



HÖGSKOLAN
I HALMSTAD

Miljö- och Hälsoskydd

EXAMENSARBETE



Luftutsläpp från järnmalmsproduktion

- Strategier för systematisk luftkvalitetsmätning

Charlotte Nilsson

Miljö- och Hälsoskydd

Halmstad 2014-05-23

Luftutsläpp från järnmalmsproduktion

- Strategier för systematisk luftkvalitetsmätning

Charlotte Nilsson

Miljövetenskap 15 hp

Miljö- och Hälsoskydd 180 hp, Halmstad 2014-05-23

Samarbete med LKAB och IRF

Handledare: Kristian Eno

Examinator: Sylvia Waara

Sammanfattning

Gruvföretaget LKAB bryter järnmalm i tre gruvområden i norra Sverige, Kiruna, Malmberget och Svappavaara. Järnmalmen förädlas och i pelletsverken rullas materialet till färdig pelletsprodukt. De olika stegen i pelletsverken ger upphov till bland annat emissioner till luften. Det sker emellanåt stopp i produktionen då emissionerna luftas ut via en nödskorsten utan rening avseende luftemissioner. Syftet med arbetet är att undersöka hur LKAB kan förbättra uppföljningen av utsläpp till luft och kontroll av omgivande luftkvalitet samt vilka analysmetoder som lämpar sig för mätning. På senare tid har optiska metoder innefattats vid mätningar, vilket har en fördel över insamling av prov som analyseras i ett laboratorium. Arbetet har begränsats till luftemissioner och optiska metoder. Genom omfattande litteraturundersökningar har frågeställningarna svarats på gällande vilka de viktigaste parametrarna är att mäta gällande luftemissioner, vilka metoder som lämpar sig för kontinuerlig mätning samt vilka parametrar som är viktiga vid meteorologisk spridningsmodellering. Tre olika mätmetoder tas upp, DOAS, FT-IR och LIDAR. De optiska metoderna diskuteras utifrån hur de kan tillämpas för anpassning till LKABs verksamhet och dess nordliga geografiska läge. En metod lämpade sig bättre än de andra, DOAS, vilket är den mätmetod som kan anpassas bäst till LKABs verksamhet och till mätning av utsläpp av nödskorstenen. Mätresultat från DOAS kan användas för att göra en spridningsmodellering.

Nyckelord: järnmalm, luftemission, spridningsmodell, fjärranalysteknik och emissionsmätning.

Abstract

The mining company LKAB extracts iron ore in three areas in the north of Sweden, Kiruna, Malmberget and Svappavaara. The iron ore is refined and in the pelletizing plants the material is rolled to finished pellet product. The different steps of pelletizing plants causes among other things emissions to the air. It occurs occasionally stops in the production and the emissions are vented via an emergency chimney without purification. The aim for this work is to look into how LKAB may improve their monitoring of air emissions and control of ambient air quality and the analysis methods which are suitable for measuring. More recently, optical methods have been included in the measurements, which have an advantage over the collection of sample for analysis in a laboratory. The work has been limited to air emissions and optical methods. Through extensive literature review, questions has been answered on regarding which are the most important parameters to measure concerning air emissions, which methods that are suitable for continuous measurement and the parameters that are important in meteorological dispersion modeling. Three different methods of measurement are included, DOAS, FT-IR and LIDAR. The optical methods are discussed on the basis of how they can apply for adjustment to LKAB's operations and its northern geographical location. A method suited better than the others, DOAS, which is the measuring method to be adapted best to LKAB's operations and for measurement of the emergency chimney. Measurement results from DOAS can be used to make a dispersion model.

Keywords: iron ore, air emission, dispersion model, remote sensing techniques and emission measurement.

Förord

Andra året i utbildningen Miljö- och Hälsoskydd påbörjades kemistudierna. Jag har tyckt att kemi har varit intressant sedan gymnasiet och kände att jag hade hittat rätt inriktning när kemistudierna i Halmstad började. Jag kände att ville att mitt examensarbete skulle omfattas av kemi. När jag fick chansen att skriva examensarbetet i samarbete med IRF och LKAB tvekade jag inte en sekund. Besöket i Kiruna var väldigt givande och har motiverat mig inför framtiden.

Jag vill framförallt tacka Malin och Uwe för att ha gett mig möjligheten till att skriva arbetet samt att jag fick möjligheten att uppleva en riktig vinter med snö (och älgar).

Charlotte Nilsson, Halmstad maj 2014

Malin Suup, Forskningsingenjör, LKAB

Uwe Raffalski, Forskare, IRF

Jag vill även tacka följande personer för deltagande och bidragande till arbetet:

Peter Voelger, Forskare, IRF

Bo Galle, Forskare, Chalmers

Lena Fjellström, Forskningsingenjör, LKAB

Sofia Waaranperä, Miljö- och energiingenjör, LKAB

Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	1
1.1	Syfte.....	1
1.2	Avgränsningar.....	1
2.	Bakgrund	1
2.1	Kiruna	3
2.2	Malmberget.....	3
2.3	Svappavaara	3
2.4	Väder	3
2.5	Luftkvaliteten.....	4
2.6	LKABs bidrag.....	4
2.7	Krav och villkor på LKAB, och hur de uppfylls	6
2.8	Miljömål som berörs	7
2.9	Mätningar	8
2.10	Påverkan på miljö och människa.....	11
2.11	Stoft/damning	11
3.	Material och metoder	12
3.1	Nyckellitteratur.....	13
4.	Resultat.....	13
4.1	Optisk mätning	13
4.1.1	Infrarött område	15
4.1.2	UV/ synligt område	16
4.2	Klimatmodeller/ meteorologisk spridningsmodellering	16
4.3	DOAS.....	17
4.3.1.	MAX-DOAS.....	20
4.3.2	Mini-DOAS	22
4.4	FT-IR.....	23
4.5	LIDAR	24
4.6	Översikt över mätmetoder.....	26
5.	Diskussion.....	26
5.1	LKABs bidrag	27
5.2	Miljömål.....	28
5.3	Mätningar	29
5.4	Miljöbalken.....	30
5.5	Optiska metoder.....	31

5.6 Klimatmodeller/ Spridningsmodeller	31
5.7 DOAS.....	32
5.8 FT-IR.....	34
5.9 LIDAR	34
5.10 Felkällor	34
5.11 Etiska aspekter	35
6. Slutsats	35
7. Förslag till fortsatt arbete	35
8. Referenser	36

1. Inledning

Det finns idag ett behov hos LKAB att undersöka möjligheterna till att förbättra uppföljningen och kontrollen av både direkta emissioner samt diffus damning och dess spridning och påverkan på omgivningen. Rapporten definierar de viktigaste mätparametrarna och vilka mätmetoder som kan tillämpas avseende de respektive utsläppen. Rapporten kommer att ligga som grund för ett kommande större samarbete mellan gruvföretaget LKAB och Institutet För Rymdfysik, IRF.

1.1 Syfte

Syftet med arbetet är att undersöka hur LKAB kan förbättra uppföljningen av utsläpp till luft och kontroll av omgivande luftkvalitet samt vilka analysmetoder som lämpar sig för mätning.

Frågeställningarna lyder följande:

- Vilka är de viktigaste parametrarna att mäta gällande luftemissioner från LKABs verksamhet?
- Vilka metoder lämpar sig för kontinuerlig mätning av respektive luftemissioner, från LKABs verksamhet, som definierats enligt ovanstående frågeställning?
- Vilka parametrar är viktiga vid meteorologisk spridningsmodellering för LKABs verksamhet?

1.2 Avgränsningar

Utsläppen begränsades till luftemissioner. Koldioxid uteslöts eftersom att mätning och uppföljning av LKABs koldioxidutsläpp hanteras inom regelverket för uppsläpphandel. Resultatet har begränsats till optiska mätmetoder.

2. Bakgrund

LKAB är ett gruvföretag som bryter järnmalm under jord med skivrasbrytningsteknik. Järnmalmskroppen omsluts av gråberg, vilket är en benämning på ofyndigt berg. Järnmalmen transporteras upp till malmförädlingsverken som består av sovringsverk, anrikningsverk och pelletsverk. I pelletsverken tillsätts bindemedel och materialet rullas till råkolor. Dessa siktas, torkas, förvärms, sintras och kyls till färdig pelletsprodukt. I de olika stegen i pelletsverken uppkommer olika slags utsläpp. Luftutsläppen består främst av

koldioxid, svaveldioxid, fluorider, klorider, kväveoxider och stoft. LKAB har gruvindustri i Kiruna, Malmberget och Svappavaara. I Kiruna finns det tre pelletsverk, i Malmberget två stycken och i Svappavaara finns det ett verk (LKAB, 2013a). Under 2012 tillverkade LKAB sammanlagt 23,9 ton järnmalmspellets i de sex verken (LKAB, 2013a; LKAB, 2013b; LKAB, 2013c). Andra bidrag till luftemissioner kommer från trafiken inom området och upplag av krossat material (LKAB, 2013a).

Tabell 1. Pelletsverk i de respektive gruvorterna Kiruna, Malmberget samt Svappavaara (LKAB, 2013a; LKAB, 2013b; LKAB, 2013c).

Gruvort	Kiruna	Malmberget	Svappavaara
Verk, typ och namn	Kiruna Kulsinterverk nummer 2, KK2	Malmberget Kulsinterverk nummer 3, MK3	Kulsinterverk
	Kiruna Kulsinterverk nummer 3, KK3	Bandugnsverket, BUV	
	Kiruna Kulsinterverk nummer 4, KK4		

När järnmalmen och bindemedlet har rullats till kulor torkas och förvärms de i zoner med olika temperatur, som skiljer sig något mellan de olika verken. Tabell 2 visar temperatur och rening i verk Kiruna Kulsinterverk 4 i Kiruna. Rening av gasemissionerna på stoft och viss vätefluorid och väteklorid sker i torkzonerna UDD och DDD och på stoft i förvärmningszonerna TP1 och TP2. I förvärmningszonen Pre Heat (PH) renas gasemissionerna på stoft, svaveldioxid, kväveoxider, vätefluorid och väteklorid. Kiruna Kulsinterverk 4 är utrustad med Selektiv Katalytisk Reduktion (SCR) för att minska emissionerna av kväveoxider (LKAB, 2014a). För att reningen ska fungera bra krävs en gastemperatur på ungefär 320 grader. Tekniken har en reningsgrad på cirka 80 - 90 procent vid optimala driftförhållanden, men den totala reningen blir lägre då SCR inte alltid kan hålla en hög reningsgrad på grund av skiftande gastemperaturer (M. Suup personlig kommunikation, februari, 2014).

Tabell 2. Temperatur i de olika zonerna i verk KK4 i Kiruna samt vilket efterföljande rening gällande luftemissioner som finns installerad (LKAB, 2014a).

KK4	Torkzon		Förvärmningszon		
	UDD	DDD	TPH1	TPH2	PH
Kanal	UDD	DDD	TPH1	TPH2	PH
Temperatur (C°)	45	350	750	1050	1220
Rening, luftemissioner	Stoft och viss Vätefluorid och Väteklorid	Stoft och viss Vätefluorid och Väteklorid	Stoft	Stoft	Stoft, Svaveldioxid, Kväveoxider, Vätefluorid, Väteklorid

2.1 Kiruna

Kiruna är en ort i norra Norrland med cirka 18 000 invånare. Det var i samband med byggandet av järnvägen Malmbanan mellan Luleå och Narvik som Kiruna började växa tack vare gruvindustrin (Lindgren M., 2014-05-05). De närmaste bostäderna ligger 2 kilometer nordost om LKABs utsläppskällor (IVL Svenska Miljöinstitutet AB, 2004). Avståndet till närmaste bostäder kommer att öka med ungefär en kilometer i samband med stadsomvandlingen på grund av deformationsrisken från gruvan (Fördjupad översiktsplan Kiruna centralort 2014 utställningshandling, n.d.). Inom en radie av 20 kilometer kring Kiruna finns det sju områden som är klassade som naturreservat, riksintresse för naturvård eller friluftsliv samt Natura 2000-område (IVL Svenska Miljöinstitutet AB, 2004).

2.2 Malmberget

Bostadsområdena runt LKABs verksamhet i Malmberget är uppdelat i tre delar, Malmberget, Gällivare och Koskullskulle. Belastningen från gruvan är olika i de olika områdena då de ligger i olika väderstreck från gruvområdet. Malmberget och Koskullskulle är närmre belägna LKABs verksamhet än Gällivare. (Suup M. personlig kommunikation, februari, 2014). Malmberget är huvudort för forskning och utveckling inom LKABs verksamhet (Malmberget, n.d.).

