



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

## Brandventilation i Kiruna jernmalmsgruva



Huvudprojektet utført ved LKAB- jernmalmsgruva i Kiruna

---

Studieinriktning: Brannsikkerhet

Av: Henry Linnsén

---

Haugesund

2001



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Høgskolen Stord/Haugesund  
Avdeling for ingeniørfag  
Bjørnsonsgt. 45  
5528 HAUGESUND  
Tlf. nr. 52 70 26 00  
Faks nr. 52 70 26 01

Oppgavens tittel Brandventilasjon i Kiruna jernmalmsgruva		Rapportnummer
Utført av Henry Linnsén		
Linje Sikkerhet		Studieretning Branningeniør
Gradering Åpen	Innlevert Dato 2001.04	Veileder ved HSH Vidar Frette
Oppdragsgiver Rickard Hansen Kiruna Rådningstjänst		Kontaktperson hos oppdragsgiver Rickard Hansen

#### Ekstrakt

*"Rådningstjänst i gruva" är namnet på det projekt som brandingenjör Rickard Hansen vid Kiruna Rådningstjänst ville genomföra för att höja säkerheten både för personalen i gruvan och rådningstjänstens personal. Ett delprojekt var att testa brandventilationen i Kiruna jernmalmsgruva.*

*Syftet med delprojektet var att se på ventilationssystemets dimensionering i förhållande till dimensionerande bränder för de olika fasta anläggningarna, men framför allt i brytningsdelen i gruvan. Brandtesterna skulle ge svar på i huvudsak två frågor. Den första var vilken dimensionerande utrymningstid kan bestämmas för en tvär/fältort om det utbryter brand. Andra frågan var om det nya ventilationssystemet klarade av att ventilera ut de rökgaser som typbränderna<sup>1</sup> producerade.*

*Brandtesterna visar att estimerad utrymningstid för personal som befinner sig i en nya brytningsdelen, inne i en tvärort, är mellan 12-13 minuter.*

*På grundlag av slutsats från ovannämnda fullskaleförsök har brandtesterna visat att ventilationssystemet i den nya brytningsdelen i Kiruna jernmalmsgruva inte klarar av att ventilera ut rökgaser från de dieselbränder som användes i brandtesterna.*



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



## Sammanfattning

”Räddningstjänst i gruva” är namnet på det projekt som brandingenjör Rickard Hansen vid Kiruna Räddningstjänst ville genomföra för att höja säkerheten både för personalen i gruvan och räddningstjänstens personal. Ett delprojekt var att testa brandventilationen i Kiruna järnmalmgruva.

Syftet med delprojektet var att se på ventilationssystemets dimensionering i förhållande till dimensionerande bränder för de olika fasta anläggningarna, men framför allt i brytningsdelen i gruvan. Brandtesterna skulle ge svar på i huvudsak två frågor. Den första var vilken dimensionerande utrymningstid kan bestämmas för en tvär/- fältort om det utbryter brand. Andra frågan var om det nya ventilationssystemet klarade av att ventileras ut de rökgaser som typbränderna<sup>2</sup> producerade. Då nya orter och nivåer ska projekteras, förberedas och senare brytas, behövs kunskaperna om det nya ventilationssystemets kapacitet är tillfredsställande

Övriga delfrågor som skulle besvaras var, hur rör sig rökgaserna vid en brand, hur påverkar termiken det naturliga flödet från ventilationen? Klarar ventilationssystemet att ventileras undan rökgaserna från en dimensionerad brand för på så sätt underlätta vid en insats för räddningstjänsten? Hur lång tid tar det för rökgaserna att ventileras ut från tvär/- fältorten och ut till skivinfarten, där frånluftsventilationen finns, och med utgångspunkt i den tiden, estimeras utrymningstiden för de som arbetar i brytningsområdet.

Brandtesterna visar att estimerad utrymningstid för personal som befinner sig i en nya brytningsdelen, inne i en tvärort, är mellan 12-13 minuter.

På grundlag av slutsats från ovannämnda fullskaleförsök har brandtesterna visat att ventilationssystemet i den nya brytningsdelen i Kiruna järnmalmgruva inte klarar av att ventileras ut rökgaser från de dieselbränder som användes i brandtesterna den utvalda fältorten.

Avbrinningshastigheten, som ger det värde i effekt (Watt) som produceras i testbränderna har ej registrerats, av tekniska orsaker.

Resultatet från brandtesterna kan användas till att framställa en jämförande zonmodell, företrädesvis i CFD<sup>3</sup>-modellering

LKAB bör sätta kriterier för vilka risker man accepterar under jord.

LKAB bör finna lösningar som hindrar att rökgaserna sprider sig från det block och brytningsnivå som är brandsmittat.

---

<sup>2</sup> Dimensionerande brand av personbilsdäck.

<sup>3</sup> Computational Fluid Dynamics



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Vidare bör LKAB satsa på utökade brandtester med större bränslekar, på utvalda strategiska platser i den nya brytningsdelen och utökade ventilationsberäkningar bör genomföras för att verifiera de resultat som framkommit under brandtesterna.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



## Förord

I förbindelse med examen från treårig brandingenjörsutbildning vid Høgskolan Stord/Haugesund (HSH) genomför alla ingenjörstudenter ett huvudprojekt. Projektet omfattar 4 vektall (8 poäng), och här får studenterna jobba självständigt med olika problemställningar. Syftet är att studenterna ska lära sig att tillämpa sina kunskaper från tidigare kurser på brandingenjörslinjen och att träna sig i att uttrycka sig både muntligt och skriftligt i rapportskrivning.

Linjen ”Brannsikkerhet” tar sikte på att utbilda ingenjörer med kunskap inom brand och brandteknik. Exempel på ämnen som ingår i studiet är grundläggande brandteknik, branddynamik, aktivt och passivt brandskydd. I tillägg ingår en del generella säkerhetsämnen.

”Räddningstjänst i gruva” är namnet på det projekt som brandingenjör Rickard Hansen på Kiruna Räddningstjänst ville genomföra för att höja säkerheten både för personalen i gruvan och räddningstjänstens personal. Ett delprojekt var att testa brandventilationen i Kiruna järnmalmgruva

Ett stort tack riktas till Richard Hansen, brandingenjör Kiruna Räddningstjänst som ordnade projektarbetet, Vidar Frette, min handledare på HSH i Haugesund, Lars Aidanpää, brandingenjör LKAB, Haukur Ingason, Statens Provnings och Forskningsinstitut, Lennart Mukka, Erling Kenttä, Bill Rundqvist och Torsten Rotmalm, Lars Adermalm, alla från LKAB, Stefan Svensson, Statens Räddningsverk och alla andra som jag har bombarderat med e-post i min jakt på upplysningar runt mitt projektarbete.



## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	3
Förord .....	5
Innehållsförteckning .....	6
Metod .....	8
Begränsningar .....	9
1. Inledning .....	10
1.1 Bakgrund .....	10
1.2 Tidigare studier .....	12
1.3 Brandtillbud .....	13
2. Historia .....	14
3. Gruvfakta .....	17
4. Ventilationsfakta .....	19
4.1 Allmänt .....	19
4.2 Brytningsområdets ventilation .....	19
4.2.1 Huvudsystem .....	20
4.2.2 Lokalsystem .....	22
4.2.2.1 Tilluftsfläktarna .....	22
4.2.2.2 Tvärortsfläktarna .....	23
4.2.2.3 Frånluftfläktar .....	24
4.2.2.4 Styrning .....	24
5. GRAMKO:s Brandskyddskommitté .....	26
6. Rökgasproduktion .....	28
7. Genomförandet av brandtesterna .....	29
7.1 Inledning .....	29
7.1.1 Kallt röktest I .....	30
7.1.2 Brandtest utförande .....	31
8. Mätningar och resultat .....	33
8.1 Brandtest A .....	33
8.2 Brandtest B .....	35
8.3 Brandtest C .....	38
8.4 Brandtest D .....	40
8.5 Summering av testerna .....	42
9. Kallt röktest II .....	43
10. Tidigare utförda brandförsök .....	44
11. Diskussion .....	45
11.1 Placering av rökfacklor och bränslekar .....	45
11.2 Val av bränsle .....	45
11.3 Beräkning av effektutveckling och storlek på kar .....	46
11.4 Mätningar .....	47
11.4.1 Termoelement och temperatur .....	47
11.5 Visualitet .....	48
11.5.1 Trästavar och skylt .....	48
11.6 Ventilationen .....	48



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



11.6.1 Till och frånluftsventilationens påverkan på brandtesterna .....	48
11.7 Spridning av rökgaserna .....	49
11.8 Brand i tvärort .....	50
11.9 Brand i fältort .....	50
11.10 Kallt röktest II .....	51
11.11 Möjligheten till utrymning .....	51
11.12 Fortsatta studier .....	52
12. Konklusion .....	54
13. Litteraturlista med referenser .....	55
14. Bilagor .....	56



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



## Metod

Rapporten behandlar brandventilationen i Kiruna järnmalmgruva, specifikt den nya brytningsdelen mellan nivå 775 och nivå 1045 meter, som togs i bruk under år 2000.

Rapporten delas i huvudsak in på följande sätt;

- Inledningsvis diskuteras bakgrunden till valet av huvudprojekt.
- Därefter redovisas de litteraturstudier, och efterforskningar på tidigare utförda brand och ventilationstester i andra undermarksanläggningar/gruvor.
- Sen tar rapporten för sig beskrivning av LKAB, gruvans uppbyggnad och senare ventilationens uppbyggnad och funktion i den nya brytningsdelen. Här har många och långa diskussioner förts mellan författaren till rapporten och de som är ventilationsansvariga inom LKAB
- Vidare beskriver rapporten utförandet av både de kalla röktesterna och de varma brandtesterna och därefter summeras resultaten.
- Slutligen sker en diskussion där antaganden och osäkerheter i ventilationssystemet och testerna samt deras betydelse redovisas.
- De metoder som har använts vid framställningen av rapporten har främst bestått i att utföra brandtester men även två kalla röktester. Det första kalla röktestet, som utfördes i förkant av de varma brandtesterna, måste kompletteras med ytterligare ett kallt röktest, efter att man vid brandtest-tillfället upptäckt att frånluftschaktets ventilation inte fungerade som det skulle.





## Begränsningar

Tanken ifrån huvudprojektets början var att brandtester skulle utföras under jord, i både de fasta anläggningarna och den nya brytningsdelen men tiden, antal inblandade människor som skulle behövas och mängden skrivet material som skulle produceras blev de begränsande faktorerna som gjorde att man valde att begränsa brandtesterna till den nya brytningsdelen i järnmalmsgruvan.

Brandtesterna skulle visa hur det nya ventilationssystemet klarade av att ventileras ut de rökgaser som typbränderna producerade. Platsen för brandtesternas genomförande bestämdes av vilken aktivitet som pågick i gruvan den helg som testerna genomfördes.

Ser man på statistiken [1] över det som kan börja brinna nere i gruvan, finns till exempel lastmaskiner (däck, slangar, hydraulolja), träbaracker, ställverk, med mera. Här begränsar sig rapporten till att se på den största brand det fanns tillåtelse till att bränna i (se kapitel 5 om Gruvindustrins Arbetsmiljökommitté, GRAMKO.) GRAMKO's rapport behandlar statistiken vad gäller brand och brandtillbud under jord.

Ventilationssystemets till och från luftfläktar, som ventilerar skivinfarten i orten, kan köras med två hastigheter. Hel fart ( $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ) eller halv fart ( $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Tanken var ursprungligen att köra 8 brandtester, hel och halv fart vid varje testtillfälle, men då det vid eventuell brand kommer att ventileras ut brandgaserna (med frånluftsfläkten) med  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , så begränsades testerna till att bara testa helfart på ventilationen, det vill säga med  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Avbrinningshastigheten, som ger det värde i effekt (Watt) som produceras i testbränderna har ej mätts upp. Detta är en förutsättning om någon jämförelse ska kunna utföras mellan olika brandförsök. En våg som var tänkt att användas under försöken kunde av olika skäl ej användas vilket medförde att bränslets förgasning (brandeffekten) har ej mättes

En dimensionerande brand (Lastmaskinen TORO 2500E, enligt statistiken från GRAMKO) kunde ej användas då den skulle bli för stor. I stället antändes fyra testbränder, där den största av dem motsvarade två personbilsdäck.

Intressant att notera är att jag trots ihärdiga försök att finna något om liknande brandventilationstester i gruvor eller undermarksanläggningar i rapporter, artiklar, tidskrifter, sända e-post och ringa telefonsamtal, inte kan finna något om ett brandventilationstest eller som är i närheten av de brandventilationstester som denna rapport ligger till grund för.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Det enda som finns tillgängligt är CFD-modeller från gruv och underjordsförsök, från när o fjärran.

## 1. Inledning

### 1.1 Bakgrund

Brand under jord, gruva och undermarksanläggningar, är en företeelse som räddningstjänsterna i Sverige, tack och lov, är förskonade från i större utsträckning. Tyvärr medför den låga frekvensen av insatser under jord att räddningstjänstens insatser inte blir helt tillfredsställande, då vana och erfarenheten inte är stor nog. Sammantaget gör denna situation att en god förberedelse och bred kunskap om bland annat brandens och rökgasernas beteende under jord är av stort intresse för utryckningsmanskaper. Med detta som bakgrund planerades att genomföra ett projekt som hette "Räddningstjänst i gruva" och detta brandtest ingick som ett delprojekt, där brandventilation i Kiruna järnmalmgruva skulle testas.

I Kiruna finns världens största underjordiska järnmalmgruva. Gruvan har en samlad vägsträcka på cirka 45 mil och ett totalt djup på 1180 meter, räknat från bergets topp<sup>4</sup>. En insats under jord bjuder på stora utmaningar för räddningstjänsten. Det kan bland annat handla om att ta sig fram i mörklagda transportvägar som dessutom kan vara fyllda av rökgaser, och då det gäller att brandmän och befäl har rätt kunskap hur insatsen på bästa sätt ska genomföras och styras. Ett av medlen som dem kan använda vid en insats är det ventilationssystem som har till uppgift att ventilerar ut spräng/-, radon/- och bilavgaser ur gruvan.. Här kommer rapporten att skilja på det ventilationssystem som försörjer den gamla delen av gruvan (allt ovan 775 meter under jord ) och den nyare delen av gruvan som ventileras mellan 775 och ner till 1180 meter under jord.

Brandingenjör Rickard Hansen på Kiruna Räddningstjänst planerade att genomföra ett projekt som hette "Räddningstjänst i gruva" och i detta projekt skulle ett delprojekt genomföras, för att testa brandventilationen i Kiruna järnmalmgruva. Delprojektet bestod i att utföra brandtester som skulle ge svar på i huvudsak två frågor. Den första var vilken dimensionerande utrymningstid kan bestämmas för en tvär och fältort. Andra frågan var om det nya ventilationssystemet klarade av att ventilerar ut de rökgaser som brandtesterna producerade.

---

<sup>4</sup> Bergets som reser sig över järnmalmkivan är 260 meter hög och man räknar djupet (nivåerna) i gruvan från bergets topp.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Då nya orter och nivåer ska projekteras, förberedas och senare brytas, behövs kunskaperna om det nya ventilationssystemets kapacitet är tillfredsställande. I sökandet efter detta svar är brandtesterna ett gott underlag att finna svaret i.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



## 1.2 Tidigare studier

Avdelningen för "Sikkerhetsopplaering" i Haugesund i Norge genomförde et brandtest [2] i Bragernes tunneln strax utanför Stavanger 1998. Tunneln är 5875 meter lång, 225 meter djup och lutar som mest 8% både vid in och utfarten. I mitten av tunneln där lutningen är noll, brände man två bilar (effektutveckling beräknades till cirka 10 MW), för att kontrollera bland annat effektutveckling, tunnelventilationens verkan och rökgasernas temperatur. Brandtestet visade att rökgaserna blir fort avkylda av bergväggarna i tunnel och den omkringliggande luften och fyller ganska snabbt hela tunnelvärsnittet. Sikten i tunnel under testet var mindre än en meter. Värmen som branden utvecklade representerade ingen fara för varken personer eller det tekniska materialet i tunneln.

Litteraturstudien "Brand och brandskydd i undermarksanläggningar" [3] som Statens Provnings och forskningsinstitut genomförde 1997, pekar på några områden där fortsatta forskningsinsatser är nödvändiga och de två första, rangordnade av Brandforsks styrgrupp och författarna till litteraturstudien, är:

- 1) bättre kunskap om utrymningstider från fordon/tåg/vagnar.
- 2) bättre kunskap om effektiviteten hos ventilationssystem med hänsyn till inverkan av vind och utomhustemperatur.

Vid en sökning på Høgskolan Stord/Haugesund's BIBSYS-system över gruvbränder och försök i gruvor, så ger sökningen 200 träffar men det är endast två av träffarna som behandlar skalförsök men inget fullskaleförsök. Det finns dock tillgängligt en hel del CFD-modelleringar från gruv och underjordsförsök, från när och fjärran.

Ett datorsimulerat program som utför beräkningar vid planering av nätverksventilation, MFIRE (Mine fire and ventilations simulator) finns att tillgå och är enligt research physicist John C Edwards vid Mining Safety & Health Research, ett program som skulle vara mycket lämpligt vid teoretiska beräkningar av rökgasförflyttningar i gruvmiljö.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



### 1.3 Brandtillbud

Under vecka åtta i februari 2001, när rapportförfattaren var i Kiruna för att förbereda brandtesterna, inträffade en brand i en sprutrigg Turbo i gruvan. Larmet om rökutveckling kom klockan 17.13 och en styrka på 6 man ryckte ut för insats under jord. Det meddelades om rökutveckling vid väg 22 och nivå 540, som är en nivå där bland annat besöksgruvan och svampodlingen är belägen. Röken hade spridit sig med gruvventilationen ända upp till in/nerfarten till gruvan vilket gjorde att insatsen försenades med cirka 25 minuter då brandstyrkan måste köra ner en alternativ väg. Den alternativa vägen ligger på den södra sidan av berget och för att komma ”bakom” branden måste styrkan köra ner till nivå 1045 och upp till den rapporterade nivån. Bara att komma fram till branden tog nästan 45 minuter.

