

# Rekommendationer och strategier för personsäkerhet i stengruvor under jord

---

Kajsa Lotta Kärnebro |  
Brandingenjörsprogrammet | LTH | LUNDS  
UNIVERSITET





# **Rekommendationer och strategier för personsäkerhet i stengruvor under jord**

**Kajsa Lotta Kärnebro**

**Lund 2021**

**Titel:** Rekommendationer och strategier för personsäkerhet i stengruvor under jord  
**Title:** Recommendations and strategies used for evacuation in underground hard rock mines

**Författare/Author:** Kajsa Lotta Kärnebro

**Report 5644**  
**ISRN: LUTVDG/TVBB--5644--SE**

Antal sidor/Number of pages: 77

Illustrationer/Illustrations: Alla bilder och figurer i rapporten, där ingen annan källa finns angiven, tillhör författaren/ All pictures and figures belong to the author if no other reference is stated.

Sökord/Keywords

Självräddning gruvor, personsäkerhet gruvor, bränder i stengruvor

Abstract

The aim of this study is to analyze and evaluate some of the Swedish recommendations, strategies and tools used for personal safety in underground hard rock mines. The study was conducted using four different research methods divided into three parts based on each other. The first part consisted of a literature study reviewing previous research, laws and recommendations. The second part consisted of a discussion with experienced people working with mine fire safety or mine rescue service. In the third part results from both part one and two was analysed using evacuation calculations and an evacuation exercise. Part one, the literature survey, showed that regulations and recommendations are generic and that the best security is achieved through risk assessment for each part of the mine. During part two, group discussions, a lack of technical aids adapted to the mining environment was highlighted. In part three the calculations showed that escape hoods are effective tools for self-rescue. The evacuation exercise on the other hand showed that not all people tend to bring the escape hood when evacuating. The study resulted in proposed actions to increase personal safety in hard rock mines. The proposals for action should be further examined to determine their effectiveness.

© Copyright: Division of Fire Safety Engineering, Faculty of Engineering, Lund University, Lund 2021  
Avdelningen för Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2021.

---

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

[www.brand.lth.se](http://www.brand.lth.se)  
Telefon: 046 - 222 73 60

Division of Fire Safety Engineering  
Faculty of Engineering  
Lund University  
P.O. Box 118  
SE-221 00 Lund  
Sweden

[www.brand.lth.se](http://www.brand.lth.se)  
Telephone: +46 46 222 73 60



## Förord

Jag vill tacka de personer som bidragit med information och kunskap under examensarbetets gång och speciellt tack till Håkan Frantzich som handlett mig genom hela processen.

Kajsa Lotta Kärnebro

## Sammanfattning

Vid bränder i stengruvor under jord utgör brandgaser en stor personfara. Brandgaserna kyls ner mot de kalla stenväggarna och täcker ofta hela tunnelns tvärsnitt, även om viss skiktning kan förekomma, speciellt i marknivå. Brandgaserna kan spridas snabbt i tunnarna och trycks ut mot gruvans in-/utfart. I gruvor med endast en angreppsväg, som LKAB Konsuln, försämras omständigheterna ytterligare då hela nerfarten kan blockeras av rök. Det kan innebära en inträngningsväg på flera hundra meter. Långa inträngningsvägar och en homogen röktemperatur påverkar en rad olika faktorer vid utrymning såsom; kommunikation, navigering, toxisk påfrestning och fysisk påfrestning.

Syftet med rapporten är att analysera och utvärdera nuvarande rekommendationer och verktyg som används för att öka personsäkerheten i underjordsgruvor.

Analysen genomförs genom triangulering där litteraturundersökning, intervjuer, beräkningar, utrymningsövning och enkätundersökning utgör olika utvärderingsmetoder, vilka sedan vägs samman för att bekräfta observationer och slutsatser. Analysen delas in i tre delar. I Del 1 sammanställs tidigare undersökningar, lagar och rekommendationer i en litteraturundersökning. I Del 2 utvärderas det befintliga brandskyddet genom en gruppdiskussion med personer som arbetar med brand i gruvor. I Del 3, den sista delen, analyseras delar av de verktyg och rekommendationer som framkommit genom beräkningar och tester.

I litteraturundersökningen framkom att regelverk och rekommendationer endast är övergripande och att bäst säkerhet nås genom riskutredningar för varje enskild plats där personer ska vistas.

Gruppdiskussionen belyste en brist på tekniska hjälpmedel anpassade för gruvmiljö. Den utrustning som finns tillgänglig och som fungerar i underjordsanläggningar är relativt begränsad. En räddningsinsats i en miljö som liknar den vid LKAB Konsuln kan vara svår att genomföra med de hjälpmedel som finns tillgängliga idag, vilket ökar egenansvaret för personal och besökare under jord samt ställer krav på självräddning.

Beräkningsresultat visade att användning av flykthuva och kortare förberedelsestid ökar utrymnings säkerheten. Förberedelsestiden påverkar också vilken ventilationshastighet som är mest gynnsam för utrymning. Beräkningar visade också att placering av räddningskammare bör bero på tunnelns utformning och vilken brandbelastning som finns i den. Beräkningsmodellen förutsätter, bland annat, att personer under utrymning har goda kunskaper om vart de ska utrymma och hur självräddning ska utföras.

Utbildningsnivån hos personalen i LKAB Konsuln i Kiruna undersöktes genom en utrymningsövning och enkätundersökning. Svaren på enkätundersökningen och agerande vid utrymningsövningen skiljde sig åt i specifika frågor, men visade båda att de flesta hade god lokalkännedom och visste om vilka rutiner som gäller vid självräddning. Under utrymningsövningen medtogs dock inte flykthuva av alla personer. Av de som medverkade ansågs övningstillfällen viktigt för inläring.

Sammanställningen av de tre delarna resulterade i ett antal förbättringsförslag som författaren anser hade kunnat öka personsäkerheten under jord. Handlingsförslagen berörde självräddning och evakuering under jord, dessa presenteras nedan.

Handlingsförslag för att öka personsäkerheten vid utrymning under jord vid självräddning är;

- Regelbundna utbildningar som berör hur personer ska agera vid brand under jord. I utbildningen bör ingå hur flykthuva används, hur räddningskammare fungerar, placering av räddningskammare, hur räddningskammare lokaliseras vid brand, kommunikation och släckkunskap. Personal bör också utbildas i hur de ska agera för att minska sannolikheten för att brand ska inträffa.
- Regelbundna övningstillfällen för att testa SBA och personalens kunskap om utrymning.

- Rutiner för lokalisering av närmaste säkra plats. Innan arbete under jord påbörjas kan närmaste säkra plats lokaliseras. För att självräddning ska fungera krävs att personal under jord vet var de ska gå vid händelse av brand.
- Flykthuva bör ingå i personlig räddningsutrustning och bör vara lätta att transportera från fordon i de fall där fordonet inte befinner sig i gruvpersonalens direkta närhet vid arbete under jord. Finns det risk för att brand inträffar i fordonet eller att flykthuvan på annat sätt inte är åtkomlig bör utplacerade flykthuvor finnas i närheten av arbetsplatsen.
- Det bör föreskrivas att släckförsök inte utförs utan flykthuva.
- Utrymningslarm för närliggande områden kan sammankopplas för att varna alla i närheten av branden och påbörja utrymning innan personalen överrumplas av röken.
- Utrymningstiden och inverkan av toxiska gaser ökar vid större bränder. Vid placering av räddningskammare finns det därför orsak att ta hänsyn till de fordon och maskiner som finns i området.
- Kontinuerlig utvärdering av brandskyddet i samband med förändringsarbete.

Handlingsförslag för att underlätta evakuering av personer vid händelse av brand under jord är;

- Flera övningsfall kan hållas där larmkedja, kommunikation till anställda under jord, och insatspersonal testas. Vid tester bör specifika områden med försämrade kommunikationsmöjligheter identifieras och undersökas. För personal som arbetar långt ifrån varandra, eller vid långa insatser och där avståndet är för stort för direkt radiokommunikation kan möjligheten att använda repeatermode undersökas.
- Områden där det inte är möjligt att genomföra en säker insats bör identifieras och utvärderas. Speciellt områden med hög brandbelastning där det finns risk för att branden kan fortgå under längre perioder.
- Möjligheten till rökdykning med fordon kan undersökas för att minska långa inträngningsvägar.
- Brandgassektionering för att förkorta inträngningsvägar.

Handlingsförslagen i avsnittet beskriver författarens egna åsikter och utgör inga egentliga krav. Även enskilda åtgärder bland förslagen bedömer författaren kan bidra till en ökad säkerhet.

Handlingsförslagen bör undersökas vidare för att kunna avgöra deras effekt.



# Nomenklatur

## Förkortningar

KUJ	Kiruna under jord
FED	Fractional Effective Dose
FEC	Fractional Effective Concentration
FLD	Fractional Lethal Dose
FID	Fractional Incapacitation Dose
FIC	Fractional Incapacitation Concentration
GRAMKO	Gruv- och mineralindustrins arbetsmiljökommitté
BP	Brytpunkt

## Förklaringar

Gruvstab	Ledningsgrupp med operatörer under jord.
Räddningskammare	Utrymme under jord med tillgång till säker andningsluft, kommunikation och kolmonoxidmätare. Kan användas som alternativ till utrymningsväg.
Räddningsrum	Hermetiskt slutet utrymme med säker tillgång till andningsluft för ett specifikt antal människor under en period.
Självräddning	Utrymning utan räddningstjänstens inverkan.
Styrcentral	Centralt operatörsrum där tekniska processer under jord styrs, bland annat; fläktar, kommunikation, taggregistreringssystem.
Säker luft	Ren andningsluft som inte blandats med brandgaser.
Säker plats	Plats under jord där en person kan befinna sig utan att påverkas av branden eller brandgaserna.
Tvåzonsmodell	Dimensioneringsmodell för brand i inneslutna utrymmen med en var sektion som består av brandgaser och en ”kall” sektion med övrig tillgänglig luft.