2.3 Svappavaara

LKAB planerar att expandera dagbrottsbrytningen i Svappavaara (Svappavaara, n.d.).

2.4 Väder

Det nordliga läget bidrar till att gruvorterna har midnattssol under cirka 50 dygn under sommaren då solen inte går under horisontlinjen och polarnatt under cirka 20 dygn under vintern då solen inte går över horisontlinjen (Lindgren M., 2014-05-05). Ett snötäcke ligger

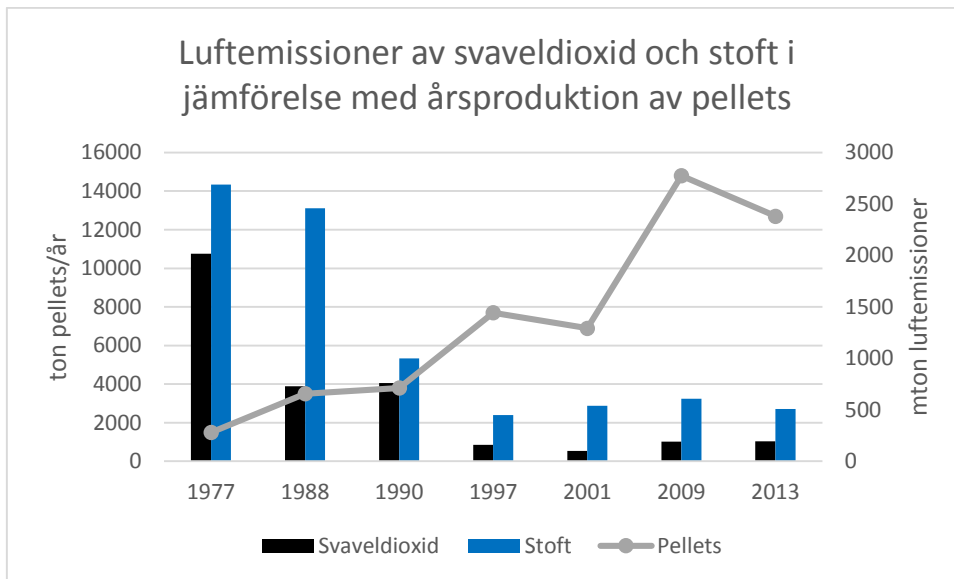
över Kiruna under större delen av året, vanligtvis mellan oktober och maj. Temperaturen blir sällan kallare än minus 20 °C i tätorterna, men utanför tätorten kan det bli under minus 30 °C (Lindgren M. (2013-04-05)). De låga temperaturerna tillsammans med svaga vindar bidrar till markinversion, vilket innebär att luften har en dålig omblandning som kan orsaka höga koncentrationer av luftutsläppen. I Sverige är det vanligast med västliga och sydvästliga vindar och så även i gruvorterna. Nordliga vindar är även vanligt förekommande i gruvorterna. De västliga och sydvästliga vindarna har ofta en högre hastighet och späder föroreningarna bättre än vindar i andra väderstreck (Naturvårdsverket, 2011).

2.5 Luftkvaliteten

Under 1960-talet när miljöproblematiken uppmärksammades påbörjades mätningar av luftkvaliteten i Kiruna, så som i många andra orter i Sverige. Gruvindustrin i samband med uppvärmningen med olja eller ved av Kirunas bostäder gav höga emissioner av svaveldioxid vilket riskerade ha en negativ påverkan på miljön och människors hälsa. Även stoft- och dammemissionerna från gruvan var höga och spreds till de centrala och västra delarna av Kiruna Centrum. Invånarna i Kiruna kunde se att snön tidvis blev svart av stoftet och dammet, då LKAB släppte ut över 2000 ton stoft trots att produktionen av pellets inte var större än 2 miljoner ton per år. Främst i centrum var trafiken en annan bidragande faktor till emissionerna och genom omläggning av den kunde en minskning ses av luftföroreningshalterna vid en av kommunernas mätstationer. Luftföroreningarna från uppvärmningen har idag minskat tack vare utbyggnad av fjärrvärmenätet som har ersatt eldning av olja eller ved. Luftkvaliteten har generellt blivit mycket bättre sedan 1960-talet tack vare högre krav på rening av utsläpp från industrier och uppvärmning samt att kraven har skärpts på låg halt svavel i olja (Kiruna kommun, n.d.).

2.6 LKABs bidrag

Pelletstillverkning bidrar till luftemissioner men tack vare stora investeringar i rening är utsläppen lägre idag trots att produktionen har ökat flera gånger om. Figur 1 visar luftemissioner av svaveldioxid och stoft i förhållande till årsproduktion av pellets (Kiruna kommun, n.d.). Depositionen av stoft kan bidra till nedsmutsning av omgivningen (IVL Svenska Miljöinstitutet AB, 2004).



Figur 1, LKABs luftemissioner av svaveldioxid och stoft i förhållande till produktion av pellets i Kiruna. Emissionerna har minskat trots att produktionen har ökat. 2009 har ett beräknat värde (Kiruna kommun, n.d.; LKAB, 2014b).

Stopp i produktionen kan ske planerat eller oförutsett till exempel till följd av ett haveri i en maskin. I medeltal sker det cirka 60 planerade och oplanerade stopp årligen i Kirunas verk. Vid ett stopp kan luftutsläppen leda till en nödskorsten för att undvika att skador på utrustningen i pelletsverken. Nödskorstenen har ingen installerad rening vilket leder till att orenade emissioner släpps ut till luften. Tiden som det tar att lufta ut luftemissioner kan variera från 15 minuter till tolv timmar, beroende på vilken typ av stopp det är och hur mycket stoft som avgår från produktionen. Temperaturen för emissionerna från nödskorstenen kan uppgå till 1300 grader. (S. Waaranperä personlig kommunikation, februari, 2014). Utsläppen av kväveoxider från processerna sker i största andel i form av kväveoxid (NO), en mätning från verk MK3 i Malmberget visar att förhållandet är 154,83 mg/normal-m³ kväveoxid mot 2,93 mg/normal torr gas kvävedioxid, vilket ger förhållandet 52,84:1 NO:NO₂, vilket motsvarar 1,9 procent NO₂ av totala NO_x. (L. Fjellström personlig kommunikation, februari, 2014). Kväveoxid omvandlas fotokemiskt till kvävedioxid genom reaktion med ozon och syrgas (SMHI, 2004). En total omvandling av kväveoxid till kvävedioxid i luften efter utsläpp bör ske under en mils transport av luften (B. Galle personlig kommunikation, 26-27 februari, 2014).

De områden med högst belastning på omgivningsluften i Kiruna är nordost om anläggningen där tågstationen låg fram till 2012 samt söder om anläggningen. I de två områdena kunde

både de högsta kort- och långtidsmedelvärde ses i en spridningsmodellering. Nära anläggningen var halterna högre och avtog med avstånd från utsläppskällan. Utsläppen från pelletsverken sker från skorstenar på en relativt låg höjd, vilket medför att halterna på marknivå är höga nära utsläppskällorna vid markinversion, då ingen betydande omblandning av luften sker. Enligt beräkningar är bidraget av kväveoxider från LKAB 55-65 procent i tätorten och 59 procent runt den gamla placeringen av järnvägsstationen. Beräkningen är gjord 2004 på ett framtidsscenario med verk KK4 i bruk samt installerad rening på kanal UDD i verk KK2 (SMHI, 2004).

2.7 Krav och villkor på LKAB, och hur de uppfylls

LKAB har i miljötillstånden för verksamheten villkor på vilka halter som får förekomma i gasemissionerna. Kraven och villkoren ser olika ut för de olika verken då de skiljer sig åt. Villkoren grundas på miljöbalken (SFS 1998:808) och dess tillhörande förordningar. Den förordning som är aktuell för luftemissioner är luftkvalitetsförordningen (SFS 2010:477) (LKAB, 2013a). Ett nytt direktiv från EU tillämpades i den svenska lagstiftningen 2013 genom Industriutsläppsförordningen som innefattar industrier och dess utsläpp (Industriutsläppsförordningen 2013:250, 2013-05-08).

I tabell 3 kan medelhalter för luftemissioner för 2012 ses. Det kan ses i tabellen att det för närvarande inte finns villkor för utsläpp av kväveoxider i Kiruna, Malmberget verk BUV och Svappavaara. Det pågår emellertid prövotidsutredningar avseende denna fråga vilket sannolikt kan landa i någon form av framtida halt- eller mängdbegränsning (M. Suup personlig kommunikation, februari, 2014). Verket i Svappavaara saknar villkor för väteklorid. Samtliga verk saknar villkor för koldioxid. De mest betydande utsläppen mätt kvantitativt i ton per år är för verken i Kiruna koldioxid och kvävedioxid, för verken i Malmberget koldioxid och kvävedioxid samt för verket i Svappavaara koldioxid och stoft/damm. De emissioner där årsmedelhalten är nära eller överskrider villkoret är svaveldioxid för verken i Kiruna och stoft/damm för verket i Svappavaara. Villkoren innehåller både riktvärden och gränsvärden. (LKAB, 2013a; LKAB, 2013b; LKAB, 2013c).

Tabell 3, Jämförelse av emissionshalter mot gällande villkor år 2012 för produktionen i Kiruna, Malmberget respektive Svappavaara. Blå ruta markerar de mest betydande utsläppen från de olika orterna, som definieras som det värde som ligger över villkorshalt, det värde som ligger närmst villkorshalt samt det värde som är mest omfattande kvantitativt. Riktvärde markeras med lila och gränsvärde markeras med orange. NO_x-utsläpp är omräknat till NO₂. Information kring villkorens omfattning av riktvärde respektive gränsvärde för Svappavaara finns inte att tillgå (LKAB, 2013a; LKAB, 2013b; LKAB, 2013c).

Utsläpp gällande år 2012, årsmedelhalterna anges i g/ton pellets om inget annat anges					
Orter och verk	SO ₂	NO ₂	Fluor	HCl	Stoft/ Damm
Kiruna	14,3	120	1,9	4,7	35
Kiruna villkor	15	-	6	6	50
Kiruna, ton årligen	194	1651	26,3	63,6	476
Malmberget	130	233	23	18	50
Malmberget, villkor för verk MK3	70	700 ton årligen (under prövotid)	9	6	50
Malmberget, villkor för verk BUV	250	-	180 ton årligen	-	250
Malmberget, ton årligen	924	1632	160	124	395
Svappavaara	218	193	4,1	124	331,6
Svappavaara villkor	S 0,17 g/MJ tillfört kolbränsle	-	15	-	250
Svappavaara, ton årligen	711	628	13,4	404	1079

2.8 Miljömål som berörs

Sverige har utformat 16 miljömål som regionalt och lokals tillämpas i arbetet mot en bättre miljö. De miljömål som berör LKABs verksamhet är Frisk luft, Ingen övergödning, Bara naturlig försurning samt Begränsad klimatpåverkan (IVL Svenska Miljöinstitutet AB, 2004).

Frisk Luft innefattar begränsningar av utsläpp från verksamheter där utsläppen kan bidra till att målet inte kan uppfyllas. Svaveldioxid från LKABs verksamheter i Kiruna bedöms inte medföra att målet inte kan uppfyllas. Kväveoxider från LKABs verksamheter i Kiruna bedöms kunna bidra till att målet inte kan uppfyllas på högt belastade platser i Kiruna. Det är kväveoxiderna från transporten på industriområdet som bidrar till halterna i den urbana

bakgrundshalten. Kväveoxiderna från produktionen släpps från skorsten på en hög höjd som inte bidrar vid normala väderförhållande. Timmedelvärdet riskerar att överskridas vid ogynnsamma väderförhållanden vid till exempel markinversion. Års- och dygnsmedelvärdena för PM₁₀ riskerar att överskridas i den urbana bakgrundsluften Kiruna, som i många andra svenska tätorter. Bidraget av PM₁₀ från LKAB är inte fastställt (IVL Svenska Miljöinstitutet AB, 2004).

Ingen Övergödning innefattar begränsningar för utsläpp av gödande näringsämnen i mark och vatten. LKABs verksamheters bidrag till deposition av kväve bedöms vara lågt men den kritiska belastningen på känsliga områden riskerar att överskridas (IVL Svenska Miljöinstitutet AB, 2004).

Bara Naturlig Försurning innefattar begränsningar av den försurande effekten från nedfall och markanvändning. LKABs verksamhets bidrag av försurande ämnen bedöms inte överskrida målet (IVL Svenska Miljöinstitutet AB, 2004).

