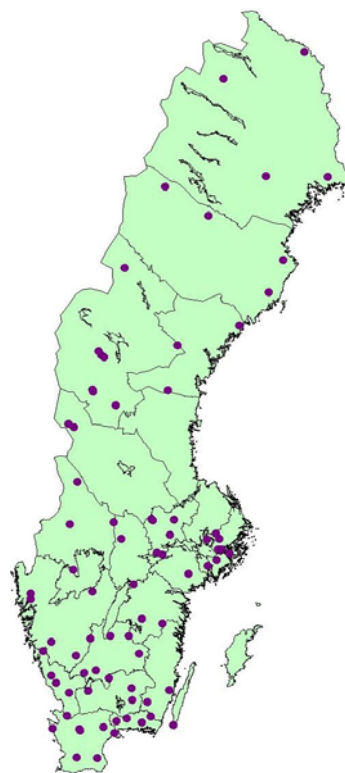
17. Förbättrad mätning och beräkning av belastningen av försurande och övergödande luftföroreningar. Specialprojekt. (2004, Persson C., SMHI samt Ferm M., Westling O., IVL).
18. Utveckling av Krondroppsnetet utifrån regionala och nationella behov – Del 1. (2009, Pihl Karlsson, G., Akselsson, C., Hellsten, S. & Karlsson, P.E. IVL) Rapport till Naturvårdsverket, U2695.

Det nu aktuella projektet knyter an till tidigare samarbetsprojekt i flera avseenden. Framför allt är specialprojektet från 2004, nr 17 ovan, relevant. I den studien fokuseras på områden där kombinationen av atmosfärskemiska mätdata och modellstudier ger möjlighet till förbättringar. Även tidigare studier av baskatjondepositionen har idag fått förnyad relevans.

## 4. Krondroppsnetet

De första mätningarna inom Krondroppsnetet startade i södra Sverige 1985. Inom Krondroppsnetet mäts deposition (nedfall) av bland annat svavel och kväve. Utöver nedfallsmätningarna utförs även markvattenkemiska provtagningar och analyser av lufthalter på provytorna. Mätningarna kompletteras med modellberäkningar för att kunna ta ett samlat grepp på miljömålen *Bara Naturlig försurning*, *Ingen övergödning* och *Frisk luft* på regional nivå, framför allt med fokus på luftföroreningarnas påverkan. Syftet är att beskriva tillstånd, regionala skillnader, utveckling i tiden samt effekter av surt nedfall. Resultaten används bland annat som indikatorer inom miljömålsuppföljningen. Krondroppsnetet bedrivs på uppdrag av Naturvårdsverket, luftvårdsförbund, länsstyrelser och kommuner.

Resultaten redovisas årligen i rapporter samt på Krondroppsnetets webbplats, [www.krondroppsnetet.ivl.se](http://www.krondroppsnetet.ivl.se). Mätningarna av deposition används för att beräkna den årliga depositionen vid mätplatsen och utnyttjas även för jämförelser med de nationella modellberäkningarna av depositionen. Deposition av luftföroreningar mäts månadsvis inom Krondroppsnetet, dels på öppet fält, dels i skogen (krondropp), Figur 1. För närvarande bedrivs mätningar på öppet fält vid 24 lokaler. Dessa är s.k. bulkmätningar, d.v.s. de inkluderar såväl våtdeposition (föroreningarna som följer med nederbörden ner) som det torra nedfall som hamnar i mätutrustningen. Krondroppsmätningar görs för närvarande vid 62 lokaler.



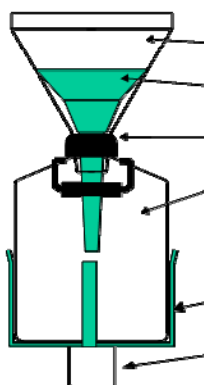
**Figur 1.** Krondroppsnetets lokaler under 2010.

Dessa mätningar speglar utöver våtdepositionen även torrdepositionen till den skog mätaren är placerad under. Torrdepositionen utgörs av luftföroreningar som transporteras med vinden och fastnar i trädkronorna. För vissa ämnen finns en betydande interncirkulation i trädkronorna, vilket gör att det som mäts upp via krondropp skiljer sig från den verkliga sammanlagda torr- och våtdepositionen. Lufthaltsmätningar av månadsmedelvärden för svaveldioxid, kvävedioxid, ammoniak och ozon sker vid 22 lokaler med hjälp av diffusionsprovtagare som kvantitativt absorberar den gas som ska mätas. Markvattenmätningar sker för närvarande vid 64 lokaler med undertryckslysimetrar som suger vatten från 50 cm djup via ett fint, keramiskt filter. Markvattenprovtagningar genomförs tre gånger per år för att representera förhållandena före, under samt efter vegetationsperioden. Olika parametrar i markvattnet används som indikatorer för markens tillstånd, vegetationens inverkan samt utlakning till grund- och ytvatten, för att se i vilken utsträckning utsläppsminskningar av luftföroreningar leder till förbättringar i miljötillståndet. Nedfallsmätningarna över öppet fält samlokaliseras med lufthalts- krondropps- samt markvattenmätningar. Det finns dock lokaler där endast krondropps- och markvattenmätningar sker.

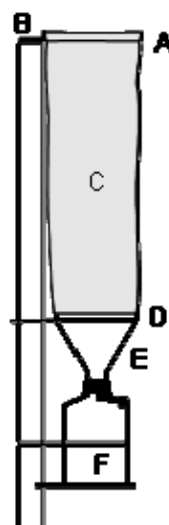
## 4.1 Mätmetoder

För nederbörds-mätningarna används i dagsläget bulkprovtagare sommartid, Figur 2. Bulkprovtagaren består av en plastdunk som har en plasttratt fastskruvad. Utrustningen är monterad på en stolpe. En nätförsedd mindre tratt är insatt i den yttre tratten för att förhindra att löv och insekter etc. faller ner i uppsamlingskärlet. Den inre tratten fungerar även som avdunstningsskydd. Inom Krondroppsnetet är insamlingsflaskan täckt med aluminiumfolie för att utestänga solljus. Det har visat sig vara nödvändigt att skärma av solljuset för att förhindra alg-tillväxt i provet. Samma utrustning som används inom Krondroppsnetet används även inom LNKN förutom att då är bulkprovtagaren placerad i en cylinderformad behållare för att utestänga solljuset.

Vintertid används en bulkprovtagare som är anpassad för att samla nederbörd i form av regn och snö, se Figur 3. Provtagaren utgörs av en lång säck, en s.k. snösäck, monterad på en ring av plast som håller upp konstruktionen och definierar insamlingsytan. Nertill är plasten fäst vid en tratt av samma slag som den som används under sommaren.