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Statistik och inträffade händelser.....	2
1.3	Syfte och mål.....	3
1.4	Frågeställningar.....	3
1.5	Metod.....	3
1.6	Avgränsningar.....	4
2	Genomförande .....	5
2.1.1	Litteraturundersökning .....	5
2.1.2	Gruppdiskussion.....	6
2.1.3	Beräkningar och tester .....	6
3	Litteraturundersökning.....	8
3.1	Tidigare studier och forskning .....	8
3.1.1	Brandens egenskaper i stengruvor under jord .....	8
3.1.2	Människors beteende vid brand .....	10
3.1.3	Utrymning.....	12
3.1.4	Räddningstjänstens förmåga till assistans .....	16
3.2	Regelverk och rekommendationer .....	18
3.2.1	Lagar .....	18
3.2.2	Föreskrifter och förordningar.....	19
3.2.3	Rekommendationer och allmänna råd .....	20
4	Gruppdiskussion om grus säkerhet och brand .....	24
4.1	Risker.....	24
4.2	Riskreducerande åtgärder.....	24
4.2.1	Självräddning .....	24
4.2.2	Navigering.....	25
4.2.3	Evakuering.....	25
4.3	Reflektioner.....	26
4.3.1	Navigering.....	26
4.3.2	Självräddning .....	27
4.3.3	Räddningsinsats .....	27
5	Beräkningar och tester.....	28
5.1	Beräkningar .....	28
5.1.1	Matlab.....	29
5.1.2	Kritiska förhållanden.....	29
5.1.3	Antaganden.....	29
5.1.4	Övriga förutsättningar .....	29

5.1.5	Scenarier.....	33
5.2	Beräkningsresultat.....	35
5.2.1	Borrigg.....	35
5.2.2	Hjullastare.....	36
5.2.3	Lastbil.....	38
5.2.4	Resultatanalys.....	40
5.2.5	Känslighetsanalys.....	41
6	Utrymningsövning.....	44
6.1	Utrymningsstrategi.....	44
6.2	Avgränsningar.....	45
6.3	Resultat Utrymningsövning.....	45
6.4	Enkätundersökning.....	46
6.4.1	Resultatanalys.....	46
7	Diskussion.....	48
7.1	Verktyg vid utrymning.....	48
7.1.1	Räddningskammare.....	48
7.1.2	Flykthuva.....	49
7.1.3	Förberedelseid.....	49
7.1.4	Ventilation.....	49
7.1.5	SBA.....	50
7.1.6	Räddningsinsats.....	50
8	Slutsats.....	52
9	Källor.....	54

# 1 Inledning

Industriverksamhet i underjordsgruvor kommer med många risker. Vid brytning, sprängning och frakt används tunga maskiner och anordningar som inte bara utgör en brand-/explosionsrisk i sig utan också innebär en hög brandbelastning. Ett lastbilsdäck kan brinna med en effektutveckling på 3 MW och bränder under jord kan pågå i dagar (Ingason, o.a., 2010). Maskinerna kräver ofta förare och underhåll vilket idag förutsätter närvaro av personal som då hamnar i riskområdet. För att kunna fatta informerade beslut kring brandskyddet under jord vid händelse av brand utvärderas, i denna rapport, nyttan av de lösningar och rekommendationer som används idag.

## 1.1 Bakgrund

Utrymningsförhållanden i underjordsgruvor har undersökts i ett flertal rapporter, bland andra, projektet GRUVAN av mellan 2007 och 2010 (Ingason, o.a., 2010) men informationen som finns är långt ifrån heltäckande. De lagar som kontrollerar personsäkerheten i underjordsgruvor i Sverige är allmänt utformade och inte specifika för underjordsmiljö. Däremot finns det specifika rekommendationer som baseras på lagstiftningen och riktar sig till underjordsgruvor. Eftersom gruvverksamheten under jord är komplex och kan skilja sig markant åt från olika företag och platser är det svårt att avgöra hur effektiva rekommendationerna är för att öka personsäkerheten.

I många avseenden går brand i gruva att likna med brandscenarier i vägtunnlar och tunnelbanor (Hansen, 2010). Räddningstjänsten ensam kan inte förväntas klara av evakuering av samtlig personal och/eller besökare. Det finns begränsat med inträngningsvägar och i stället används självräddning i form av inrymning till säkra platser (Bergqvist, o.a., 2001). I gruvor återfinns också samma typ av brandbelastning som i tunnlar. Väggarna är av obrännbart material som sten eller betong och brandbelastningen består till största delen av fordon, maskiner och brännbar vätska som används i verksamheten. Brandgaser sprids relativt fort och ventilationen har en avgörande roll för brandgasens spridningsriktning och spridningshastighet (Grant, o.a., 2005). I tunnlar uppstår sällan den klassiska tvåzonsmodellen eftersom brandröken, en bit bort från branden, kyls ner mot de kalla väggarna och därför sprider sig jämt över tunnelns tvärsnitt. Den homogena temperaturen i höjddled försämrar sikten och ökar risken för toxisk påverkan redan i ett tidigt stadie av brandförloppet (Carvel, o.a., 2005). Rökdykning i tunnlar innebär stor fysisk och psykisk påfrestning på insatspersonalen då insatsvägarna kan vara långa, vilket gör självräddning till en viktig del för personsäkerheten i tunnelsystem (Palm, 2014). Självräddning i sin tur lägger stor press på personers kunskap och fysiska förmåga (Frantzich, o.a., 2003).

Specifikt för underjordsgruvor är dess komplexitet. I Kirunagruvan på LKAB finns över 40 mil bilväg och det krävs ofta erfarenhet för att på ett smidigt sätt kunna navigera i vägnätet (LKAB, 2019). I långa, komplicerade och föränderliga tunnelsystem är det svårt att skapa radiotäckning eller helomspännande wifi vilket gör att kommunikationsmöjligheterna begränsas. Vid framfart under självräddning eller evakuering i gruvan kan också oförutsedda fysiska hinder som schakt innebära risker. På LKABs hemsida går att läsa om företaget och verksamheten i Kiruna. LKAB är en gruv- och mineralkoncern som bryter järnmalm i Norrbotten sedan 1890. Företaget har produktion i Kiruna, Malmberget och Svappavaara där malmen, till största delen, bryts i undermarksanläggningar (LKAB, 2018). LKAB fokuserar också på teknisk utveckling och har en testgruva i Kiruna kallad LKAB Konsuln. Där testas och utvärderas ny teknik inom brytning och säkerhet. I LKAB Konsuln finns endast en nedfart, vilket ställer högre krav på brandskyddet och strategier vid händelse av brand (LKAB, 2019). Det finns ett därför behov att analysera och utvärdera dagens strategier och redskap som tillämpas vid räddningsinsatser och självräddning under jord, detta så att företag inom gruvindustrin kan förbättra personsäkerheten.

## 1.2 Statistik och inträffade händelser

Under 2016 rapporterades 83 brandtillbud till GRAMKO där en stor andel var fordonsbränder (SveMin, o.a., 2016). I rapporten redovisas också statistik över brandorsaker där brand på grund av heta ytor var vanligast förekommande. Utöver heta ytor var också elfel och överhettning vanliga orsaker till brand.

I bränder som inträffat i gruvor i Sverige de senaste åren finns exempel på personer som kommit till skada och förts till sjukhus på grund av exponering av brandgaser.

### *Brand i Kristinebergsgruvan 2013-08-25*

En brand utbröt ca 1000 meter ner i Bolidens Kristinebergsgruva i Lycksele kommun vid klockan tolv på dagen. Brandobjektet var en dieselkompressor och kunde släckas efter ungefär två timmar. Branden slog ut gruvans ventilationssystem. Vid tillfället befann sig 22 personer i gruvan. Personen satt i sin hytt på ett borrhaggat och blev kvar i röken i nästan fem timmar. Personen vittnar om svart tjock rök som vällde in i hytten varför personen fick kasta sig på golvet i tunneln där syre fortfarande fanns. Två rökdykare skickades till hytten för att evakuera personen samtidigt som 15 personer sökte efter den förlorade personen. De två rökdykarna och personen som fastnat i hytten på borrhaggen fördes sedan till sjukhus utan allvarliga skador. (SVT, 2015) (SVT, 2013)

### *Lastbilsbrand i Kiruna LKAB 2014-06-24*

En lastbil började brinna på nivå 1338 på LKAB vid halv nio på morgonen. Branden ledde till en kraftig rökutveckling i en av de största och mest trafikerade vägarna i gruvan. Flera personer befann sig vid tillfället på vägen och överraskades av röken. Förarna förlorade snabbt sikten och var i vissa fall tvungna att lämna sina bilar. På väg mot branden informerades industribrandkåren om att det fanns personer kvar i röken och fokuserade räddningsinsatsen mot livräddning, under insatsen bröts kommunikationen mellan industribrandkåren och den kommunala räddningstjänsten.

När den kommunala räddningstjänsten anslöt till platsen hade tio personer kommunicerat att de satt fast i röken och inte tagit sig till någon räddningskammare. Kommunala räddningstjänsten påbörjade därför livräddning av de personer som befann sig i mest akut läge i röken samtidigt som lastbilen släcktes av industribrandkåren. Efter åtta timmar hade branden släckts och alla personer hittats. Totalt skadades 39 personer i olyckan varav tolv personer blev inlagda på sjukhus. Inga allvarliga skador förekom. (Kaj, o.a., 2016)

### *Brand i hjullastare i Kiruna LKAB 2015-02-01*

En hjullastare brann på nivå 935 i LKAB Kiruna. Brandorsaken var svårbedömd på grund av kraftig brandutveckling. Branden upptäcktes av föraren som försökte att släcka branden. Vid släckning skedde en stor rökutveckling och föraren lämnade då brandplatsen för att meddelade en kollega som, i sin tur, larmade gruvstab och räddningstjänst. Ungefär tio minuter efter brandens start påbörjades utrymning av området och efter ytterligare ca 15 minuter var orten på nivån rökfylld. Samtliga personer räknades in vid säker plats och evakuerades sedan via nödfarten. Inga personskador förekom vid incidenten. (LKAB, 2015)

### *Brand i betongbild i Kiruna LKAB 2018-02-19*

En betongbil brann på nivå 970 i LKAB Kiruna. Orsaken var kortslutning på grund av överhettning i pumpmotor till ett centralt smörjsystem. Föraren lyckades med hjälp av två andra personer i närheten att släcka branden och rökutvecklingen kunde begränsas. Branden var aldrig fullt utvecklad och släcktes med tre pulverbrandsläckare. Inom 30 minuter efter att branden startat hade alla personer som befann sig i området kontaktats och befann sig på säker plats. Endast lindriga rökskador förekom hos de tre personerna som utfört släckinsatsen. (SVT, 2018)

### *Brand i Försöksgruvan i Kiruna LKAB 2019-11-07*

En sprutrigg brann på nivå 486 i LKAB Konsuln av okänd orsak. Samtidigt som larm kom in om att en person som befann sig i brandområdet och inte gick att kontakta etablerades två sektorer där kommunal räddningstjänst stannade kvar ovan jord och industribrandkåren, varav två befann sig under jord vid tillfället, möttes upp på nivå 370. Efter klartecken om en rökfri nerfart utfördes rekognoseringsuppdrag. Efter ett tag fick man dock kontakt med den saknade personen via telefon i räddningskammare. Personen befann sig i ett rökfritt område. Personen hade inte uppfattat att brand utbrutit på nivån. Inga allvarliga personskador förekom. (LKAB, 2019)

### 1.3 Syfte och mål

Syftet med rapporten är att analysera och utvärdera nuvarande rekommendationer och verktyg som används för att öka personsäkerheten i underjordsgruvor.