Målet Begränsad Klimatpåverkan innefattar att halterna av växthusgaser i atmosfären ska stabiliseras. LKABs verksamhet står för cirka 70 procent av Kirunas belastning av koldioxid. En i framtiden utökad verksamhet kan i viss mån bidra till att målet inte uppfylls (IVL Svenska Miljöinstitutet AB, 2004).

Under år 2014 utförs nya spridningsberäkningar som LKAB avser att göra nya luftkvalitetsbedömningar utifrån och därmed vilka miljömål som berörs. Bidraget av PM₁₀ avses att fastställas i spridningsberäkningarna under 2014 (M. Suup muntlig kommunikation, juni, 2014).

2.9 Mätningar

Idag genomför LKAB regelbundna manuella mätningar och i viss mån mätningar via onlineinstrument av de direkta emissionerna från pelletsverk och stoftreningsverk. En gång om året görs emissionsmätningar som ligger som underlag till den årliga miljörapporten. Mätningarna utförs vid normaldrift utan stopp. Normalt sett utförs mätningarna av externa mätkonsulter med tillgång till ackrediterade luftlaboratorier (M. Suup personlig kommunikation, februari, 2014). Tabell 4 visar uppmätta halter av luftemissioner från de olika pelletsverken i Kiruna 2013 (METLAB, 2013a; METLAB, 2013b; METLAB, 2013c).

Tabell 4, emissioner till luft från de olika pelletsverken i Kiruna 2013. (METLAB, 2013a; METLAB, 2013b; METLAB, 2013c).

Verk	Emission	Kanal	ppm torr gas	mg/m ³ normal torr gas	kg/timme
KK2	SO ₂	PH	5,4	15	4,3
	NO _x (räknat som NO ₂)	TPH	6,1	13	4,1
		PH	112	230	64
KK3	SO ₂	PH	8,2	24	8,6
	NO _x (räknat som NO ₂)	TPH	41	84	18
		PH	133	272	99
KK4	SO ₂	TPH2	3,3	9,4	1,7
		PH	2	5,6	1,5
	NO _x (räknat som NO ₂)	TPH1	6,5	13	1,7
		TPH2	26	54	10
		PH	101	207	57

Vid mättillfällena utförs också kalibreringsmätningar för verifiering av fasta kontinuerliga mätsystem.

Kontinuerliga mätningar ska ske med referensmetoder eller metoder som är ekvivalenta med referensmetoderna. Mätresultat gjorda inom EU ska vara jämförbara, därför publiceras likvärdiga metoder och/eller instrument för mätningar på Referenslaboratoriets hemsida (Naturvårdsverket, 2011). LKAB omfattas inte av kraven på mätning med referensmetoder vid kontinuerliga mätningar (M. Suup personlig kommunikation, juni, 2014). Referensmetod för svaveldioxid är ultraviolet fluorescens och för kväveoxider är kemiluminescens referensmetod (Svaveldioxid, 2014-01-15; Kvävedioxid och kväveoxider, 2014-01-15). Vid referensmetod för partiklar och PM₁₀ uppsamlas partiklarna på ett filter och genom vägning bestäms massan (Partiklar, 2014-01-17). Annan metod än referensmetod får användas om metoden ger likvärdiga resultat som referensmetoden. Tabell 5 visar referensmetoder och likvärdiga metoder. Naturvårdsverket ska godkänna mätinstrument som mäter enligt referensmetod eller som är likvärdig med referensmetoden och som ska användas vid kontinuerliga mätningar (Naturvårdsverkets föreskrifter om kontroll av luftkvalitet, 2014-01-01). Naturvårdsverkets föreskrifter om kontroll av luftkvalitet, 2014-01-01, NFS 2013:11, reglerar med grund i Miljöbalken och dess förordningar även val av mätplats och placering av mätutrustning, modellberäkningar, kontinuerliga mätningar, indikativa mätningar samt

kriterier för kvalitetsmål för data för kontinuerliga mätningar, indikativa mätningar, modellberäkningar och objektiv skattning.

Tabell 5, Referensmetoder och likvärdiga metoder för mätning av emissioner (Partiklar, 2014-01-17; Svaveldioxid, 2014-01-15; Kvävedioxid och kväveoxider, 2014-01-15).

Emission	Svaveldioxid	Kvävedioxid och kvävemonoxid	Partiklar, PM ₁₀	Partiklar, PM _{2,5}
Referensmetod	Ultraviolet fluorescens	Kemiluminescens	Gravimetrisk metod	Gravimetrisk metod
Likvärdig metod	- DOAS från Opsis AB - Diffusionsprovtagare - Manuell våtkemisk metod	- DOAS från Opsis AB	- Beta-absorptionsinstrument SM 200 från Opsis AB - Grimm partikelmätare - SHARP 503 - SWAM 5a - TEOM 1400AB	- Beta-absorptionsinstrument SM 200 från Opsis AB - Grimm partikelmätare - SHARP 5030 - SWAM 5a

Nedfallande stoft mäts med NILU-burkar på flera platser i och omkring tätorterna nära gruvindustrierna. I NILU-burken finns en blandning av vatten och sprit som binder det nedfallande stoftet. Mängden stoft som faller ner i burkarna beror på vindhastighet, nederbörd och partikelstorlek. Lägre vindhastighet medför att mindre partiklar kan falla ner i burken. En begränsning för NILU-burken är insamling av stoft med en storlek mindre än 150 µm (Jia & Huang, 2008). En gång i månaden byts NILU-burken och det insamlade stoftet vägs på laboratoriet. Mätningarna började i slutet av 1980-talet med några mätpunkter i tätorten. Avseende mätningarna i Kiruna finns en NILU-burk i Jukkasjärvi som referenspunkt till mätningarna omkring gruvområdet. Det är ingen optimal referenspunkt då Jukkasjärvi inte har samma storlek som Kiruna och inte samma belastning från tätorten. En referenspunkt i en stad i samma storlek som Kiruna med utan bidragande industri hade varit mer optimalt. Områdena kring gruvindustrin i Malmberget är uppdelade och där finns förutsättningar för en bra referenspunkt. Sommaren 2014 avses det att sättas ut fler mätpunkter i Kiruna som kommer att ge en bättre täckning av området runt gruvområdet (M. Suup personlig kommunikation, februari, 2014).

2.10 Påverkan på miljö och människa

De olika luftemissionerna har en negativ påverkan på miljö och människa. Svaveldioxid har en försurande effekt på miljön och kan påverka andningen hos de som är speciellt känsliga (Elding, n.d. d). Kväveoxider kan bidra till försurning och övergödning (Elding, n.d. b). Fluor är starkt giftigt och kan ge hud- och lungskador (Elding, n.d. a) och saltsyra (HCl) kan irritera slemhinnor (Elding, n.d. c). Stoft kan påverka hur solinstrålningen absorberas och då också påverka väderförhållanden på jorden och i atmosfären (Stoft, n.d.). En överläkare på Umeå lasarett är intresserad av vad det är för typ av damm som faller över samhället och vill göra studier på dammets långtidseffekter (M. Lehti, personlig kommunikation, 15 maj, 2014).

2.11 Stoft/damning

Allmänhetens frågor och klagomål gällande damning och stoft omfattas bland annat av oro att dammet och stoftet ska innehålla hälsovådliga och skadliga ämnen för människan samt en irritation över att dammet och stoftet smutsar ner bland annat utemöbler och tvätt som får torka utomhus. I Kiruna mäts nedfallande stoft, PM₁₀ och TSP, Total Suspended Particles och under vintersäsongen tas snöprov. För närvarande mäts PM_{2,5} i en mätkampanj (M. Suup personlig kommunikation, februari, 2014).

Mats Lahti, Miljöinspektör, Miljökontoret, Kiruna kommun skriver ” *Stoftnedfallet har ökat de senaste 6-7 åren*” och ”*Klagomålen till nämnden har varit omfattande de senaste 5-6 åren*”(M. Lahti, personlig kommunikation, 15 maj, 2014).

Jag har arbetat med miljöfrågor i Kiruna sedan 1978, bott i det mest stoft drabbade området Luossavaara sedan 1982. Så det är med viss erfarenhet som jag kan säga att tiderna förändras. Under 1960-70 talet var Kiruna en smutsig stad. Under 1980-90 talet skedde förbättringar så att Kiruna under början av 2000-talet i samband med Winther city aktiviteter kunde ståta med ren snö vid snöskulptur tävlingar (M. Lahti, personlig kommunikation, 15 maj, 2014).

Partiklar med en storlek under 10 µm är inandningsbara. Partiklar som har en storlek över 20 µm benämns som en olägenhet hos allmänheten då de har en synlig påverkan så som luft-, jord- och vattenkontaminering. Partiklar med en storlek över 30 µm sprids i luften upp till 100 meter från utsläppskällan och de med en storlek mellan 10 och 30 µm sprids i luften mellan 200-500 meter från utsläppskällan (Jia & Huang, 2008 – originalkälla). Partiklar som har en storlek mindre än 10 µm kan transporteras långa sträckor (Moosmüller, Chakrabarty & Arnott, 2008). Källor i LKABs verksamhet som bidrar och ger upphov till damning är

mekanisk hantering som krossning och sortering, transport, sprängning samt vind som lyfter damm från hårdgjorda ytor (Jia & Huang, 2008).

En undersökning har gjorts för att karaktärisera dammet från Kaptensgropen, som ligger i orten Malmberget. Vanliga hälsovådliga ämnen undersöktes och dammet hade ett lågt innehåll av samtliga parametrar. Halten för uran låg på tusendelar under den rekommenderade lågrisknivån och de övriga halterna låg på hundradelar av de rekommenderade lågrisknivåerna och många halter var även under detektionsgränsen för instrumentet. Bedömningen var att innehållet var icke-hälsoskadligt (Sweco, 2008).

3. Material och metoder

Rapporten är en kvalitativ litteratursammanställning.

Vetenskapliga artiklar söktes på databasen Science Direkt med följande sökord:

- Mining
- Ore mine underground
- Ore mine pellet
- Air pollution
- Air quality measurement
- Remote sensing technique
- Remote sensing air quality
- NO_x, SO₂ measurement
- Flue gas monitoring
- Aerosol measurement
- Particle size distribution
- Optical remote sensing
- Industrial gas emission
- DOAS
- LIDAR

I de fall där det inte fanns tillgång till fullständig vetenskaplig artikel från Science Direkt, söktes titeln på Google Scholar.

Artikelsökning på liknade anläggningar i andra delar av världen samt hälsoproblem på grund av närhet till järnmalmgruva gjordes utan resultat.

Interna och externa rapporter från LKAB fanns att tillgå på dess server.

Parametrarna för frågeställning "Vilka är de viktigaste parametrarna att mäta gällande luftemissioner från LKABs verksamhet?" har valts till det värde som ligger över villkorshalt, det värde som ligger närmst villkorshalt samt det värde som är mest omfattande kvantitativt.

3.1 Nyckellitteratur

Mellqvist J., & Rosén. (1996a). DOAS FOR FLUE GAS MONITORING-I. TEMPERATURE EFFECTS IN TBE U.V./VISIBLE ABSORPTION SPECTRA OF NO, NO₂, SO₂ AND NH₃. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 1, 187-208.

Mellqvist J., Axelsson H., & Rosén. (1996b). DOAS FOR FLUE GAS MONITORING-III. IN-SITU MONITORING OF SULFUR DIOXIDE, NITROGEN MONOXIDE AND AMMONIA. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 1, 225-240.