**Figur 2.** Beskrivning av bulkprovtagare, sommartid  
OBS att skydd för solljus saknas i figuren.



**Figur 3.** Beskrivning av bulkprovtagare, vintertid med snösäck.



## 5. MATCH-Sverige-modellen

MATCH-Sverige-modellsystem (Sverigemodellen) togs i operationellt bruk under tidigt 1990-tal och har sedan dess utnyttjats för årlig kartläggning på nationell skala av luftföroreningssituation och föroreningsdeposition över Sverige, för beräkning av trender och för beräkning av Sveriges årliga föroreningsbudget. Förbättringar har därefter införts. I början av 2000-talet gjordes omfattande förbättringar och tillägg av produkter, bl.a. en uppdelning av torrdepositionen på flera olika mark-användningsslag, kartläggning av havssalt- och baskatjondeposition, beräkning av Sveriges årliga föroreningsbudget, trendanalyser samt studier av de olika nederbörds-kemiska provtagarnas insamlingseffektivitet för nederbörd. Resultaten som årligen tagits fram på uppdrag av Naturvårdsverkets nationella miljöövervakning, ingår i SMHI:s datavärdskap för Atmosfärskemi. Data, kartor och figurer som ingår i datavärdskapet presenteras på [www.smhi.se/klimatdata/miljo/atmosfarskemi](http://www.smhi.se/klimatdata/miljo/atmosfarskemi). Där finns också tillgång till rapporter/artiklar som beskriver systemet och MATCH-modellen i detalj.

### 5.1 Modelleringsmetodik

MATCH-Sverige-beräkningssystem består av tre delar:

- A. En regional atmosfärskemisk spridningsmodell (upplösning 11 x 11 km, roterade lat/lon koordinater) för Sverige och närmaste omgivning baserad på emissionsdata från SMED;
- B. En atmosfärskemisk spridningsmodell (upplösning 44 x 44 km, roterade lat/lon koordinater) för Europa vars resultat utnyttjas som s.k. bakgrundsfält i dataassimilationen, punkt C nedan;
- C. En förenklad numerisk dataassimilation i två dimensioner av uppmätta koncentrationer i luft och nederbörd baserad på s.k. variationell teknik (2DVar);

Den omfattande meteorologiska information som krävs som indata för de atmosfärskemiska spridningsmodellberäkningarna för Sverige och Europa tas dels från SMHI:s operationella väderprognosmodell HIRLAM med 11 x 11 km upplösning, dels från återanalyssystemet MESAN. Analyserna (som ligger till grund för prognoser) från HIRLAM ger tillgång till i princip alla viktiga väderparametrar konsistent kartlagda i 3-dimensioner över Europa. MESAN, som främst innehåller markparametrar som nederbörd, 2 m temperatur och 10 m vind är baserade på alla i efterhand tillgängliga observationer, ger dock högre kvalitet i analyserna för dessa tre parametrar. I indata till MATCH-Sverige används därför MESAN för dessa tre parametrar som komplement till HIRLAM för att uppnå maximalt hög kvalitet.

Kvaliteten i resultaten från MATCH-Sverige bestäms i första hand av:

1. Meteorologiska indata till modellberäkningarna
2. Geografisk fördelning av Sveriges emissionsdata till luft
3. Markanvändningsdata (fördelning av olika typer av skog, åker etc.)
4. MATCH-Sverige och MATCH-Europa modellversioner
5. Metodik för förenklad dataassimilation av atmosfärskemiska mätdata
6. Mätdata från EMEP och LNKN som utnyttjas för dataassimilation.

Resultatens kvalitet är alltså inte enbart beroende av modellformuleringar utan också av olika indata (punkterna 1-3 samt 6) spelar stor roll. De tre första punkterna baseras i tur och ordning på operationella produkter från SMHI, SMED och Stockholm Environment Institute och diskuteras inte ytterligare i denna rapport.

I fortsättningen fokuseras enbart på identifierade problem och frågeställningar som berör punkterna 4-6.

## **5.2 MATCH-Sverige-systemets koppling till atmosfärskemiska mätdata**

En viktig del i MATCH-Sverige-systemets kartläggning av föroreningsdepositionen över Sverige utgörs av dataassimilationen av mätdata från EMEP och LNKN. Assimilerade lufthalter är viktiga för beräkningarna av lufthalter och torrdeposition, medan assimilerade föroreningshalter i nederbörden påverkar den beräknade våtdepositionen.

För kartläggning av torrdeposition är det önskvärt att ha tillgång till uppmätta lufthaltdata med dygnsupplösning (eller högre). En viss förbättring av kartläggningen kan dock erhållas också från månadsdata i kombination med mätdata med högre tidsupplösning.

För miljöövervakningskartläggning av våtdeposition med MATCH-Sverige är månadsvis tidsupplösning tillräcklig. EMEP vill dock ha en högre tidsupplösning, vilket är värdefullt även för en ren modellkalibrering av MATCH, varför det vid flera EMEP-stationer mäts med dygnsupplösning. Som MATCH-Sverige-systemet är utformat kräver dataassimilationen i MATCH-Sverige i princip endast tillgång till korrekta mätdata för föroreningshalt i nederbörd från Öppet fält provtagarna, eftersom MATCH-Sverige modellen använder SMHI:s objektiva analyserade nederbördsmängder. I MATCH-beräkningarna kombineras sedan dataassimilerade föroreningshalter i nederbörden med objektiva interpolerad nederbördsmängd för att kartlägga våtdepositionen av den aktuella föroreningen. SMHI:s objektiva analyser av nederbördsmängd görs för 1 h, 3 h och 24 h värden och väger numeriskt samman all tillgänglig observerad väderinformation från SMHI:s ca 700 markstationer, lika många stationer i Trafikverkets regi, högupplösta nederbördsradardata, och i viss mån också satellitdata m.m. Hänsyn tas också till topografi och fysiografi. Dessa objektiva nederbördsanalyser utgör en viktig del i SMHI:s operationella kartläggning av nederbördsförhållandena. Analyserna verifieras mot oberoende nederbördsobservationer och visar i regel mycket god kvalitet. Det kan dock inte uteslutas att det i samband med kraftig lokalskalig nederbörd kan finnas betydande avvikelser från verkligheten även i dessa analyser, som i sådana fall kan leda till att även den totala modellerade föroreningsdepositionen blir fel.

För att uppmätta föroreningshalter i månadsprover från EMEP och LNKN ska vara riktiga krävs att uppsamlingseffektiviteten för nederbörd är tillfredsställande och inte varierar mellan olika nederbördstillfällen, eftersom föroreningshalten i verklig nederbörd kan variera avsevärt beroende på bl.a. luftmassans ursprung och föroreningssammansättning, snö/regn samt regnets droppstorlek (Persson et al, 2004a). Stora respektive små regndroppar innehåller olika koncentrationer av föroreningar. De beräknade medelkoncentrationerna för olika ämnen blir dåligt representativa för den aktuella nederbördskemiska stationen om samlaren inte förmår att samla in en representativ nederbörd.

Det är viktigt att observera att i det s.k. MATCH-Sverige-systemet inkluderas både de rent teoretiska MATCH-modell-beräkningarna på Europa- och Sverige-skala, och en dataassimilation av uppmätta atmosfärskemiska data. De rena modellberäkningarna (utan dataassimilation), som används som bakgrundsfält, är baserade på de teoretiska modellformuleringarna och resultaten är helt beroende av riktigheten i dessa formuleringar. Införandet av en dataassimilationsdel innebär emellertid - lite förenklat uttryckt - att de assimilerade data förbättrar till en väsentlig del de felaktigheter i de teoretiskt modellerade luft- och nederbördshalterna som finns, och att de slutliga modellresultaten till stor del styrs av kvaliteten och representativiteten hos assimilerade data.

Det innebär att i ett analysystem som inkluderar dataassimilation, som t.ex. MATCH-Sverige, finns ofta de största kvalitetsvinster att göra genom att förbättra meteorologiska indata och assimilerade kemiska data under förutsättning att den grundläggande teoretiska modellen är väl formulerad.