Målet med rapporten är att definiera problem som berör personsäkerheten vid evakuering och självräddning i underjordsgruvor genom att analysera befintlig litteratur och forskning på området. Målet är också att utifrån de risker som framkommer av litteraturen utvärdera olika tekniker eller verktyg som kan användas för att hantera de risker som finns i underjordsgruvor i Sverige idag.

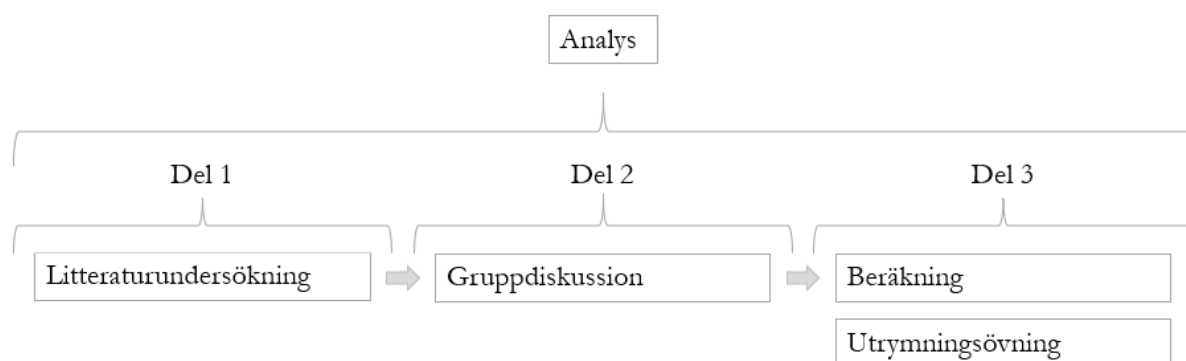
### 1.4 Frågeställningar

De frågor som ligger till grund för rapporten berör självräddning och evakuering. I rapporten diskuteras strategier och verktyg som används vid självräddning och evakuering.

- Vilka problem som berör personsäkerhet finns vid evakuering och självräddning till följd av brand i underjordsgruvor?
- Vad säger regelverken som kontrollerar personsäkerheten i underjordsgruvor idag?
  - Hur påverkar dessa regelverk personsäkerheten vid utrymning till följd av brand under jord?
- Vilka strategier och verktyg används vid evakuering och självräddning i gruvgångar?
  - Hur påverkar dessa strategier och verktyg personsäkerheten vid utrymning till följd av brand under jord?

### 1.5 Metod

I studien analyseras personsäkerheten i gruvor under jord och den utförs i tre delar; litteraturundersökning, gruppdiskussion och beräkningar, se Figur 1.



Figur 1. Figuren beskriver arbetsgången i rapporten med de tre delar som ingår.

I Del 1, litteraturundersökningen, summeras tidigare studier och lagstiftningar som påverkar brand- och utrymningsförlopp. Resultatet på litteraturstudien lägger sedan grunden för del 2 och 3.

I Del 2 utförs en gruppdiskussion som baseras på det resultat som framkom i litteraturstudien. Personer som är involverade i personsäkerheten under jord idag definierar vanliga risker och problem vid brand under jord samt redogör för hur de hanteras.

I sista delen, Del 3, testas resultat från litteraturstudie och gruppdiskussion teoretiskt och praktiskt. Ett antal beräkningar utförs på utrymnings säkerheten under jord med de verktyg och strategier som framkommit, beräkningarna jämförs sedan med resultat från en utrymningsövning.

Avslutningsvis analyseras alla tre delarna i relation till varandra för att slutligen resultera i en utvärdering av brandskyddet i gruvor under jord och de rekommendationer och verktyg som används idag.

## 1.6 Avgränsningar

Rapporten utreder endast personsäkerhet under jord. Rapporten riktar in sig mot gruvmiljö med begränsat antal utrymningsvägar och större gruvgångar.

## 2 Genomförande

I rapporten används triangulering. Det är en arbetsmetod där data från flera olika källor jämförs och används för att kvalitetssäkra validiteten i slutsatsen. Pekar resultatet från varje källa och metod i samma riktning finns det sannolikt belägg för att slutsatsen är korrekt. Källorna som används är lagtexter, dokumentation om tidigare forskning samt gruppdiskussion. Metoderna som används är utrymningsberäkningar och en utrymningsövning. Frågeställningen utreds i tre steg;

- Del 1 – Literaturundersökning
- Del 2 – Gruppdiskussion
- Del 3 – Beräkningar och tester

Alla delar i rapporten har kontinuerligt analyserats, reviderats och uppdaterats under hela processen.

### 2.1.1 Litteraturundersökning

Litteraturundersökningen utgör den första delen i rapporten och ska ligga till grund för vidare undersökning. Först undersöktes tidigare studier som utförts på utrymningssäkerhet i tunnlar och gruvor och därefter vilka gällande lagar, regler och rekommendationer som gäller i Sverige idag. Litteraturundersökningen berörde tidigare utförda tester, befintlig forskning, lagstiftning och rekommendationer.

#### 2.1.1.1 Tidigare studier

I undersökningen redogjordes för hur en brand beter sig under jord i en stengruva samt hur personsäkerheten påverkas vid händelse av brand. Verktyg och strategier som rekommenderats i tidigare utredningar för att öka personsäkerheten identifierades. I undersökningen användes både databaser och befintliga böcker inom området. Endast de texter som ansågs relevanta för innehållet och målet användes i den slutliga versionen. I de fall där andra texter har redovisat samma slutsatser eller resultat redovisas endast en av texterna, den som författaren anser tydligast kopplar till syftet.

De databaser och myndigheter som söktes var;

- Digitala Vetenskapliga Arkivet, DiVA portal
- Luleå tekniska universitets publikationer, LTU Publikationer
- Lunds universitetsbibliotek, LUBsearch
- National Fire Protection Association, NFPA
- Springer
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps statistikdatabas, MSB IDA
- LKAB

De sökord som användes visas i Tabell 1.

Tabell 1. Tabellen visar sökord och vilka kombinationer som använts i databaser.

<b>Svenska</b>	<b>Engelska</b>
Brand + gruva	Mine + fire + dynamics
Gruvbrand	Tunnel + fire + dynamics
Personsäkerhet + gruva	Evacuation + mine
Utrymning + gruva	Evacuation + tunnel
Evakuering + gruva	Evacuation + under + ground
Utrymning + under + jord	Rescue + operations + mine
Utrymning tunnel	
Räddningsinsats + gruva	

Av den litteratur som användes i undersökningen har även källorna kontrollerats och, i de fall de var aktuella, använts som litteraturunderlag i rapporten.



De böcker som har använts har rekommenderats i samråd med handledare inför litteraturundersökning eller refererats i andra rapporter som litteraturundersökning resulterat i.

#### *2.1.1.2 Svenska regelverk och rekommendationer kopplade till personsäkerhet i underjordsgruva*

Syftet med analysen av regelverket är att identifiera de lagar och rekommendationer som finns för att öka personsäkerheten under jord.

Lagtexter och förordningar som använts i rapporten har baserats på regelverk som har hittats i texter från litteraturundersökning samt nämnts eller rekommenderats av handledare och deltagare inför gruppdiskussion.

### 2.1.2 Gruppdiskussion

Gruppdiskussionen utgör den andra delen i rapporten. I avsnittet utredes hur personsäkerheten hanteras under jord idag och hur medverkande upplever effektiviteten av de verktyg och strategier som används. Gruppdiskussionen ligger sedan, tillsammans med litteraturundersökning till grund för den tredje och sista delen i rapporten.

I den förberedande fasen för gruppdiskussionen kontaktades 15 personer med kompetens och erfarenhet inom utrymning under jord varav fem accepterade inbjudan. Personerna som kontaktades valdes ut för sin erfarenhet inom brand i underjordsmiljö via tidigare forskning, förebyggande arbete och räddningsarbete. Till dem som valde att medverka mejlades ett förberedande frågeblad ut, se Bilaga D – Förberedande frågor gruppdiskussion, från vilket intervjun skulle utgå. Frågebladet gjordes i förberedande syfte för en effektivare diskussion och behandlade risker och riskreducerande åtgärder inom navigering, utrymning samt evakuering under jord.

För att medverkande ohindrat skulle kunna komma med förslag eller synpunkter som de ansåg relevanta för ämnet ställdes i första hand övergripande frågor kring metoder och verktyg. I de fall där medverkande inte förstod, svaren blev för övergripande eller ytterligare förklaringar krävdes ställdes mer specifika frågor.

Efter gruppdiskussionen bearbetades och transkriberades materialet. Vid transkribering skalades upprepningar och en del småord bort för en tydligare struktur och kontenta se Bilaga E.