4. Resultat

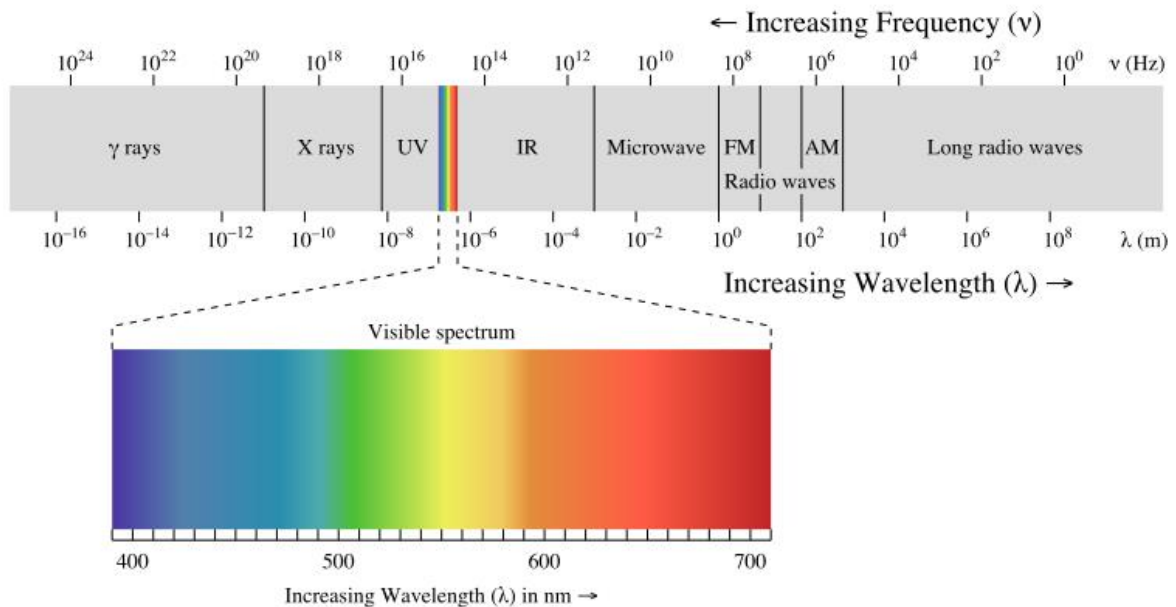
Historiskt sett har mätning av luftföroreningar skett genom insamling av prov som sedan analyserats antingen på plats eller i ett laboratorium. På senare tid har optiska metoder innefattats vid mätningar, till exempel DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy). Insamling av prover har nackdelen att provet begränsas till enskilda mätpunkter och mätplatsen måste väljas noggrant för att vara representativ för mätningen. Optiska fjärranalysmetoder kan utföra tredimensionella mätningar av föroreningar. De kraftfullaste teknikerna av de optiska mätmetoderna är de som använder laser som ljuskälla (Molero & Jaque, 1999).

Utvecklingen av tekniker för fjärrövervakning av atmosfären är viktig för en mängd olika tillämpningar inom analytisk kemi för lagstiftad övervakning av luftburna föroreningar, övervakning av luften på arbetsplatser och kvalitetskontroll av industriella processer (Koehler, Small, Combs, Knapp & Kroutil, 2001).

4.1 Optisk mätning

Optiska metoder lämpar sig väl för kvalitativa och kvantitativa mätningar av luftemissioner. Optiska metoder bygger på att bindningar mellan specifika atomer absorberar energi vid

specifika intervaller av våglängder (Johansson, 2013). Energin har sitt ursprung i solens elektromagnetiska strålning som skickas ut i vågrörelser som fortplantar sig i rymden. Strålningen innehåller en viss energi beroende på våglängd och frekvens. Figur 2 nedan visar olika intervaller av våglängder.



Figur 2, Elektromagnetiskt spektra (från en.wikipedia.org).

En molekyl kan reagera på olika sätt vid absorption av energi, genom rotation, vibration eller excitation av valenselektron. Tabell 6 visar hur olika intervaller av våglängder påverkar molekylers bindningar (Johansson, 2013).

Tabell 6, Påverkan på bindningar mellan atomer vid specifikt intervall av våglängd (Johansson, 2013).

Våglängder	Påverkan på bindning mellan atomer
Mikrovågor	Rotationsenergi
Infrarött	Rotations- och vibrationsenergi
Synligt samt ultraviolet	Exciterar valenselektroner
Röntgen samt Gamma	Exciterar valenselektroner som är hårt bundna

Optiska metoder kan detektera ljus från passiva eller aktiva källor. En passiv ljuskälla är solen och innefattar alla våglängder. En aktiv ljuskälla är till exempel en xenonlampa med ett bestämt specifikt intervall av våglängder (B. Galle muntlig kommunikation, februari, 2014).

Användning av aktiv teknik begränsar mätningen till området mellan ljuskällan och detektorn (Molero & Jaque, 1999). Mätning med passiv teknik ställer lägre krav på tekniken än mätning med aktiv teknik eftersom ingen extern ljuskälla eller retroreflektorer behövs (Koehler et al., 2001).

Aerosoler och partiklar kan detekteras genom mätning av deras absorptions- och ljusspridningsegenskaper (Lelli, 2006). De absorberar inkommande solljus och sprider infrarött ljus. Aerosoler omfattas vanligtvis av damm, droppar, havssalt, dis, sot, dimma, organiska och oorganiska material. Storleksfördelningen beror på dess ålder, sammansättning och dess ursprung, om de är naturliga eller av antropogent ursprung (Lelli, 2006). Mindre aerosoler har en bättre ljusspridningsförmåga och längre uppehållstid i luften än större aerosoler (Lelli, 2006).

Ljusabsorption av aerosoler i atmosfären domineras av svartkol, brunkol och damm från mineraler. Absorptionen kan räknas ut med Mie-teorin för sfäriska partiklar och med mer komplicerade metoder för partiklar med andra former. Partiklar från mineraler är generellt icke-sfäriska och dåligt klassificerade vilket bidrar till att uträkningar för mineralpartiklars absorption försvåras (Moosmüller et al., 2009). Moosmüller et al. (2009) skriver att kvantitativa mätningar av partiklar fortfarande är en utmaning. Enkla, vanligen använda mätningar med filterteknik kan utsättas för mätstörningar på grund av partikelkoncentration och optisk interaktion mellan avsatta partiklar och filter. In situ-metoder mäter partiklarnas absorption i dess naturliga suspenderade form och är därför inte utsatta för effekterna som relateras till filtermätningar (Moosmüller et al., 2009).

För att kunna mäta emissionerna noggrant i en rökgaspolymer krävs det att bakgrundskoncentrationen bestäms (Johansson, 2013).

4.1.1 Infrarött område

Det infraröda området är ett brett område som gör det möjligt att identifiera olika ämnen genom bindningarnas specifika absorption av energi. Energiinnehållet i infraröd strålning är tillräcklig för att påverka bindningar i en molekyl genom att öka molekylrörelserna.

Rörelserna hos en molekyl är sträckning eller böjning. Sträckningsrörelsen ger upphov till ändringar av bindningslängden och böjningsrörelsen ger upphov till ändring av bindningsvinklarna. Infraröd energi kan bara absorberas av bindningar mellan två olika typer

av atomer, vilket medför att till exempel en kväve-syre-bindning absorberar energi medan en kväve-kväve-bindning inte absorberar energi (Simonsen 2003/2005).

4.1.2 UV/ synligt område

Valenselektronerna i molekylernas bildningar absorberar energi i form av fotoner i området ultraviolett/synligt och molekylen exciteras. Fotonens energi skall överstämja med bindningstypens energi för att excitering av elektronerna ska kunna ske (Simonsen 2003/2005).

4.2 Klimatmodeller/ meteorologisk spridningsmodellering

Användning av spridningsmodellering är ett viktigt verktyg för beskrivning av spridning av luftföroreningar i atmosfären. SMHI har tillgång till ett flertal spridningsmodeller som är anpassade efter olika skalor och frågeställningar, för att kunna ge information och beslutsunderlag. Spridningsmodeller utvecklas för att kunna bedöma luftkvaliteten på olika geografiska skalor, från lokala till regionala beräkningar (SMHI, 2014-04-23). Metoden bygger på matematisk simulering av emissioner som transporteras genom atmosfären. Spridningsmodelleringar återger förhållanden i atmosfären och gör en uppskattning av koncentrationerna av föroreningarna när de förflyttas från utsläppskällan. Hastighet och riktning för vinden, lufttemperatur och emissionens höjd är exempel på förhållanden som behövs vid modellering. Modellerna kan göra beräkningar av sekundära bildningar av föroreningar genom integrering av atmosfärs kemi i modellerna. Spridningsmodeller kan användas för att bestämma om en ny utsläppskälla kommer att påverka ett område negativt eller för att förutsäga om kontroll av en utsläppskälla kommer att ha positiv effekt. En annan tillämpning är när en förutsägelse av koncentrationer är nödvändigt, till exempel när en ny utsläppskälla utvärderas eller när minskning av utsläpp planeras. Modellerna som finns varierar i komplexitet, som minst behövs meteorologisk information, emissionsdata samt information om hur utsläppskällan ser ut, till exempel höjd och utgångshastigheten för gasen. De mer komplexa modellerna behöver information om topografi, kemiska egenskaper för individuella emissioner och markanvändning. Vid utsläpp av partiklar är modelleringen enklare då kemiska egenskaper inte behöver integreras som vid gasutsläpp. Environmental Protection Agency (EPA) i USA har utförliga rekommendationer angående vilka modeller som kan användas under vilka förhållanden. (Dispersion Modeling, 2011-06-28).

Spridningsmodeller i allmänhet stämmer inte alltid överens med verkligheten, spridningsberäkningen kan jämföras med mätningar i det aktuella området. Det är viktigt att definiera följande:

- typen av utsläpp, om det är gas- eller partikelutsläpp,
- formen av utsläpp, om det är punktutsläpp med spridning, samt om det är kontinuerliga eller variabla utsläpp,
- vilken temperatur som råder vid utsläppspunkten och hur snabbt temperaturen minskar,
- vad partiklarna består av, mineraler eller organiskt material.

Den relativa fuktigheten påverkar inte mineraler men organiskt material till exempel klorider, sulfater och nitrater tar upp fukt. I ett bebyggt område kan turbulenseffekter påverka, till exempel varm luft från hus stiger och påverkar luftlagrets egenskaper (Voelger P. personlig kommunikation, februari 2014).

4.3 DOAS

DOAS, Differential Optical Absorption Spectroscopy, mäter inom de ultravioletta och synliga områdena. Grundläggande uppförande av DOAS-system består av en bredbandig ljuskälla, ett teleskop, spektrograf, ett detektionssystem som registrerar absorptionsspektrum (Hönninger, von Friedeburg & Platt, 2004). Tekniken har använts i mer än ett halvt århundrade och har utrustats med olika spektrometrar för att mäta den totala medelkoncentrationen i kolumnen av olika gaser som atmosfäriskt ozon, NO₂ samt SO₂ (Mellqvist & Rosén, 1996a). Vid tillämpning av en aktiv ljuskälla mäts medelkoncentrationen av dem söka parametrarna mellan ljuskällan och spektrometern (Galle B. muntlig kommunikation, 26-27 februari, 2014). Tekniken baseras på överföring av bredbandigt ultraviolettt ljus och registrering av skillnaden mellan maximum och minimum i absorptionsspektrumet för den specifika gastypen. Registreringen sker med hjälp av en spektrometer som sedan skickar vidare informationen till en dator (Mellqvist, Axelsson & Rosén, 1996b). Spektrometern använder sig av en uppsättning av fotodioder, som registrerar alla våglängder inom det bestämda intervallet samtidigt. I jämförelse med tidigare använda tekniker för registrering av ljus, registrerar fotodioder 100-500 gånger fler fotoner under samma tidsintervall (Stutz & Platt, 1997). Tillämpning av tekniken för mätningar i

troposfären är användning av en bredbandig xenonlampa som ljuskälla som drivs med högspänning. Ljuset sänds genom atmosfären upp till flera kilometer (Mellqvist & Rosén, 1996a). Fördelarna med DOAS är dess möjlighet att detektera väldigt svag absorption, entydigt och absolut identifiera en specifik gas samt det faktum att gaskoncentrationen bestäms enbart från absorptionstvärsnittet vilket gör att kalibrering inte är nödvändig.

De molekyler som är lättast att mäta med DOAS är NO_2 , O_3 samt SO_2 , vilka är rutinmässigt övervakade i många städer runt om i världen. Andra molekyler som kan mätas, men som kräver mer avancerad teknik, är NO , CH_2O , CS_2 , Hg , HNO_2 , NH_3 , NO_3 samt OH . Det är även möjligt att mäta lätta aromatiska kolväten. Det är dessutom möjligt att erhålla information om densitet och storleksfördelning av aerosoler i stratosfären (Mellqvist & Rosén, 1995a).