## 6. Problembeskrivning och utvecklingsbehov

### 6.1 Nederbörds mätning

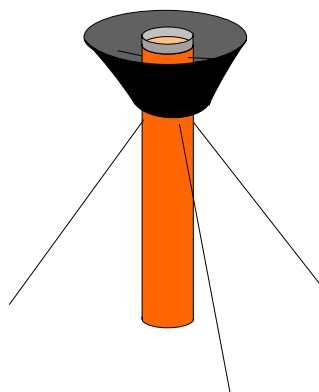
Flera studier under mitten av 2000-talet har visat att det vid några av de svenska nederbörds kemiska mätstationerna - under vissa perioder - har funnits problem med felaktigheter i uppmätta nederbörds mängder (Persson m.fl., 2004a).

Utformningen av nederbörds mätarna har en mycket stor betydelse för uppsamlingseffektiviteten av nederbörd. Även detaljer hos nederbörds mätarna kan ha avsevärd betydelse för de aerodynamiska förhållandena runt mätaren och därmed för den uppsamlade nederbörds mängden. I dagsläget finns det vissa problem med den provtagnings utrustning som används inom Krondropps nätet och LNKN. Vissa problem har funnits tidvis även inom EMEP då den tekniska funktionaliteten (öppning/stängning av lock) hos locksamlarna ej fungerat tillfredsställande.

Flera studier, bl.a. Persson m.fl. 2003 och Persson m.fl. 2004a har visat att snösäckarna som används vintertid över öppet fält inom LNKN och Krondropps nätet har problem med att samla in korrekta nederbörds mängder. Generellt överskattar snösäckarna i genomsnitt nederbörds mängden med ca 50-100 %. Ibland kan dock snösäckarna även underskatta nederbörds mängden. Dessa variationer hänger samman med vindhastighet, vindriktning, turbulens, storlek på regndroppar/ snöflingor, om det är regn eller snö samt på den lokala placeringen av provtagaren (Persson m. fl., 2004a).

Snösäckarna är i dagsläget kvar vid de flesta ytor inom Krondropps nätet och på samtliga ytor inom LNKN, vilket fortsatt kan ge upphov till fel i uppmätt nederbörds mängd och koncentrationer vid dessa mätningar vintertid.

I SMHI/IVL:s specialstudie till NV (Persson m.fl., 2004a) föreslogs en satsning på att ta fram en ny bättre ”Öppet Fält”-provtagare för LNKN och Krondropps nätet. IVL har tagit fram en ny provtagare (se Figur 4 nedan) som för närvarande testas och som sannolikt kommer att ge mer korrekta nederbörds mängder samt jonkoncentrationer. Den har i en tidigare pilotstudie gett goda resultat som bättre överensstämmer med SMHI-kannan vad gäller nederbörds mängd. Detta testas nu i en större skala på ett 15-tal lokaler över Sverige. Man bör dock betänka att inte heller SMHI-kannan förmår ge fullständigt korrekta nederbörds mängder. SMHI-kannan kan givetvis ej heller användas för insamling av nedfallsmätningar beroende på sin utformning, material etc. Mätningarna med den nu framtagna nedfallsprovtagaren har skett parallellt under ett år och utvärdering av dessa data pågår för närvarande. Rapport ska vara klar i mars 2011. Om detta faller väl ut, och om Naturvårdsverket kan finansiera ett byte av utrustning, kommer en betydande del av problemen med nedfallsmätningarna vintertid att lösas. Den nya öppet fältprovtagaren kommer i så fall att användas under hela året.



Figur 4. Illustration av en ny nederbördsprovtagare över öppet fält.

En annan osäkerhetsfaktor vid bestämning av föroreningshalter i nederbörd är den torrdeposition som erhålles vid nuvarande bulkprovtagningen via tratten. Idag erhålles specifik våtdeposition endast för lockprovtagare vid EMEP-stationer (svenska och norska). Det är viktigt att notera att mätningarna med lockprovtagare dras med tekniska problem. Dessa problem har diskuterats med Naturvårdsverket under en längre tid.

En metod för att korrigera för torrdeposition i bulksamlare har tagits fram i ett tidigare IVL-projekt (Hellsten & Westling, 2006). Data från provtagare under tak användes parallellt med de normala bulkprovtagarna på elva lokaler i Sverige och utvärderades för att ta fram en systematisk metod för att uppskatta andelen torrdeposition i bulkprovtagaren för respektive ämne och månad samt geografisk placering. Dessa mätningar ger inte nödvändigtvis en slutlig lösning på problematiken med torrdeposition till provtagningstrattarna eftersom det är möjligt att de turbulenta förhållandena under ett tak inte är helt representativa för ett öppet fält. Därför behöver tekniken för att provta våtdepositionen över öppet fält utvärderas ytterligare.

De framtagna korrigeringsfaktorerna kan dock tillämpas för de lokaler inom LNKN där data assimileras i SMHI:s MATCH-modell. Användandet av dessa modifierade nederbördshaltdata i MATCH-modellen förväntas förbättra kvaliteten i beräkningen av våtdepositionen i Sverige. För att förbättra kvaliteten och bortfallet av data ytterligare föreslås att de två nederbördsprovtagare som finns vid varje station inom LNKN placeras inom 100 m från varandra.

*Insamling av nederbörd vintertid med snösäck har i tidigare studier visat sig innehålla betydande fel p.g.a. vindberoende insamlingseffektivitet för nederbörd. Ett test av ny provtagare pågår. Det är angeläget att detta genomförs skyndsamt så att samtliga stationer inom Krondroppsnetet och LNKN får enhetliga och väl fungerande nederbördsprovtagare.*

*Dataassimilation görs av föroreningshalt i modellerad nederbörd. Bulkmätningarna inkluderar en viss mängd torrdeposition som varierar mellan olika regioner i Sverige och för olika parametrar. Flertalet nederbördsprovtagare inom LNKN utgörs av bulkprovtagare. Andelen torrdeposition i bulkprovet varierar beroende på ämne och geografiskt läge mellan 3-25 %. Det är angeläget att man kan korrigera för detta i dataassimileringen.*

## 6.2 Totaldepositionen av kväve till skog

På uppdrag av Naturvårdsverket har IVL Svenska Miljöinstitutet föreslagit metodförbättringar vad gäller att utifrån depositions-mätningar beräkna det samlade netto-nedfallet av kväve till den svenska skogen.

Det är i nuläget oklart hur netto-nedfallet av kväve till skogsekosystemen ska beräknas utifrån tillgängliga depositions-mätningar. Nedfallet av kväve till skogen sker i löst form via nederbörden (våtdeposition) samt via torrdeposition av partiklar och gasformigt kväve till trädkronorna. En del av torrdepositionen adsorberas till bladens och barrens utsidor och sköljs ner till marken när det regnar. En betydande del av torrdepositionen fastläggs dock direkt i trädkronorna, antingen genom ett upptag till bladens och barrens inre eller till de alger och svampar (epifyter) som lever på utsidan av bladen och barrarna. Det kväve som fastläggs direkt i trädkronorna sköljs inte av till marken när det regnar.