### 2.1.3 Beräkningar och tester

I den tredje och sista delen av rapporten testas en del av de påverkansfaktorer som framkommit vid tidigare delar. Resultaten analyseras och utvärderas i förhållande till tidigare uppgifter. Beräkningar utgjordes av en utrymningsanalys. Tester utgjordes av en utrymningsövning och enkätundersökning.

#### *2.1.3.1 Beräkningar*

Beräkningar syftar till att undersöka effektiviteten hos rekommendationer och verktyg. Beräkningarna genomfördes för att undersöka utrymningsscenarier vid olika brandförlopp.

Under rapportens gång valdes scenarier, representativa för LKAB Konsuln, och faktorer, med inverkan på utrymningsförloppet, ut. Scenarierna som valdes ut var; brand i hjullastare, brand i lastbil samt brand i borrhög. Faktorer som varierades var lufthastighetens, flykthuvans och förberedelsetidens inverkan på utrymningsförloppet. Det rekommenderade avståndet för räddningskammare undersöktes också.

Beräkningar utfördes i Matlab, ett kommandostyrt kalkylprogram av Mathworks, som används för att underlätta komplicerad handberäkning, se Matlab. Senare sammanställdes, jämfördes och utvärderades resultaten från de olika scenarierna.

#### *2.1.3.2 Utrymningsövning*

En utrymningsövning hölls på LKAB Konsuln 2019-11-13 för att undersöka sakkunskap kring säkerhetsrutiner och agerande hos anställda under jord. Utrymningsövningen användes också som övningsstillfälle för LKAB:s krisledning. Hela utrymningsförloppet dokumenterades av övningsansvarig personal i gruvan.

Scenariot som iscensattes var en brand som utbrutit i samband med en bilrock med två personbilar på nivå 436 i LKAB Konsuln.

Vid försöket användes rökmaskin och två bilar för att simulera branden respektive bilrocken, personal från LKAB:s brandavdelning och säkerhetsavdelning fanns på plats för att meddela personal under jord om olyckan samt för att rapportera in händelsen till LKAB:s gruvstab.

Personalens sakkunskap kring säkerhetsrutiner bedömdes på två olika sätt, genom agerande vid övning samt med enkätfrågor. Enkätundersökningen behandlade säkerhetsrutiner och upplevelser av övningen, den finns tillgänglig i Bilaga C – Enkätundersökning. Enkäten delades ut på säker plats till samtlig personal som medverkat under övningen och till slumpmässigt utvalda personer i LKAB Konsuln dagen efter.

### 3 Litteraturundersökning

Del 1 av rapporten utgörs av en litteraturundersökning. I litteraturundersökningen presenteras förutsättningar vid utrymning under jord. Vidare presenteras undersökningar, rekommendationer och rapporter som berör personsäkerheten vid brand under jord. I kapitlet redovisas de artiklar och avsnitt som av författaren anses relevanta för syfte och mål med rapporten eller som används i kommande avsnitt.

#### 3.1 Tidigare studier och forskning

De tidigare studier som presenteras i avsnittet redogör för förutsättningar i underjordsgruvor och beskriver; brandens egenskaper, mänskligt beteende, utrymning och räddningstjänstens förmåga till assistans.

##### 3.1.1 Brandens egenskaper i stengruvor under jord

Bränder delas ofta in i bränsle- respektive syrekontrollerat brandförlopp. I gruvor där tak, väggar och golv består av obrännbar sten och betong är ett bränslekontrollerat brandförlopp det vanligast förekommande (Ingason, 2005).

I en studie i flera delar undersökte Ingason, o.a. (2010) personsäkerheten i tunnlar under konstruktion genom att undersöka effektutveckling, utrymning under jord och räddningsinsatser. Resultatet visade att den enskilt viktigaste faktorn för utrymningssäkerheten var om en brand inträffade före eller efter genomslaget (den punkt då tunneln har två öppningar). Utrymningssäkerheten berodde också på brandförlopp, ventilation, tunnelns tvärsnitt, personens beteende, förberedelsestid, avstånd till säker plats och brandgasernas beteende. (Ingason, o.a., 2010)

För att öka personsäkerheten rekommenderar Ingason, o.a.;

- Snabb alarmering
- Fungerande SBA i form av utbildning för arbetare i tunneln
- Avstängning av ventilation vid signal för utrymning, alternativt i samråd med räddningstjänsten
- Kortare avstånd till utrymningsväg vid litet tvärsnitt i tunneln
- Kontinuerliga utrymningsövningar och samverkansövningar för räddningstjänst

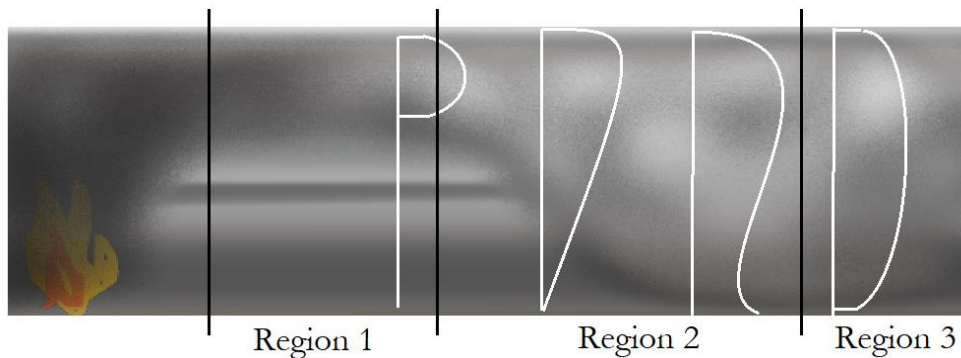
Skadehändelser i tunnlar, specifikt tunnlar under konstruktion, kan till viss del linkas vid desamma i gruvor då liknande problem ofta kan identifieras. Vid evakuering och räddningsinsats förekommer på båda platserna ofta långa inträngningsvägar, kommunikationssvårigheter och orienteringssvårigheter (Karlsson, o.a., 2017).

##### 3.1.1.1 Temperatur

Ingason (2005) beskriver att tunnelbränder skiljer sig från rumsbränder på tre utmärkande sätt;

- Effektutvecklingen vid rumsbrand bestäms av naturlig ventilation. I tunnlar beror den naturliga ventilationen på en rad olika faktorer, bland annat; tunnelns lutning, längd, storlek och typ. Tunnlar under jord har dessutom ofta mekanisk ventilation för frisk luft, vilket kan accelerera brandförloppet.
- I tunnlar med stenväggar finns enbart en liten del brännbart material och ingen övertändning sker på grund av värmeförlust till omgivningen och stor spridning av brandgaserna.
- Den tredje skillnaden är brandgasernas placering. I det tidiga stadiet av brandförloppet kan varm brandgas i en tunnel stiga och lägga sig i takhöjd. Men allt eftersom brandgasen sprids i tunneln och kyls ner mot omgivningen fyller den mer och mer av tunnelns tvärsnitt.

Ingason beskriver en teori av Newman (1984) som utvecklades vid temperaturmätning i en modelltunnel för att optimera branddetektion. I studien beskrivs brandgasens i tre olika temperaturregioner enligt Figur 2.



Figur 2. Figuren beskriver temperaturprofilen i de olika zonerna i tunneln och har inspirerats av fig. 13.6 Handbook of fire tunnel safety (2005).

- Region 1 – Den heta brandgasen färdas nära taket och temperaturen i golvnivå är nära omgivningstemperaturen.
- Region 2 – Luftflödet och den termiska stigningen orsakar omblandning av luft och brandgaser. Temperaturskillnaden mellan tak och golv blir lägre.
- Region 3 – Brandgasen fyller nästan hela tunnelns tvärsnitt och temperaturen är relativt homogen i höjddled. I Region 3 har brandgasen hunnit svalna och den termiska stigningen avtagit. Då kan inte brandrummet längre delas in två zoner och miljön i hela tunnelns tvärsnitt blir toxisk, dunkel och svårorienterad. (Newman, 1984)

Vid större tunnelbränder, men en effektutveckling över 50 MW, kan brandgasen vid taket bli så varm som 900-1200 °C (Ingason, 2005).

### 3.1.1.2 Ventilation

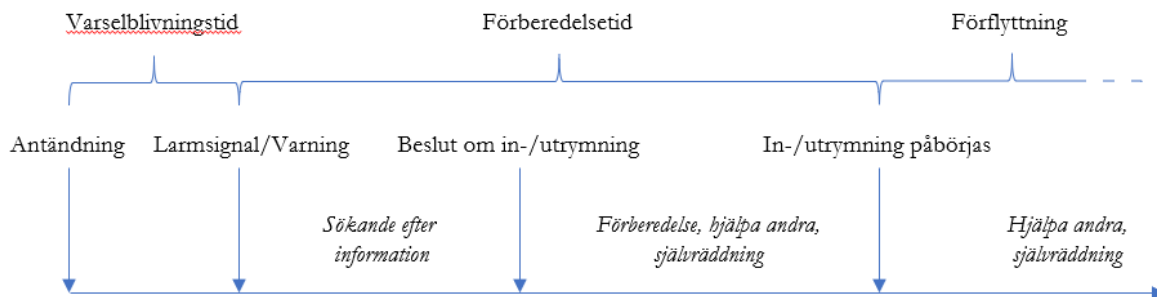
I *Handbook of tunnel fire safety* (2005) beskriver George Grant och Stuart Jagger två typer av ventilation vid brand i tunnlar; naturlig och mekanisk. Vid naturlig ventilation är det tryck- eller temperaturskillnader som förflyttar brandgasen. Naturlig ventilation utgör en större fara i längre tunnlar då brandgasens förflyttningsförmåga beror på kylning mot väggarna och turbulens vid mötet med omgivande luft. Stratifiering av röken kan vid naturlig ventilation inträffa på relativt korta avstånd från branden vilket försvårar evakuering och brandsläckning. Grant rekommenderar därför inte naturlig ventilation vid utrymning då tunneln är längre än 400-600 meter.