En möjlig tillämpning för DOAS-tekniken är användning för in-situ-mätningar, tvärs en stapel eller en rökgasplym. Möjligheten för användning av tekniken in-situ är lockande i syfte att minimera responstiden samt för att mäta polära och reaktiva gaser, vilka kan vara svåra att mäta med en teknik där ett prov tas för att sedan analyseras på laboratorium (Mellqvist & Rosén, 1996a). Direkt applikation av DOAS på skorsten är inte möjligt, då det kan förekomma höga och varierande temperaturer som kan påverka mätningen (Mellqvist & Rosén, 1996a; Mellqvist et al., 1996b). Mellqvist & Rosén (1996a) studerade temperaturberoendet för det absoluta och det differentiella absorptionstvärsnittet för NO , SO_2 , NO_2 samt NH_3 genom mätningar av spektra i en värmerörscell. Resultatet visade att differentiella absorptionsegenskaper ändrades drastiskt med temperatur för vissa av de studerade gaserna. Den kvantitativa förändringen för SO_2 och NO_2 var väldigt stort med en relativ förändring i storlek på 70 procent mellan 300 och 700 Kelvin. För de två andra studerade gaserna, NO och NH_3 , var förändringen i storlek endast 15-20 procent vid samma temperaturintervall. Simuleringar för NO visade att temperatureffekten var starkt beroende av den spektrala upplösningen hos instrumentet och att temperatureffekten blev mindre vid en lägre upplösning. Den kvalitativa förändringen i spektrala egenskaper var en kontinuerlig sänkning av absorptionstopparna och en ökning av dalarna vilket gjorde bandintegreringen av absorptionen väldigt okänslig för temperaturen. Temperaturen påverkade de spektrala egenskaperna mer på ett kvantitativt än ett kvalitativt sätt. För att kunna utföra korrekta koncentrationmätningar krävs det kompensering för temperaturberoendet av

absorptionstvärsnittet samt för eventuella avvikelser från Beer-Lamberts lag (Mellqvist & Rosén, 1996a).

Tekniken har en viss specifik detektionsgräns för varje parameter som mäts och uttrycks i parts per million meter, ppmmeter. Detektionsgränsen är beroende av sträckan som ljuset färdas och förändras. Om ljuset färdas en meter mäts detektionsgränsen i parts per million, om sträckan ökar med 1000 meter, minskar detektionsgränsen till parts per billion. En bra spektrometer har en lägre detektionsgräns (B. Galle, muntlig kommunikation, 26-27 februari, 2014). Mellqvist et.al (1996b) uppskattade att för deras DOAS-instrument var detektionsgränserna för de olika gaserna enligt tabell 8.

Tabell 8, Uppskattade detektionsgränser för olika gaser, vid en optiska sträcka på en meter. (Mellqvist J., et al., 1996b)

Typ av gas	Detektionsgräns vid en meter, i parts per million (10^6)
SO ₂	0,5
NO	0,2
NO ₂	1,9

Stutz & Platt (1997) uppskattar att detektionsgränserna för aktiv DOAS för fem, tio och femton kilometers sträcka med fotodioddetektor är enligt tabell 9.

Tabell 9, Uppskattade detektionsgränser för SO₂ och NO₂, vid en optisk sträcka på fem, tio respektive femton kilometer (Stutz & Platt, 1997).

Typ av gas	Mätsträcka	Detektionsgräns, parts per trillon (10^{12})
SO ₂	5 kilometer	50-100
	10 kilometer	25-50
	15 kilometer	16-33
NO ₂	5 kilometer	100-200
	10 kilometer	50-100
	15 kilometer	33-66

Mellqvist et. al (1996b) menar att det är nödvändigt att utvärdera SO₂ samtidigt som de söka molekylerna eftersom absorptionen av SO₂ stör i alla spektrala regioner.

Tekniken kan utnyttjas in-situ i återkopplingssystem för att kontrollera förbrännings- eller reningsprocesser, till exempel NO_x-reduktion i SNCR-teknik (Selective Non-Catalytic Reaction) (Mellqvist et al., 1996b).

En tillämpning för aktiv DOAS som underlättar för strömförbrukningen är användning av reflektorer. Ljuskällan och spektrometern placeras nära varandra och utnyttjar samma strömkälla. En reflektor placeras på andra sidan av den tänkta mätpunkten, till exempel en rökgasplym, vilket gör att ljuset färdas igenom rökgasplymen, reflekteras på reflektorn, och färdas tillbaka till spektrometern genom rökgasplymen. Avståndet som ljuset färdas fördubblas jämfört med en uppställning där ljuskällan och spektrometern placeras på var sin sida om rökgasplymen, vilket leder till minskad detektionsgräns. Det är lättare att justera tekniken när en reflektor används (Stutz & Platt, 1997). Det finns två typer av reflektorer, retroreflektorer och kvartsprisma. Retroreflektorer är ett billigare alternativ av retroreflektorer (cirka 25 000 kronor) och är okänsliga för yttre störningar, reflektorn kan vridas men reflekterar ändå ljuset tillbaka i den riktning som det kom ifrån. Kvartsprisma är ett dyrare alternativ av retroreflektor (cirka 50 000 kronor) men är mer hållbar och har en längre livstid (B. Galle muntlig kommunikation, februari, 2014).

4.3.1. MAX-DOAS

MAX-DOAS, Multi-Axis Differential Optical Absorption Spectroscopy har flera tekniska fördelar som lämpar sig för övervakning av atmosfären, vilka inkluderas av enkel installation, låg strömförbrukning och helautomatisk drift utan kalibrering. Instrumentet kan utföra samtida mätningar av aerosoler och gaser, vilket inkluderar NO₂, SO₂, formaldehyd (HCHO) samt oxalaldehyd (CHOCHO), vilket kan spela direkta eller indirekta roller vid bestämning av kemiska, fysiska och optiska egenskaper hos aerosoler (Irie et al. 2008). Den rumsliga fördelningen av olika gaser nära mätinstrumentet kan härledas genom kombination av mätningar i flera mätvinklar. Markbaserad MAX-DOAS är väldigt känslig för absorberande gaser i de fem lägsta kilometerna i atmosfären och vertikal profilinformation kan fås genom att kombinera mätningar och specifika beräkningar (Hönninger et al. 2004).

En möjlig användning av MAX-DOAS är förhöjd placering, till exempel på ett torn, ett berg eller på ett flygplan. Detta möjliggör undersökningar av:

- emissionsmönster från utsläppsområden nära instrumentet,
- vertikala profiler av gaser på en lokal eller regional nivå,
- tidsperioder med smog som är isolerat från den fria troposfären på grund av inversion (Hönninger et al., 2004).

Shaiganfan et al. (2011) har gjort en bedömning av NO_x-emissioner i Delhi, Indien genom användning av en passiv MAX-DOAS monterad på ett biltak och jämfört resultaten med OMI satellitdata. Monteringen på taket medförde att mätningarna kunde ske längs enskilda körsträckor. Information om hastighet och riktning av vinden samt koordinaterna för rutten samlades in samtidigt som mätningarna. Mätningarna från MAX-DOAS var lite högre än mätningarna från OMI satellitdata. MAX-DOAS användes även som validering av samtidiga OMI satellitmätningar av NO₂ vertikal kolumndensitet i troposfären och det hittades en bra överensstämmelse av de rumsliga mönstren. Jämförelse av de två metoderna visade att OMI satellitdata mäter högre än MAX-DOAS nära en högt förorenad källa, och MAX-DOAS mäter högre än OMI satellitdata vid mindre förorenade regioner. MAX-DOAS monterad på en bil ger värdefull information om den horisontella heterogena fördelningen av NO₂, vilket inte kan utläsas från satellitobservationer. MAX-DOAS-mätningar från en fast mätpunkt kan inte ge information om horisontella fördelningar vilket gör att en MAX-DOAS monterad på en bil är fördelaktig. Mätvinklarna valdes till 22°, 45° och 90° från horisontellt plan, vilket är relativt höga vinklar i jämförelse med MAX-DOAS-mätningar från en fast mätpunkt, för att undvika skugga från närliggande hinder, till exempel träd eller byggnader. Den insamlade datan sammanställdes för de olika mättillfällena och halternas fördelning över staden kunde ses. Upplösningen för OMI satellitmätningar beror på var satelliten befinner sig i jämförelse med mätområdet och betraktningvinkeln, är vinkeln mycket lutande blir pixelstorleken stor. Mätningar från MAX-DOAS monterad på en bil visar en mycket mindre pixelstorlek än mätningar med OMI satellit (Shaiganfan et al., 2011).

Passiv MAX-DOAS-mätning av en gas med känd vertikal profil innehåller information om ljusets väg genom atmosfären, vilket kan ge information om aerosolers vertikala profiler i atmosfären. Den mest lämpade gasen inom UV/Vis för att få information om aerosoler är den komplexa syremolekylen O₄. Molekylen har flera absorptionsband och är lätt att detektera med DOAS-teknik. Koncentrationen av O₄ är även proportionell mot kvadraten av koncentrationen av O₂ (Friess, n.d.).

Irie et al. (2008) har gjort markbaserade vertikala aerosolprofilmätningar med MAX-DOAS genom att mäta dubbla våglängder. Resultaten från mätningarna jämfördes med lidar och sky radiometer. Mätningen utnyttjar absorptionen av O_4 vid två olika våglängder, 354 och 476 nm. De två olika våglängderna mättes i ett visst intervall, 325-367 och 460-490 nm. Det senare intervallet gav färre avvikelser än det första intervallet vid mätning av O_4 .

Mätningarna utfördes i sex olika vinklar, 3° , 5° , 10° , 20° , 30° och 90° , med användning av rörliga speglar. Irie et al. (2008) drog slutsatsen att osäkerhet i MAX-DOAS aerosolmätningarna är mindre vid längre våglängder och vid lägre höjd över marken.

Hönninger et al. (2004) har gjort en jämförelse mellan två simultana mätningar av BrO med passiv långvägs-DOAS och aktiv MAX-DOAS. Slutsatsen som drogs var att när MAX-DOAS mätte 5° från horisontellt plan överensstämde mätningarna väl med de från passiv DOAS.

Hönninger et al. (2004) konstaterade även att vid undersökning av ett förorenat område med varierande sikt, som är ett problem för andra optiska metoder, är aktiv MAX-DOAS bättre lämpad då metoden även fungerar vid försämrad sikt.

Emissionernas tidsmässiga variationer kan studeras med automatiserad MAX-DOAS under en längre tidsperiod (Hönninger et al. 2004).

4.3.2 Mini-DOAS

Mini-DOAS, Miniature Differential Optical Absorption Spectrometer, är en tillämpning på DOAS-tekniken där storleken är reducerad. Galle et al. (2002) utförde den första mätningen med mini-DOAS av SO_2 -emissioner från en vulkan. Instrumentet kräver 1 W för att drivas vilket kan förses via en USB-port kopplad till en dator, som även krävs för dataöverföring. Mini-DOAS kan placeras på en rörlig plattform, till exempel en bil eller en helikopter, som rör sig under gasplymen, medan mätningen pågår. Mätningens position spåras med en GPS och positionerna sparas kontinuerligt på en dator. Ett mörkt spektrum samlades in före instrumentet körde in i plymen eller efter instrumentet lämnat plymen. Det mörka spektrumet subtraherades därefter från plymens spektra för att korrigera för elektroniska avvikelser. Mini-DOAS registrerar komplett spektra för ultraviolett och synligt ljus, vilket gör att störningsproblem elimineras och våglängdsförändringar hanteras i mjukvaran. Då instrumentet registrerar ett komplett spektra kan simultana mätningar av flera olika föreningar ske (Galle et al., 2002).

Rivera et al. (2010) utförde mätningar med mini-DOAS på SO₂- och NO₂-emissioner vid Houston Ship Channel och Texas City industriområde. Mätningarna med mini-DOAS visade att de inventeringshalter som var angivna för SO₂ och NO₂ underskattades. SO₂-emissionerna vid Houston Ship Channel var 34 procent över inventeringshalten. NO₂-emissionerna vid Houston Ship Channel och Texas City industriområde var 70 respektive 43 procent över inventeringshalterna. Mätningarna utfördes med en mini-DOAS monterad på en bil och instrumentet riktades mot zenit, 90° från horisonten, och mätningarna utfördes genom körning runt utsläppskällorna. Mätningar av de sökta gaserna utfördes både i mot- och medvind för att få information om in- och utflöde kring områdena.

Utsläppsflödesinformation fås genom skillnaden mellan in- och utflöde. Varje mätserie startades med mätning av ett bakgrundspektrum för referens för resterande spektrum som mättes under mätserien. Referensspektrumet bör vid ideala mätningar inte innehålla koncentrationer över bakgrundshalten. Detta kan vara svårt att uppnå vid mätningar i urbana eller industriella områden (Rivera et al., 2010).

4.4 FT-IR

FT-IR, Fourier Transform InfraRed spektroskopi, är en fördelaktig metod vid mätningar inom det infraröda spektrumet. Metoden kan identifiera okända material, bestämma kvaliteten eller konsistensen hos ett prov samt bestämma antalet komponenter i en blandning. Ett infrarött spektrum motsvarar ett fingeravtryck för ett prov med absorptionstoppar som motsvarar frekvensen som bindningar mellan atomer vibrerar vid. Infraröd spektroskopi ger en kvalitativ analys av flera olika komponenter. Storleken på absorptionstopparna är en direkt indikation för mängden av komponenten. Med modern mjukvara är FT-IR en bra metod för kvantitativ analys. Tekniken är en optisk metod och kräver därför ingen extern kalibrering av instrumentet. Mätintervallet kan uppgå till en mätning i sekunder (Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry, n.d.).