Nedfallet av kväve mäts i nederbörden över öppet fält och som krondropp inne i skogen under krontaket. Krondroppet ska i teorin ge en bättre uppskattning av det samlade kvävenedfallet till skogen, eftersom krondroppet i princip inkluderar både våt- och torrdeposition. Mätningarna över öppet fält inkluderar endast våtdeposition plus den del torrdeposition som kommer med tratten och som diskuterats tidigare (6.1). Emellertid kompliceras krondroppsmätningarna av de problem som beskrivits i stycket ovan, vilka medför att en del av det samlade kvävenedfallet inte når insamlarna som står på marken under trädkronorna. Detta medför att vi i dagsläget inte korrekt kan beräkna den samlade netto-depositionen av kväve till skogen i Sverige utifrån empiriska mätdata.

Torrdepositionen av olika ämnen kan uppskattas genom användandet av olika biologiskt inerta surrogatytor, t.ex. strängprovtagare. Strängprovtagarna består av teflonsträngar placerade under ett tak. Principerna för att använda strängprovtagare för att beräkna torrdeposition ligger i att använda depositionen av natrium som en biologiskt inert markör. Torrdepositionen av ett specifikt ämne beräknas som kvoten av depositionen av ämnet till strängprovtagaren, dividerat med motsvarande värde för natrium och multiplicerat med den uppmätta torrdepositionen för natrium till skogen vid provplatsen. Torrdepositionen av natrium till skogen beräknas som nettokrondroppet, d.v.s. nedfall i krondropp subtraherat med våtdepositionen över öppet fält. Denna metod beräknar endast den torrdeposition av olika kväveformer som sker via partiklar, ej eventuell torrdeposition av gasformiga kväveföreningar.

Med hjälp av strängprovtagare beräknades den partikelbundna torrdepositionen av sulfat, nitrat och ammonium för ett antal platser i landet för perioden 2003-2007. Analyserna är för närvarande i en slutfas och en preliminär rapport har inlämnats till Naturvårdsverket.

*Torrdepositionen av kväve till skogen är svår att mäta t.ex. i krondropp, på grund av interaktioner med trädkronorna. En förbättrad metod som utnyttjar torrdepositionen till en surrogatyta kommer att ge goda möjligheter till en uppskattning av den partikelbundna torrdepositionen av olika kväveformer till skogen. Detta ger i sin tur möjlighet till att uppskatta den totala depositionen av kväve till skogen utifrån empiriska mätningar.*

*Mätningarna med strängprovtagare inom Krondroppsnetet avslutades 2007. Det vore av stor vikt att återuppta dessa mätningar vid 5-10 platser fördelade över landet för att ge en fortsatt uppskattning av torrdepositionen av olika kväveformer även i framtiden.*

### 6.3 Deposition av baskatjoner

Vid alla typer av beräkningar och modelleringar av aciditet och kritisk belastning behövs inte bara svavel- och kvävedeposition utan även baskatjondepositionen (Ca, Mg, Na, K). I takt med att svavelnedfallet minskat har baskatjondepositionen fått större betydelse i jonbalansen. I områden med kraftiga gradienter av havssaltsdeposition, t.ex. längs västkusten, kan noggrannheten i uppgifter om baskatjondepositionen vara avgörande för om depositionsberäkningarna med MATCH visar att den kritiska belastningsgränsen överskrids eller inte.

Deposition av baskatjoner till skog är, liksom kväve, svår att mäta, eftersom träd Kronorna intern-cirkulerar baskatjoner. Detta gäller i synnerhet torrdepositionen. Våtdepositionen kan med någorlunda säkerhet uppskattas från mätningar över öppet fält. Medan kväve tas upp av träd Kronorna så avges ofta baskatjoner, vilket innebär högre halter i krondroppet än vad som uppmäts över öppet fält. Även modellering av baskatjoner innebär svårigheter, till stor del på grund av att källorna i såväl Sverige som internationellt är mycket svårare att kartlägga än för svavel och kväve. Bl.a. spelar uppvirvling av stoft från marken en stor roll.

Ett omfattande arbete för att optimera MATCH-Sverige-systemet för baskatjoner gjordes för 1998 års data (Klein m.fl., 2002; Lövblad, m.fl., 2004). Därefter upphörde dock de svenska mätningarna av baskatjoner i luft inom miljöövervakningen, och kartläggningen av lufthalter och torrdeposition av baskatjoner bedömdes bli alltför osäker för att kunna inkluderas i datavärdskapet för MATCH-Sverige. För år 1999 och framåt inkluderas därför endast beräkningar av våtdeposition av baskatjoner (Ca, Mg, Na, K) i datavärdskapet. Dessa beräkningar baseras på dataassimilation av uppmätta nederbördshalter i EMEP och LNKN. I anslutning till redovisningen av våtdeposition av baskatjoner inom datavärdskapet redovisas även våtdepositionen av Cl.

Sedan år 2009 mäts återigen baskatjoner i luft vid fyra EMEP-stationer i Sverige (med hjälp av filterpack). Detta gör att SMHI åter kan starta arbetet med att optimera MATCH-Sverige-systemet för baskatjoner.

En förutsättning för att kunna modellera torrdeposition av baskatjoner är att det finns mätdata på baskatjonhalter i luft över Sverige, men det krävs även en korrekt parameterisering av depositions hastigheterna till olika receptorer samt under olika meteorologiska förhållanden inom MATCH-Sverige-modellen. Nu när uppmätta lufthaltdata av baskatjoner från svenska stationer åter finns tillgängliga kan dessa tillsammans med motsvarande lufthaltdata från våra grannländer ligga till grund för något förenklade torrdepositionsberäkningar inom MATCH-Sverige-systemet. Fortfarande kommer dock icke-havssalts-delen av dessa beräkningar att sakna s.k. bakgrundsfält på Europa-skala. Sådan information kan för närvarande inte fås från vare sig MATCH-Europa eller EMEP-modellen p.g.a. bristen på tillförlitliga emissionsdata över Europa. Dessutom måste modelleringarna kunna valideras gentemot empiriska mätdata av torrdepositionen.

Mätdata för torrdepositionen av baskatjoner kan med stor sannolikhet erhållas med samma metod som beskrivits för torrdepositionen av kväve ovan (6.2). Mätningar med strängprovtagare i kombination med krondropp och öppet fält kan troligen användas för att uppskatta torrdepositionen på de ytor där dessa mätdata finns tillgängliga. Detta kan sedan skalas upp för att ge en yttäckande bild över Sverige. Som redan nämnts ovan avslutades mätningarna med strängprovtagare inom Krondroppsnetet 2007. Det vore av stor vikt att återuppta dessa mätningar vid ett antal platser fördelade över landet. Troligen skulle mätningar med strängprovtagare vid 5-10 platser ge en god bild även av torrdepositionen av baskatjoner.

I en tidigare studie (Hellsten & Westling, 2006) jämfördes två metoder för att uppskatta torrdepositionen av baskatjoner till skog baserat på mätdata: Tillämpandet av Na-kvoten och en CEM-modell (Canopy Exchange Model) (Westling et al., 1995). CEM-modellen tillämpades för att

uppskatta torrdepositionen av baskatjoner till skog som ett genomsnittsvärde för år 2002-2004. CEM-modellen bygger på en jonbalansberäkning och förutsätter att data för öppet fält och krondroppsmätningar finns tillgängliga. Eftersom mätningarna över öppet fält var så få, tillämpades istället modellberäknad våtdeposition från MATCH. Detta introducerar osäkerheter i beräkningen. Under senare år har mätningarna över öppet fält inom Krondropps nätet utökats, vilket skulle möjliggöra en ny beräkning, behäftad med mindre osäkerhet, för att uppskatta torrdepositionen av baskatjoner till skog baserad på mätdata.