Det visade sig att branden inte var på nivå 540 utan på nivå 609 och vid framkomsten hade branden slocknat och röken var i princip utventilerad av gruvventilationen.

Under branden följde rökgaserna snedbanan hela vägen från nivå 609 och upp till ut/- och infarten på marknivå. Orsaken till att gaserna sprider så raskt beror på två orsaker. Den ena är att det finns ventilation i snedbanan som ”skjuter” luften uppåt och då lutningen i banan är 10% medför detta att en typ av skorstensliknande effekt uppstår.

Brandtestet som utfördes inom ramen för huvudprojektet tog plats i en tvärort där utväxlingen av friskluft är rejält lägre än till exempel i en snedbana på högre nivå. Snedbanan i den nyare delen av gruvan har inte någon ventilation som skjuter luften uppåt och ut i det fria. Olikteterna i brandförloppen och ventilationsmöjligheterna, om man skulle vilja jämföra brandtestet och den riktiga branden, är så pass stor att några direkta slutsatser om lik/- olikheter av förloppen inte kan dras.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



## 2. Historia

Förkortningen LKAB betyder Luossavaara-Kiirunavaara Aktie bolag. Orden är samiska och betyder lax respektive ripa.

Redan på 1660-talet togs det första kända malmprovet i Gällivare malmberg och år 1696 nämns malmbergen Kirunavaara och Luossavaara för första gången. Att bergen långt uppe i norr ruvade på rikedomar var det många som insåg och flera misslyckade affärsprojekt startades under århundradena som följde. Men det var först på 1870-talet, när Thomasprocessen, en ny metod att framställa stål ur fosforrik malm uppfanns, som malmfyndigheterna i norr blev kommersiellt intressanta.

När sedan järnvägen upp till Malmfälten och i Kiruna startade brytningen kring 1900 och på allvar 1902 när järnvägen till Narvik blev färdig

1952 övergår man till underjordsbrytning i Kiirunavaara.

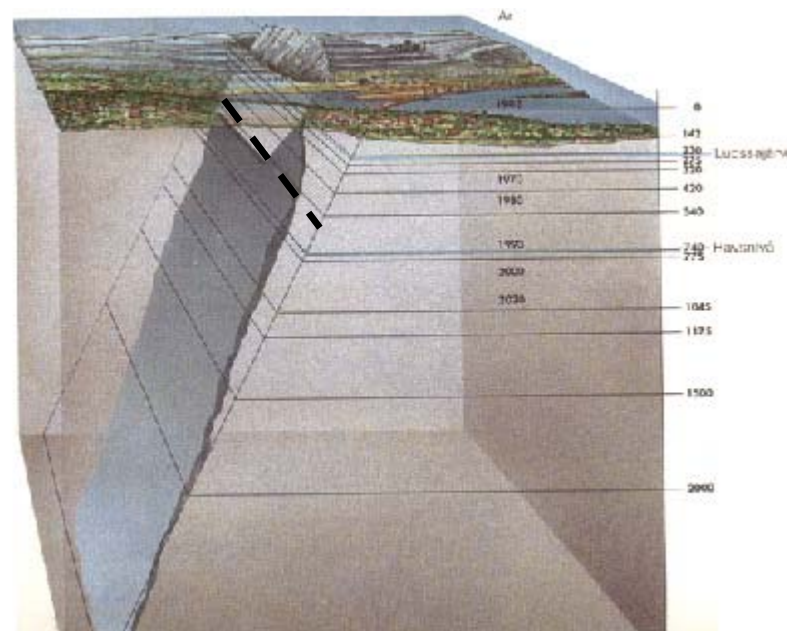


Bild 1. Malmkroppen i Kiirunavaara, ser ut som en skiva som ställt sig på hökant. Kroppen består av en skiva med indikerat djup av minst två kilometer. Den allra lägsta punkten för huvudnivån KUJ -(Kiruna under jord) 2000 och därmed hela gruvan ligger på 1.180 m djup. Malmkroppen sträcker sig i nordsydlig riktning. Den är cirka fyra kilometer lång och i genomsnitt 80 meter bred.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



När året är 1972 är årsproduktionen är uppe i 26 miljoner ton. Andelen pellets utgör 19 procent. I Kiirunavaara börjar en ny huvudnivå på 775 meters avvägning att förberedas och det är på denna nivå som man har brutit järnmalm, in till våra dagar. Under 2000-talet ska LKAB gå över till en ny huvudbrytningsnivå, som ligger 1045 m under jord

Under 1982, skars den totala produktionen ner till 15 miljoner ton, men bara 13 miljoner ton levereras. Personalstyrkan - som vid årets början uppgår till 6.238 personer - bantas till 3.700 personer.

1990 fyllde LKAB 100 år!

1991 tas ett principbeslut om ny huvudnivå i Kiruna - 2000. Den hamnar på 1.045 meters djup och blir den sjätte huvudnivån i Kiirunavaara. Malmbasen för den nya nivån beräknas vara 330 miljoner ton råmalm och skall säkra driften i Kiirunavaara i omkring 20 år.

Under 1999 begränsas produktionen genom att växelvis hålla ett pelletsverk i Kirunaområdet stängt under årets åtta första månader och stålbandsverket i Malmberget under fyra månader. LKAB upplever det första förluståret sedan 1982, resultat blir -244 Mkr. Vid midsommar övergår all produktion i Kirunagruvan till den nya huvudnivån 1045

I dag är Kiirunavaara världens största och modernaste järnmalmgruva under jord och ägare är den svenska staten. Antalet anställda i hela LKAB uppgår till ca 3200 stycken och av dem jobbar cirka 2000 personer i Kiruna/Svappavaara och cirka 1000 i Malmberget

I Kiruna arbetar 650 personer under jord medan majoriteten av de tusen anställda arbetar ovan jord i exempelvis malmförädlingsverk, verkstäder och kontor.

LKAB jobbar mycket med arbetsmiljön. Antalet olycksfall har halverats sedan 1990.

Fler och fler arbeten blir automatiserade och man kör till exempel tåg, bormaskiner och lastmaskiner i gruvan via datorer i kontrollrum. De stora gruvmaskinerna är eldrivna, för att minska dieselavgaserna.

Hur tar man sig till gruvan, är en fråga som ställts/s till företaget, många gånger. Svaret är att man åker bil eller buss. Det finns cirka 45 mil underhållna vägar i gruvan. [4]

Vilka maskiner används i gruvan? I Kiruna finns följande maskinpark i brytningen:

4 st Tillrednings<sup>1</sup> aggregat

5 st Skrotnings<sup>2</sup> aggregat

2 st Bultningsaggregat





HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



I raslastningen<sup>3</sup> finns:

11 st Toro 500E, elektriska med 13 tons last i skopan

1st Toro 500D, diesel med 11 tons last i skopan

1 st Toro 650D, diesel med 15 tons last i skopan samt

9 st Toro 2500E, elektriska med 25 tons last i skopan

Idag finns 3st fjärrstyrda lastmaskiner i drift.



*Bild 2 . Lastmaskin TORO 2500E*

<sup>1</sup> Tillredning sker då man bryter upp ortar i järnmalmsskivan.

<sup>2</sup> Skrotning sker efter att man sprängt i berget. Då tar man bort den sten som eventuellt hänger kvar efter salvan.

<sup>3</sup> Raslastning sker efter att man sprängt ur bitar ur järnmalmen och lastar om malmen för att kunna transportera den upp till markytan.





### 3. Gruvfakta

Under jord finns 450 km väg. Gruvan avsänks med i genomsnitt 19 meter pr år och den nya huvudnivån KUJ 2000 (Kiruna under jord) ligger på 1.045 meters djup, som räknas från bergets ursprungliga topp.

Gruvan är, som tidigare beskrivits, indelad i 10 stycken områden, så kallade block (produktionsområden), som ventileras av ett eget till och frånluftsschakt. Varje block är 400 meter långt och två block förbinds av en snedbana, se bild 3.

Den brytningsmetod som används i Kirunagruvan kallas storskalig skivrasbrytning med skivhöjder på upp mot 30 meter.. Metoden innebär att man först gör tillredningsortar genom hela malmkroppen. Från dessa ortar borrar hålkranar uppåt i solfjädersform, som sedan laddas och skjuts en efter en. Varje skjutna kran ger omkring 10.000 ton malm. Malmkroppen delas upp i tio produktionsblock. Bilaga 1 beskriver i bilder storskalig skivrasbrytning

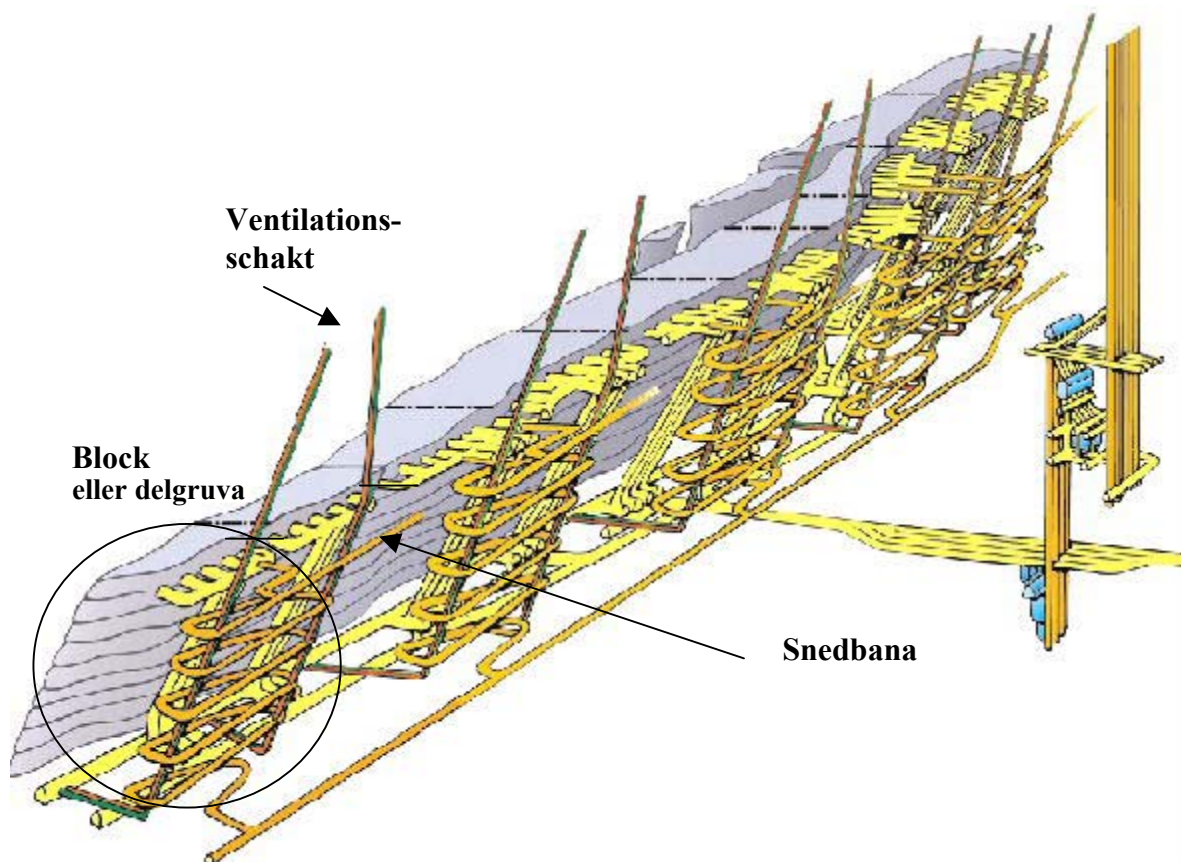


Bild 3. Blockuppdelning av järnmalmkivan i den nya brytningsdelen



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Varje block är en liten gruva i gruvan som lever sitt eget liv oberoende av vad som händer i de andra blocken. De är väl skilda åt av blockgränser med 30 meters mellanrum, och när man skjuter i ett block kan man under utvädringstiden lugnt arbeta vidare i de andra. Den geografiska uppdelningen i olika produktionsblock innebär också att ventilationen kan styras bättre, en sak som sparar mycket energi. Från produktionsblocken körs malmen med eldrivna lastmaskiner till störtshakt som mynnar ut på spårnivå 775 alternativt den nya spårnivån som ligger på 1045 meters djup. Där tappas malmen i fjärrstyrda tåg för vidare transport till krossarna. Efter krossningen förs malmen ovan jord till förädlingsverken på Kiirunavaaras baksida, med hjälp av malhissar, så kallade skipar.

Malmkroppen bearbetas uppifrån och ned. Nästan allt arbete som utförs i de tio delgruvorna är automatiserat och fjärrstyrt, utom flytt av aggregat och byte av borrhonor, liksom de efterföljande laddningarna och sprängningarna. [5]



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



## 4. Ventilationsfakta

### 4.1 Allmänt

Vid en eventuell brand kommer rökgasansamling/- spridning att bli ett stort problem för både anställda som ska ut ur gruvan och för räddningspersonal som ska ner under jord för att utföra en insats. Rökgaserna medför reducerad sikt, giftiga gaser och sämre tillgång på syre. Brand i gruvan kan ge stor och snabb rökgasutveckling som en följd av det material som brinner och då är det högst troligt att det är gummi eller hydraulolja från maskinerna som finns i brytningsdelen som fattar eld.

I Kirunagruvan finns för närvarande två ventilationssystem som betjänar brytningsområdena (KUJ), samt ett system som betjänar anläggningar under jord i CA. [6]

Då rapporten bara behandlar det nya brytningsområdet som ligger mellan 775 m och ner till 1045 meter u j, så är det naturligt att rapporten bara beskriver ventilationen i den nyare delen av gruvan. Vad gäller utformningen av ventilationssystemet så ser schakten likadana ut oavsett vilket block man ser på. När det gäller antalet till och frånluftsfläktar på de olika nivåerna så varierar det från en till två stycken fläktar per nivå och om det är till eller frånluftsfläktarna man studerar. Området ovanför 775 m u j försörjs med friskluft av ett äldre ventilationssystem som dessutom är mer komplicerat att styra vid en eventuell brand. Det finns inget detektionssystem i varken fält/tvärorna eller snedbanorna. Det är endast i de fasta anläggningarna, som till exempel i den besöksgruva som finns på nivå 540, personalbarackerna och verkstäderna under jord.

### 4.2 Brytningsområdets ventilation

Här beskrivs den nivå och det block där brandventilationstesterna utfördes, det vill säga på nivå 849 meter under jord och block 28. Positionen för testet bestämdes efter konsultation med LKAB:s egen brandingenjör och de som är ansvariga för ventilationen, då brytningen av järnmalmen hade inte kommit igång på den nivån och i de blocket.



### 4.2.1 Huvudsystem

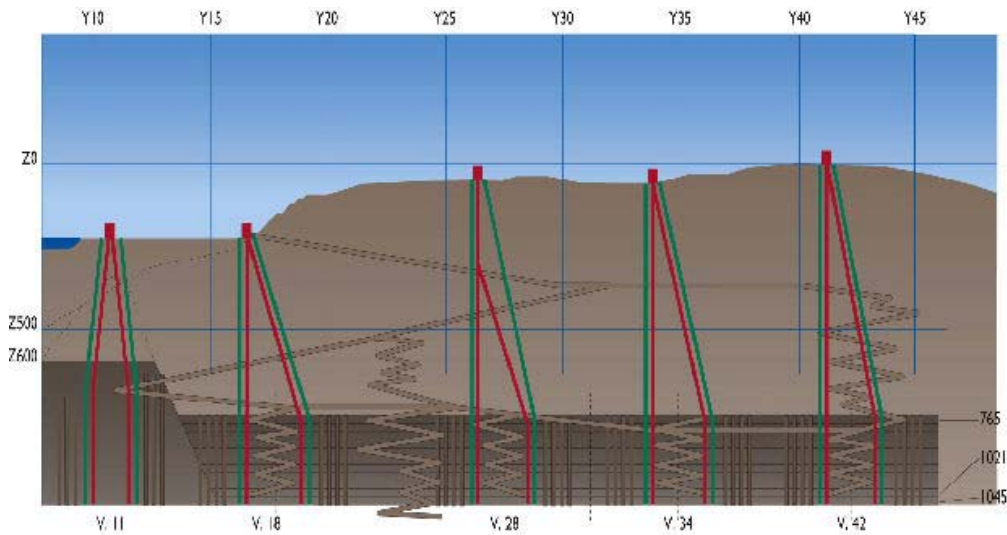


Bild 4. De fem ventilationshusen och 10 ventilationsschakten

Huvudventilationssystemet består av 20 st fullortsborrade schakt med en diameter på 3 meter, varav tio stycken för tilluft och 10 stycken för frånluft (utsug) till och från orterna. Schakten är borrade från marknivå till nya huvudnivån (1045 m) i tre etapper med en lutning på ca 60°.

Vid marknivån är till och frånluftsschakten väl åtskilda för att inte tilluften ska dra in eventuella avgaser från frånluften.

Första och andra schaktdelen är ihopkopplade med stålrör för att minska tryckförlusterna. Det tredje schaktdelen är borrade från en omtagsort cirka 800 m närmare malmkroppen för att få kortare anslutningar till blocken.