Signalerna vid en mätning tas emot av en optisk apparat, en interferometer. Interferometern producerar en kodad signal som består av alla infraröda frekvenser. Signalen kan mätas snabbt, ofta en gång i sekunder. De flesta interferometer har en stråldelare som delar den inkommande infraröda strålen till två strålar. Den ena strålen reflekteras mot en plan spegel som är platsmonterad. Den andra strålen reflekteras mot en plan spegel som kan flyttas ett

kort avstånd, vanligen några millimeter. De två strålarna reflekteras på deras respektive spegel och möts igen vid stråldelaren. Eftersom den ena strålens bana är fixerad och den andra strålens bana förändras kontinuerligt när spegeln flyttas, är strålen som lämnar interferometern resultatet av två strålar som interfererar, stör, varandra. Den lämnande strålen kallas interferogram, vilken har egenskapen att varje datapunkt som utgör signalen har information om varje frekvens inom det infraröda området som kommer från ljuskällan. Detta betyder att när ett interferogram mäts, mäts alla frekvenser samtidigt. Användning av en interferometer gör mättiden väldigt kort (Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry, n.d.).

Koehler et al. (2001) har använt passiv FT-IR-spektrometri vid automatiserad kvalitativ bestämning av svaveldioxid från skorsten. Metoden är utvecklad för användning vid direkt kvalitativ analys av emissioner från skorsten. Ett automatiskt alarm redovisade när förekomst av svaveldioxid fanns i emissionerna från skorstenspipan. Ett alarm kan användas för signalering när en industriell process avviker från normaldrift eller när oönskade utsläpp sker. Svaveldioxid valdes för mätning eftersom det har en utbredd förekomst i emissioner från industri samt eftersom svaveldioxid stör spektrumet från andra vanliga luftutsläpp från industrier, till exempel vattenånga. Trots utveckling av tekniken finns det utmaningar som måste bearbetas innan tekniken kan tillämpas allmänt. En av dessa utmaningar omfattas av mätning av ett representativt bakgrundsspektrum för uteslutning av profilen för bakgrundsemissioner som förekommer i alla spektrum (Koehler et al., 2001).

4.5 LIDAR

LIDAR, Light Detection And Ranging, är en aktiv optisk metod där instrumentet sänder ut en kort laserpuls. Laserstrålen förlorar energi när ljuset träffar molekyler och aerosoler som absorberar dess specifika våglängd och sedan sprider ut ljus. Det spridda ljuset sprids tillbaka och registreras av ett teleskop. Laserpulsen och det spridda ljuset färdas med ljusets hastighet. Eftersom det tar längre tid för ljuset att färdas en längre sträcka, kan avståndet till molekyler och aerosoler kan bestämmas genom mätning av tiden mellan utsändningen av lasern och det återspridda ljuset samt användning av ljusets hastighet för att räkna ut sträckan. Mängden återspridd ljus ger en bild av densiteten av aerosoler i atmosfären. Slutresultatet vid en mätning är en profil med atmosfärens ljusspridning mot distans. Analys av signalen kan ge information om fördelningen av aerosoler i atmosfären. Detta kan

användas för till exempel mätningar av molnhöjd eller vid följning av emissionsplymer (U.S. Department of Commerce, n.d.). Informationen om aerosolers egenskaper från mätningar med högupplöst LIDAR är en viktig källa för globala och regionala klimatmodeller (Lelli, 2006).

Molero et al. (1999) har utfört mätningar med DIAL LIDAR, Differential Absorption Lidar, på ozon och svaveldioxid i troposfären i Madrid, Spanien. Lasern sände ut ljus inom de synliga och ultravioletta intervallerna. Svaveldioxidhalten mättes vid två våglängder, 300,3 samt 299,3 nanometer. Halten av svaveldioxid enligt mätningen låg runt några miljarddelar (ppb), vilket överensstämde med mätningar med standardmetoder. Retursignalen hos LIDAR-DIAL är ofta så svag att koncentrationsprofilen som räknas ut från ett enda pulspar innehåller mycket brus (Molero et al., 1999).

En mindre LIDAR som har en räckvidd på upp till fem kilometer är säkrare och kräver inget tillstånd för användning (P. Voelger, muntlig kommunikation, februari, 2014).

4.6 Översikt över mätmetoder

En sammanfattning av resultatet har ställts samman i tabell 10, för att informationen ska vara mer lättöverskådlig.

Tabell 10, Översikt över mätmetoder och dess allmänna användningsområden (U.S. Department of Commerce, n.d.; Jia & Huang, 2008).

Metod	Detektionsgräns			Styrkor	Svagheter
	SO ₂	NO ₂	Aerosol		
DOAS	0,5 ppm	1,9 ppm	Ingen data tillgänglig	Passiv eller aktiv, flera parametrar samtidigt, kontinuerlig övervakning, relativt låga detektionsgränser	Mäter aerosoler dåligt
MAX-DOAS	0,5 ppm	1,9 ppm	Ingen data tillgänglig	Aerosolfördelning i atmosfären	Endast passiv ljuskälla
mini-DOAS	0,5 ppm	1,9 ppm	Ingen data tillgänglig	Passiv eller aktiv, flera parametrar samtidigt	Mäter aerosoler dåligt
NILU-burk	Icke tillämpbar	Icke tillämpbar	Bäst över 150 µm	Enkel metod, kräver minimalt underhåll	Dålig insamling av partiklar mindre än 150 µm
FT-IR	0,4 ppm-meter	Ingen data tillgänglig	Icke tillämpbar	Mäter flera parametrar samtidigt	Endast molekylära heterogena föreningar kan mätas,
DIAL LIDAR	10 µm/m ³	10 µm/m ³	Ingen data tillgänglig	Kan detektera organiska och oorganiska föreningar, mäter totala kilometer	Mäter en molekyl eller ämnesgrupp åt gången, kan inte använda reflektorer, svag retursignal

5. Diskussion

SCR-rening har en bra teoretisk reningsgrad, men på grund av ett snävt temperaturintervall för optimal rening är den faktiska verkningsgraden lägre då temperaturen på rökgasen skiftar. En teknik med lägre reningsgrad men som är okänsligare kan bidra till att den faktiska reningsgraden blir högre.

SCR-rening är idag installerat på ett av verken i Kiruna och i tabell 4 kan det ses att utsläppen av NO_x från det verket är lägre i de flesta fallen i jämförelse med verk KK2 och KK3 utan installerad kväverening. Utsläppen milligram kväveoxider per kubikmeter normal torr gas från verk KK2, kanal TPH och från verk KK4, kanal TPH1 är samma, 13 mg/m³. Att mätningarna visar samma utsläppshalter kan bero på bristfällig rening av SCR i verk KK4 vid

mättillfället eller att utsläppshalten från verk KK2 för tillfället var låg. Sedan SCR-reningen installerades har mätningar av NO_x gjorts i verk KK4. Mätningarna har nu pågått under några år och parallellt med detta genomförs en prövotidsutredning avseende LKABs utsläpp av NO_x där framtida villkor diskuteras (se även kapitel 2.7). Med detta i åtanke kan det vara rimligt att sätta krav på villkor inom en snar framtid.

Då utsläppen är väldigt omfattande kvantitativt, ger en rening med hög verkningsgrad ändå ett omfattande utsläpp. Reningstekniken är planerad efter "bästa möjliga teknik", men den bästa tekniken behöver inte alltid vara bra i det specifika fallet, om svårigheter att uppnå goda driftförhållanden föreligger.

Kiruna tätorts placering i förhållande till LKABs verksamhet är i de dominerande vindriktningarna, västliga och sydvästliga, vilket bidrar till att staden påverkas stort av vad LKAB släpper ut. De västliga och sydvästliga vindarna är normalt sett kraftigare än vindar i andra riktningar, vilket kan bidra till att en större mängd av emissionerna når staden. Stadsflytten innebär att sträckan till närmsta bostad ökar från två kilometer till cirka tre kilometer, vilket bidrar till att föroreningsgraden kommer att minska tack vare en längre transport och högre utspädningsgrad av emissionerna.

Vad gäller LKABs verksamhet kring Malmberget kan Koskullskulle anses vara ofördelaktigt placerad, vilket gör att belastningen är högst där. De andra stadsdelarna, Gällivare och Malmberget, ligger bättre till geografiskt.

På grund av att inversion kan råda, kan det förekomma en koncentrerad av emissionerna eftersom spädningen är dålig.

5.1 LKABs bidrag

Det är en positiv trend som ses över tid i figur 1 (sidan 5) vid jämförelse av produktionsmängd av pellets och emissionsmängd av svaveldioxid och stoft. Vid jämförelse av emissioner av stoft åren 1997, 2001 och 2009 kan det ses att emissioner har totalt sett ökat sedan 1997. Det ska emellertid tas hänsyn till att produktionen har ökat mellan 1997 och 2009 till nästan det dubbla. Produktionen minskade 2001 jämfört med 1997 men det kan ses en ökning av utsläpp av stoft. Det kan ses en minskad produktion 2001 jämfört med 1997, och då även en minskning i emissioner av svaveldioxid. Emissioner av svaveldioxid följer produktionen över tid i en större grad än vad emissioner av stoft gör. Det kan även

ses en minskad produktion 2013 jämfört med 2009, med en minskning i emissioner av stoft och en marginell minskning av emissioner av svaveldioxid. Reningen är viktig för att kunna öka produktionen utan att påverka omgivningen i en högre grad. Det finns potential för utveckling inom rening avseende diffus damning då invånarna i gruvorterna påpekar att det bland annat sker nedsmutsning av partiklar och damm än idag.

Nödskorstenen är en viktig komponent vid produktionsstörningar men eftersom orenade gaser släpps ut är detta samtidigt en betydande källa. Det är idag inte klart hur betydande källan är då det inte finns kvantitativa mätningar på utgående emissioner. Då temperaturen på gasen kan uppgå till 1300 grader kan det antas att emissionerna stiger upp med den varma rökgasen. Rökgasen från nödskorstenen antas då ha en bättre stigning än rökgasen har i till exempel KK4 där temperaturen efter SCR-reningen ligger runt 320 grader. Den ökade stigningen av rökgasen kan bidra till att nödskorstenens utsläpp inte påverkar gruvorterna i samma utsträckning som vid normalproduktion.

Mer än hälften av kväveoxidbidraget i Kiruna tätort bedöms enligt en utredning från 2004 komma från gruvverksamheten. Installerad NO_x-rening på alla verk i framtiden är en möjlighet för att minska bidraget. Det ska dock tas hänsyn till att reningen inte håller den teoretiska verkningsgraden på grund av ojämn gastemperatur, vilket kan bidra till att den teoretiska bidragsminskningen, vid installerad rening på alla verk, inte kan levas upp till praktiskt. Detta har LKAB tittat närmare på inom ramen för den prövotidsutredning som pågår avseende utsläppen av kväveoxider i Kiruna och Malmberget

5.2 Miljömål

Utsläpp av kväveoxider bedömdes enligt en utredning från 2004 kunna bidra till att miljömålet **Frisk Luft** inte skulle kunna uppfyllas på högt belastade platser i Kiruna på grund av bidrag från transporter inom gruvområdet. För närvarande pågår förnyade spridningsberäkningar på LKAB i Kiruna. Den plats i Kiruna som har högst belastning är där tågstationen låg fram till 2012. Stadsflytten kan bidra till att denna plats inte besöks i samma utsträckning, då tågstationen är flyttad.

Då bidraget av PM₁₀ från LKABs verksamheter i Kiruna ännu inte är tydligt fastställt är det svårt att se om en förändring i verksamheten kan minska bidraget. Med vetskapen att års-

och dygnsmedelhalterna överskrids i många svenska städer är det troligt att ett eventuellt bidrag från LKAB inte har en större påverkan.

Kvävebidraget från LKABs verksamhet kan enligt en utredning från 2004 bidra till att miljömålet **Ingen Övergödning** inte kan uppfyllas på känsliga områden, då den kritiska belastningen riskerar att överskridas. Om det faktiska utsläppet från LKABs verksamhet är högre på grund av utsläpp från nödskorstenen, kan bidraget från LKABs verksamhet av kväve vara större än vad mätningar vid normalproduktion visar.

LKABs verksamhets utsläpp av försurande ämnen bidrar inte till att miljömålet **Bara Naturlig Försurning** överskrids. Svaveldioxid och kväveoxider är två av de mest betydande utsläppen i LKABs verksamhet enligt tabell 3. Detta visar att de utgående halterna av respektive ämne är tillräckligt låga för att inte bidra till försurning.