*Upprättandet av svenska stationer för mätning av torrdeposition av baskatjoner med strängprovtagare är angeläget för att kunna göra en rimlig depositions uppskattning av baskatjoner. Då baskatjoner i luft åter mäts i Sverige är det viktigt att starta arbetet med att optimera MATCH-Sverige-systemet för baskatjoner.*

## 6.4 Atmosfärskemiska stationers representativitet

De luft- och nederbördskemiska mätdata som används i MATCH-Sverige-modellen omfattas av EMEP-stationer i Sverige och Norge, det svenska LNKN-nätet som finns via Datavärdskapet på IVL:s webbplats (Sjöberg m.fl., 2006) samt nationella norska stationer (tillmötesgående från NILU). Uppmätta halter i luft och nederbörd assimileras i MATCH-Sverige-modellen. Resultatet i kartläggningen baserad på MATCH är således beroende av kvalitén och representativiteten på själva MATCH-Sverige-modellen samt på de atmosfärskemiska mätningarna som assimileras i modellen.

Eftersom mätningar över öppet fält i Sverige är relativt glest placerade över landet kan det finnas anledning att utvärdera betydelsen av positionen för olika mätplatser vad gäller lokaltopografi, utsatthet för vind m.m. Framtagande av riktlinjer för att hitta representativa lokaler vid nyetablering är också önskvärt. Man bör dock betänka att det kan finnas andra övervägande som bestäms inom EMEP vad gäller placering av mätlokaler.

Mätstationernas representativitet är en generell viktig fråga och inte bara av vikt för kartläggningen av nedfall med MATCH-Sverige-systemet. Den spelar givetvis även roll då mätvärdena används i andra sammanhang som underlag för att beräkna den nuvarande nedfallssituationen i Sverige eller trender bakåt i tiden.

I Sverige mäts nedfall av luftföroreningar via tre nationella miljöövervakningssystem: LNKN, Krondropps nätet och EMEP-nätet. LNKN och EMEP samt en mätstation per län över öppet fält inom Krondropps nätet finansieras av Naturvårdsverket. Övriga mätningar inom Krondropps nätet finansieras främst av Luftvårdsförbund och Länsstyrelser. Trenden för svaveldepositionen är entydigt nedåtgående i samtliga mätnät, medan depositionstrenden för kväve över öppet fält skiljer sig åt. En nyligen publicerad rapport (Karlsson m.fl., 2010) indikerar att mätningar inom Krondropps nätet inte visar någon tydlig trend för kvävedepositionen i Sverige sedan 1990, medan det i en tidigare rapport för LNKN noterades en minskning av kvävedepositionen med > 20 % sedan 1990 (Naturvårdsverket, 2007). En förklaring till dessa olikheter kan vara att trendberäkningarna täcker in olika tidsperioder, men även den geografiska lokaliseringen, samt mät- och provtagningsmetoder kan vara en möjlig förklaring till skillnaderna.

En ännu ej färdig rapport från IVL, ITM och SLU, där bland annat mätningar från Krondropps nätet, LNKN samt EMEP används, visar att depositionen av oorganiskt kväve har minskat med ca 30 % under 2000-talet i sydvästra Sverige (Sjöberg et al, 2010 ännu opublicerad). I övriga Sverige finns inga statistiskt säkerställda förändringar vad gäller oorganiskt kväve. Om det oorganiska kvävet delas upp på nitrat- respektive ammoniumkväve visar den statistiska analysen

dock på en minskning på ca 30 % för nitrat i sydvästra Sverige och en minskning på ca 50 % i de västra fjällnära områdena för nitratkväve.

De luft- och nederbördskemiska mätdata som krävs för den förenklade 2-dimensionella (2DVar) dataassimilationen i MATCH-Sverige systemet har hittills erhållits från EMEP- och LNKN (inklusive fjällstationerna) samt motsvarande norska stationsnät. Krondroppsnetets mätdata har hittills inte alls inkluderats i dataassimilationen utan utgjort oberoende jämförelsedata för halter i nederbörd samt våt- och torrdeposition. Under senare år har dock antalet svenska stationer inom EMEP- och LNKN reducerats och fjällstationerna har lagts ner, vilket påverkar kvaliteten i MATCH-Sverige resultaten negativt.

Det är samtidigt viktigt att notera att resultat kvaliteten från MATCH-Sverige inte enbart beror på antalet stationer som inkluderas i dataassimilationen. Resultat kvaliteten är i minst lika hög grad beroende av kvaliteten i de enskilda dataassimilerade mätvärdena. Om det antagna s.k. observationsfelet i dataassimilationen kan hållas litet, kan det för MATCH-Sverige räcka med ett glesare stationsnät. Om det däremot relativt ofta förekommer felaktiga (eller icke representativa) mätvärden från de atmosfärskemiska stationsnäten, leder det till att man tvingas köra dataassimilationen med antagande om stora observationsfel. Det leder i sin tur till att mätvärdena (även de riktiga värdena) får mindre vikt i beräkningarna. Samtidigt leder felaktiga (eller icke representativa) mätvärden till att stora fel kan introduceras i resultaten från MATCH-Sverige.

I Persson m.fl., (2004a), identifieras två stationer i norra Skandinaviens fjälltrakter för vilka representativitetsproblemen är betydande:

- Den norska stationen Tustervatn, som inte är representativ för de svenska delarna av fjällen. Efter det att mätningarna i de svenska s.k. fjällstationerna har lagts ner fr.o.m. 2009 finns endast ett fåtal svenska stationer i, eller i närområdet till, de svenska fjällen varför kartläggningen där nu är osäker.
- Den svenska stationen Abisko är placerad i ett geografiskt område vars klimat präglas av utpräglad s.k. nederbördsskugga. Detta återverkar också på det nederbördskemiska klimatet i området, vilket innebär att de nederbördskemiska förhållandena vid stationen inte alls är representativa för de längre bort liggande fjäll- och skogsområdena. Efter det att de svenska fjällstationerna har lagts ner och stora fjäll- och inlandsområden saknar atmosfärskemiska stationer, har problemet med Abiskostationens bristande representativitet accentuerats.

Fram till år 2001 var N-depositionen i MATCH-Sverige-resultaten överskattad i Norrlands inland och fjälltrakter. Detta problem orsakades av att mätvärdena för den norska stationen Tustervatn inte alls är representativa för svenskt område. P.g.a. att det samtidigt saknades mätvärden över stora angränsande svenska områden kom de icke-representativa mätdata från Tustervatn att felaktigt i MATCH-Sverige öka den beräknade N-depositionen över stora delar av Norrland. När fem svenska fjällstationer upprättades av Naturvårdsverket, administrerade av IVL, och data från dessa inkluderades i MATCH-Sverige, erhöles en betydligt mer korrekt kartläggning, vilket kunde visas genom jämförelser mot oberoende data. Nyligen har dock de svenska fjällstationerna lagts ner och problemet med att få en kvalitativt bra kartläggning av N-depositionen över Norrland har återkommit. I dagsläget finns endast mätningar i fjällmiljö från Jämtland (utförs av IVL på uppdrag av Länsstyrelsen i Jämtland). En möjlighet att förbättra kartläggningen i MATCH-Sverige något är att exkludera mätdata från Tustervatn (som alltså inte är representativa). Då kommer resultaten över delar av Norrland att i huvudsak enbart bestämmas av de bakgrundsfält (från MATCH-Europa) som utnyttjas vid dataassimilationen. Väsentligt bättre är dock att Sverige åter tar i bruk åtminstone 2-3 av fjällstationerna. Mätningar i Norrlands inland och på hög höjd behövs. Detta accentueras av att även den svenska fjällstationen Abisko har bristande representativitet.