Huvudfläktarna (schaktfläktarna), som ligger ovan jord, styrs o övervakas av ett styrsystem som heter VISONIK. Styrsystemet räknar själv ut, via en signal från SVUJ (Styrd ventilation under jord), hur mycket luft som behövs i fält och tvärorterna, genom att ”känna av” hur många lokalfläktar i tvärorterna som är igång.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

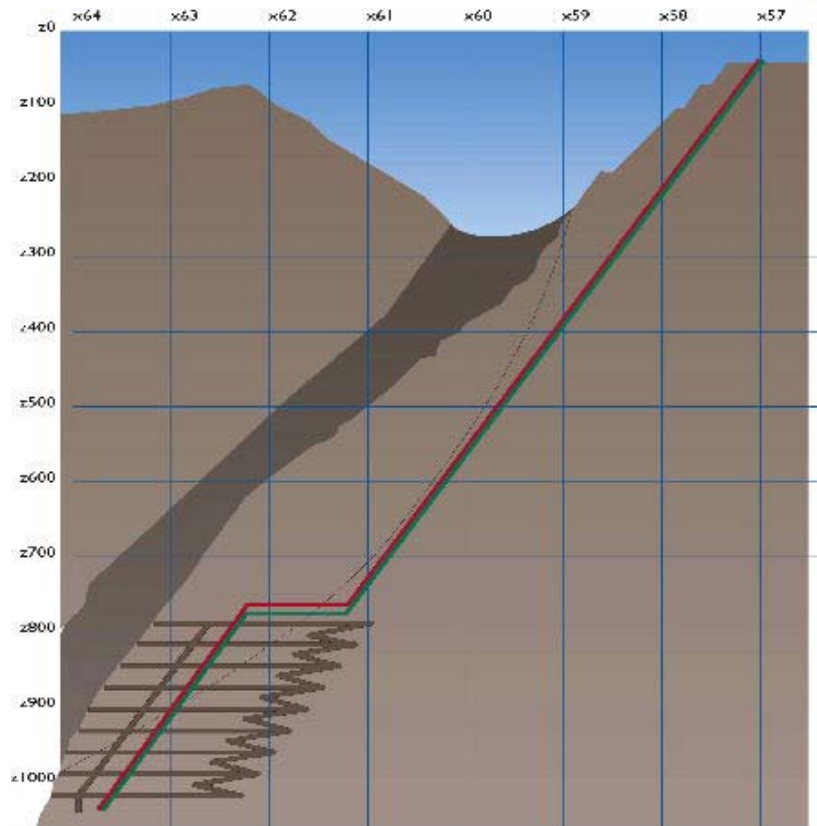


Bild 5. Genomsnitt av järnmalmsskivan där luftschaftets placering framgår

Luftdistributionen till och från schakten sker via en varvtalsreglerad axialfläkt. Tilluften förvärmes till  $+1^\circ$  via hetvattenbatterier vintertid. Max uttag för fläktarna, som för ner friskluften via ventilationsschakten, in till fält och tvärortsfläktarna, är  $150\text{m}^3/\text{s}$  och  $3700$  i statisk tryck. Huvudfläktarnas uppgift är att föra ner friskluft via ventilationsschakten och evakuera förbrukad luft i orterna med hjälp av fält och tvärortsfläktarna.

Ca 80% av ventilationens styrsystem i ventilationsschakten kan överstyras från panncentral 5 (PC 5) som ligger ovan jord medan ca 40% styrs av en så kallad börvärdessignal, som är styrt med automatiska signaler från transportnivån 1045. Dessa 40% av ventilationen i ventilationsschakten ligger runt transportnivån och kan också överstyras, men då av tågledarna i staben på nivå 775.



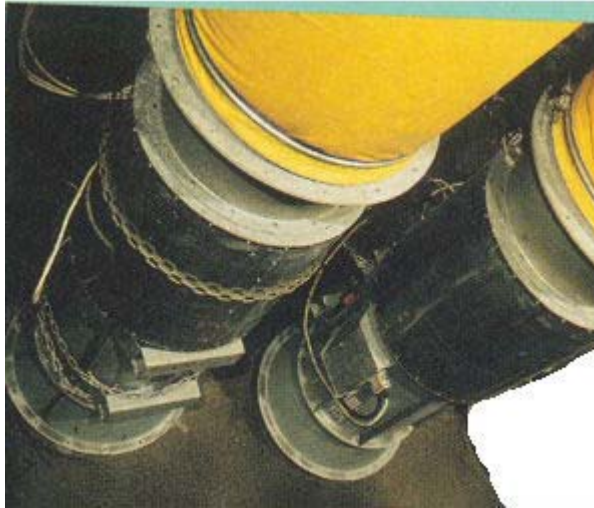


HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



## 4.2.2 Lokalsystem

### 4.2.2.1 Tilluftsfläktarna



*Bild 6 . Tilluftsfläktar*

Vid infarten till varje block görs inslag av fläktväggar till ventilationsschakten. Tilluften distribueras till fältorten i blocket, via de i fältortsväggen inslagna tvåhastighetsfläktarna (Ø 700 mm) med ansluten (Ø 1000 mm) flexibel pvc-tub (även kallad ventiflex-duk) åt vardera håll. Tuben har en längd på sammanlagt 400 meter, 200 m åt vardera håll i fältorten. De två tilluftsfläktarna, nere i orten är dimensionerad för flödet 10 m<sup>3</sup>/s respektive 5 m<sup>3</sup>/s var, vid hel- respektive halvfart.



*Bild 7 . Pvc-tub som för in tilluft i ort. Normalt går en tub åt varje håll.*

Där tublängden slutar och luften skjuts ut, vid änden av orten, levereras cirka 6-8 m<sup>3</sup>/s, allt beroende på om tuben är hel eller har fått skador vid de nattliga sprängningarna. Den maximala lufthastigheten i fält och tvärorten



HÖGSKOLEN STORD/HAUGESUND



får enligt AFS<sup>5</sup> 1995: [7] inte överstiga 0.5 m/s. Detta ger ungefär,  $(8 \text{ m}^3/\text{s}) / 38\text{m}^2$  gruvortens area = 0.24 m/s i fältorten.

Elförsörjningen till tillufts och frånluftfläktarna tas från elcentraler som är placerade i infarten till fältortarna och elkablarna (som för övrigt är brandskyddade enligt F 4<sup>6</sup>) som försörjer tvärortarnas fläktar är dragna gruvtaget och om en brand uppstår i skivinfarten är risken stor att till- och från luftventilationen upphör och total rökspridning är ett faktum. Dessutom är ventiflexdukarna är flamskyddade men vid en dimensionerande brand kommer de definitivt att brinna upp och lufttillförseln kommer att upphöra.

#### 4.2.2.2 Tvärortsfläktarna



Bild 8 . Tvärortsfläkt på nivå 878, tvärort 280

Distributionen till tvärortarna sker med en fläkt (Ø 630 mm) och med kapaciteten 3-4 m<sup>3</sup>/s. Kapaciteten på tvärortsfläkten delat på arean i tvärorten ger total hastighet i orten;  $4 \text{ m}^3/\text{s} / 33/ \text{m}^2 = 0.2 \text{ m/s}$ .

Tvärortsfläkten distribuerar luften via en pvc-tub (Ø 600 mm) som för in luften i tvärorten och blåser ut luften cirka 30 från slutet av tvärorten. Monteras tvärortsfläkten för långt in i tvärorten minskar dess kapacitet ventileringen av luften blir sämre. Elförsörjningen till tvärortsfläktarna sker genom elkablar som hänger i fältortstaket. Kablarna dras från ställverk som finns i skivinfarten. Brinner elkablarna (som för övrigt är brandskyddade med F 4) stannar ventilationen i tvärorten. Även tvärortsfläktarnas tuber är flamskyddade.

<sup>5</sup> Arbetarskyddstyrelsens föreskrifter 1995

<sup>6</sup> Brandklassning SS 424 1475 av kablar enligt en standardkvalitet som kabelfabrikanter fastsatt, där F 4 är den högsta brandklassningen. Klassningen avser endast kablarnas egenskaper att sprida brand, ej i vilken utsträckning kablarna avger och bidrar till rökgasutveckling.

#### 4.2.2.3 Frånluftfläktar

Frånluftstransporten vid schaktet sker med hjälp av en eller två friblåsande tvåhastighetsfläktar (beroende på vilken lösning som valts) med en maxkapacitet på cirka 15m<sup>3</sup>/s var. I den ort som rapporten talar om, så är det bara en frånluftsfläkt monterad.

Tillufts och frånluftsventilationen är placerade mittemot varandra i skivinfarten, på cirka 3 meters höjd.



*Bild 9. Frånluftsfläkt (till frånluftsschakt)*

Från det att luften sugs in i ventilationssystemet, på bergets topp till att den ventileras ut med frånluftsfläktarna på nivå 849 meter, upp till toppen igen, tar det enligt Lennart Mukka LKAB, cirka 17minuter.

På direkt förfrågan till Lennart Mukka om gruvventilationssystemet i det nya brytningsområdet är dimensionerat med tanke på brand, så är svaret nej. Ventilationen ska bara klara av att ventilerar ut avgaser från bilar, spränggaser och radon.

#### 4.2.2.4 Styrning

Det är av största vikt att ventilationssystemet fungerar som avsett även under brand. Risken för att en brand slår ut hela eller delar av ventilationssystemet alternativt möjligheten till styrning av systemet, måste beaktas. Det kan vara lämpligt att viktigare fläktar eller fläktstationer, brandportar, etc, matas med elkraft och styrningskablage från två separata håll. Om möjlighet till styrning av ventilation finns, bör en instruktionsmanual upprättas för olika områden inom anläggningen. [8]





HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



I dagsläget styrs ventilationen i orterna av SVUJ och till tider av Staben på nivå 775. Under efterforskningarna om ventilationssystemet kom det fram att ett system med CO (koldioxid)-givare ska monteras nere i skivinfarterna, nära frånluftsfläktarna. Dessa CO-givare ska hjälpa till att styra frånluftsventilationen och aktivera fläktarna när koncentrationen av CO blir för stor i orterna.



## 5. GRAMKO;s Brandskyddskommité

Svenska Gruvföreningens Brandskyddskommité, som är en underkommité till GRAMKO, Gruvindustrins Arbetsmiljökommité, har i uppdrag att bevaka, följa upp och sprida information om brandskyddsfrågor samt i övrigt verka för att reducera och förebygga antalet bränder hos medlemsföretagen. [8]

Jämfört med den uppåtgående trend i antalet bränder och tillbud<sup>7</sup> som gruvföretagen inom hela LKAB och inte bara Kiruna, hade under åren 1992-1997 har dessa totalt sett minskat något under 1999-2000.

Oro uttrycks över att verksamheten ovan jord svarar för hela nedgången i antal bränder o tillbud, medan verksamhet under jord fortsätter en uppåtgående trend sedan 1994. Den stora ökningen i antalet bränder o tillbud ligger hos mobil utrustning. En klar trend som påvisas är kombination av bränsle eller hydraulolja på heta ytor, t ex avgasytor, har ökat markant. Bränder orsakade av maskinens elsystem har däremot minskat kraftigt. De flesta brandincidenterna har upptäckts av personal i området.

Ofta direkt men även genom att utrustning inte fungerar som avsett och vid undersökning av felorsak har brand upptäckts. Vanligast är att bränder släcks med hjälp av handbrandsläckare.

Följande typer av fordon var inblandade i bränder och brandtillbud under jord från 1990-2000; Lastmaskiner, Lastbilar, Truckar, Borrreggregat, Laddfordon, Sprutfordon och personalfordon och "annat". Lastmaskinerna är överlägset det vanligaste fordonen som förekommer i samband med brand och svarar till exempel för 40% av alla fordonsbränder under 1999. Jämförelsevis kommer nummer två, "annat" med 15%. Orsakerna till brandtillbud eller bränder, är (rangerat i förekomst), het yta, klenspanning, lågspanning, överhettning, annat och sist högspanning. Det är med andra ord enkelt att finna orsakerna till varför, var och vad som orsakar bränderna. Utifrån statistiken kan LKAB enkelt reducera sin brandstatistik.

Ser man **bara** på Kirunagruvan säger statistiken att under 1998-2000 inträffade 12 fordonsbränder. Tyvärr är statistiken inte uppdelad så att man kan läsa ut av vilken orsak bränderna startat på de respektive fordonen, men man kan läsa ut att lastmaskinerna TORO även här är överlägset mest förekommande i brand och olycks/- tillbudsrapporteringen.

---

<sup>7</sup> Från och med 1999 års rapportering används följande definition på brand = Incident som kräver aktiv släckinsats, såsom till exempel bryta ström, kväva eld med filt, rycka bort en kabel eller använda handbrandsläckare. Tillbud är då utrustning totalförstörs utan insats, av det skälet att ingen upptäckt branden.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Med utgångspunkt i den statistik som finns tillgänglig från GRAMKO, om tillbud o bränder kan vi med stor säkerhet säga att det mest sannolika som börjar brinna under jord är en lastmaskin TORO. Sannolikheten för ATT lastmaskinen börjar brinna i ett däck eller att en eventuell brand sprider sig till ett däck och en fullt utvecklade brand uppstår, spekulerar rapporten inte i. Rapporten bara konstaterar att det mest sannolika som börjar brinna under jord är en lastmaskin.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



## 6. Røkgasproduksjon

Det som brukar betecknas som røkgaser, består av oppvarmd luft samt oførbrända gaser og partiklar frå sjølva forbranningsprocessen. Det sistnämnda bidrar förhållandevis lite till røkmängden og det gör att den producerade røkmängden i första hand är avhängig av den luftmängd som dras in i den oppåtgående røkgasstrømmen. Den varma røkgasen kommer att stiga oppåt mot gruvortstaket og beroende på storleken av branden kommer den att vika og följa ventilationsstrømmen mot utsuget.

Genereringen av røkgaser i bränder är generellt associerade med en reducerad sikt og exponering av giftiga miljøer. Reduceringen av sikten på grund av bränder som producerar stora mängder røk, kan leda till en kritisk situation för utrymmande människor. På grund av giftiga gaser og höga temperaturer kan situationen bli farlig om människor inte har möjlighet att hitta vägen ut snabb og enkelt.

Vad gäller möjligheten att snabbt utrymma en gruva og då från orter og nivåer som ligger flera hundra meter under jord, är oppenbart små. Det finns mobila räddningskammare oppställda på strategiska ställen i gruvan og kammarna ska ge ett temporärt skydd till de anställda som inte hinner sätta sig i säkerhet före kritiska förhållanden oppstår vid en brand.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



## 7. Genomförandet av brandtesterna

### 7.1 Inledning

Dagen före de riktiga brandtesterna utsågs den plats där brandtesterna skulle genomföras. Ström drogs fram och 3 strålkastare sattes upp. Termoelementen monterades, enligt instruktioner [12] i fältortstaket med hjälp av Mediafolket i gruvan och sedan kopplades mätinstrumentet Testo 454 in. Bränslekaren satts fram och likaså de 10 stavar som användes till visibilitetsbestämningen.

För att kontrollera rökgashastigheten hade det enligt instruktioner [13] tillverkats två meter långa, vitmålade trästavar, med ett målat svart streck vid 1.6 meter. Dessa stavar sattes ut med tre meters mellanrum. En pappskylt med dimensionerna 20 cm\* 20 cm, målad i svart o vitt, där den vita o svarta dela var målad med 10 cm\* 20 cm var. Skylten sattes upp i skivinfarten nära bergväggen och på en höjd av två meter. För att mäta siktsträckan behöver man någon form av siktskiva, en sådan som nyss är beskriven. Men för att också få ut några mätbara värden som kan användas i senare sammanhang behövde man också ett mätinstrument som talar om hur tjock rök som produceras [9]. Tyvärr förfogade testpersonalen inte över ett sådant instrument så de siktvärden som testerna gett är enbart kvalitativa, och ger inga värden som rapporten kan lita sig mot.

För att inte skada ventiflexduken (pvc-tuben) i tvärorten 277 togs den ner. I sin fulla längd är den runt 50 meter lång men 10 meter lämnades kvar i bergtaket. Bilaga 2 visar uppställningen av instrument, bränslekar och deltagare i brandtesterna.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



### 7.1.1 Kallt röktest I

När monteringen av allt material var klart, ville man få en idé om hur röken rörde sig och eventuellt hur fort röken rörde sig i tvärorten och ut i fältorten vidare till frånluftsventilationen, så ett enkelt röktest med rökfacklor utfördes.



Bild 10. Från kallt röktest. 25 sek har passerat efter antändning.

Rökfacklorna placerades på samma ställe som bränslekaren skulle stå och tändes på. (bilaga 2 och 8-9 visar placeringen av bränslekaren i tvärorten)

Den kalla röken steg sakta uppåt och blandades snabbt ut av tvärortsventilationen och halva tvärorten fylldes av rökdimma i hela tvärsnittet redan efter 90 sek. Den sammanlagda tiden för den kalla röken att delvis spridas från tvärorten till frånluftsfläkten var ungefär 14 minuter. Röken rörde sig sakta utåt (om man bortser från en viss turbulens som uppstod av ventilationen) mot fältorten och det tog lång tid att få rökfritt i orten. Orsaken till att det tog lång tid för att ventilera ut röken, berodde på att tvärortsfläkten skapar rundgång i cirkulationen. Den del av röken som trycktes ut av tvärortsfläkten drogs med in i tvärorten igen av samma fläkt på grund av att tvärortsfläkten som hänger i orttaket drar in luften igen!



### 7.1.2 Brandtest utförande

Fyra personer var med under de fyra brandtesterna inklusive undertecknad. Benämningarna i rapporten på personerna är: **P1, P2, P3, P4** fördelat på placering under testerna och brandtesterna benämns **A-D**. Alla brandtester genomfördes på exakt samma sätt och under samma tidsrymd, med de skillnader att bränslekarens storlek skiftade från liten till stor.

Det var bara test A som hade helt rökfria tvär och fältorter. Rökgaserna som var kvar i fält o tvärorterna i de tre påföljande testerna var ytterst tunn och medförde inte några problem i testerna vad gäller möjligheterna att klart bestämma visualiteten och rökgasernas hastighet i fältorterna. Det var bara i det kalla röktestet nummer II som man kunde avgöra hur fort röken rörde sig i tvärorten, och då genom att ta tid på hur fort röken rörde sig på en sträcka av 60 meter därefter utföra nödvändiga beräkningar

Genomförandet av testerna **A-D** gick till på följande sätt;

**P1** stod vid bränslekaren och startade loggföringen av termoelementens temperaturmätning genom att trycka på den knapp på Testo 454 som startar mätningen. Sedan tände han eld på dieseln med hjälp av en tändsticka, efter att först ha fyllt i en mugg med bensin för att underlätta antändningen av bränslet. Sedan kontrollerades att elden inte utgjorde någon fara för taket i orten. P1 torkade vid behov torka av termoelementen mellan testtillfällena och efter varje avslutat test stängde P1 av loggningen.

**P2** stod också i området runt bränslekaren och skulle skapa sig en bild av hur fort röken rörde sig och gick mellan de uppställda stavarna för att få en uppfattning om rökgashastigheten. P2 tog bilder med jämna mellanrum för att dokumentera rökens utseende och noterade samtidigt i en pärm hur röken såg ut i orten.