Vid mekanisk ventilation däremot förflyttas brandgaser av ett påtvingat luftflöde. Mekanisk ventilation kan utformas på ett flertal olika sätt. Longitudinell ventilation innebär ett flöde från en del av tunneln ut till tunnelslutet. Grant och Jagger (2005) skriver om ett fullskaligt test, kallat *Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program* utfört av Brinckerhoff (1996) där man testade ventilationens inverkan på pölbränder i tunnlar (Grant, o.a., 2005). Efter försöken kom man fram till att det finns så mycket luft i en vägtunnel att fördelarna med en mekanisk ventilation för den som utrymmer överväger risken för att intensifiera branden (Brinckerhoff, 1996). Senare gjordes dock en studie av Carvel o.a. (2001) som visade att longitudinell mekanisk ventilation i tunnlar har större påverkan på brand i tunga fordon än brand i pölar (Carvel, o.a., 2001).

I rapporten *Räddningsinsatser i vägtunnlar* från 2005 utförde Ingason o.a. utrymningsberäkningar på brandscenarier i vägtunnlar. Objekten som studerades var olika typer av fordon som kan förekomma i vägtunnlar och i analysen studerades bland annat lufthastighetens inverkan på utrymningsmöjligheterna. Resultaten visade att för en stillastående person som inte utrymmer och som befinner sig i tunneln under hela brandförloppet blev förhållanden bättre med en hög lufthastighet. Däremot vid utrymning var en låg lufthastighet mer gynnsam. En hög lufthastighet påskyndar brandförloppet medan en låg lufthastighet leder till ett långsammare brandförlopp.

### 3.1.2 Människors beteende vid brand

Erica D. Kuligowski beskriver i boken *SFPE, Human Behaviour in Fire* (2016) människors beteende vid brand. I kapitlet beskriver hon utrymningstid som vid en utrymningsanalys delas upp i tre delar; varselblivningstid, förberedelsestid samt tid för förflyttning enligt Figur 3.



Figur 3. Bilden beskriver utrymningstiden vid brand i byggnad och har inspirerats av fig. 58.1, SFPE, Erica D. Kuligowski.(2016).

Vidare redogör Kuligowski för varselblivningstiden som är tiden från antändning tills att larmsignal, eller annan typ av varning, nått personen i fara. Förberedelsestiden innefattar tiden från det att larmsignal/varning har uppfattats av en person tills dess att utrymning påbörjats. Under den tiden skaffar sig personen förståelse för att brand har inträffat, inser vad en brand innebär samt bestämmer en handlingsplan. Handlingsplanen kan, bland annat, innebära; direkt utrymning, ett försök att släcka branden eller att varna andra innan utrymning påbörjas. Släckinsats eller att avsluta pågående arbete är exempel på beslut som kan förlänga förberedelsestiden.

Slutligen listar Kuligowski ett antal beteendemässiga och situationsbaserade faktorer som påverkar förberedelsestiden för personer vid brand i byggnad:

1. I stället för att känna panik, ett beteende där en person agerar irrationellt på grund av stress, tenderar personer att känna sig säkra vid brand då de inte alltid uppfattar risken. Kuligowski skriver att personer kan ha svårt att ta till sig information om att de befinner sig i risk trots att informationen är tydlig och påtaglig.
2. Bara för att personer får information om brand i närmiljö innebär det inte att personerna kommer att agera lämpligt i förhållande till risken. Personerna agerar istället på deras uppfattning om faran, vilken uppmärksamhet som faran framkallar och den förståelse de har för faran.
3. Personer måste uppfatta och förstå hotet för att agera.
4. Personer kommer att spendera tid på att söka upp information om händelsen om de upplever att informationen är otillräcklig.
5. Personer tenderar att agera rationellt vid brand i byggnad.
6. Personer tenderar att förbereda sig inför utrymning, vilket ofta försenar förflyttning.
7. Andra personers agerande påverkar individens beslutsprocess.
8. Stress kan påverka personens förmåga att uppfatta information.
9. Personer rör sig mot personer och platser de sen tidigare är bekanta med.
10. Personer är olika och agerar därför inte alltid likadant vid utrymning.

Jonathan D Sime studerar i rapporten *Movement toward the familiar: Person and Place affiliation in a Fire Entrapment Setting* (1985) personers val av utgång vid brand inuti byggnader. Sime testar anknytningsteorin, *Theory of affiliation*. Anknytningsteorin visar på att personer, vid utrymning i slutna utrymnen, tenderar att söka sig till platser och ingångar som de är bekanta med sedan innan samt följa personer som de redan innan har en relation till. Teorin stöds av tester utförda på varuhuset IKEA av Håkan Frantzich (2001), där val av utgång registrerades vid brandlarm i ett stort varuhus. Resultatet av Frantzichs försök visade att personer tenderar att ta sig till de in- och utgångar de kommit in genom. Sime beskriver vidare i sin utredning att problem kan uppstå då personer väljer säkra platser med längre gångavstånd eller att stor köbildning uppstår till följd av högt tryck på väl kända platser. I båda fallen blir

evakueringstiden längre. Ett annat problem uppstår vid dimensionering av anläggningar, där beräkningar ofta baseras på ett jämnt fördelat personflöde (Sime, 1985).

I *Handbook of tunnel fire safety - Human behaviour during tunnel fires* (2005) beskriver McClintock o.a. (2005) hur butikskunder tenderar att vilja slutföra sina köp, även efter varseblivning. Den tid som det tagit kunderna i att stå i kö eller prova plagg är en form av investering som de söker avkastning på. Samma tendens finns på arbetsplatser där ett påbörjat jobb måste slutföras för att det ska ge utdelning, men utbildning har visat sig effektivt för att förebygga ett sådant beteende. Arbetsuppgifter som kräver uppmärksamhet kan dock, trots utbildning, påverka varseblivning på grund av att personen då koncentrerar sig på uppgiften i stället för omgivningen.

I en litteraturundersökning av Jim Shields (2005) studeras mänskligt beteende i tunnelbränder och jämförs med tidigare kända studier om människors beteende vid rumsbränder (Shields, 2005). Likheter fanns vid jämförelser av tidigare inträffade händelser rörande personer agerande, bland annat;

- Personer uppfattar inte att de befinner sig i fara
- Personer uppvisar tendens att söka sig till familjära platser så som det fordon de färdats i
- Personer evakuerar inte direkt
- Trafikflöde fortsätter i tunneln om den inte stoppas fysiskt eller på annat sätt
- Kön kan påverka agerande

Några av de slutsatser som Shields presenterar är specifika för tunnlar;

- Brand och rök kan spridas väldigt snabbt i tunnlar
- Brandsäkerhetssystem kan falla, även i tunnlar och system kan användas på sätt som försvårar utrymning och ökar risken för personer i tunneln
- Räddningstjänst har svårigheter att ta sig fram till olycksplatsen i långa tunnlar
- Evakuering påverkas av brandens förhållanden, tunnelns utformning, tunnelns lutning, säkerhetsanordningar och informationssystem
- Tunnelsystem är komplexa och personer kan inte förväntas känna igen sig vid utrymning

Vidare jämför Shields fenomen som har påträffats vid byggnadsbränder. I tunnlar kommer antalet personer som befinner sig i tunneln och hur utspridda de är att påverka förflyttningshastigheten vid utrymning. Ingen studie har gjorts som tydligt påvisar hur könstillhörighet påverkar beslutsfattande vid utrymning i tunnlar. Ålder är en annan faktor som kan komma att påverka utrymning i tunnelmiljö då äldre personer kan väntas ha svårare för att sensoriskt uppfatta branden såväl som att förflytta sig och hantera toxiciteten i brandgaserna.

Igenkänning och rörelse mot det bekanta menar Shields inte påverkar vägval i tunneln i lika stor utsträckning eftersom personer inte kan väntas hitta, eller känna igen sig, i komplexa tunnelsystem. Det kan däremot finnas igenkänning gentemot andra personer och saker, såsom exempelvis bilar.

Likt bränder i byggnader krävs en form av varseblivning i tunnlar för att uppfatta att branden inträffat. Vidare krävs att personen fattar beslut om att utrymma för att sedan förflytta sig. Vid byggnadsbränder rekommenderas där talade larm som ger i personen i byggnaden så mycket information som är möjligt för dessa att ta emot samt lämnar instruktioner om hur utrymning ska fortlöpa. (Shields, 2005)

Alain Noizet beskriver i *Handbook of tunnel fire safety – Egress behaviour during road tunnel fires* (2005) ett sekventiellt beteende vid evakuering vid tunnelbränder baserat på tidigare forskning. Samtliga modeller som analyseras belyser inledande förståelse för händelsen och kan liknas vid varseblivningstid enligt Figur 3. Där måste personen skaffa sig en uppfattning av vad som händer och inse faran med att stanna kvar i tunneln. De följande stegen innebär analys av situation och möjligheter, förberedelser samt initiering av utrymningsprocessen. Dessa steg kan liknas vid förberedelsetiden i Figur 3.

Noizet beskriver slutligen framgångsfaktorer för säker utrymning vid tunnelbränder. Dessa inkluderar;

- Personens tidigare kunskap om tunnelns utformning och utrymningsstrategier i tunnelmiljö.
- Lära upp personer som vistas i tunneln för att kunna organisera utrymningen på plats
- Utforma tydliga informations- och larmsystem. Larmen kan utformas med både visuell och akustiskt varningssystem, vara tydliga med orsak och till utrymning, ge tydliga direktiv, information om agerande och påverkan
- Säkerställa att varningen alltid når fram till personer som befinner sig i tunneln

### 3.1.3 Utrymning

Håkan Frantzich undersöker i rapporten *Fire incidents during construction work of tunnels - Evacuation aspects* (2010) teoretiskt utrymningsmöjligheter för arbetare i tunnlar under konstruktion. Studien utfördes genom fysiskt försök samt genom modellering. Resultatet visar i sin helhet att hur lyckad utrymningen blir beror både på personens och omgivningens fysiska egenskaper samt organisationen för utrymning. Vidare undersöktes också lufthastighetens påverkan på rökens spridning och hur snabba skiftningar i lufttillförseln påverkar förloppet. Slutligen drog också slutsatsen att tidig alarmering medförde goda möjligheter för personer i tunneln att ta sig ut i tid.