*Det är önskvärt att utvärdera de olika stationsnätens resultat i ett övergripande sammanhang, och inte bara var för sig, för att utvärdera eventuella skillnader i trender m.m. och samtidigt jämföra med modellerad deposition från EMEP- och MATCH-Sverige-modellen.*

*Det är värdefullt med en fördjupad studie av de olika atmosfärskemiska stationernas representativitet, för ett så bra underlag för MATCH-Sverige-kartläggningen som möjligt.*

*Fjällstationer för mätning av lufthalter och deposition behöver åter tas i drift, åtminstone 2-3 stationer.*

## **6.5 Enhetlig provtagningstid**

Vid dataassimilation av atmosfärskemiska mätdata i MATCH-Sverige är det väsentligt att provtagningstiden så långt möjligt är konsistent inom och mellan olika stationsnät. Uppfylls inte det måste dataassimilationen göras med antagande av större obs-fel som resulterar i sämre kvalitet i slutresultatet. EMEP för nederbörd har dygnsprover (vilka kan göras om till månadsprov) vid 2 stationer och månadsvis provtagning vid 2 stationer medan LNKN och Krondropps nätet har månadsprover.

Utnyttjandet av mätdata från vissa stationer inom Krondropps nätet, och ibland även från LNKN, för bestämning av föroreningsdepositionen till Sverige försvåras och kvaliteten i slutresultaten försämras på grund av att tömningen vid stationerna kan vara utförd med flera dagars förskjutning i relation till månadsskiftena, och denna tidsförskjutning kan variera mellan olika stationer.

*Det är angeläget att använda en enhetlig provtagningstid för de data som assimileras i MATCH-Sverige, för att öka kvaliteten i modellresultatet.*

## **6.6 Torrdepositionsberäkningar i MATCH-Sverige**

Torrdepositionen av svavel har ofta varit betydligt större i MATCH-Sverige-beräkningarna än i data från Krondropps nätet. Till en viss del kan detta förklaras av att bulkmätningarna i Krondropps nätet tolkas som våtdeposition, vilket innebär en överskattning. Detta leder i sin tur till en underskattning av torrdepositionen om den beräknas från krondroppsdata. Denna effekt bedöms i genomsnitt vara kring 10 % och kan endast förklara en mindre del av skillnaderna i torrdepositionen. Uppenbarligen sker en överskattning av torrdepositionen i MATCH-Sverige-beräkningarna. De parameteriseringar som ingår i torrdepositionsberäkningarna i MATCH-Sverige är relativt komplicerade, se Klein T., m. fl. (2002), och bör förbättras för svavel, och eventuellt också för kväve, till skog genom att utnyttja bulkkorrigerade resultat från Krondropps nätet för kalibrering. Formuleringar av torrdepositions hastigheter i MATCH-Sverige behöver även anpassas så att den under de senaste 30 åren successivt minskade syradepositionen beaktas.

De analyser av torrdepositionen av olika kväveformer samt baskatjoner som beskrivits ovan, baserat på strängprovtagare, kan utgöra ett viktigt underlag för förbättringar av MATCH-modellens modellformuleringar för torrdeposition.

*En omarbetning av parameteriseringen av torrdepositionen till skog av svavel i MATCH-Sverige bör göras. Mätningarna av torrdepositionen av svavel inom Krondropps nätet bedöms*

*med föreslagna omräkningar vad gäller mätningarna över öppet fält vara värdefulla för kalibrering av S-depositionsberäkningarna i MATCH-Sverige. Likaså kan mätningar med strängprovtagare användas.*

*Mätningarna med strängprovtagare för N och baskatjoner kan utnyttjas på motsvarande sätt för kalibrering av N- och baskatjonedepositionsberäkningarna till skog i MATCH-Sverige, i synnerhet vad gäller torrdepositionen.*

## **6.7 Brister i tillgängligheten av datavärdsdata för MATCH-Sverige samt bristande geografisk upplösning för 2005-2008**

SMHI:s datavärdskap för MATCH-Sverige data har under de senaste åren varit baserad på en bristfällig karttjänst, som tidvis haft dålig åtkomlighet via Internet. MATCH-Sverige-resultaten för åren 2005-2008 är dessutom framtagna med endast 44 x 44 km upplösning, jämfört med 11 x 11 km som gällt för tidigare år. Dessa brister håller på att åtgärdas och kommer successivt att lösas helt under 2011. Data för samtliga år kommer att vara tillgängliga med samma höga geografiska upplösning.

*Brister i SMHI:s befintliga datavärdskap för MATCH-Sverige data ska åtgärdas och successivt under 2011 bli helt löst t.o.m. 2010 års data.*

## **7. Förbättringsprojekt**

Det är angeläget att kvaliteten i såväl mätningar som modellberäkningar för den svenska miljöövervakningen bibehålls och helst förbättras i framtiden. I dagsläget finns, som nämnts tidigare, en del brister. En långsiktig luftmiljöövervakning av god kvalitet är en viktig bas för en rad miljöstudier inom skilda discipliner, idag såväl som i framtiden. I denna rapport har en bedömning gjorts hur detta på bästa sätt kan uppnås genom en övergripande samordning och utvärdering av samtliga atmosfärskemiska stationsnät och MATCH-Sverige modellen. De nedan angivna projektförslagen syftar till detta.

### **7.1 Pågående projekt**

Nedanstående projekt pågår vid IVL respektive SMHI.

#### **7.1.1 Test an nya nederbördskemiska provtagare**

En ny typ av provtagare har tagits fram av IVL och en utvärdering av mätningarna med den nya provtagaren görs i ett pågående projekt. Ett byte till nya provtagare är aktuellt. Det är angeläget att detta genomförs skyndsamt så att samtliga stationer inom LNKN och Krondroppsnetet får enhetliga och testade nederbördsprovtagare (avsnitt 6.1). Genomförandet kommer dock att vara beroende av finansiering från Naturvårdsverket.

### **7.1.2 Bulkprover**

Flertalet nederbördsprovtagare inom LNKN utgörs av bulkprovtagare. Andelen torrdeposition i bulkprovet varierar beroende på ämne och geografiskt läge mellan 3-25%, i genomsnitt 10 %. Det är angeläget att en korrigering görs så att dataassimilation kan göras av verkliga nederbördshalter. En tabell för omräkning av bulkdata till nederbördshalter har tagits fram av IVL (Hellsten & Westling, 2006) och kommer fortsättningsvis att utnyttjas för MATCH-Sverige (avsnitt 6.1).

### **7.1.3 Brister i MATCH-Sverige datavärdsdata**

SMHI tar fram en modern karttjänst med hög tillgänglighetsgrad för MATCH-Sverige datavärdsdata, samt MATCH-Sverige-resultaten för åren 2005-2008 körs om med samma höga upplösning (11 x 11 km) som för övriga år. Detta genomförs successivt under 2011 av SMHI (avsnitt 6.7).