**P3** noterade vindhastigheten i infarten till fältorten, luftfuktigheten, temperaturen och rökgasernas utseende o hur de rörde sig i gruvorten. Dessa mätningar utfördes 15 meter från korsningen skivinfarten och fältorten, med en höjd av två meter från gruvortsgolvet. Dessutom kontrollerade P3 visibiliteten och skrev ner sina observationer om skyltens visualitet i skivinfarten.

**P4** stod cirka 10 m från utsuget vid skivinfarten och noterade tid för rökgasens ankomst och beteende vid utsuget och vid uppenbar fara att röken skulle sprida sig, skulle P3 slå igång PPV<sup>8</sup>-fläkten.

Bilaga 3 visar var P 1 – P 4 stod i orten.

---

<sup>8</sup> Positive pressure ventilation. Övertrycksventilation.



HÖGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Först efter att test C genomförts kom information om att frånluftsventilationen, som normalt har en kapacitet att ventilera 150 m<sup>3</sup>/s i schaktet, bara klarade av att ventilera 88 m<sup>3</sup>/s.

Staben ombads då stänga av alla andra frånluftsfläktar för att ge 878 nivåns frånluftsfläkt det mest gynnsamma läget. Ingen av de som styrde ventilationen i gruvan den dagen kunde svar på hur den reducerade frånluftsventilationen påverkade testernas utfall.

Under alla testtillfällen var kapaciteten på frånluftsfläkten 15 m<sup>3</sup>/s och tilluftsfläkten 20 m<sup>3</sup>/s konstant, det vill säga varken hastigheten eller volymströmmen varierades. I rapportens diskussionsdel diskuteras vilken påverkan det förmodade övertrycket som är skapat av ventilation, har på testresultaten. Då 20 m/s förs in i ortarna och frånluftsfläkten ventilerar ut cirka 15 m/s, finns en möjlighet att resultatet av testerna kan vara felaktigt. Tvärortsfläktens kapacitet var cirka 4 m<sup>3</sup>/s och hastighet och volymström var konstant under brandtesterna.

Alla instrument kontrollerades inför varje försök. Termoelementloggningen och videokamera startades innan brandtesterna påbörjades. Mätningarna som P3 gjorde, utfördes ca 2 minuter efter brandstarten, vilket inte påverkar resultatet eftersom det tog mellan 12-14 minuter innan noterbara rökgaser kom fram till korsningen mellan fältorten och skivinfarten.

Visibiliteten i tvärorten utfördes så att P2 ställde sig alldeles vid den trästav som stod närmast bränslekaret och lyste på trästaven med en vanligt handficklampa. Därefter backade P2 tills staven inte syntes genom rökgaserna, och mätte därefter avståndet tills staven. Märk väl att denna typen av siktmätning bara är utförd i tvärorten. Bilaga 3 visar placering av testpersonerna 1-4 i fält och tvärort, under brandtesterna i gruvan. Bilaga 4 visar brandens placering i tvärort samt ventilationsutsugen i förhållande till orten.

I tvärorten hade man satt upp 10 vitmålade trästavar för att kunna göra en form av visualitetsbestämning under brandtesterna. Problemet med att få till en bra bedömning av visualiteten blev uppenbar då det fanns för lite folk som hjälpte till och för många arbetsuppgifter att dela på, vilket har noterats inför eventuella kommande tester.

I skivinfarten fanns en trästav uppsatt 15 meter från korsningen fältort och skivinfart. Staven stod alldeles intill bergväggen. På trästaven satt en pappskylt som var målad svart och vit. Den var 20 cm \* 20 cm, där den svarta fläcken mätte 10 \* 20 cm och den vita fläcken hade samma dimensioner. Skylten sattes fast på staven på en höjd av 2 meter. Siktsträcksmätningen utfördes på det sätt att P3 ställde sig på ett avstånd av 2 meter från skylten och kontrollerade om man kunde se skylten eller inte. Inte under ett enda av brandtesterna försvann skylten. Man kan inte ens säga





HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



att det blev svårt att se den, trots att det enda ljus som fanns i skivinfarten var från ett par billjuslyktor som stod 25 meter från trästaven.

## 8. Mätningar och resultat

### 8.1 Brandtest A



*Bild 11. Cirkeln visar bränslekarets placering*

#### I tvärorten

Bränslekarstorlek: 0.4 m \* 0.4 m \* 0.15m (höjd) Arean på bränslekaret motsvarar en effektutveckling som storleken på en fjärdedels personbilsdäck med arean (Ø) 650 mm \* 370 mm (bredd) producerar vid en fullt utvecklade brand i däck.

Antal liter diesel som användes i brandtestet: 12 liter

Brandförloppets längd: 14 min 20 sekunder.

För att dokumentera utseende på rökgaserna togs bilder vid 2.30, 5.00 och 6.00 minuter efter att man tänt på bränslet.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Följande observationer om rökgasernas beteende och utseende återges nedan:

Tvärortsfläktens inverkan är stark och det uppstår viss turbulens i rökgaserna och de tunnas snabbt ut och ingen skiktning kan observeras i rökgaserna.

Vid 2.30 minuter har rökgaserna långsamt stigit uppåt av termiken från värmen av branden. Gaserna blandas momentant med luften och kyls raskt av omkringliggande luft och bergväggarna. Flammlängden<sup>9</sup> estimeras till cirka 1 meters höjd.



*Bild 12. 2 minuter och 30 sekunder efter start av brandtest A, taget på 5 meters avstånd från brandhärden*

Vid 5.00 minuter har rökgaserna tätat en del men är fortfarande tunna och hela tvärsnittet av orten är fylld med dimma.

Då 6 minuter har gått är rökgaserna alltjämt tunna och ventilationen blandar snabbt luft och den producerade röken med varandra och ingen skiktning har uppstått. Sikten med vanlig ficklampa är då cirka 5.00 m.

Under test A blir aldrig koncentration av rökgaser så stor att andningsskydd är nödvändig och ingen irritation i ögon eller andningsvägar förekommer. Temperaturmätningarna under brandtesterna sammanställdes i diagram, som redovisas i bilaga 5

---

<sup>9</sup> Flammlängden definieras som medellängden av den synliga flamman, inklusive sticklågorna under 50% av tiden du mäter flammlängden. Eller med andra ord, uppskatta halva höjden på sticklågorna.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Ser man på termoelement 2's "vilda utslag" i mätningarna skulle det kunna avvisas som en felaktig mätning, men om man tittar på alla diagram så är felen i mätningarna genomgående och proportionella i minskningarna, vilket tyder på att kontakten i T2 har vänts fel men problemet upptäcktes ej förrän brandtestet var avslutat vilket innebär att felet ej avhjälpes under testerna.. T4 visar måttlig temperaturökning i takhöjd och troligen skulle det inte bli varmare även om mätningen hade fortgått. Högsta temperatur som uppmäts är +25.6 grader C. T1's oregelbundna mätning förklaras genom att den sitter 10 meter från brandhärden och påverkas samtidigt från värmen av branden och å andra sidan av ventilationen. T4 sitter fem meter närmare och påverkas inte direkt av ventilationen och då får T4 inte lika stora växlingar i mätningarna som T1. Övriga termoelement sitter på så pass långt avstånd att de registreras endast måttliga temperaturökningar.

#### Vid skivinfarten

Temperatur + 9.8 grader C. Luftfuktighet 59 %. Lufthastigheten varierade mellan 0.7-0.85 m/s. Variationen i lufthastigheten indikerar på turbulens i fältorten. Tiden det tar för de första synliga rökgaserna att anlända till frånluften estimeras till 14 min. Rökgaserna beskrivs som en mycket tunn mjölkdimma och den fyller i hela tvärsnittet i orten. Det mesta av rökgaserna ventileras ut av frånluftsfläkten men en del av gaserna vandrar vidare, ut i snedbanan till väg 28. Visibilitetsskylden i skivinfarten är klart synlig under hela testtiden.

## 8.2 Brandtest B



*Bild 13. Bränslekaret i test B*

#### I tvärorten

Bränslekarstorlek: 0.5m \* 0.5 m \*0.15m (höjd) Storleken på bränslekaret motsvarar den effektutveckling som storleken på ett halvt personbilsdäck



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



med arean (Ø) 650 mm \* 370 mm (bredd) producerar vid en fullt utvecklade brand i dæket.

Antal liter diesel som användes i brandtestet: 18 liter

Brandförloppets längd: 14 min 20 sekunder.

Vid försökets början är tvärorten inte helt utventilerad från första försöket och en tunn rökgasdimma syns fortfarande, eftersom testbranden A har återantänts under den paus testledarna hade. Trots att ventilationen i orten stått på under pausen måste en övertrycksfläkt användas i kombination med fält och tvärortsfläkten för att ventilerar ut rökgaserna.

Rökgasernas beteende och utseende återges nedan:

Brandgaserna steg även här långsamt uppåt av termiken från värmen av branden och blandades momentant med luften och kyldes raskt av omkringliggande luft och bergväggar. Tvärortsfläktens inverkan är ganska stark och det uppstår också i denna testomgång en viss turbulens i rökgaserna.

Vid 2.30 minuter såg rökgaserna likadan ut som i test A, mjölkaktigt vita och väl utblandade redan ovanför brandhärden. Flamlängden estimerades till cirka 1.5 meters höjd. Ingen skiktning i rökgaslagret observeras under brandtestet.



*Bild 14. Brandtest B efter 2 minuter och trettio sekunder. Bilden är tagen på 5 meters avstånd*

Vid 4.00 minuter har rökgaserna tätat lite mer men är fortfarande tunna och hela tvärsnittet av orten är fylld med dimma.

Då 6 minuter har gått är rökgaserna mer ”mjölkaktiga” och visibiliteten nedsatt, men med en vanlig ficklampa kan ta sig från tvärorten ut till



HÖGSKOLEN STORD/HAUGESUND



fältorten, utan problem. Sikten med vanlig ficklampa uppskattas nu till cirka 1.5 m.

Under test B blir inte koncentration av rökgaser heller så allvarlig att andningsskydd är nödvändig och ingen irritation i ögon eller andningsvägar förekommer.

T 2 visar, som i test A, ”fel”. T 4 visar måttlig temperaturökning i takhöjd och troligen skulle det inte bli varmare även om mätningen hade fortgått. Högsta temperatur som uppmäts är + 42.7 grader C. T 1’s oregelbundna mätning förklaras genom att den sitter närmare brandhärden och påverkas först av värmen. T 4 hänger längre från och påverkas både av värmen och ventilationen vilket större variation i temperaturväxlings-registreringen. T 1 inte lika stora växlingar i mätningen som T 4. Övriga termoelement sitter på så pass långt avstånd att de registreras endast måttliga temperaturökningar.

#### Vid skivinfarten

Temperatur: + 9.4 grader C. Luftfuktighet: 64.9% och ventilationshastigheten varierade mellan 0.5-0.9 m/s.

Tiden det tar för de första synliga rökgaserna att anlända till frånluften är svårare att estimeras i detta test, då det redan från början finns lite rökgaser kvar och ingen distinkt ”rökgaskudde” produceras av brandtest B. Men cirka 13 min efter att testet är påbörjat kan man se att koncentrationen av rökgaser i skivinfarten har ökat.

Utseendet till gaserna beskrivs som en mycket tunn mjölkdimma och de fyller i hela tvärsnittet i orten. Det mesta av rökgaserna ventileras ut av frånluftsfläkten och men jämfört med test A försvinner en större del av gaserna ut i snedbanan, till väg 28 och rör sig både uppåt och neråt och vidare till v 25 som korsar mediaort 910. Visibilitetsskylten i skivinfarten är klart synlig under hela testtiden.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



### 8.3 Brandtest C



Bild 15. Bränslekar i test C

#### I tvärorten

Bränslekarstorlek: 1 m \* 0.5 m \* 0.15m (höjd) Storleken på bränsleket motsvarar den effektutveckling som storleken på ett personbilsdäck med arean (Ø) 650 mm \* 370 mm (bredd) producerar vid en fullt utvecklad brand i däck.

Antal liter diesel som användes i brandtestet: 30 liter

Brandförloppets längd: 14 min 20 sekunder.

Att estimera utseende och visibiliteten i rökgaserna är lite svårare även i detta test, då det redan från början finns en tunn dimma av rökgaser kvar i både tvär och fältorten. Dimman är kvar på grund av att det tar för lång tid att vänta på att all rökgas ska ventileras ut ur orterna från föregående testomgång. När försök C startade fanns det ungefär lika mycket rökgaser kvar som i test A och B. Följande observationer om rökgasernas beteende och utseende återges nedan:

Tvärortsfläktens inverkan på rökgasernas rörelse var likvärdig som i de två tidigare testerna och det uppstod turbulens i rökgaserna vilket medförde att gaserna blandades momentant med luften och kylades raskt av omkringliggande luft och bergväggar.

Vid 2 minuter betedde sig rökgaserna nästan likadant som i test B men med den skillnaden att denna gång steg rökgaserna steg raskare uppåt av termiken från värmen av branden. Ingen skiktning i rökgaslaget observeras i detta test heller. Flamlängden estimerades till cirka 2 meter.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



*Bild 16. Test C vid fyra minuter efter brandstart*

Vid 4.00 minuter har rökgaserna tätat mer och hela tvärsnittet av orten är fylld med en tjock dimma. Sikten är 3.5 meter med ficklampa.

Då 6 minuter har gått har rökgaserna tätat mer och visibiliteten starkt nedsatt, men med en ficklampa kan man ta sig från tvärorten ut till fältorten. Sikten är, när 12 minuter har avverkats, cirka 0.5 m från första trävstaven.

Under test B måste andningsskydd användas men ingen irritation i ögon eller andningsvägar förekommer om man står ute i fältorten, ca 50 från brandhärden.

T 2 är, liksom i test B felvända kontakter och visar även här fel. T 4 visar en rask temperaturökning i takhöjd men troligen skulle det inte bli varmare även om mätningen hade fortgått. Högsta temperatur som uppmäts är +75.6 grader C. T 1's oregelbundna mätning förklaras av samma orsaker som i test A och B. Noterbart är att temperaturen för T 1 stabiliseras raskare i detta brandtest jämfört med de två tidigare testen. Övriga termoelement sitter på så pass långt avstånd att de registreras endast måttliga temperaturökningar.

#### Vid skivinfarten

Temperatur: + 9,4 grader C. Luftfuktighet: 64.9%. Ventilationshastigheten varierade mellan 0.5-0.9 m/s under den minut då mätningen företogs. Lätt mjölkdimma var kvar från test två.

Tiden det tar för de första synliga rökgaserna att anlända till frånluften är svårare att estimera i detta test, då det redan från början finns lite rökgaser kvar och ingen distinkt "rökgaskudde" produceras av test B. Men cirka 12 min efter att testet är påbörjat kan man se att koncentrationen av rökgaser i skivinfarten distinkt har ökat. Utseendet till dem beskrivs som en





HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



mjölkdimma och den fyller i hela tvärsnittet i orten. Rökgaserna ventileras ut till hälften av frånluftsfläkten och hälften av gaserna vandrar förbi och ut i snedbanan till väg 28 och uppåt mot nästa nivå. Under brandtestet vandrar gaserna dessutom ner till nivå 910 men blir stillastående vid korsningen v 28, v 25.

Visibilitetsskylten i skivinfarten syns relativt tydligt under hela testomgången.

## 8.4 Brandtest D



Bild 17. Bränslekar i brandtest D, där en del rökgaserna hänger kvar i tvärorten.

Innan starten av test fyra har orterna fått ventileras i en timme men fortfarande kan man observera en mycket tunn mjölkdimma i både fält och tvärorterna. Koncentrationen av gaserna är ungefär som i test B och C. Dessutom är alla tvärortsfläktar på alla andra nivåer i samma block avstängda för att kompensera att schaktventilationen bara ventilerar ut  $88\text{m}^3/\text{s}$

Bränslekarstorlek: 1.00 m \* 1.00 m \* 0.15 m (höjd) Storleken på bränslekaret motsvarar en effektutveckling som storleken på två personbilsdäck med arean (Ø) 650 mm \* 370 mm (bredd) producerar vid en fullt utvecklade brand i däck.

Antal liter diesel som användes i testet: cirka 35 L

Brandförloppets längd: 14 min 20 sekunder.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



*Bild 18. Från test D. Cirka 40 sekunder efter brandstart.*

För att dokumentera utseende på rökgaserna togs bilder vid 2.05, 4.00, 6.00 minuter efter antändning.

Följande observationer om rökgasernas beteende och utseende återges nedan:

Vid 2.05 minuter har rökgaserna ackumulerats raskt och i motsättning till de tre första testerna tunnans inte rökgaserna ut närmast brandhärden utan en rökgasplym bildas, som drar iväg åt båda hållen i takhöjd. Efter ungefär 10 meter blandas gaserna ut med omkringliggande luften.

Vid 4.00 minuter har en stark dimma bildats i hela tvärorten men brandplymen existerar fortfarande. Gaserna fyller snabbt tvärortens hela längd o volym. Efter 6.00 minuter är sikten 3.5 meter med ficklampa och efter 8 minuter cirka 2.5 meter. Den estimerade flamlängden anges till cirka 2.5 meter.

Även i detta test visar T 2 ”fel”. T 4 visar en rask temperaturökning i takhöjd men troligen skulle det inte bli varmare även om mätningen hade fortgått. Högsta temperatur som uppmäts är +138.6 grader C. T 1’s oregelbundna mätning förklaras av samma orsaker som i test A, B och C. Noterbart är att temperaturen för T 1 stabiliseras raskare i detta brandtest jämfört med de två tidigare testen. Övriga termoelement sitter på så pass långt avstånd att de registreras endast måttliga temperaturökningar.

#### I skivinfarten



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Vid brandtestets start är fältort och skivinfarten fylld med en tunn mjölkaktig dimma av rökgaser. Temperatur: + 9.4 grader C. Luftfuktighet: 64%. Ventilationshastighet: mellan 0.6-0.9 m/s.

Vid 12 minuter och 30 sekunder efter att branden startat kan man observera en distinkt rökgasformation som kommer från fältorten på väg mot frånluftsschaktet som ligger i skivinfarten. Rökgaserna påminner om en rökgaskudde och de rör sig i takt med ventilationshastigheten. Efter 13 minuter är den framme vid frånluften och en stor andel av rökgaserna rör sig vidare ut i snedbanan och sprider sig både uppåt i väg 28 och neråt mot nivå 910. Visibilitetsskylten syns relativt bra under testomgången.