Frantzich kontrollerar också utrymningsmöjligheter då personen befinner sig på olika ställen i tunneln i förhållande till inträffad brand. Sämst förhållanden för utrymning inträffar då personen befinner sig mellan branden och utrymningsvägen. Han beskriver också olika faktorer som skiljer självräddning i tunnelmiljö under konstruktion från utrymning av byggnader;

- *Visuella hinder* – Till exempel begränsad översikt av området eller dålig belysning
- *Ljudnivå* – En hög ljudnivå eller hörselkåpor som dränker larmsignaler eller information vid larmsamtal
- *Igenkänning* – Dålig orienteringsförmåga på grund av begränsade visiter alternativt ett närområde som förändras kontinuerligt
- *Fysiska hinder* – Smala gångar, skrovliga ytor, halka, avskildhet eller hinder, till exempel schaket i gruvor
- *Arbete som behöver avslutas ordentligt i säkerhets syfte, till exempel borrning, blåstring, skärning eller svetsning*

Organisatoriska frågor kan också påverka utrymningen då flera firmor jobbar på samma område (Frantzich, 2010).

Slutligen presenteras ett antal slutsatser angående utrymnings säkerheten i tunnlar under konstruktion, bland annat;

- Mekanisk ventilation ska helst stängas av vid utrymning.
- Ett tydligt och klart utrymningslarm ska finnas.
- Utrymnings säkerheten beror på brandförloppet och tunnelns diameter, placering av säker plats måste dimensioneras efter detta. Specifikt att för tunnlar med liten diameter måste räddningskammaren ligga närmare.
- Om tunneln är helt rökfylld beror utrymningsförloppet nästan helt på brandens egenskaper.
- Utbildning hos personal som arbetar i tunneln bidrar till kortare utrymningstid.
- Analys och beräkning måste utföras för varje ny tunnel. Det går inte att lita helt på direktiv baserade på andra platser.

#### 3.1.3.1 Strålningsvärme och toxicitet

Purser och McAllister skriver i *SFPE - Assessment of Hazards to Occupants from Smoke, Toxic Gases, and Heat* (2016) att brandröken kan vara irriterande och toxisk.

Vid brand utvecklas kvävande gaser, de tre vanligaste är; koldioxid, CO<sub>2</sub>, kolmonoxid, CO, och vätecyanid, HCN. Syre, O<sub>2</sub>, klumpas ibland ihop med kvävande gaser då syrebrist, för låg koncentration O<sub>2</sub>, orsakar kvävning. (Purser, o.a., 2016)

Baserat på studier med djur bedömer Purser och McAllister att oförmåga till förflyttning inträffar vid en dos CO på 30000–35000 ppm\*min hos en människa som väger 70 kg och utför lätt aktivitet. Vid 2000ppm CO-nivå inträffar oförmåga till fortsatt utrymning efter ungefär 15 minuter.

Vätecyanid, HCN, har uppmätts i dödliga doser hos personer som omkommit vid bränder. I de fall där HCN påträffades i en studie utförd i Stratchlyde hos offren förekom dock också en dödlig dos kolmonoxid vilket inte kunnat uteslutas som dödsorsak (Purser, o.a., 2016). Utöver analys av brandoffer finns också studier gjorda på apor där HCN har konstaterats dödligt i lägre doser men det är fortfarande osäkert i vilken grad koncentrationen HCN utgör själva dödsorsaken (Purser, o.a., 2016).

Vidare skriver Purser och McAllister att CO<sub>2</sub> bildas vid alltid vid brand och är giftigt i koncentrationer över 5 %, då oförmåga att fortsätta utrymning inträffar efter 35 minuter. CO<sub>2</sub> i lägre koncentrationer orsakar hyperventilering och kan öka intaget av andra giftiga gaser i omgivningen. Vid en koncentration på 3 % CO<sub>2</sub> dubblas andningsfrekvensen.

Irriterande ämnen kan, enligt samma text, ha smärtsamma biverkningar på slemhinnor, såsom i ögon och hals, vilket i sin tur kan påverka syn och andning. Dödliga effekter av irriterande ämnen kan vara lunginflammation och lungödem. Sot från branden räknas till irriterande ämnen vilket påverkar, bland annat, sikt och därmed också gånghastigheten.

Purser och McAllister sammanställde data från tester där personer utsatts för låga koncentrationer syrgas. Resultatet visade att redan när syrehalten sjunkit till 20,95–14,4% börjar personer se dåligt i ljus och får förminskad förmåga att röra på sig. Vid 11,8–14,4% börjar personer andas snabbare, får svårare att slutföra komplexa uppgifter, får minskad förmåga till korttidsminne och maximal arbetsförmåga reduceras. Vid 9,6–11,8% förlorar personen omdömet och känsel men får ökad hjärtfrekvens och andningsfrekvens. Vid en syrehalt på 10 % får personen syrebrist i hjärnan, tillståndet kallas hypoxi. Dödsfall inträffar vid en 7,8–9,6 %.

### 3.1.3.2 Gånghastighet

Det finns enbart ett fåtal studier över gånghastighet i rökfylld miljö och resultaten varierar (Fridolf, o.a., 2016). Användning av färdmedel som bil försvaras vid dålig sikt. Bilkörning rekommenderas sällan för snabbare framfart i rökfylld tunnelmiljö eftersom det beror till stor del på navigeringsförmåga. Vid en lastbilsbrand i Gudvangatunneln i Norge försökte personer att vända sina bilar och köra från branden, ut från tunneln vilket, när rökfronten nådde dem, resulterade i krockar och att flertalet bilar körde in i relingen (Ingason, o.a., 2014).

År 1985 utförde Jin och Yamada en studie som jämförde gånghastighet i rök med irriterande ämnen med gånghastighet i rök utan irriterande ämnen. Resultatet visade att irriterande ämnen hade en stor inverkan på gånghastigheten. Försöket visade att gånghastigheten påverkades båda och låg mellan 0,3 och 1,2 m/s (Jin, o.a., 1985).

I en studie från 2003 *Utrymning genom tät rök: beteende och förflyttning* utförd med rökmaskin av Frantzich och Nilsson (2003) ökade gånghastigheten för försökspersoner som använde väggen som referenspunkt, gånghastigheten vid användning av väggen ökade linjärt med siktsträckan med en högre hastighet längs väggen medan gånghastigheten utan vägg inte visade ett sådant samband. Det totala resultatet visade en gånghastighet 0,2 och 0,9 m/s. I ett utrymningsförsök i Stockholms tunnelbana varierade gånghastigheten i ljus och utan irriterande ämnen från 1,0 till 1,8 m/s med medelvärdet 1,2 m/s.

Studien av Frantzich och Nilsson skiljde sig från tidigare studien av Jin och Yamada i, bland annat rökthet och kunde därför inte verifiera eller avstyrka dess resultat. En jämförelse av resultaten visar en högre gånghastighet i det försök som utfördes av Jin och Yamada, där rökdensiteten var lägre men där irriterande ämnen användes (Frantzich, o.a., 2003).

I *Walking speed in smoke: representation in life safety verifications* (2016), som beskriver förslag på projektering av gånghastighet vid brand, redogör Karl Fridolf o.a. för tre olika metoder som kan användas för att beskriva gånghastigheten i brandrök. Rökfylld miljö definieras i sikt som en sträcka mellan 0-3 meter.

Metod 1 beskriver gånghastigheten på samma sätt för samtliga individer. Gånghastigheten i rökfri miljö är ett medelvärde som bygger på studier av Fruin (1971) och beskriver en gånghastighet för vilken 90 procent överskrider. Gånghastigheten har ett värde av 1,0 m/s. Den lägsta gånghastigheten motsvarar 0,2



m/s (Fridolf, 2011). I rökfylld miljö minskar gånghastigheten enligt modellen linjärt med 0,34 m/s per meter siktsträcka enligt Figur 4.

$$v_1 = \min(1; \max(0,2; 1 - (0,34 - (3 - s))))$$

Metod 2 beskriver gånghastigheten på nästan samma sätt för samtliga individer som ingår i analysen. Där delas gånghastighet upp i kategorier. Ett exempel som ges är kategorierna medel, långsam och extra långsam. Där:

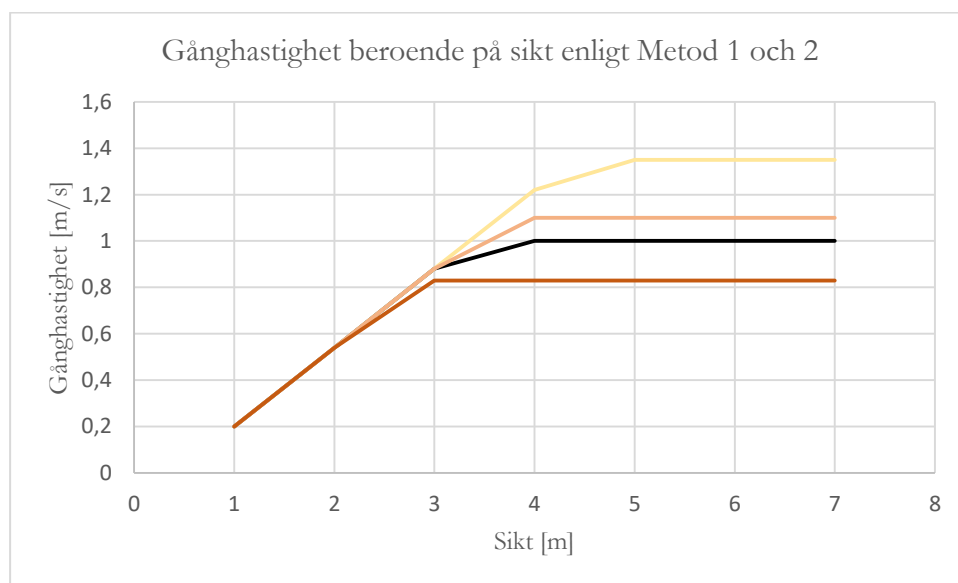
- I kategorin medel är medelvärdet för gånghastigheten i rökfri miljö 1,35 m/s. Enligt Fruin (1971) färdas 50 % av individerna snabbare än den hastigheten.
- I kategorin långsam är medelvärdet för gånghastigheten i rökfri miljö 1,1 m/s. Enligt Fruin (1971) gång 85 % av individerna snabbare än den hastigheten.
- I kategorin extra långsam är medelvärdet för gånghastigheten i rökfri miljö 0,83 m/s. Enligt Fruin (1971) färdas 97,5 % av alla individer snabbare än den hastigheten.