### **7.1.4 En förbättrad metod för att beräkna kvävedepositionen till skog baserat på strängprovtagare**

IVL ligger i slutfasen med att ta fram en metod för förbättrade beräkningar av kvävedepositionen till skog, i synnerhet vad gäller torrdepositionen. Resultaten kommer snart att vara tillgängliga och kan användas bl.a. för att förbättra MATCH-modellens formuleringar vad gäller torrdepositionen av kväve till skog (avsnitt 6.2 & 6.6).

## ***7.2 Förslag till framtida projekt – Hög prioritet, snabb start***

### **7.2.1 Förbättring av torrdepositionsberäkningarna av baskatjoner inom MATCH-Sverige-modellen**

Aciditetsberäkningar och modellering av kritisk belastning kräver tillgång på data för såväl våt- som torrdeposition av baskatjoner. För att modellera torrdeposition av baskatjoner används mätdata på baskatjonhalter i luft över Sverige, men det krävs även en korrekt parameterisering av depositions-hastigheterna till olika receptorer samt under olika meteorologiska förhållanden. Nu när uppmätta lufthaltdata av baskatjoner från svenska stationer åter finns tillgängliga kan dessa tillsammans med motsvarande lufthaltdata från våra grannländer ligga till grund för något förenklade torrdepositionsberäkningar inom MATCH-Sverige-systemet. Fortfarande kommer dock icke-havssalts-delen av dessa beräkningar att sakna s.k. bakgrundsfält på Europa-skala. Sådan information kan för närvarande inte fås från vare sig MATCH-Europa eller EMEP-modellen p.g.a. bristen på tillförlitliga emissionsdata över Europa. Dessutom måste modelleringarna kunna valideras gentemot empiriska mätdata av torrdepositionen (se avsnitt 6.6).

### **7.2.2 Empiriska uppskattningar av torrdepositionen av baskatjoner över Sverige baserat på mätningar med strängprovtagare**

Den metod som tagits fram för förbättrade beräkningar av torrdepositionen av kväve, baserat på strängprovtagare, är också tillämplig vad gäller att beräkna torrdepositionen av baskatjoner till skogen. Det finns ett visst behov av att verifiera metodens tillämpning för baskatjoner, men det är troligt att det inte finns några principiella problem i relation till metodens tidigare användande för kväve. Om verifieringen av metoden faller väl ut går beräkningarna att genomföra relativt snabbt eftersom alla behövliga data finns lätt tillgängliga (avsnitt 6.2 & 6.3). Detta kan sedan skalas upp för

att ge en yttäckande bild över Sverige. Torrdepositionen av olika ämnen kan ytterligare verifieras genom en beräkning av torrdepositionen av baskatjoner till skog, baserat på data från Krondroppsnetet i kombination med CEM-modellen (6.3).

Som redan nämnts (avsnitt 6.2) avslutades mätningarna med strängprovtagare inom Krondroppsnetet 2007. Det vore av stor vikt att återuppta dessa mätningar vid ett antal platser fördelade över landet. Troligen skulle mätningar med strängprovtagare vid 5-10 platser ge en god bild även av torrdepositionen av baskatjoner.

### **7.2.3 Förbättrad torrdeposition av andra komponenter i MATCH-Sverige**

De parameteriseringar som ingår i torrdepositionsberäkningarna i MATCH-Sverige är relativt komplicerade. Vid jämförelser mot Krondroppsdata har det visat sig att MATCH-Sverige ofta kraftigt överskattar torrdepositionen för såväl svavel som kväve till skog. Parameteriseringen av torrdepositionen inom MATCH-Sverige-modellen bör förbättras genom att utnyttja omräknade mätdata från Krondroppsnetet utifrån tidigare föreslagna metoder (se avsnitt 6.6).

### **7.2.4 Fjällstationer**

När IVL 2001 upprättade fem svenska fjällstationer, och data från dessa inkluderades i MATCH-Sverige, erhöles en betydligt mera korrekt kartläggning av kvävedepositionen över stora delar av Norrlands inland och fjälltrakter, vilket kunde visas genom jämförelser mot oberoende data. Nyligen har dock de svenska fjällstationerna lagts ner och problemet med N-depositionen över Norrland har återkommit. Fjällstationer behövs åter i drift. Åtminstone 2-3 stationer (se avsnitt 6.4)

### **7.2.5 Specialstudie av mätresultaten från Krondroppsnetet, LNKN och EMEP.**

I följande projektförslag jämförs mätresultaten från Krondroppsnetet, EMEP och LNKN för att utvärdera nedfallstrenderna i de olika atmosfärskemiska stationsnäten i ett integrerat sammanhang. Det är värdefullt att göra en sammanhängande utvärdering mellan de olika mätnäten för att få en mer övergripande bild av nedfallstrenderna i Sverige (avsnitt 6.4).

### **7.2.6 Eventuell dataassimilation av Krondroppsnetets mätningar över öppet fält i MATCH-Sverige**

Under senare år har svenska EMEP och LNKN alltmer glesats ut. SMHI och IVL bör gemensamt göra en bedömning av om eventuellt några/alla öppet fält-stationer inom Krondroppsnetet i framtiden ska inkluderas i MATCH-Sverige dataassimilation (avsnitt 6.4).

### **7.2.7 Dubbla provtagare**

Det är väsentligt att se till att de dubbla provtagare som används inom LNKN ej har ett större avstånd från varandra än 100 m vid varje station.

I dagsläget finns inom Krondroppsnetet inte dubbla provtagare över öppet fält, av kostnadsskäl. Om data från Krondroppsnetet ska användas för dataassimilering in i MATCH-Sverige-modellen så bör diskussioner om dubbla provtagare tas upp med Naturvårdsverket (se avsnitt 6.1).

### **7.2.8 Enhetliga start/stopptider**

Det är väsentligt att, om möjligt, införa enhetliga start-/stopptider ( 1:a måndagen i varje månad) för samtliga stationer. Detta medför väsentligt bättre kvalitet och mera användbara data för: 1) dataassimilation, 2 ) modellverifiering, och 3) jämförelser med andra mätdata (se avsnitt 6.1).

### **7.2.9 Korrigering av tidigare resultat från mätningar över öppet fält med snösäckar**

Som beskrivits i avsnitt 6.1 finns det en insikt om att till de depositionsberäkningarna med tidigare mätningar (som bedrivits med snösäckar över öppet fält) i vissa fall kan behöva justeras med en korrektionsfaktor för att ta i beaktande att de uppmätta nederbörds mängderna ej varit korrekta. En möjlighet skulle kunna vara att göra en korrigering av dessa värden baserat på SMHI:s beräknade nederbörds värden för de olika platserna. Detta måste i så fall utredas noga eftersom nederbörden kan variera kraftigt lokalt. Vidare kan en felaktig provtagning av regndroppar med olika storlek även medföra problem för de kemiska mätningarna av nederbörden.

Om det visar sig möjligt att i efterhand – åtminstone delvis – räkna om nederbörds mängderna vid tidigare mätningar med snösäck utifrån SMHI:s nederbördsdata skulle det vara mycket värdefullt att kombinera detta med omkörningar baserade på senaste versionen av MATCH-Sverige-systemet. Det skulle då vara möjligt att konsistent, och med utnyttjande av uppdaterade geografiskt fördelade emissionsdata över Sverige (SMED) och Europa (CLRTAP) genomföra återanalyser från referensåret 1990 och framåt.