## 8.5 Summering av testerna

I alla tester har den intilliggande fältorten och tvärorter hållits rökfria. Brandtesterna har inte utvecklat någon större effekt vilket i sin tur inte har gett en inte alltför stor rökgasproduktion. Under testerna har ett visst övertryck hållit undan rökgaserna från den intilliggande orten så att den inte blivit röksmittad, men skulle det däremot uppstå en dimensionerande brand kommer troligen rökgaserna att sprida sig till denna ort också, på grund av den stora mängd varma gaser som kommer att produceras, som i sin tur motverkar den redan existerande ventilationen.

När vi plockat ihop en del av materialet som vi använt under brandtesterna och kör ut ur fältorten och upp i snedbanan ser vi att röken rört sig cirka 300 meter uppåt. Då har det gått runt en 45 minuter efter att det sista testet är avslutat. Som rapporten visar är det först i test C som röken på allvar går vidare från frånluftsventilationen och ut i väg 28 och vandrar både uppåt och neråt i snedbanan. Att röken tagit sig 300 meter uppåt i sista testet beror sannolikt på att röken från test C har legat kvar och röken från test D ackumuleras med dessa kvarvarande gaser. Hade vi fått ventilerat ut rökgaserna helt från föregående tester hade nog resultatet blivit att röken vandrat en kortare sträcka i snedbanan.

Orsaken till att rökgaserna blir stående i snedbanan efter 300 meter beror, enligt LKAB's personal, på att aktiviteten i gruvans snedbanor, fält och tvärorter är lägre på helgerna, vilket medför mindre strömningar och att ventilationen i hela gruvan inte används i så stor utsträckning. Detta medför att mindre luft är i omlopp och "rör inte upp" och gör att luften cirkulerar.

Om ventilationspersonalen monterar två frånluftsfläktar på varje nivå (i stället för bara en, som det är nu) för att öka kapaciteten i ventilationen så kommer det ökande undertrycket i orterna att försvåra för frånluftsschaktet att ta undan de utventilerade gaserna. Orsaken är att även om den ena frånluftsfläkten är avstängd så suger schaktet ut luft ur orten, då inget spjäll med öppnande och stängande automatik kommer att monteras på fläktarna



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



(spjällen försökte man en gång att montera men en ur personalen höll på att ramla ner i schaktet, varvid man beslöt att inte montera spjäll på de fläktar som inte behövdes.) Undertrycket som bildas gör att utbytet avluft i de nedre regionerna blir mycket lägre än i de övre.

## 9. Kallt röktest II

Då både röktestet och brandtesterna blev genomförda när frånluftsventilationen inte fungerade som det skulle, så bestämdes det att det skulle genomföras ett nytt kallt röktest, med nästan samma förutsättningar som det första kalla röktestet. De enda skillnaderna var att ventiflexduken denna gång inte var nermonterad som i första testet och att vi måste flytta röktestet till den intilliggande orten.

Testet utfördes på nästan samma plats, men vi flyttade ett steg så vi hamnade i tvärort 280, som ligger alldeles intill, på grund av att tvärortsfläktens ventilationsduk inte var uppsatt i ort 277. Att flytta testet ansåg vi inte ha någon avgörande betydelse för utfallet av resultatet. Efter antändandet av rökpatronerna kunde man observera att röken beter sig på samma sätt vid det första försöket, men den enda lilla skillnad att röken inte blandas ut lika fort. Det tar ungefär lika lång tid att rökfylla hela tvärsnittet, hela vägen ut till korsningen tvär-/fältort. Tiden det tar för röken att komma fram till skivinfarten och frånluftsfläkten är identisk med första röktestet, 13 minuter.

Att röktest nummer två uppvisar intill identiska tidsramar och samma rökspridning som röktest ett, kan vara en klar och stark indikation på att det inte spelade så stor roll vilken storleksordning ventilationen är inställd på. Det man måste ha i åtanke är att brandtestet utfördes i en tvärort. Uppstår en brand i direkt anslutning till skivinfarten eller bara ett stycke in i fältorten, kommer sannolikt rökgaserna att spridas i ännu större omfattning, ut i snedbanan. Tvärortens ventiflexduk verkade inte spela någon större roll i ventileringen av rökgaser, om man ser på resultatet av hur fort röken rörde sig ut från tvärorten till frånluftsventilationen.



## 10. Tidigare utförda brandförsök

Hösten 1998 genomfördes ett första, mycket enkelt brandtest på nivå 820. Orsaken var att man ville få en första uppfattning om hur frånluftsventilationen klarade av en brand i en ort. Protokollet återges i sin helhet nedan. Konklusionen av testet är att frånluftsventilationen klarar av att ventilera ut all rök. Tyvärr saknas en exakt beskrivning av hur långt in i orten testet utförs. Det som har kommit fram är att testet har utförts i en ort som har helt andra förutsättningar än de andra orterna som är drivna från nivå 775 till 1045 i det nya brytningsområdet.

Syfte: Att med ett inledande brandförsök få en första uppfattning om frånluftsventilationen klarar av en brand i en ort.

Genomförande: Branden bestod av 20 liter diesel i ett kar på 1,5 m<sup>2</sup>. Diesel användes på grund av dess sotande egenskaper och röktäthet. Brandens storlek var med flit liten vid detta försök (motsvarar inte på långa vägar en ”riktig” brand), detta för att i första hand få en någorlunda uppfattning om brandgasernas, tilluftens och frånluftens väg.

Brandens placering var i en sidoort, med tilluftsrörets ände alldeles i närheten (se skiss).

Resultat: Efter antändning av dieseln, rökfylldes orten först därefter tryckte tilluften i taket rökmassan in mot änden utav gruvgången. Efter att rökmassan nått änden av gruvgången, dök den ner i underkanten av gruvgången - dels på grund av nedkyllning men även på grund av det naturliga stoppet - och gick i motsatt riktning ( dvs. mot frånluftsöppningen) i underkanten. På så sätt rökfylldes gruvgången ända fram till frånluftsöppningen. Branden släcktes.

Efter en stund gick vi igenom gruvgången och fann då dels att röken var mycket tät, sikten obefintlig samt att miljön var bäst alldeles vid slutet av gruvgången. Detta berodde på att tilluften i ovankanten tryckte rökmassan framför sig och på så sätt blev slutet av gruvgången först rökfritt. Sista delen av gruvgången som var rökfylld var den närmast frånluftsöppningen.

Frånluftfläktarnas kapacitet var fullt tillräcklig under hela försöket. Bl.a. såg man att tvärorterna och fältortarna innan frånluftsöppningen var mer eller mindre rökfria.

Rekommendationer: Att vid ett ytterligare brandförsök kontrollera om ventilationen har tillräcklig kapacitet. Brandens storlek skall då vara dubbelt så stor och då ge en mera rättvis bild av vad som sker vid en ”riktig” brand.

Torsten Flygare; Rickard Hansen 981003.



## 11. Diskussion

Parametrarna i både gruvan och ventilationssystemet är många och det är väldigt svårt att dra generella slutsatser i rapporten och ge råd om vad som ska göras för att komma åt ventilationsproblemen. Det som de ventilationsansvariga brottas med är att gruvan är en levande arbetsplats där man ena veckan kan ha uppmätt en form av strömning och tryck för att nästa vecka återvända och finna att värden är helt annorlunda. Orsaken är att nya ortar drivs och gamla stängs. Olika mycket trafik olika dagar och var i gruvan lastning pågår bidrar till att osäkerheten i eventuella nya mätningar blir stor. Bilaga 10 visar en sammanställning över vilket material som användes vid brandtesterna.

### 11.1 Placering av rökfacklor och bränslekar

För att komma fram till var det bästa stället var att genomföra testerna på resonerade testpersonalen på följande sätt:

Lufthastigheten i en fältort är något högre än i en tvärort vilket medför att om en brand skulle starta i en fältort rör sig röken snabbare mot frånluftsventilationen, jämfört med om branden startar i en tvärort. Dess närmare frånluftsventilationen som branden startar desto kortare tid till utrymning för personalen, förutsatt att de som är i orten inte blir uppmärksammas på en eventuell brand i god tid.

I valet av testbrandsplaceringen måste hänsyn tas till var det var/är störst sannolikhet att det börjar brinna och vad som börjar brinna. Utifrån statistiken från Gramko var det enkelt att utläsa att lastmaskinen TORO, som används vid raslastning, toppade listan över de fordon som var/är inblandade vid brand och brandtillbud. Sannolikheten för att det börjar brinna i en tvärort är mycket högre eftersom brytningsarbetet pågår i tvärorten och fältorten i praktiken bara används av lastmaskinerna för att passera till och från nivån. Från de ventilationsansvariga kom rådet att genomföra brandtesterna i en tvärort då det skulle vara lättare att montera ner ventiflexduken och att dessutom undvika den elkabel som hänger i gruvtaget i fältorten. Risken för antändning av elkabeln och/eller ventiflexduken var uppenbar.

Alla faktorer sammantaget gav att tvärorten blev den plats som skulle ge ett bättre slutresultat vad gäller möjligheten att estimerar en utrymningstid från en fältort.

### 11.2 Val av bränsle

Med tanke på vilka fordon som används i brytningen av malmen så var det lätt att räkna ut vad som kunde/kan antändas nere i orterna. Gummi, hydraulolja och aluminium, utgör den eventuella brandbelastning som





gruvorterna och dess ventilationssystem blir utsatt för vid en brand. Den dimensionerande branden för en gruvort bestämdes till bli lastmaskingen TORO 2500E, då den är det fordon som är mest utsatt för brand och brandtillbud.

Då brandtesterna skulle genomföras i fullskala under jord och då ordinarie arbete pågick kunde inte bränsle, som motsvarar den dimensionerande branden, brännas. Då den begränsande faktorn var storleken på den tillåtna branden valdes att se på vilket resultat en brand med påföljande rökgasutveckling som motsvarade två personbilsdäck. Resonemanget gick ut på att om ventilationssystemet klarade av att ventilera ut den största delen av dessa rökgaser från däckerna så kan man i framtiden utföra utvidgade testbränder för att kontrollera var gränsen för ventilationssystemet går. Klarar ventilationen däremot inte av att ventilera ut testbrändernas rökgaser så har LKAB ett problem att lösa.

Efter ett tips [11] om att gummi inte är ett speciellt bra material att handskas med under brandförsök föll valet på diesel, som liknar gummi vad gäller avgivande av stora sotpartiklar vid en brand. Sotpartiklarna bidrar till att återstrålningen från rökgaserna av dieseln kommer att ligga nära de effektvärden som en liknade brand i gummi skulle uppvisa. Diesel avger ej lika mycket antändliga ångor som bensin och är ej heller så lättantändligt som bensin och är därför bättre att använda under jord, ur säkerhetssynpunkt.

### 11.3 Beräkning av effektutveckling och storlek på kar

För att erhålla rätt storlek på bränslekaren som bland annat skulle motsvara två brinnande personbilsdäck, togs en utgångspunkt i en rapport som SINTEF i Norge producerat [10]. Från den rapporten kunde en maximal effektutveckling av ett lastbilsdäck hämtas. Effektutvecklingen räknades sedan om till att motsvara två personbilsdäck och därefter beräknades mantelarean fram.

Då vi ville testa olika storlekar på bränder som motsvarade vad ett fjärdedels, ett halvt, ett helt och två personbilsdäck producerar i effekt, utfördes beräkningar i Excel som gav storleken på motsvarande fyra bränslekar. Idéen med att starta brandtesterna med det minsta bränslekaret för att därefter successivt öka storleken var att finna ut huruvida ventilationssystemet skulle klara av att ventilera ut även den största branden och dess rökgaser. Erfarenhetsbaserad [11] beräkning av ny effektutveckling med utgångspunkt i SINTEF's brandtest på två lastbilsdäck redovisas i bilaga 6. Efter hjälp [18] och [11] räknar rapportförfattaren fram den brand som ger den effekt som två personbilsdäck utvecklar det vill säga 1.434 MW. (se bilaga 11.)





## 11.4 Mätningar

### 11.4.1 Termoelement och temperatur

Baserat på erfarenheter från liknande försök [12] placerades tre termoelement på ett avstånd av 50 centimeter från bergtaket, med fem meters mellanrum och tre av termoelementen sattes rätt under de tre första, på två meters avstånd från bergtaket. De första paret placerades fem meter från brandtestet. Bilagorna 8 och 9 beskriver uppställning av material och termoelementens placering. Innan försöken startade räknades den teoretiskt förväntade maxtemperaturen som det största bränsleket skulle utveckla. Då bergväggarna på nivå 820 tål mindre temperaturhöjningar än på högre nivåer<sup>10</sup> måste testpersonalen försäkra sig om att dem inte utsattes för onödiga risker. Bilaga 7 visar temperaturberäkningarna.

Under brandtest D uppmättes på de närmaste termoelementen, räknat från branden en maxtemperatur på + 130 grader C cirka 13 minuter efter brandtestets början. Ingen direkt förklaring kan ges på differensen mellan de teoretiska beräkningarna och reellt uppmätt värde.

Det som bör läggas på minnet är att termoelement T 4 satt fem meter från bränsleket vilket medför att rökgaserna hinner kylas av innan de når fram till T 4. Bilaga 12 visar en sammanställning av grafer på de tre termoelement som satt närmast brandtestet, T 1, T 4 och T 2.

### 11.4.2 Velocicalc

För att få en uppfattning om temperatur, lufthastighet eller luftfuktighet i skivinfarten förändrades över tid under brandtesterna användes ett instrument som heter Velocicalc. Mätningarna med instrumentet utfördes 15 meter från korsningen skivinfart/fältort, på en höjd av två meter från ortgolvet. I redovisningen av uppmätt lufthastighet i skivinfarten rapporterades en hastighet mellan 0.6 m/s-0.9 m/s. Värdena kunde ha bestämts genom att ta ett genomsnittligt värde på lufthastigheten men otillräcklig kunskap hos testpersonalen i handhavandet av instrumentet gjorde att mätningen utfördes i cirka 30 sekunder på en specifik plats i gruvorten. Konsekvensen av att bara mäta på en "punkt" blir att inget genomsnittsvärde i hastigheten mäts. Variationen i redovisningen av lufthastigheten indikerar på en viss turbulens i luften i orten.

---

<sup>10</sup> Telefonsamtal med Han Pilebro på Skanska teknik, sa att det finns initiala spänningar inbyggt i berget och som dessutom skapas av sprängningarna vid drivningen av orterna. Om bergväggarna ligger på gränsen att lossna så kan värmen från brandtesterna bli en utlösande faktor som gör att skivor från ytan "hoppas" loss, som är ända upp till centimeter stora..



## 11.5 Visualitet

### 11.5.1 Trästavar och skylt

En form av visualitetsbestämning utprovades, på inrådan [13] under brandtesterna. Detta för att försöka få fram ett värde på siktkapaciteten, eftersom sikten är en av parametrarna som kan försvåra utrymning vid en brand. Innan testerna startade inhämtades en del tips [9] och [11] som rekommenderade att mätningar utfördes på siktsträcka och röktäthet. Av tekniska skäl kunde inte röktäthet mätas men väl siktsträckan.

Siktsträcksmätningen begränsades av att ingen röktäthet mättes vilket medförde att mätningarna bara kunde ange i vilken grad stavarna, som användes i försöken, var synbara i förhållande till när vi inte hade rök i orten. Samma resonemang gäller för den visualitetsskylt som stod i skivinfarten, att bara siktsträckan kunde mätas.

Stavarna placerades inne i tvärorten med tre meters mellanrum. Skylten sattes 15 meter från korsningen vid skivinfarten/fältorten, på en träpinne som var två meter lång.

Bilagorna 7 och 8 visar stavarnas uppställning i tvärorten och termoelementens placering i gruvtaget.

Tyvärr blev noteringarna om visualiteten i tvärorten något bristfällig. Detta medför att en konkret sammanställning i till exempel grafisk form är omöjlig. Detsamma gäller för observationerna som utfördes i skivinfarten.

Inför eventuella framtida brandtester bör röktätheten mätas för att få mer konkreta värden på visualiteten.

## 11.6 Ventilationen

### 11.6.1 Till och frånluftsventilationens påverkan på brandtesterna

Boken "Brandskydd i gruv och berganläggningar" [8] skriver:

*"Ventilationen i gruv och berganläggningar är en viktigt del av brandskyddet. Den snabba spridningen av de giftiga brandgaserna utgör oftast den största risken i samband med brand."*

Under alla testtillfällen var kapaciteten på frånluftsfläkten konstant 15 m<sup>3</sup>/s och tilluftsfläkten 20 m<sup>3</sup>/s, och varken hastighet eller volymström varierades. Tvärortsfläktens kapacitet var cirka 4 m<sup>3</sup>/s och hastighet och volymström var konstant under testerna. Då 20 m<sup>3</sup>/s förs in i orterna och frånluftsfläkten ventilerar ut 15 m<sup>3</sup>/s, finns en möjlighet att resultaten av testerna (hur mycket av rökgaserna som tar sig förbi utventileringen) kan vara missvisande.



Det faktum att brandtesterna genomfördes med den nyss nämnda volymströmmen i tillufts och frånluftsventilationen, är ett resultat av att testpersonalen ej riktigt tänkt igenom hur ventilationen skulle påverka spridningen av rökgaserna.

Under det andra kalla röktestet, där både från och tilluftsventilationen ventilerade på full styrka, kom idén om att dra ner kapaciteten på tilluftsventilationen till  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  men behålla frånluftsventilationen på  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ , för att se hur röken från rökfacklorna betedde sig.

När ventilationen dragits ner kunde testpersonalen tydligt se att farten på röken reducerats betydligt men dock ej så pass mycket att frånluftsventilationen klarade av att ventilerade ut röken.

### 11.7 Spridning av rökgaserna

I diskussionerna som fördes innan testerna startade [11], var testpersonalen rörande överens om att när rökgaserna, under testerna, hade transporterats ett antal meter i orten, skulle rökstemperaturen sjunka till den omgivande luftens temperatur. Detta skulle betyda att massa rök som fyller tunneltvärsnittet skulle transporteras fram till frånluftsventilationen. Om det då vore för lågt flöde i schaktet så skulle rökgaserna fortsätta vidare ut till snedbanan, oavsett om det vore 1.4 MW brand eller en brand med högre utvecklade effekt inne i orten.