Gånghastigheten minskar likt metod 1 linjärt med 0,34 m/s per meter siktsträcka. Dock lägst till 0,2 m/s enligt Figur 4.

$$v_{2:medel} = 1,35; \max(0,2; 1,35 - (0,34 \cdot (3 - s)))$$

$$v_{2:långsam} = \min(1,1; \max(0,2; 1,1 - (0,34 \cdot (3 - s))))$$

$$v_{2:extra\ långsam} = \min(0,85; \max(0,2; 0,85 - (0,34 \cdot (3 - s))))$$



Figur 4. Diagrammet beskriver gånghastigheten beroende på sikt. Svart linje visar gånghastigheten enligt Metod 1, Gul linje visar gånghastigheten för medelsnabba personer enligt Metod 2, orange linje visar gånghastighet för långsamma personer enligt Metod 2, mörkt orange linje visar gånghastigheten för mycket långsamma personer enligt metod 2.

Metod 3 beskriver gånghastigheten individuellt. Valen kring gånghastigheter som redovisas kan göras mer eller mindre konservativt. Människors gånghastighet i rökfri miljö randomiseras. Respektive individs gånghastighet i rökfri miljö utgörs av ett randomiserat värde från en normalfördelningskurva med ett väntevärde 1,35 m/s, standardavvikelse 0,25 m/s, maxvärde 1,85 m/s respektive minivärde 0,85. Värdena baseras på Fruin (1971).

$$v_3 = \min(v_{rökfri}; \max(0,2; v_{rökfri} - (0,34 \cdot (3 - s))))$$

Likt tidigare metoder minskar gånghastigheten i rökfylld miljö med 0,34 m/s per meter siktsträcka.

Fruin beskriver användningsområde för de tre metoderna; i de beräkningar där gånghastigheten beskrivs på samma sätt för samtliga personer vid beräkning rekommenderas Metod 1 eftersom den täcker in en stor grupp av individer. Vid andra typer av beräkningar där olika grupper representeras eller beräkningar som sked på individnivå rekommenderas i stället metod 2 respektive 3.

### 3.1.3.3 Alternativa utrymningsstrategier

I texten *Literature survey – Fire and smoke spread in underground mines* (2009) refererar Rickard Hansen till studier utförda i Storbritannien där undersökningar gjordes på mobil utrustning i kol, metall och icke-metallgruvor (Hansen, 2009). Där var det vanligaste brandobjektet, likt svensk statistik, fordon. I undersökningen togs fram ett antal förebyggande åtgärder för att förhindra och/eller minska bränder i gruvorna som går att applicera på svenska stengruvor;

- Fler kontroller av hydraul-, bränsle- och eldrivna system
- Automatiska avstängning vid läckage av likadana system
- Branddetektion, -förebyggandesystem och -släcksystem för bilar
- Utformning av snabba insatsmöjligheter för brandkår
- Fler övningstillfällen riktade mot brand för personal som handhar utrustning i gruvan

Hansen beskriver ett försök av svenska gruvföreningen 1985 där en hjullastare eldades för att undersöka förhållanden innanför och utanför kammaren, luftflöde och rökdensitet. Branden pågick i ca tre till fyra timmar innan den gick att släcka med handbrandsläckare. Röken stannade kvar en bra bit längre. Efter studien sattes en minimumgräns på fyra timmars säker luft i räddningskammare under jord i Sverige. I senare undersökningar har den tiden visat sig vara för kort.

Hansen refererar till *Mine Safety Technology Task Force report* (2006) som utsett flykthuvor och rekommenderar *Self-contained self-rescuers*. Huvan fungerar som en enkel syrgasmask, med tillhörande syrgastuber. Enligt rekommendationer från utredningen ska en tillgång till säker luft i 60 minuter varje enskild gruvarbetare finnas. Utöver andningsapparat ska också karta för närområdet finnas där närmaste säkra platser finns utmarkerade samt explosivklassade lysdon. I rapporten rekommenderas ett maximalt gångavstånd på 1000 meter till närmaste kammare.

I analysen efterlyser Hansen, bland annat;

- Vidare forskning och jämförelse mellan ventilationssimuleringar.
- Brandexperiment med mer komplicerad geometri.
- Utredning av naturlig ventilation i gruvor.

I texten *En intuitiv och lättillgänglig flyktmask för gruvmiljö* (2012) beskriver Aaro att flykthuvor används under jord vid utrymning. På LKAB är kravet på flykthuvor knutna till fordon under jord. I varje fordon ska finnas tillräckligt med flykthuvor för varje passagerare som kan sitta i fordonet. Aaro identifierar några problem med placeringen;

- Det finns risk för slarv vid bedömning av antalet flykthuvor per fordon
- Det finns risk för slarv vid placering/utbyte av flykthuvor i fordon
- Det finns inga flykthuvor tillgängliga under jord.

Vidare beskriver Aaro att det finns problem vid påtagning av flykthuvor och att det kan ta lång tid. Eftersom gruvarbetarnas lampor ofta sitter fast på hjälmen framkommer också problem vid navigering efter att flykthuvan tagits på. I projektet tog Aaro fram en flykthuva som kunde användas under hjälm och ett ställ för flykthuvor som kunde användas under jord.

Flykthuvans effektivitet undersöks också av Carl Ljungkvist (2021). I undersökningen kommer Ljungkvist (2021) fram till att flykthuvan, trots vissa brister, ökar möjligt utrymningsavstånd. Ljungkvists skriver vidare att startdistans och reaktionstid har stor påverkan vid beräkning av flyktfiltrets effekt. I undersökningen visade också flyktfiltret en positiv påverkan på gånghastigheten (Ljungkvist, 2021).

### 3.1.4 Räddningstjänstens förmåga till assistans

Ibland används räddningstjänsten som en del av utrymningsplaneringen vid dimensionering av komplexa byggnader ovan jord. Under jord är räddningstjänstens förmåga inte lika god på grund av begränsad tillgänglighet (Ingason, o.a., 2010). I studier har man undersökt räddningstjänstens räddningsmöjligheter i gruvor.

Mia Kumm (2010) gjorde en litteraturundersökning för räddningsinsatser i tunnlar. I texten *Rescue operations during construction work of tunnels* kommer hon, bland annat, fram till slutsatsen att;

- Rekommendationer gällande placering av räddningskammare och luftbehov behöver ses över
- Användning av IR-kamera vid bränder i tunnlar kan vara värdefullt i samband med vidareutbildning för användning av IR-kamera i miljö med homogen temperatur.
- Större mängder besökare i tunnlar under konstruktion avråds då räddningstjänsten inte har förmåga att assistera dem ut ur tunneln.

Kumm refererar till en studie utförd av räddningsverket där olika faktorer påverkan på räddningspersonalens transporthastighet i tunnlar undersöktes. Av de parametrar som undersöktes var de med störst påverkan i ordning;

1. Sikt
2. Hjälpmedel, bland annat, värmekamera
3. Metoder för att lägga ut brandslang
4. Tunnelns lutning
5. Underlag
6. Ansträngning
7. Individuell fysisk kapacitet

Transporthastigheten varierade mellan 0,5-1,5 m/s beroende av dessa parametrar. Beräkningar gjordes på brandmän som bar 2400 liter luft. Resultatet av Kumms undersökning visar att räddningstjänstens förmåga till assistans vid utrymning är begränsad.

Kumm undersökte också användning av lystråd längs med golvet. Testet visade att gånghastigheten ökade med 50 % och ibland var lika effektivt som IR-kamera. Kumm skriver att den initiala risken för rökdykare är att tappa orientering och få slut på andningsluft och att lystråd då kan vara ett verktyg för att säkra rökdykarens väg ut ur tunneln. En sådan lystråd bör då förses med elektriskt och efterlysande funktioner för att minimera risk vid eventuella kabelbrott.

Vid fullskaleförsök i Tistbrottet i Sala fann Kumm o.a. (2014) fördelar med att använda en vagn vid insats, vagnen minskade arbetsbördan och var effektiv vid evakuering av skadade. I försöket försvårades framföringen av vagnen av utlagd slang och ansågs därför lämpligare på ställen längre bort från branden där säkert vatten inte krävs.

Kumm skriver också om specialdesignade fordon som finns i flera av de längre europeiska vägarna. Sådana fordon måste vara batteridrivna finns redan på marknaden och Kumm anser att det är en fråga om kostnad-nytta.

Rakelradio används av många räddningstjänster och men kan ibland ha dålig täckning under jord. Även andra räddningstjänster i landet kan befinna sig på platser med dålig täckning och vid insatser som täcker stora geografiska områden kan Rakelenheter med Repeater Mode Operation, RMO användas (RAKEL, 2012). Där en Rakelenhet som har kontakt med Rakelnätet sänder till en mellanenhet i repeatermode<sup>1</sup>, vilken repeterar budskapet till en annan enhet som inte befinner sig inom räckvidd för Rakelnätet,

---

<sup>1</sup> Ett repeatermode där en mobil radioenhet fungerar som en mellanenhet och arbetar mot andra enheter. Den repeterar och kommunicerar vidare meddelanden mellan enheter som befinner sig utom räckvidd för varandra men inom räckvidd för enheten.

metoden fungerar för flera enheter samtidigt (RAKEL, 2012). Utöver Rakel finns också andra komradion som kan tillämpa med repeatermode (RAKEL, 2012).

Danielsson och Leray undersökte under år 2000 insatspersonalens uthållighet under jord. I studien klarade två brandmän i rökfri miljö att förflytta en människa med bår i tunnelmiljö i 300 meter innan de inte längre kunde utföra fler uppgifter (Kumm, 2010). Rekommendationer från studien är därför att insatsen utförs från rökfria delar av tunneln så långt det går. Det är möjligt i tunnlar där inträngning kan ske från motsatt håll från ventilationsriktningen men är svårare i miljöer med endast en inträngningsväg, då brandgasen färdas ut åt samma håll (Ingason, o.a., 2005).