Begränsad Klimatpåverkan kan riskeras att inte uppfyllas i framtiden och det sker en utökning av LKABs verksamhet, då halterna av koldioxid skulle kunna bli betydande för klimatpåverkan.

5.3 Mätningar

Referensmetoderna i tabell 5 är samtliga metoder där ett prov samlas in och analyseras. Det finns en godkänd likvärdig metod för mätning av svaveldioxid och kvävedioxider som baseras på optiska mätmetoder, DOAS från Opsis AB.

Allmänhetens oro över att dammet och partiklarna är hälsovådliga ska vara obefogad enligt undersökningen som gjorts för att karaktärisera dammet från Kaptensgropen. Det kan alltid diskuteras hur mätningen utfördes och om den var representativ för hela LKABs verksamhets damm. En epidemiologisk studie skulle vara befogad för att se hur dammet påverkar de som bor i gruvorterna, i enlighet med vad läkaren från Umeå lasarett vill utföra.

Att utemöblerna hos Kirunabor blir synligt nedsmutsade är en motsägelse till vad Jia & Huang (2008) skriver att partiklar över 20 µm som har en synlig påverkan, ska ha en spridning på endast några hundra meter. De större partiklarna ska då inte kunna sprida sig till de närmsta bostäderna två kilometer från utsläppskällan. Det samma gäller insamling av nedfallande stoft i NILU-burkar, som har en dålig insamling av partiklar mindre än 150 µm. Det sker nedfall i NILU-burkarna. Väderförhållanden med starka västliga och sydvästliga

vindar med bättre spädning av föroreningar i och kring gruvorterna kan vara en bidragande faktor till att spridningen av partiklarna är mer omfattande än vad Jia & Huang (2008) skriver.

5.4 Miljöbalken

Enligt 2§ 2 kap miljöbalken ska den som bedriver en verksamhet skaffa den kunskap som behövs med hänsyn till verksamhetens art och omfattning för att skydda människors hälsa och miljö mot skada eller olägenhet. Det är då rimligt att utföra en epidemiologisk studie på dammets påverkan på människan för att få den kunskap som krävs för att kunna säga om dammet medför hälsoproblem. Det är viktigt att kunna meddela och föra en dialog med befolkningen om eventuella risker.

Enligt 3§ 2 kap miljöbalken ska den som bedriver en verksamhet utföra de skyddsåtgärder, iaktta begränsningar och vidta försiktighetsmått i övrigt som behövs för att förebygga, hindra eller motverka att verksamheten medför skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön. Försiktighetsmått ska vidtas när det finns skäl att anta att en verksamhet kan medföra skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljö. Om den eventuella epidemiologiska studien fastställer att dammet medför hälsoproblem för människan bör detta försiktighetsmått betraktas som ett skäl att vidare undersöka hur damningsproblematiken kan minskas.

Då de ovan nämnda två paragraferna menar att skydda människors hälsa mot skada eller olägenhet, krävs det att en eventuell epidemiologisk studie påvisar ett samband mellan dammet från LKABs verksamhet och sjukdom för att paragrafen ska vara giltig i fallet. Att människor idag klagat över nedsmutsning är inget som orsakar en skada eller olägenhet för människors hälsa.

7§ 2 kap miljöbalken menar att de två ovan nämnda paragraferna gäller i den utsträckning det inte kan anses orimligt att uppfylla dem. Vid bedömningen ska särskild hänsyn tas till nyttan av skyddsåtgärder och andra försiktighetsmått jämfört med kostnaderna för sådana åtgärder. Detta innebär att det krävs ett påvisat samband mellan damm och sjukdom för människa för att det ska utföras skyddsåtgärder och andra försiktighetsmått. Det ska även kunna påvisas att skyddsåtgärder och andra försiktighetsmått bidrar till en mindre belastning

för hälsan för att skyddsåtgärden och andra försiktighetsmått ska kunna bära sig ekonomiskt.

5.5 Optiska metoder

Införandet av mätning med optiska metoder vid LKABs verksamhet kan bidra till att uppföljningen inte begränsas till enskilda mätpunkter. En två- eller tredimensionell mätning av emissionerna kan utföras med optiska fjärranalysmetoder.

Aktiva tekniker lämpar sig väl för mätningar i norra Sverige som har polarnätter ungefär 20 dygn om året. Mätningarna är då inte beroende av ljus från solen som ljuskälla. 20 dygn utan mätning ger ett mätbortfall på ungefär fem procent. Detta kan jämföras med kraftig molnighet som även försvårar passiva mätningar vilket också kan bidra till mätbortfall (Galle B. muntlig kommunikation, 26-27 februari, 2014). Den höga osäkerheten försvinner vid tillämpning av en aktiv teknik, där mätbortfallet inte beror på väderförhållande i samma utsträckning. Vid mätning med en aktiv teknik begränsas mätningen till området mellan ljuskällan och detektorn, vilket inte behöver vara något negativt vid mätning av emissioner från nödskorstenen då emissionerna är samlade i rökgasplymen.

Det är viktigt att klassificera damm och partiklar från LKABs verksamhet för att kunna utesluta andra källor med en annan typ av damm och partiklar. Avståndet mellan Kiruna stad och LKABs verksamhetsområde, samt avståndet till andra orter bidrar till att det är lättare att bortse från andra källor. Om partiklarna har ett mineralursprung försvårar det mätningar och uträkningar för dess absorption.

5.6 Klimatmodeller/ Spridningsmodeller

Spridningsmodellering kan tillsammans med optiska mätmetoder ge en bild av hur spridningen av emissioner ser ut runt gruvområdena. Om samma upplösning och tidsskala tillämpas som vid SMHIs modelleringar (SMHI, 2004), kan jämförelser göras. Då SMHIs spridningsmodeller baseras på mätdata vid normaldrift kan en spridningsberäkning vid nödstopp ge ny information om orenade utsläpps spridning och påverkan på omgivningen. Komplexiteten hos spridningsmodellen beror på vem som ska använda och jobba med modellen. En detaljerad modell ger en bättre bild av hur spridningen ser ut. Då modellen gör en uppskattning av koncentrationerna av emissionerna när de förflyttas från utsläppskällan, kan modelleringen styrkas eller dementeras genom mätningar på flera platser medströms

plymen. Modellen kan göra uträkningar för sekundära bildningar av emissioner, vilket krävs i LKABs fall då utsläppen av kväveoxider består mestadels av kväveemonoxid, som omvandlas till kvävedioxid i luften. Tidsskalan i modelleringen bör anpassas till tiden för nödskorstenens luftning vilket kan variera mellan 15 minuter och tolv timmar.

Spridningsmodellering kan användas med gott resultat för prediktering av spridning vid förändrad produktion, till exempel vid utökad verksamhet eller vid installation av ny reningsteknik.

Det är omdiskuterat vilka halter som släpps ut vid ett stopp i produktionen inom LKAB, vissa anser att det har en marginell påverkan medan andra anser att det har en betydande påverkan. Med optisk metod är det möjligt att mäta de faktiska halterna vid nödstopp samt vid möjlighet inkorporera resultaten från mätningarna i beräkningarna för årsmedelhalterna. Om utsläppen vid nödstopp har en betydande påverkan kan de bidra till att villkoren inte kan uppfyllas i de fall där årsmedelhalterna ligger nära villkoret.

5.7 DOAS

NO₂ och SO₂ är två av de molekyler som är lättast att mäta med DOAS. NO är en molekyl som är svårare att mäta. Utsläppen av NO_x består av 1,9 procent NO₂, vilket motsvarar räknat i medelhalten för PH-kanalen i Kirunas tre pelletsverk, $115 \times 0,019 = 2,185$ ppm. Enligt tabell 8 är detektionsgränsen 1,9 ppm. Vid normalproduktion är det precis att DOAS kan mäta NO₂, fast än tekniken kan detektera svaga absorptioner. Eftersom halten NO₂ ligger nära detektionsgränsen kan det antas att det kommer att resultera i mätvärden med stora osäkerheter. Galle B. (personlig kommunikation, 26-27 februari, 2014) menar att det inte går att mäta NO med DOAS.

Medelhalten SO₂ från Kirunas tre pelletsverk i PH-kanalen är 5,2 ppm. Enligt tabell 8 är detektionsgränsen 0,5 ppm vid en meters mätsträcka. Medelhalten SO₂ är nära detektionsgränsen, vilket kan innebära störningar vid mätningar, som det diskuterats för NO₂.

Om det antas att utsläppen från nödskorstenen är högre än vid normalproduktion ska det vara möjligt att använda DOAS för övervakning av NO₂- och SO₂-emissioner från nödskorstenen.

Mätningar tvärs en skorsten är inte möjligt enligt Mellqvist et al. (1996a) och Mellqvist et al., (1996b) då det kan förekomma höga och varierande temperaturer, så som i fallet med nödskorstenen. Mellqvist et al. (1996a) undersökte förändringen hos NO₂ och SO₂ vid temperaturer upp till 700 Kelvin, vilket motsvarar 427 grader Celsius. Förändringen var i storleken 70 procent, vilket gör att det kan antas att förändringen är större vid nödskorstenen där temperaturen kan uppgå till 1300 grader Celsius. Då temperaturen vid nödstopp är känd, kan matematiska uträkningar kompensera för förändringar i mätresultat. Temperaturmätning vid nödskorstenens pipa vid varje nödstopp kan bidra till att förbättra de matematiska uträkningarna så att de på bästa sätt kompenserar mätförändringarna.

Ur strömförbrukningssynpunkt är det lämpligast att vid aktiv mätning placera ljuskällan och spektrometern på samma plats, så att de kan dela strömkälla. En möjlighet är då att placera en reflektor på andra sidan av skorstenen. Det finns höjder kring Kiruna som instrumenten och reflektorn kan placeras på. Det kan placeras ut flera reflektorer på olika höjder och utföra mätningar i olika riktningar. Med flera reflektorer kan nödskorstenarna för de tre verkan i Kiruna övervakas med endast ett DOAS-instrument genom att rikta instrumentet mot en vald nödskorsten och dess reflektor. Det är ett mer ekonomiskt alternativ att köpa ett DOAS-instrument och tre reflektorer än tre DOAS-instrument och tre reflektorer.

Användning av MAX-DOAS är ett bra alternativ då instrumentet kan mäta alla de mest betydande emissionerna, NO₂, SO₂ samt aerosoler. Information om aerosolers rumsliga fördelning kan fås, men inte dess storleksfördelning. MAX-DOAS är en passiv teknik och en mätkampanj är möjlig att utföra under en tidsperiod då polarnatt inte infaller.

Mätning runt gruvområdet kan göras i likhet med mätningar som utfördes av Shaiganfan et al. (2011). Då norra Sverige är täckt av snö större delen av året kan en tillämpning vara att utföra mätningarna från en snöskoter istället för från en bil. Mätningar i enlighet med de som utförts av Rivera et al. (2010) i både medvind och motvind från gruvområdet kan ge information om hur spridningen av emissioner ser ut. Informationen om spridningen tillsammans med information om mätningens geografiska placering och vindriktning kan ge en bild av hur gruvverksamhetens bidrag till omgivningen ser ut. Det är viktigt att dessa parametrar mäts noggrant då Rivera et al. (2009) kunde anta att avsaknad av information om vindriktning var en av orsakerna till att standardavvikelsen för mätningarna blev stor. Informationen om spridningen kan jämföras med modelleringar, i enlighet med vad Rivera et

al. (2009) har gjort. Rivera et al. (2009) utförde även mätningar vid olika avstånd från utsläppskällan, vilket kan styrka eller förkasta en modellering. Rivera et al. (2009) kunde dra slutsatsen att modelleringen stämde bra överens med mätningarna, vilket antyder att modellen kan återge spridningen från utsläppskällan.

5.8 FT-IR

FT-IR har en fördel då tekniken kan mäta med korta intervaller. Vid mätning av ett föränderligt utsläpp, till exempel nödskorstenen, kan ge en bild av hur utsläppen förändras med tid från det att stoppet har skett. En bild av hur utsläppen förändras, om de förändras exponentiellt eller linjärt, kan vara bra information vid spridningsmodellering.

FT-IRs detektionsgräns för SO₂ är 0,4 parts per million meter och uppmätta halter av SO₂ är i genomsnitt 5,2 ppm för Kirunas tre verk i kanalen PH. Det finns möjlighet att mäta emissionerna av SO₂ vid normalproduktion med FT-IR. Om SO₂-emissionerna vid en stopp är högra än vid normalproduktion finns det möjlighet att mäta med FT-IR.