Det praktiska brandtesterna bekräftade de teorier som redovisas ovan. Brandtest D bildade ett stabilt rökgasmoln. Skiktningen i rökgaserna följde orttaket och löstes upp efter ca 15 meter, där gaserna blev kalla och började fylla ut tvärsnittet i orten. I test A producerades ej så mycket rök att det var möjligt att med säkerhet säga att frånluftsventilationen inte klarade av att ventilerade ut rökgaserna. Det var först i testerna B och C som det kunde bekräftas att ventilationen ej gjorde sitt jobb.

Cirka 45 minuter efter att sista brandtestet var avslutat kunde man observera att röken rört sig cirka 300 meter uppåt i snedbanan. Som rapporten visar är det först i test C som röken på allvar rör sig vidare från frånluftsventilationen och ut till väg 28 och dessutom rör sig vidare både uppåt och nedåt i snedbanan. Orsaken till att rökgaserna blir stående i snedbanan efter 300 meter beror, enligt de ventilationsansvariga, på att aktiviteten i gruvans snedbanor, fält och tvärorter är lägre på helgerna och att gruvventilationen ej används i lika stor utsträckning, vilket medför mindre luftströmningar och att luften cirkulerar i mindre omfattning. Allt detta sammantaget gör att luften transporteras långsammare i gruvan [17].

Då det ej fanns något tekniskt instrument som kunde verifiera de visuella iakttagelser som gjorts av rökgaserna, kan man naturligtvis ifrågasätta



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



säkerheten i de visuella observationerna. Det är av stor vikt att eventuella framtida brandtestförsök innehåller någon form av röktäthetsmätning som kan verifiera de visuella observationerna.

### 11.8 Brand i tvärort

Om en större brand (5 MW och uppåt) inträffar i en tvärort så kommer, som det redan är beskrivet i ”spridning av rökgaser”, röken att fylla hela tvärortsnitts-arealen. Hastigheten på rökgaserna kommer till en början att överstiga den kritiska hastigheten<sup>11</sup> som är beskrivet i [15] och [16], men allt eftersom rökgaserna kyls ner kommer de att få samma hastighet som ventilationsströmningen. På grund av den begränsade volymen i tvär- och fältorterna och om branden är stor, så kan ventileringen av orterna likväl inte bli fullständig, utan då blir från och tilluftsventilationen mer ett hjälpmedel som ventilerar undan en liten del av rökgaserna i orten, men den mesta delen av gaserna kommer att sprida sig till snedbanan. Denna teori stöts av de brandtester som är genomförda.

En sak, som av olika skäl, ej togs med i beräkningarna vid brandtesterna var den raslastschaktning (se bilaga 1). Då dessa schakt är öppna hela vägen från nivå 775 till nivå 1045 ställdes frågan om schakten kunde bidra till rökspridning till över eller underliggande nivåer. Svaret som ventilationsansvarig gav var att det skulle nog inte ske, eftersom brytningspersonalen försöker att hålla schakterna stängda på de nivåer som raslastning inte pågår i.

Rekommendationen blir att man vid eventuella framtida brandtester ser på om raslastnings-schakten utgör någon källa till rökgasspridning.

### 11.9 Brand i fältort

Uppstår en större brand i direkt anslutning till skivinfarten eller bara ett stycke in i fältorten, kommer sannolikt rökgaserna att spridas i mycket större omfattning ut i snedbanan, än om det brinner i en tvärort. En fråga var om det fanns möjlighet att montera ytterligare en ventilationsfläkt i orterna för att öka kapaciteten på utventileringen. Ventilationsansvarigs [17] svar var att om man monterar två frånluftsfläktar på varje nivå, istället för en som det är i dagsläget, så kommer ett undertryck att uppstå i orterna, vilket försvårar för frånluftsschaktet att ta undan de utventilerade gaserna. Orsaken till detta beror på att även om den ena frånluftsfläkten är avstängd så suger schaktet ut luft ur orten, då inget öppnande eller stängande spjäll kommer att monteras på fläktarna (säkerhetsfråga). Ett undertryck bildas i orten som gör att utbytet med avluft i de nedre regionerna (nedre nivåer) blir mycket lägre än i de övre nivåerna, med påföljden att schaktet blir dåligt ventilerat.

---

<sup>11</sup> Den minsta hastighet på luften som behövs för att undertrycka rökgasspridning, mot en longitudinell ventilationsström under en tunnelbrand.



Under brandtesterna har ett visst övertryck hållit undan rökgaserna från den intilliggande orten så den inte har blivit röksmittad, men skulle däremot en dimensionerande brand uppstå så sprider sig troligen gaserna in till denna ort också.

### 11.10 Kallt röktest II

Under det andra kalla röktestet (med rökfacklor) såg man efter om tiden för röken att röra sig från tvärorten till skivinfarten och frånluftsventilationen skulle förändras, jämfört med det första kalla röktestet, då också ventiflexduken var nedmonterad. I röktest två var duken uppmonterad.

Tiden det tog för röken att komma ut till frånluften, blir den samma som i det första kalla röktestet och brandtesterna. Ventiflexdukens närvaro såg ej heller ut att ge någon effekt på rökens hastighet. Orsaken till att inga differenser i tider uppmäts beror troligtvis på att brandtesternas rökgaser fort kyls ner och beter sig som kalla rökgaser.

### 11.11 Möjligheten till utrymning

En av frågorna som brandtesterna skulle försöka ge svar på var vilken tid som de anställda har till förfogande att utrymma från en ort vid en eventuell brand. Räcker det att bränna relativt små testbränder för att få fram en rättvis bild av utrymningstid? Svaret på frågan är i stort sett ja. Alla testbränder som genomfördes förutsatte en momentan antändning av hela däckets area, och inte den karakteristiska långsamma, tilltagande branden som normalt uppstår i fast material. Den rökgas som produceras blir alltså i normala fall mindre tilltagande jämfört med den mängd som producerades under kort tid i brandtesterna.

Observationerna i brandtesterna visar att estimerad utrymningstid för personal som befinner sig inne i en tvärort den nya delen av brytningsdelen i gruvan är mellan 12-13 minuter. Om det däremot börjar brinna i en fältort blir den estimerade utrymningstiden kortare.

Den teoretiska beräkningen för utrymningstiden stämmer väl överens med den tid som uppmättes vid de praktiska försöken. Beräkningen som användes var den enkla ekvationen:

$$\text{Sträcka} = \text{Fart} \times \text{Tid}.$$

Beräkningen delas upp i fält och tvärort, då olika hastigheter i ventilationen finns med.

Skivinfartslängd, cirka 30 meter. Fältordslängd, cirka 200 meter. Detta ger:

$$230 = 0.4 \text{ m/s} \times \text{tid}. \text{ Svaret i tid blir } 575 \text{ sekunder}.$$

Tvärortslängd = ca 50 meter och ventilationshastighet 0.2 m/s.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



50 meter = 0.2 m/s x tid. Svaret i tid bli 250 sekunder

Sammanlagd tid = 825 sekunder / 60 = 13.75 minuter, vilket stämmer väl överens med de praktiska försöken.

### 11.12 Fortsatta studier

Ett brandtest som utfördes hösten 1998 i Kirunagruvan, visade ett positivt ventilationsresultat i orten. För de som antagit att frånluftsventilationen även skulle ventilerar ut rökgaserna från de nya brandtesterna blev det en överraskning när så ej skedde.

Exempel på fortsatta studier som LKAB bör satsa på och frågor som bör besvaras ges nedan.

LKAB bör sätta kriterier för vilka risker man accepterar under jord. Dessa riskkriterier bildar sedan underlag för vilka områden man ska satsa på för att öka säkerheten under jord. För att finna dessa kriterier kan man ställa sig viktiga frågor om det till exempel **får** brinna under jord, om man accepterar dödsfall och vad är kritisk tid till utrymning.

Vidare bör LKAB satsa på utökade brandtester på utvalda, strategiska platser i den nya brytningsdelen och utökade ventilationsberäkningar. Dels för att verifiera brandtesterna som nu är utförda men också för att testa hur ventilationen fungerar vid större bränder på andra nivåer. Ett ventilationsprogram som är utvecklat av U.S Bureau i USA, MFIRE<sup>12</sup> kan användas för att jämföra praktiska tester mot teoretiska ventilationsberäkningar. I kommande tester bör man se på vilket resultat balanserad ventilation ger i jämförelse med helt avstängd tilluft och full kapacitet på frånluftsfläkten, samtidigt. LKAB bör finna lösningar som hindrar rökgaserna att sprida sig från det block och brytningsnivå som är brandsmittat

Vidare bör fortsatta studier med större bränslekar, utökade ventilationsberäkningar och riskanalyser av ventilationssystemet genomföras.

Parametrarna i både gruvan och ventilationssystemet är många och det är svårt att dra generella och säkra slutsatser i rapporten samt ge råd och förslag om vad som ska göras för att komma åt problemet med spridningen av rökgaserna. GRAMKO skriver i sin informationsskrift om hur ventilationsplaner bör upprättas och hur sektioneringar kan användas för att just förhindra rökspridning under jord. Dessa råd och instruktioner bör LKAB följa för att uppnå en säkrare arbetsmiljö under jord för de anställda.

<sup>12</sup> Mine Fire and ventilation simulator, manual version 2.0 august 1995. Utvecklad av U.S Bureau of Mines Twin Cities Research Center Minneapolis, MNV. <http://www.cdc.gov/niosh/mining/>



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Rökgaserna blir relativt fort avkyld mot tunnelns tak och väggar och hela tunneltvärsnittet fylls med rökgas ett stycke från branden. Hur rökgasen sprider sig kommer an på storleken på branden, ventilationens fart och var det brinner i gruvan. Jämfört med brand i tunnel så kan också brand i gruvan medföra mycket höga brandgastemperaturer.

Ventilationssystemets och gruvortens utformning gör att det lämpar sig inte att använda den inbyggda ventilationen till att försöka skapa övertryck för att förhindra att rökgaserna sprider sig till snedbanan/-orna





HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



## 12. Konklusion

Observationerna i brandtesterna visar att estimerad utrymningstid för personal som befinner sig i den nya brytningsdelen, inne i en tvärort, är mellan 12-13 minuter.

På grundlag av slutsats från ovannämnda fullskaleförsök har brandtesterna visat att ventilationssystemet i den nya brytningsdelen i Kiruna järnmalmgruva inte klarar av att ventilera ut rökgaser från de dieselbränder som användes i brandtesterna.

Resultatet från brandtesterna kan användas till att framställa en jämförande zonmodell, företrädesvis i CFD<sup>13</sup> modellering

LKAB bör sätta kriterier för vilka risker man accepterar under jord.

LKAB bör finna lösningar som hindrar att rökgaserna sprider sig från det block och brytningsnivå som är brandsmittat.

Vidare bör LKAB satsa på utökade brandtester med större bränslekar, på utvalda strategiska platser i den nya brytningsdelen och utökade ventilationsberäkningar bör genomföras för att verifiera de resultat som framkommit under brandtesterna.

---

<sup>13</sup> Computational Fluid Dynamics



### 13. Litteraturlista med referenser

- [1] *Årsrapporter 1999 och 2000* från GRAMKO:s Brandskyddskommitté
- [2] *Rapport fra försök gjennomført i Byfjordtunnelen, Rennfastsambandet HSH, avdeling for sikkerhetsopplaering. Utgitt august 1998.*  
<http://www.brannmannen.no/Tunnel.htm>
- [3] *Brand och brandskydd i undermarksanläggningar.* Ingason, Bengtson, Hiort. Litteraturstudie, Brandforsk projekt 401-971
- [4] *LKAB:s historia* hämtat från <http://www.lkab.se>
- [5] Avsnittet om *gruvfakta* hämtat från informationsbroschyren ”KIJ 2000”
- [6] Avsnittet om *ventilationsfakta* är till stor del inhämtat från Lennart Mukka, ventilationsexpert inom LKAB.
- [7] AFS 1993:5 Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling. *Ventilation och luftkvalitet*
- [8] ”Brandskydd i gruv och berganläggningar”, Svenska gruvföreningens brandskyddskommitté
- [9] E-post växling med Håkan Frantzich Brandteknik, LTH mars månad
- [10] “Fire in Tyres, Heat release rate and respons of vehicles” Rapportnr STF25 A95039, Sintef NBL, April 1995
- [11] Personlig och skriftlig kommunikation med Haukur Ingason, SP-Brandteknik, Borås, januari- mars 2001
- [12] Forskningsingenjör Stefan Svensson, SRV Revinge.
- [13] Personliga samtal under februari-mars med Vidar Frette, intern vägledare Høgskolan Stord/Haugesund, Norge
- [14] “An introduction to Fire Dynamics”, second edition, Dougal Drysdale 1999
- [15] “Control of smoke flow in tunnel fires using longitudinal ventilation system- a study of the critical velocity”, Y.Wu, M.Z.A Bakar, Fire Safety Journal 35, 2000.
- [16] Smoke control in sloping tunnels. G.T Atkinson & Y. Wu. Fire Fire Safety Journal 27, 1996.
- [17] Personliga samtal med Lars Adermalm, LKAB under april.
- [18] Alf Reidar Nilsen, Høgskolen Stord Haugesund, Norge, mars 2000.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

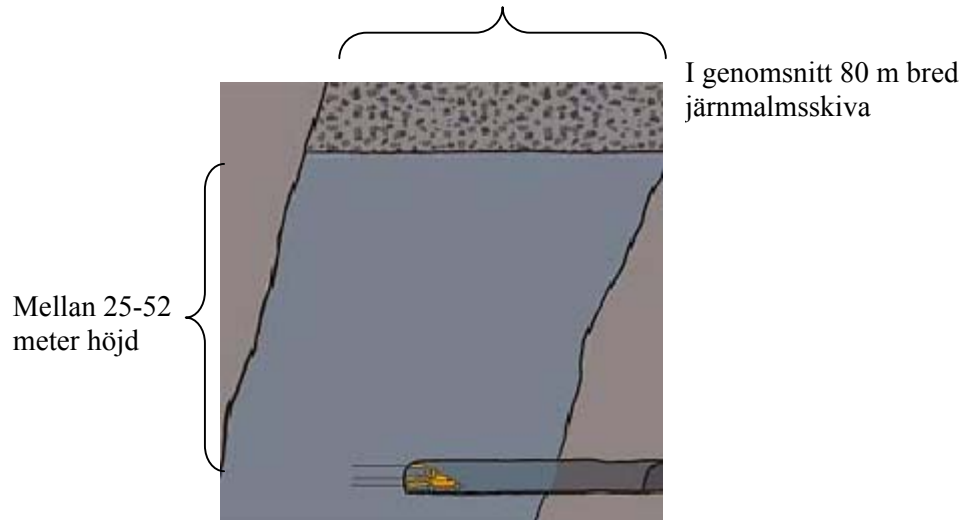


## 14. Bilagor

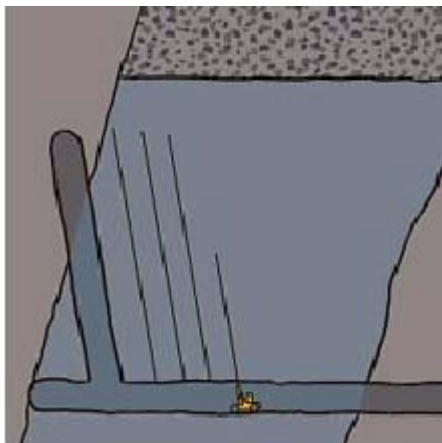


## Bilaga 1

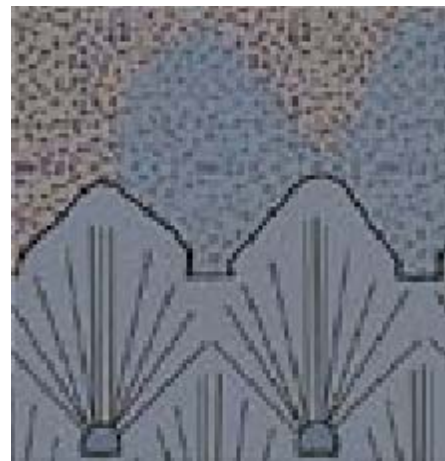
Exempel på storskalig skivrasbrytning i Kiruna järnmalmsgruva



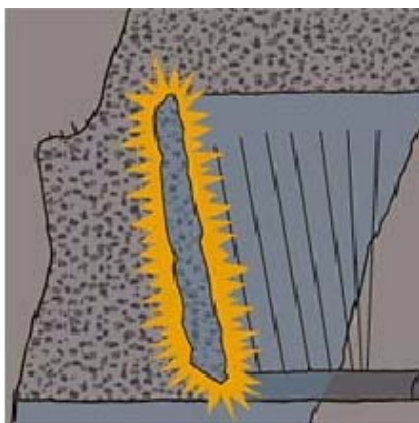
Tillredning (här bildas tväror) (Preparation (cross-sections are formed here))