## **7.3 Förslag till framtida projekt – på längre sikt**

### **7.3.1 Jämförelse av modellresultaten från MATCH-modellen, EMEP-modellen och mätresultaten från Krondropps nätet.**

I projektförslaget föreslås en jämförelse mellan MATCH-Sverige-modellen, EMEP-modellen och Krondropps nätet. Krondropps nätet och MATCH-Sverige samt Krondropps nätet och EMEP är helt oberoende av varandra. Tidigare har vissa jämförelser gjorts mellan Krondropps nätet och EMEP-modellen t.ex. Simpson m.fl. (2006). Även resultaten från MATCH-modellen och Krondropps nätet har jämförts vid tidigare tillfälle (Uggla m.fl., 2003). En sådan jämförelse skulle kunna ge viktig information för förbättringsförslag inom båda modellerna. I dagsläget är det osäkert när de nya nederbördsprovtagarna kan tas i bruk. MATCH-modellen bör även hinna utveckla tidigare föreslagna förbättringar. Till exempel saknas i nuvarande 2005-2008 års MATCH-data separation av torr-del i bulk. Således föreslås att detta projekt genomförs först då dessa förbättringar har genomförts.

### **7.3.2 Samband mellan luftföroreningar och klimat**

Ett samarbetsprojekt (IVL & SMHI) föreslås för att ta fram underlag så att Krondropps nätets databas kompletteras med meteorologiska data på månadsbasis. Det medför att det då finns en databas med klimatdata, depositionsdata och hydrologiska data som kan användas som underlag vid utvärdering av depositionsdata i samband med klimatförändringar.

Arbete med att utvärdera klimatförändringars effekter på våra miljömål pågår för närvarande inom forskningsprogrammet CLEO ([www.cleoresearch.se](http://www.cleoresearch.se)), där både IVL och SMHI medverkar. Vid

SMHI görs bl.a. beräkningar på Europa-skala med MATCH-modellen, baserad på klimatscenario-data samt framtidsscenarioer för Europas föroreningsemissioner, av hur föroreningsdepositionen successivt förväntas förändras i framtiden (t.ex. till år 2050) i förhållande till motsvarande modellresultat för nuläge och de senaste ca 20 åren bakåt i tiden. Dessa modellberäknade förändringar kan uttryckas som ”delta-värden” för olika föroreningskomponenter.

Under förutsättning att dessa ”delta-värden” är markant större än osäkerheterna i mätdata från Krondropps nätet kan det finnas stora vinster från att kombinera nuvarande mätdata från Krondropps nätet med ytterligare data, exempelvis klimatologiska data, för att möjliggöra utvärdering av data med avseende på till exempel klimatförändringars effekter.

## 8. Referenser

- Hellsten, S. & Westling, O. (2006): Försurande och övergödande nedfall i skog – Delprogram Krondropp inom programområde Luft – Sakrapport 2006 06 01, för Naturvårdsverket.
- Karlsson, P.E., Akselsson, C., Hellsten, S. & Pihl Karlsson, G. (2010): Krondropps nätet — Tidsutveckling för lufthalter, nedfall och markvattenkemi i relation till förändringar av Europas emissioner, *IVL Rapport B1896*.
- Klein T., Bergström R. & Persson, C. (2002): Parameterization of dry deposition in MATCH. SMHI RMK No 100.
- Lövblad, G., Persson, C., Klein, T., Ruoho-Airola, T., Hovmand, M., Tarrason, L., Tørseth, K., Moldan, F., Larssen, T. & Rapp, L. (2004): The deposition of base cations in the Nordic countries, IVL-report B1583, pp. 36, IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd., Göteborg.
- Naturvårdsverket (2007): Bara naturlig försurning – Underlagsrapport till fördjupad utvärdering av miljömålsarbetet, Naturvårdsverket, Rapport 5766, december 2007.
- Nettelbladt, A., Westling, O., Akselsson, C., Svensson, A. & Hellsten, S. (2006): Luftföroreningar i skogliga provytor – Resultat till och med september 2005. IVL Rapport B 1682.
- Persson, C., Ullerstig A., Robertson L, Kindbom K. & Sjöberg, K. (1996): The Swedish Precipitation Chemistry Network – Studies in network design using MATCH modelling system and statistical methods. SMHI RMK No 72.
- Persson, C. (2002): Kvaliteten hos nederbörds kemiska mätdata som assimileras i MATCH-Sverige modellen. SMHI Meteorologi Nr 105.
- Persson, C. & Magnusson, M. (2003): Kvaliteten i uppmätta nederbörds mängder inom svenska nederbörds kemiska stationsnät. MATCH-Sverige modellen. SMHI Meteorologi Nr 108.
- Persson, C., Ferm, M. & Westling, O. (2004a): Förbättrad mätning och beräkning av försurande och övergödande luftföroreningar. Specialprojekt på uppdrag av Naturvårdsverkets miljöövervakningsenhet.

- Persson, C., Ressner, E. & Klein, T. (2004b): Nationell miljöövervakning – MATCH-Sverige modellen – metod och resultatsammanställning för åren 1999-2002 samt diskussion av osäkerheter, trender och miljömål, SMHI Meteorologi, Nr 113, 2004.
- Persson, C. & Kahnert, M. (2006): Återanalys av föroreningsdepositionen till Sverige 2002-2004, SMHI-Rapport Nr. 2006 - 8.
- Pihl Karlsson, G., Akselsson, C., Hellsten, S. & Karlsson, P.E. (2009): Utveckling av Krondropps nätet utifrån regionala och nationella behov, *Rapport till Naturvårdsverket, U2695*.
- Pihl Karlsson, G., Akselsson, C., Hellsten, S., Karlsson, P.E. & Gunnar Malm, G. (2010): Övervakning av luftföroreningar i Skåne län – mätningar och modellering. Resultat till och med september 2009. IVL Rapport B 1903. Samt flera liknande årsvisa länsrapporter från Krondropps nätet ([www.krondroppsnetet.ivl.se](http://www.krondroppsnetet.ivl.se)).
- Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Pleijel, H., Grundström, G. & Karlsson, P.E. (2010): Ozonmät nätet i södra Sverige. Marknära ozon i bakgrundsmiljön i södra Sverige med hänsyn till ozonets variation i landskapet, Resultat 2009. IVL Rapport B 1918.
- Segersson D. m. fl. (2010): A dynamic emission database for shipping – Phase 1. SMHI Report Nr 2010-37.
- Simpson, D., Fagerli, H., Hellsten S., Knulst, J.C. & Westling, O. (2006): Comparison of modelled and monitored deposition fluxes of sulphur and nitrogen to ICP-forest sites in Europe. *Biogeosciences* **3**, 337-355.
- Sjöberg, K., Pihl Karlsson, G., Svensson, A. & Blomgren, H. (2006): Nationell Miljöövervakning inom EMEP och Luft- och Nederbörds-kemiska nätet 2004 & 2005, IVL Rapport U1911.
- Uggla, E., Hallgren Larsson, E. Knulst, J. & Westling, O. (2003): Jämförelse mellan uppmätt och modellberäknad deposition av svavel och kväve i Sverige, IVL-Rapport B1530.
- Uggla, E., Hallgren Larsson, E. & Malm, G. (2004): Krondropps nätet – Tidsutveckling, trendbrott och nationella miljömål. IVL-Rapport B 1599.
- Westling, O., Hultberg, H. & Malm, G. (1995): Total deposition and tree canopy internal circulation of nutrients in a strong acid deposition gradient in Sweden, as reflected by throughfall fluxes. *Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems*, 639-647.