5.9 LIDAR

Då LIDAR-tekniken baseras på mätning av tillbakaspritt ljus kan reflektorer inte användas. Dock behövs bara en strömkälla då tekniken kräver att ljuskällan och teleskopet är placerade bredvid varandra. Signalen med tillbakaspritt ljus är svag och koncentrationsprofilen som räknas ut innehåller mycket brus vid mätning med DIAL-LIDAR, medför att tekniken inte är optimal.

Fördelen med LIDAR är användningen av en laserstråle som ljuskälla, eftersom det är den kraftfullaste tekniken. Mätningar med LIDAR kan ge information om vilken typ av aerosol som mäts. LIDAR kan mäta alla de viktigaste parametrarna, SO₂, NO₂ samt aerosoler.

5.10 Felkällor

En felkälla som kan ha uppstått under arbetets gång är feltolkning vid översättning av vetenskapliga artiklar från engelska till svenska.

En annan felkälla kan dessutom vara att det har funnits mest relevant information om tekniken DOAS, vilket gör att den delen är mest omfattande i resultatdelen. Detta kan i sin tur ha lett till att just den tekniken antas vara den mest lämpade. Rapporten kan därför upplevas som lite smal i resultatdelen.

5.11 Etiska aspekter

Vissa källor i arbetet har stämpeln affärssekretess, dessa är använda med tillstånd att publicera innehåll.

Mätmetoderna i sig omfattar inga speciella etiska aspekter.

LKAB har ett stort etiskt ansvar gentemot människa och natur som berörs av emissionerna.

6. Slutsats

Denna studie visar att mätningar med aktiva optiska metoder lämpar sig väl för mätningar i norra Sverige vid LKABs verksamheter, då det inte blir mätfortfall på grund av polarnätter. Mätningar från aktiva optiska metoder kan inkorporeras i en spridningsberäkning. Då det är omdiskuterat vilka halter som släpps ut vid luftning av rökgaserna under ett stopp i produktionen, är det viktigt att halterna fastställs genom mätning. Användning av en aktiv tillämpning av DOAS kan mäta emissioner i form av svaveldioxid och kvävedioxid om utsläppet från ett nödstopp överskrider utsläppet vid normalproduktion. Användningen av reflektorer är ett mer ekonomiskt alternativ som kan utföra mätningar på verkens nödskorstenar genom användning av ett DOAS-instrument som riktas mot en vald skorsten och dess reflektor.

De optiska metoderna som omfattas av arbetet är inte optimala för mätning av stoft.

7. Förslag till fortsatt arbete

En fortsatt utvärdering av tekniker som lämpar sig bra för mätningar av aerosoler och partiklar rekommenderas. En hänvisning till mer sofistikerade stoftmätningar föreslås, som till exempel MoLa, vilket är en aktiv teknik som suger in luft och analyserar stoft efter mängd och storleksfördelning.

Ett förslag till fortsatt arbete innefattar att utföra en klassificering och total storleksfördelning av partiklar och damm, som kan ligga till grund för en epidemiologisk undersökning av långtidseffekter hos människor.

8. Referenser

- Bergstrom R.W., Pilewskie P., Russel P.B., Redemann J., Bond T.C., Quinn P.K., & Sierau B. (2007). Spectral absorption properties of atmospheric aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 5937-5943.
- Dispersion Modeling (2011-06-28). Hämtad 2014-05-02 från <http://www.epa.gov/air/aqportal/management/modeling/dispersion.htm>
- Friess U. (n.d.) *MAX-DOAS Measurements of Trace Gas and Aerosol Vertical Profiles*. (University of Heidelberg, Institute of Environmental Physics, Tyskland).
- Fördjupad översiktsplan Kiruna centralort 2014 utställningshandling, (n.d.) Hämtad 2014-04-10 från <http://www.kiruna.se/PageFiles/12296/Plankarta%20A3%20F%C3%96P%20KirunaC.pdf?epslanguage=sv>
- Galle B., Oppenheimer C., Geyer A., McGonigle A., Edmonds M., & Horrocks L. (2002). Miniaturised ultraviolet spectrometer for remote sensing of SO₂ fluxes: a new tool for volcano surveillance. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 119, 241-254.
- Hönninger G., von Friedeburg C., & Platt U. (2004). Multi axis differential optical absorption spectroscopy (MAX-DOAS). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4, 231-254.
- Industriutsläppsförordningen 2013:250 (2013-05-08). Hämtad 2014-04-16 från http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/_sfs-2013-250/
- Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry (n.d). Hämtad 2014-02-19 från <http://mmrc.caltech.edu/FTIR/FTIRintro.pdf>
- Irie. H., Kanaya Y., Akimoto H., Iwabuchi H., Shimizu A., & Aoki K. (2008). Dual-wavelength aerosol vertical profile measurements by MAX-DOAS at Tsukuba, Japan. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 8, 19357-19375.
- IVL Svenska Miljöinstitutet AB (2004). *Miljö- och hälsokonsekvenser av utsläpp till luft i samband med utökad produktion vid LKAB i Kiruna*. (LKAB, 981 86 Kiruna).
- Jia Q., & Huang Y. (2008). *Coarse dust around mining areas – A study of available dust collectors and their efficiency*. (Examensarbete från masterprogrammet Environmental Engineering). Luleå tekniska universitet, Department of Civil and Environmental Engineering, 971 87 Luleå.
- Johansson J. (2013). *Optical remote sensing of industrial gas emission fluxes*. (Avhandling för licentiatexamen). Chalmers tekniska universitet, Institutionen för rymd- och geovetenskap, 412 96 Göteborg.
- Kiruna kommun (n.d.). *Luften i Kiruna*. Kan hämtas från <http://www.kiruna.se/kommun/bygga-bo-miljo/Miljo/Miljovervakning/Luften-i-Kiruna/>
- Koehler F.W., Small G.W., Combs R.J., Knapp R.B., & Kroutil R.T. (2001). Automated detection of sulfur dioxide in stack emissions by passive Fourier transform infrared spectrometry. *Vibrational Spectroscopy*, 27, 97-107.

- Kvävedioxid och kväveoxider (2014-01-15). Hämtad 2014-02-19 från http://www.itm.su.se/reflabmatningar/ref_kvaveoxider.html
- Lelli L. (2006) *Aerosol Size Distribution with Lidar Technique*. (Uppsats) Milano Universitet, Institutet för fysik, 201 22 Milano.
- Lindgren M. (2013-04-05). Hämtad 2014-03-16 från <http://www.kiruna.se/Kommun/Kommun-politik/Kommunfakta/Geografi/>
- Lindgren M. (2014-05-05). Kommunfakta. Hämtad 2014-05-05 från <http://www.kiruna.se/Kommun/Kommun-politik/Kommunfakta/>
- LKAB (2012a). *Miljörapport Kiruna 2011*. Hämtad 2014-05-14 från <http://www.lkab.com/Var-filosofi/Kvalitet-och-miljo/Miljorapporter/>
- LKAB (2013a). *Miljörapport Kiruna 2012*. Hämtad 2014-05-14 från <http://www.lkab.com/Var-filosofi/Kvalitet-och-miljo/Miljorapporter/>
- LKAB (2013b). *Miljörapport Malmberget 2012*. Hämtad 2014-05-14 från <http://www.lkab.com/Var-filosofi/Kvalitet-och-miljo/Miljorapporter/>
- LKAB (2013c). *Miljörapport Svappavaara 2012*. Hämtad 2014-05-14 från <http://www.lkab.com/Var-filosofi/Kvalitet-och-miljo/Miljorapporter/>
- LKAB (2014a). *Kontrollprogram Kiruna*. (LKAB, 981 86 Kiruna).
- LKAB (2014b). *Miljörapport Kiruna 2013*. Hämtad 2014-06-16 från <http://www.lkab.com/sv/Press/Dokumentarkiv/Miljorapporter/>
- Malmberget (n.d.). Hämtad 2014-05-13 från <https://www.lkab.com/sv/om-oss/Koncernoversikt/Verksamhetsorter/Malmberget/>
- Mellqvist J., & Rosén. (1996a). DOAS FOR FLUE GAS MONITORING-I. TEMPERATURE EFFECTS IN TBE U.V./VISIBLE ABSORPTION SPECTRA OF NO, NO₂, SO₂ AND NH₃. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 1, 187-208.
- Mellqvist J., Axelsson H., & Rosén. (1996b). DOAS FOR FLUE GAS MONITORING-III. IN-SITU MONITORING OF SULFUR DIOXIDE, NITROGEN MONOXIDE AND AMMONIA. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 1, 225-240.
- METLAB (2013a) *Rapport, KK2*. (LKAB, 981 86 Kiruna).
- METLAB (2013b) *Rapport, KK3*. (LKAB, 981 86 Kiruna).
- METLAB (2013c) *Rapport, KK4*. (LKAB, 981 86 Kiruna).
- Molero F., & Jaque F. (1999). The laser as a tool in environmental problems. *Optical Materials*, 13, 167-173.
- Moosmüller H., Chakrabarty R.K., & Arnott W.P. (2009). Aerosol light absorption and its measurement: A review. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*. 110. 844-878.
- Naturvårdsverket (2011). *Luftguiden. Vägledning vid tillämpning av kontroll av miljökvalitetsnormerna för utomhusluft*. Kan hämtas från

<http://www.naturvardsverket.se/Om-Naturvardsverket/Publikationer/ISBN/0100/978-91-620-0171-1/>

Naturvårdsverkets föreskrifter om kontroll av luftkvalitet (2014-01-01). Kan hämtas på <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Rattsinformation/Foreskrifter-allmanna-rad/NFS/2013/NFS-201311---Kontroll-av-luftkvalitet/>

Partiklar (2014-01-17). Hämtad 2014-02-19 från http://www.itm.su.se/reflabmatningar/ref_partiklar.html

Platt U. (1994). Differential optical absorption spectroscopy (DOAS). I M.W. Sigrist (Ed.), *Air monitoring by Spectroscopic Techniques* (Chemical Analysis Series, 127). New York: Wiley.

Rivera C., Mellqvist J., Samuelsson J., Lefer B., Alvarez S., & Patel M.R. (2010). Quantification of NO₂ and SO₂ emissions from the Houston Ship Channel and Texas City industrial areas during the 2006 Texas Air Quality Study. *Journal of geophysical research*, 115, 1-10.

Rivera C., Sosa G., Wöhrnschimmel H., de Foy B., Johansson N., & Galle B. (2009) Tula industrial complex (Mexico) emissions of SO₂ and NO₂ during the MCMA 2006 field campaign using a mobile mini-DOAS system. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9, 6351-6361.

Shaiganfar R., Beirle S., Sharma M., Chauhan A., Singh R.P., & Wagner T. (2011) Estimation of NO_x emissions from Delhi using Car MAX-DOAS observations and comparison with OMI satellite data. *Atmospheric Chemical and Physics*, 11, 10871-10887.

Simonsen F. (2005). *Analysteknik Instrument och metoder* (R. Lindegren övers.). Lund: Studentlitteratur (Originalarbete publicerat 2003).

SMHI (2004). *Halt och depositionsberäkningar för nytt pelletsverk vid LKAB i Kiruna – med rening på UDD-kanal KK2*. (LKAB, 981 86 Kiruna).

SMHI. (2014-04-23). Hämtad 2014-05-02 från <http://www.smhi.se/forskning/forskningsomraden/luftmiljo/modeller-och-verktyg-for-luftkvalitet-1.328>

Stutz J., & Platt U. (1997). Improving long-path differential optical absorbing spectroscopy with a quartz-fiber mode mixer. *Applied Optics*, vol. 36, No. 6, 1105-1115.

Svappavaara (n.d.). Hämtad 2014-05-13 från <https://www.lkab.com/sv/om-oss/Koncernoversikt/Verksamhetsorter/Svappavaara/>

Svaveldioxid (2014-01-15). Hämtad 2014-02-19 från http://www.itm.su.se/reflabmatningar/ref_svaveldioxid.html

Sweco (2008). *Damning kaptensgropen – karaktärisering av dammet från Kaptensgropen, Malmberget*. (LKAB, 981 86 Kiruna).

U.S. Department of Commerce (n.d.). *Lidar Primer*. Hämtat 2014-02-20 från <http://www.esrl.noaa.gov/csd/groups/csd3/instruments/lidar/>

United States Environmental Protection Agency (2007-11-08). *Open Path Technologies: Measurement at a Distance*. Hämtad 2014-02-24 från <http://clu-in.org/programs/21m2/openpath/default.cfm#UV>

Charlotte Nilsson



Besöksadress: Kristian IV:s väg 3
Postadress: Box 823, 301 18 Halmstad
Telefon: 035-16 71 00
E-mail: registrator@hh.se
www.hh.se