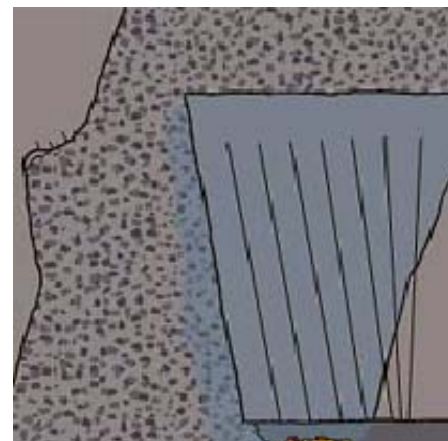
Rasborring



Rasborring



Laddning, sprängning

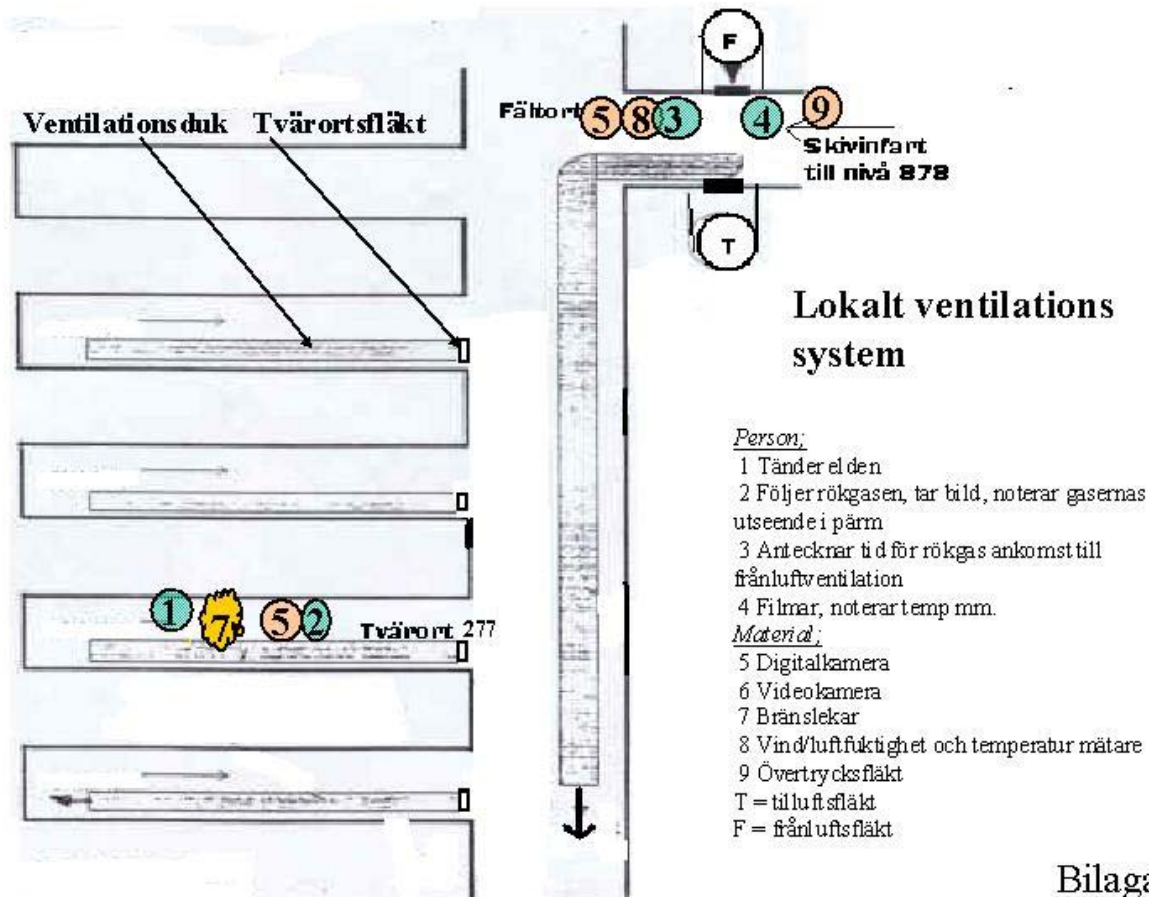


Raslastning



## Bilaga 2

Placering av mätinstrument, deltagare och övrigt material under brandtesterna.

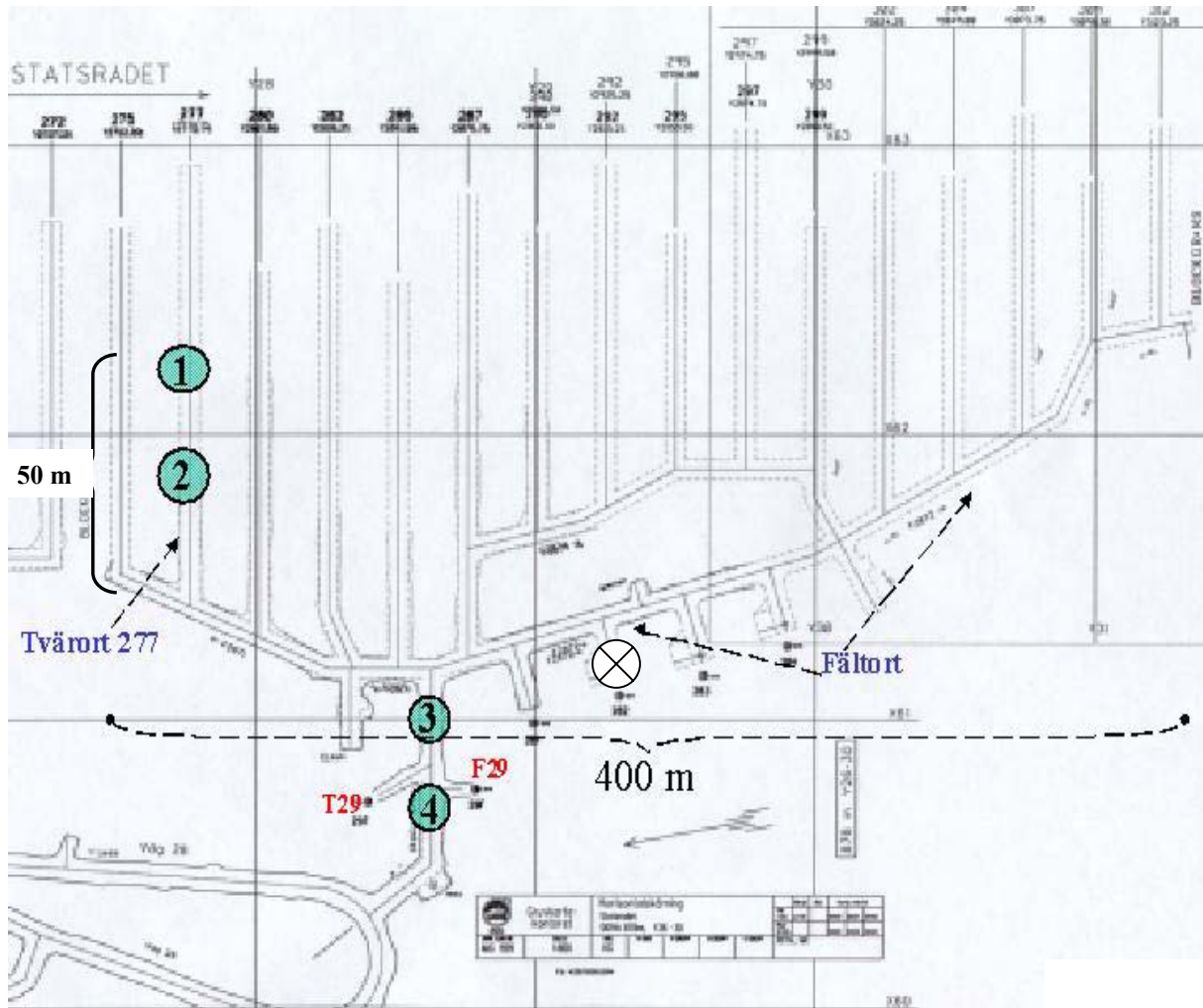


Bilaga 2



### Bilaga 3

Placering av testpersonerna 1-4 i fält och tvärort, under brandtesterna i gruvan. Nr 1 stod inne vid testbranden tillsammans med nr 2. Nr 3 och 4 stod i skivinfarten. Ett av de fem rasschakten är markerade med en cirkel med ett kryss.

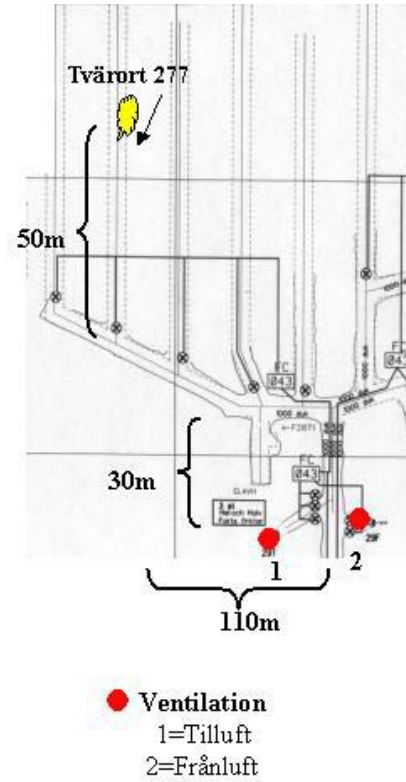
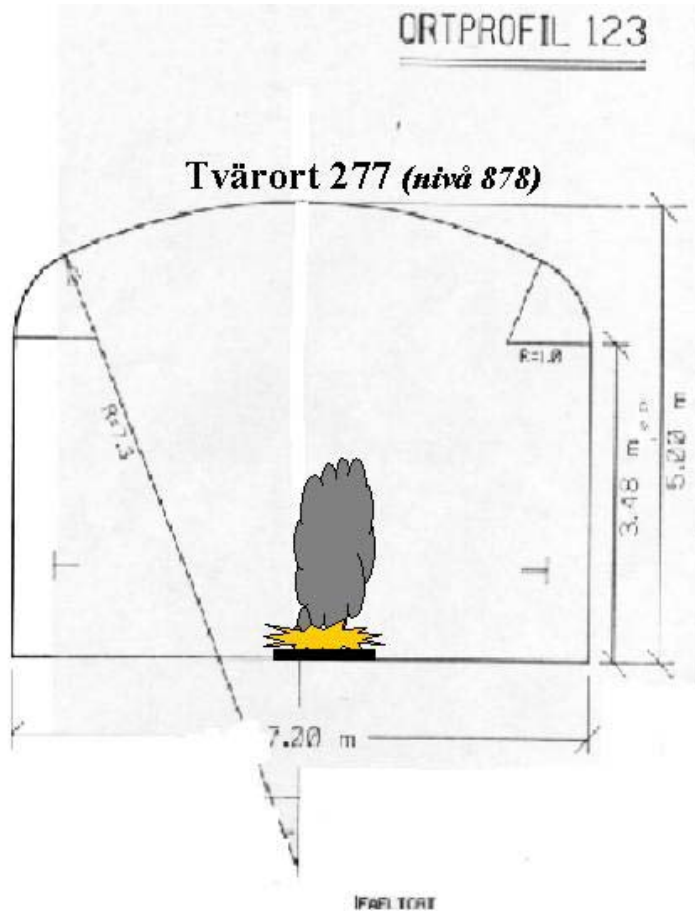






## Bilaga 4

Bilden visar placeringen av brandtesterna i tvärorten, samt ventilationens in och utfläktar.



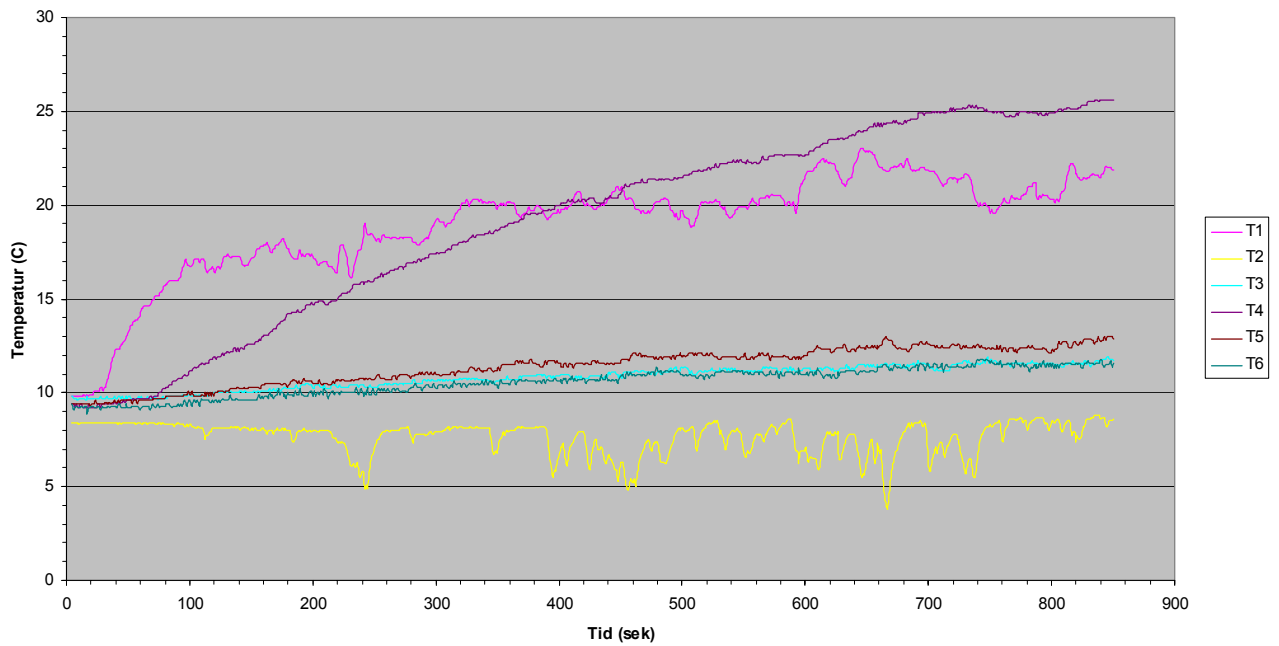




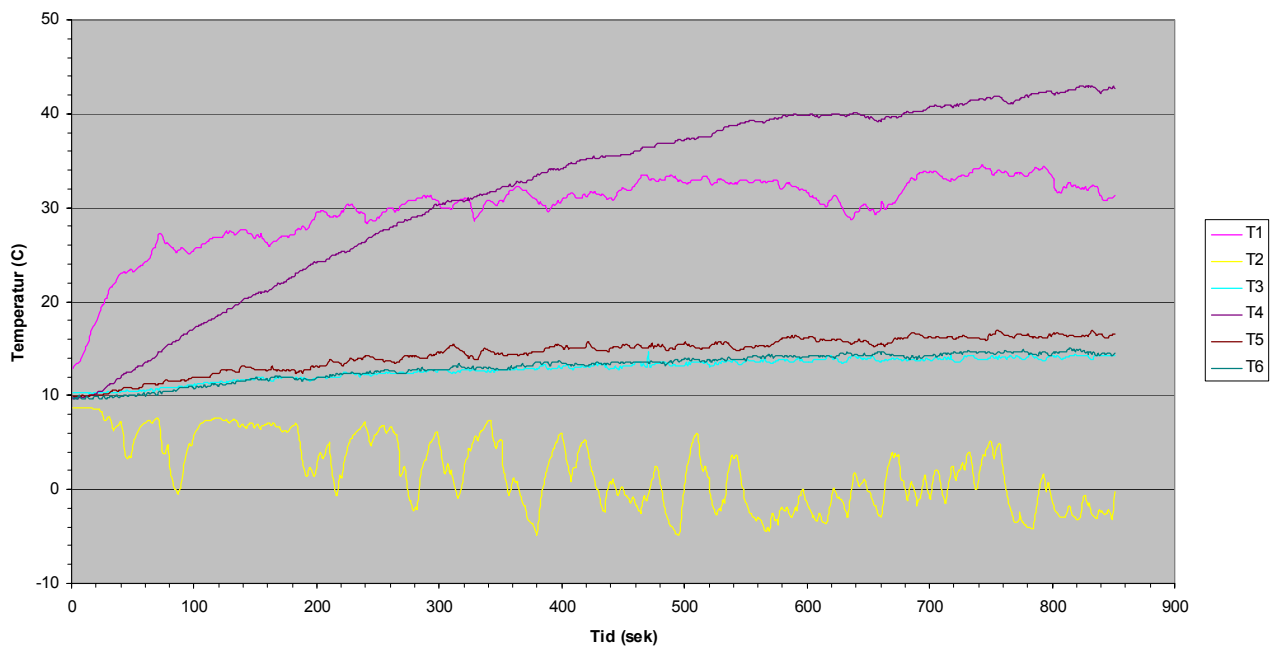
## Bilaga 5

### Temperaturutveckling över tid i brandtesterna A-D.

Brandtest A



Brandtest B

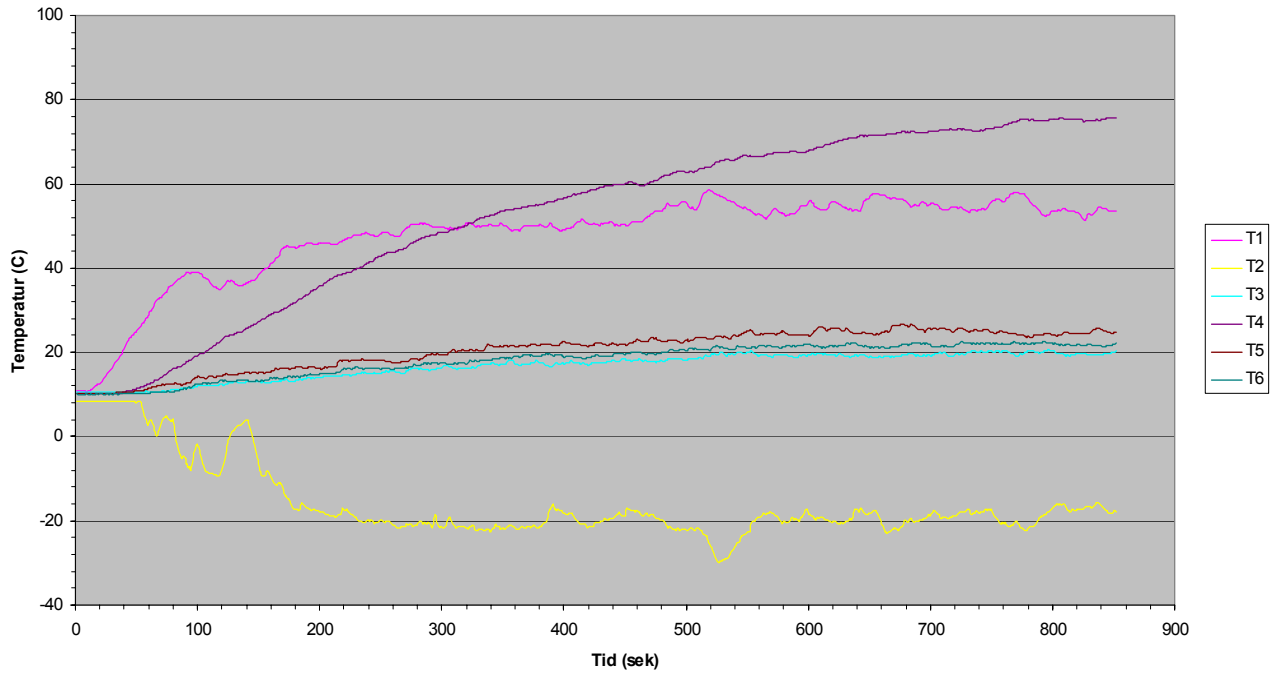




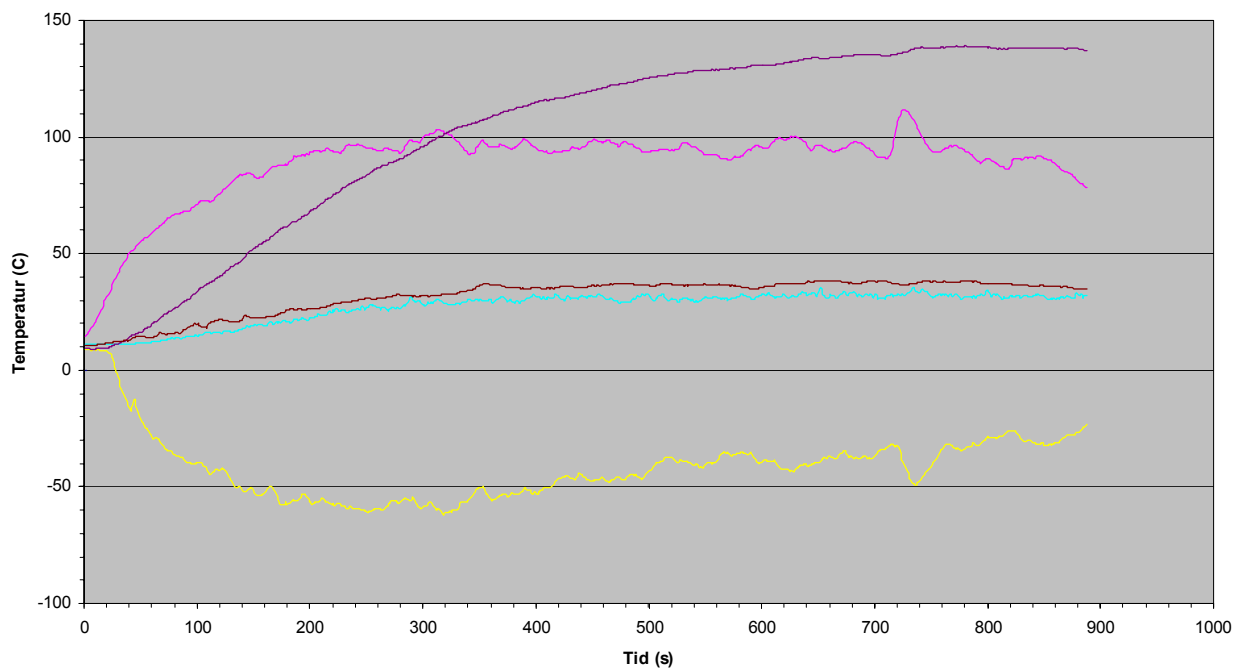
HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



### Brandtest C



### Brandtest D





## Bilaga 6

Beräkning av mantelarea.

### Lastmaskinsdäck Toro 2500E

Yttre Ö 2500 mm, inre Ö 970 mm, bredd 1200 mm. Då mantelarean ska räknas ut sätter man i faktor 2, för två ytor. Detta ger; (y)  $2 * \pi * r^2$  - (i)  $2 * \pi * r^2 = 2 * \pi * 1.25^2 - 2 * \pi * 0.485^2 = 8.340 \text{ m}^2$

$$\pi * \text{Ö} * \text{bredd} = \pi * 0.250 * 1.2 = 0.942 \text{ m}^2$$

$$8.340 + 0.942 = 9.282 \text{ m}^2$$

### Lastbilsdäck

Utför beräkning på mantelarea.

Yttre Ö 1200 mm, inre Ö 610 mm, bredd 250 mm. Då mantelarean ska räknas ut sätter man i faktor 2, för två ytor. Detta ger; (y)  $2 * \pi * r^2$  - (i)  $2 * \pi * r^2 = 2 * \pi * 0.600^2 - 2 * \pi * 0.305^2 = 1.677 \text{ m}^2$   $\pi * \text{Ö} * \text{bredd} = \pi * 1.2 * 0.250 = 0.942 \text{ m}^2$

$$0.838 + 0.942 = 2.620 \text{ m}^2$$

### Personbilsdäck

Utför beräkning på mantelarea.

Yttre Ö 650 mm, inre Ö 370 mm, bredd 180 mm. Då mantelarean ska räknas ut sätter man i faktor 2, för två ytor. Detta ger; (y)  $2 * \pi * r^2$  - (i)  $2 * \pi * r^2 = 2 * \pi * 0.325^2 - 2 * \pi * 0.185^2 = 0.449 \text{ m}^2$

$$\pi * \text{Ö} * \text{bredd} = \pi * 0.180 * 0.650 = 0.367 \text{ m}^2$$

$$0.449 + 0.367 = 0.816 \text{ m}^2$$

### 2.2.1 Energiproduktion

Den totala energien (  $Q_c$  ) en vätskebrand producerar kan beräknas och är avhängig av förångningsrat. En formel som beräknar den totala energiproduktionen i en vätskebrand, som är hämtad från Firedynamics, Drysdale /1/



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



## Bilaga 7

Beräkningar av temperaturen i rökgaslagret på nivå 820.

Ekvationen bygger på brand under ett platt tak där takstrålen sprids radiellt längs taket men i detta fall är det en korridor/tunnel. Efter rådslag [11] antas att detta inte innebär någon större inverkan på resultatet.

$$T_{\max} - T = 5.38(Qc/r)^{2/3} / H \quad r > 0.18 H \quad [14]$$

Där  $Q = 1.435$ ,  $H = 4.5$ ,  $r = 0$ ,  $T_{\max} = +155$  grader C.

Beräkningar utfördes också på förväntad temperatur fem meter från bränslekaret och på 4.5 meters höjd från ortgolvet:

$$T_{\max} - T = 16.9(Qc)^{2/3} / H^{5/3} \quad r < 0.18H \quad [14]$$

Där  $Q = 1.435$  MW,  $H = 4.5$  m,  $r = 5$  m

$T_{\max}$  i testbrand D beräknades till + 60 grader C.



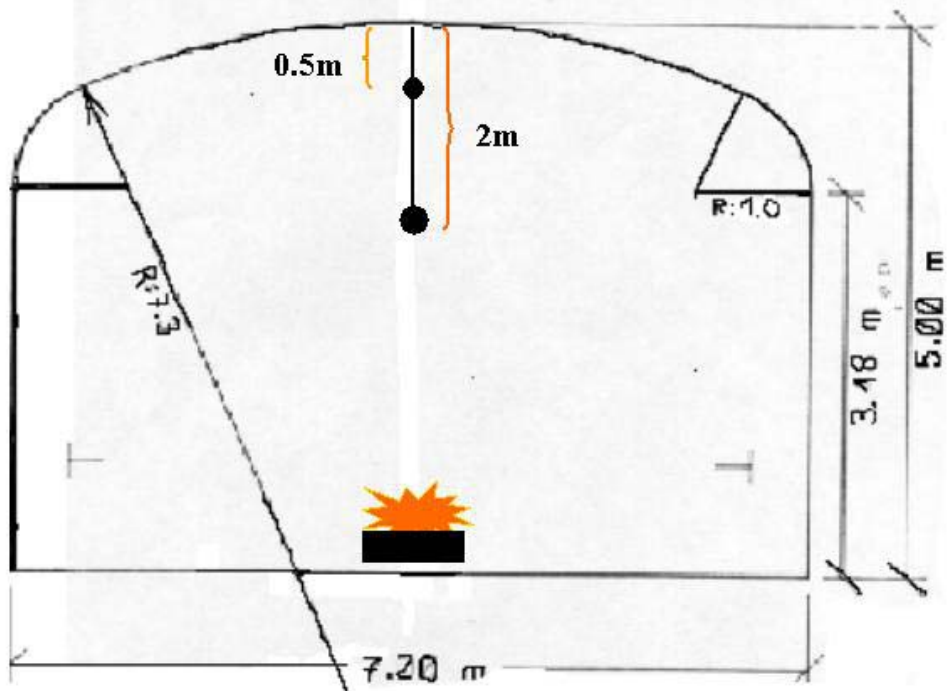
HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Bilaga 8



ORTPROFIL 123

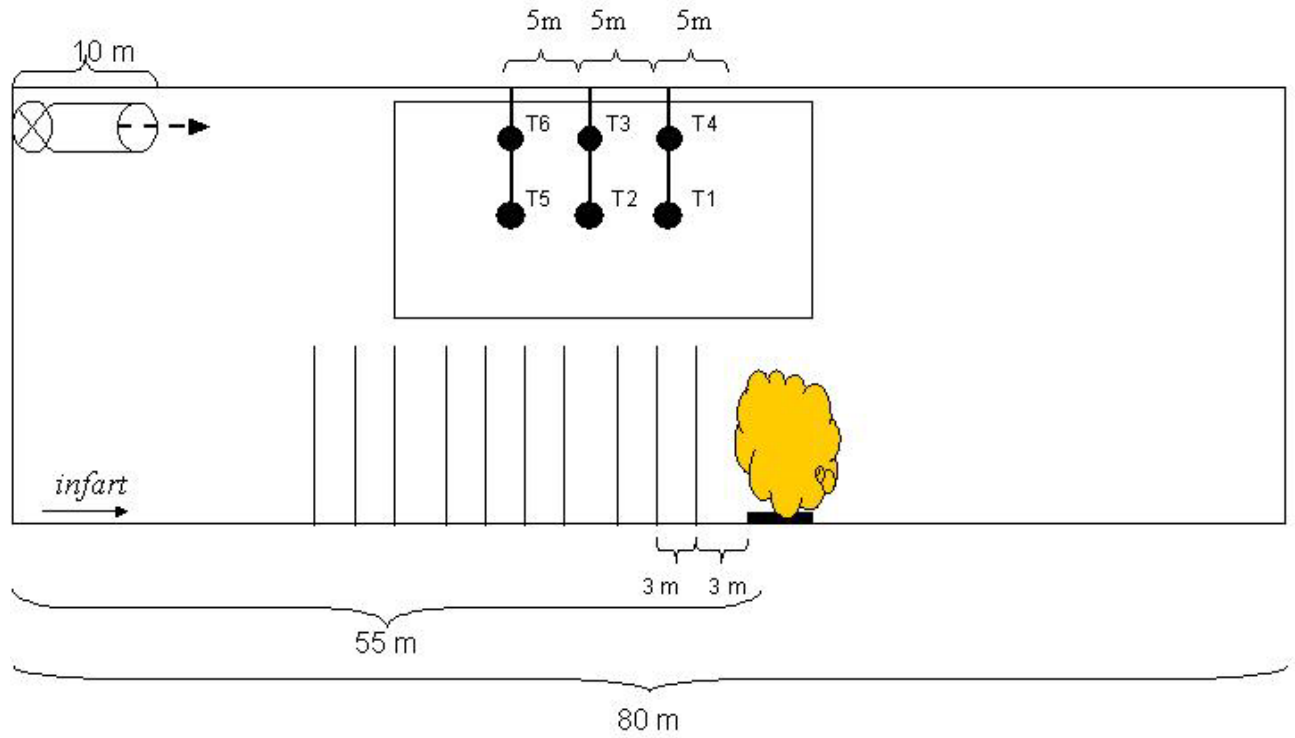
Termoelementens placering i tvärortens gruvtak





## Bilaga 9

Termoelementens placering i orttaket.





HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



## Bilaga 10

Material som användes under brandtesterna:

**Testo 454** datalogger has integrated memory. Up to 10 parameters can be saved on location. The Testo 454 automatically recognises the probes. Software is available for data analysis on a PC. Lånat från Statens Räddningsverk.



**Testo 454**





HÖGSKOLEN STORD/HAUGESUND



**Kabeltyp:  
Konstruktion**

**G/G-24**  
Parallellagda ledare. Glasfiber runt  
varje ledare. Gemensamt ytterhölje  
av glasfiber.

**Max temperatur, förläggning:  
Min temperatur, flexibilitet:  
Tråddiameter:  
Hölje, nom. :  
Vikt, nominellt :**

**510°C**  
**Ø 0,51 mm AWG 24**  
**1,0 x 1,7 mm**  
**6,2 kg/km**

**Konstruktionskod 19**

**Artiklar:**

Artikelnr	Benämning	Färgkod
04-10220	G/G-24-J	ANSI
04-20220	G/G-24-K	ANSI
04-10225	G/G-24-KK	ANSI
04-30220	G/G-24-T	ANSI

Termoelement: Trådgivare av glasfiberisolerad Typ K med svetsad mät punkt och fria ledare. Levererad av Pentronic AB, Gunnebo, Sverige. Från fem till trettio meters längd.



Fyra bränslekar. (1) 0.4 m\* 0.4 m \* 0.15 m (höjd), (2) 0.5 m\* 0.5 m \* 0.15 m, (3) 0.5 m\* 1.0 m \* 0.15 m, (4) 1.0 m\* 1.0 m \* 0.15 m

Vita tråpinnar ( med en längd av 2 meter, och ett streck som, nerifrån räknat, visar 1.6 m markering. Lufthastighets/temperatur/ luftfuktighets mätare i ett. Velocicalc Plus, modell 8386, lånad från LKAB.

Digital videokamera Samsung, VP D65 pal, digital kamera Olympus C960

Räddningstjänstens övertrycksfläkt från bil 501. SweFan 24", 34 m<sup>3</sup>/s.

Strålkastare, inne i tvärorten. En på gruvgolvet, och två uppriggade. Alla i direkt anslutning till bränslekaret.

1 Tidtagarur, 2 digitala klockor för tidsmätning.

Gruvradiokommunikation

Material att notera testresultaten på och med. Dieselblandning (150m<sup>3</sup>)

9 Pulversläckare

Andningsskydd och extra luftpaket + rökdykarradio, tre stycken.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



## Bilaga 11

Beräkning av diameter på bränslekar

Uträkning av diameter med  $\dot{Q}$  som grundlag

$m'' = m''(1 - e^{-kD})$  kg/m<sup>2</sup>s, där  $k = 3.5$ ,  $m'' = 0.05$ , ( $D$  antar olika värden mellan  $0.6\text{ m} - 1.5\text{ m}$ ). Fann då ut att diametern  $1.015$  gav ett bra värde att använda i effektberäkningen.

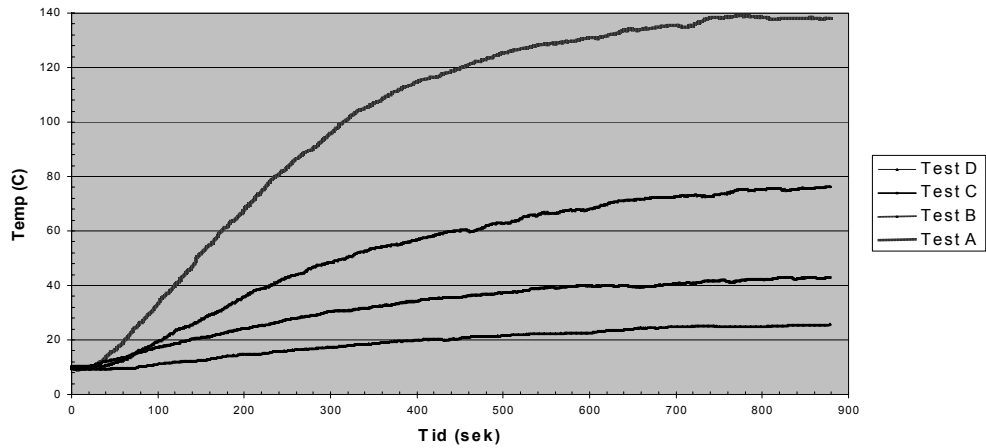
Sätter in det funna värdet för  $m''$  i ekvationen  $\dot{Q} = m \cdot \Delta H_c \cdot A_f \cdot \chi$ ; där  $A_f = (\pi \cdot d^2) / 4$ , ( $d = 1.015$ ),  $m'' = 0.04856735411$ ,  $\Delta H_c = 45.6\text{ MJ/kg}$ ,  $\chi = 0.8$ . Detta ger den effekt som två personbilsdäck utvecklar det vill säga  $1.434\text{ MW}$ .



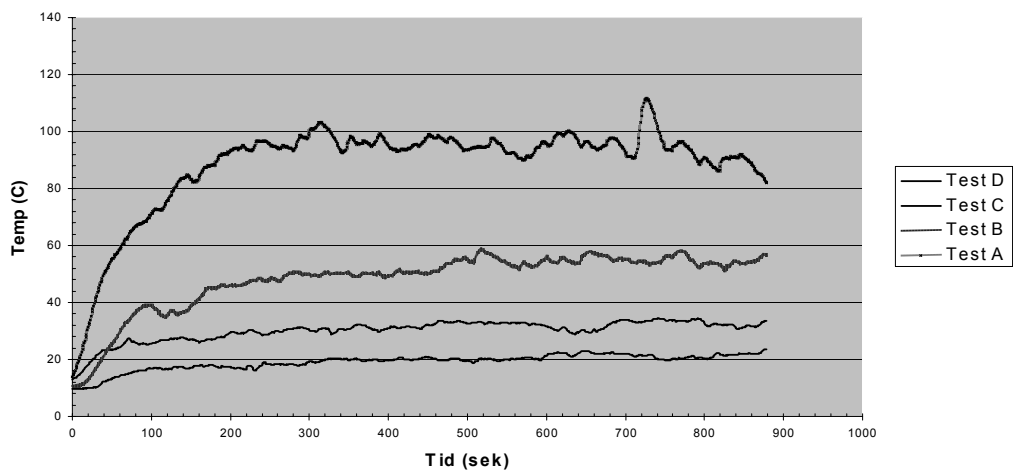
## Bilaga 12

Jämförande diagram mellan termoelement T4, T1 och T2.

Test A-D Termoelement T 4



Test A-D Termoelement T 1



Brandtest A-D Termoelement T 2