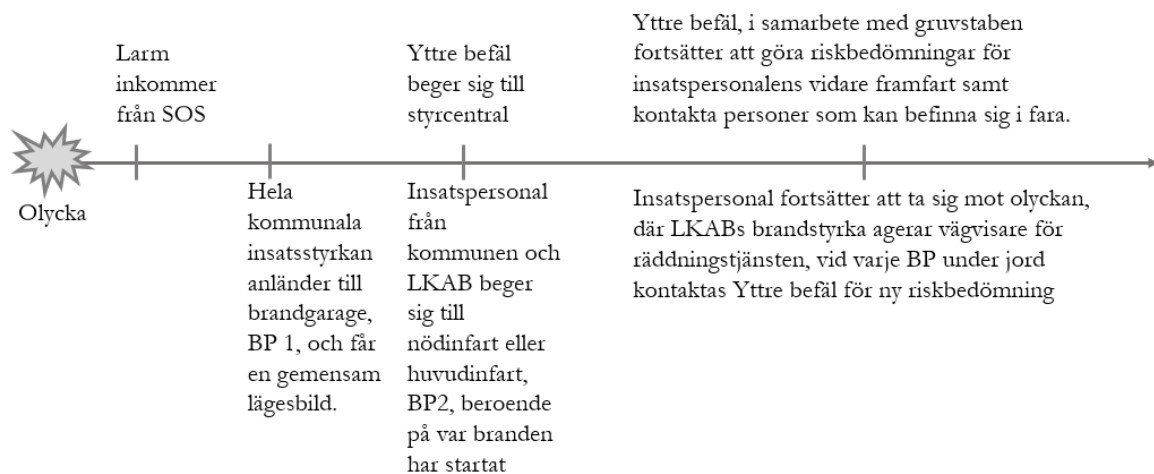
På LKAB är insatsmålet främst att säkerställa att alla personer som befinner sig under jord är utom fara (LKAB, 2019). Men det kan också vara att minimera avbrott i verksamheten. Sekundärt till personsäkerheten är brandsläckning (LKAB, 2019). Strategin vid insats baseras på en insatsplan upprättad av Kiruna Räddningstjänst (2018).

Vid larm om brand på LKAB Konsuln i Kiruna aktiveras den kommunala räddningstjänsten, den interna räddningstjänsten, ambulans, gruvstab samt, vid behov, polis. Insatspersonal möts upp och informeras vid den interna kårens brandgarage, där minst en person väntar in den kommunala räddningstjänsten och ambulansen för vägvisning. Styrkorna delas in i flera mindre enheter och det är således viktigt att flera vägvisare finns tillgängliga. (Kiruna Räddningstjänst, 2018)

I Kiruna räddningstjänsts insatsstrategi från 2018 står att brandobjekt, brandens lokalisering, rökspridning, eventuella skadade och hur många som befinner sig i området är avgörande för insatsen. Information hämtas från samtal till SOS, Watcher, Mobilaris, kameror i närheten samt observationer från personer i närheten av branden för att skapa en bild av situationen. Yttre befäl har kontinuerlig kontakt med styrcentral och gruvstab, vilka tillsammans utgör krisledning. Krisledningen ansvarar för beslut om vidare framfart baserat på information kring antal personer i brandområdet och miljö i området samt lägesrapport vid brytpunkter. Det finns fem brytpunkter vid nerfart till LKAB Konsuln. Vid samtliga brytpunkter lämnas en lägesrapport som utvärderas innan vidare framfart. Processen redovisas som tidslinje i Figur 5. Vid respektive brytpunkt utvärderas situationen enligt nedan;

- *BP1 – Brandgarage ovan jord*
  - *Styrkorna samlas och lägesbild förmedlas*
  - *Yttre befäl fastställer färdväg, antingen via nödutfart eller huvudinfart*
  - *Yttre befäl utser BP2*
  - *Yttre befäl utser skadeplatschef och sektorchef*
  - *Yttre befäl ger inriktning för insats, om möjligt beroende på framkommen information.*
  - *Yttre befäl utser brytpunkt KUJ*
  - *Kommunikation säkerställs, IP-telefoner finns till förfogande*
  - *Yttre befäl beger sig till Styrcentralen och styrkorna mot BP2*
- *BP2 – Nödutfart eller huvudinfart beroende på vart brand har inträffat*
  - *Skadeplatschef har kontinuerlig kontakt med yttre befäl vid passage av brytpunkter fram till BP3*
- *BP3 – Väg 43 vid korsning till konsuln*
  - *Sambandsperson utses*
  - *Lägesrapporter lämnas kontinuerligt till yttre befäl som beslutar om vidare framfart*
- *BP4 – Väg 43 på nivå 370*
  - *Lägesrapporter lämnas kontinuerligt till yttre befäl som beslutar om vidare framfart*
- *BP5 – Väg 43 på nivå 740*
  - *Lägesrapporter lämnas kontinuerligt till yttre befäl som beslutar om vidare framfart*

Räddningsledare har ansvar för insatspersonal och upprättar kontinuerlig kontakt med yttre befäl och krisledning. Under hela förloppet sker den mesta av kommunikationen med IP-telefon.



Figur 5. Figuren visar en tidslinje över händelseförloppen vid insats i KUJ.

I de fall där personer fastat i röken utvärderas räddningstjänstens säkerhet vid eventuell insats, om säkerheten för insatspersonal inte kan garanteras utförs ingen räddningsinsats. Det är långt ifrån alla gånger som räddningstjänsten kan assistera utrymning (Kiruna Räddningstjänst, 2018).

## 3.2 Regelverk och rekommendationer

I avsnittet redovisas de lagar, föreskrifter och rekommendationer som författaren anser vara mest relevanta för ämnet och som är aktuella för Sverige.

### 3.2.1 Lagar

I svensk lagstiftning ställs generella och övergripande krav på brandskyddet i underjordsgruvor. Lagstiftningen lämnar inga konkreta dimensioneringsförslag utan sätter ramarna för hur verksamheten i hänsyn till brand under jord ska utformas. Några av de lagstiftningar som kan appliceras på brand i underjordsmiljö finns nedan.

#### 3.2.1.1 Arbetsmiljölagen (AML)

Enligt AML (2003:365) 2kap. 4§ ska ”betryggande” åtgärder vidtas mot skada genom fall, ras, explosion, elektrisk ström och liknande. Vidare i 5§ ska;

*”Maskiner, redskap och andra tekniska anordningar ska vara så beskaffade och placerade och brukas på sådant sätt, att betryggande säkerhet ges mot ohälsa och olycksfall”*

Fortsatt i 7§ ställs krav på personlig skyddsutrustning så betryggande skydd mot ohälsa och olycksfall inte kan nås på annat sätt.

I 3 kap. 2§ står att arbetsgivaren ska vidta alla de åtgärder som behövs för att förebygga att arbetstagare utsätts för ohälsa eller olycksfall. Detta med utgångspunkten att allt som kan leda till ohälsa eller olycksfall ska ändras eller ersättas för att undanröja den risken.

Enligt 3 kap. 3§ ska;

*”Arbetsgivaren ska se till att arbetstagaren får god kännedom om de förhållanden, under vilka arbetet bedrivs, och att arbetstagaren upplyses om de risker som kan vara förbundna med arbetet. Arbetsgivaren ska förvissa sig om att arbetstagaren har den utbildning som behövs och vet vad han har att iakttä för att undgå riskerna i arbetet. Arbetsgivaren ska se till att endast arbetstagare som har fått tillräckliga instruktioner får tillträde till områden där det finns en påtaglig risk för ohälsa eller olycksfall.*

*Arbetsgivaren ska genom att anpassa arbetsförhållandena eller vidta annan lämplig åtgärd ta hänsyn till arbetstagarens särskilda förutsättningar för arbetet. Vid arbetets planläggning och anordnande ska beaktas att människors förutsättningar att utföra arbetsuppgifter är olika.”*

Vilket innebär, bland annat, att det ska finnas möjlighet för alla som arbetar i ex, en underjordsgruva att sätta sig i säkerhet trots övriga begränsningar.

### 3.2.1.2 Lagen om skydd mot olyckor (LSO)

I LSO (2003:778) 2 kap. 2§ anges att;

*”Ägare eller nyttjanderättshavare till anläggningar i skälig omfattning ska hålla utrustning för släckning och livräddning vid brand. Utöver detta ska de också vidta nödvändiga åtgärder för att förebygga och begränsa skador av brand.”*

I samma kapitel 3§ ska;

*”...brandskyddet kontrolleras och i skriftlig form redogörs för.”*

Vidare i kapitlet i 4§ beskrivs skyldigheter vid farlig verksamhet där;

*”Verksambetsutövare är skyldiga att analysera riskerna för att en fara ska orsaka skada på människa eller miljö samt vidta de åtgärder som krävs för att förhindra eller begränsa dessa.”*

### 3.2.1.3 Plan och Bygglagen (PBL)

Enligt PBL (2010:900) 8 kap. 4§ ska ett byggnadsverk ha de

*”tekniska egenskaper som är väsentliga i fråga om säkerhet i händelse av brand”*

## 3.2.2 Föreskrifter och förordningar

Föreskrifter och förordningar är juridiskt bindande bestämmelser som utfärdas av en myndighet eller stat. Föreskrift och förordning är mer detaljerade än lagtexter och baseras på specifika lagar.

### 3.2.2.1 Arbetsmiljöverkets föreskrifter (AFS)

Mer specifika riktlinjer för gruvmiljö finns att hitta i AFS (2010:1) Berg- och gruvarbete. I 6§ står det att arbetare ska ha tillräckliga kunskaper om, bland annat, utrymning och farliga områden. I 7§ står att någon

typ av kommunikation ska finnas tillgänglig av personlig kontakt, trådlös kommunikation eller annan kommunikation.

I 14§ står att dieselmotorer ska undersökas fortlöpande för avgasernas kolmonoxid och partiklar. Dessutom ska motorerna undersökas, åtgärdas och hållas rena för att minska brandrisken. Fordon som inte är utryckningsfordon får inte ha Bensin, Etanol eller gas som drivmedel under jord enligt 15§. Vidare i 16§ ska också

*”...flyktfilter finnas tillgängliga i varje fordon, tillräckligt många för det antal personer som ska transporteras med fordonet, de ska också förvaras på ett sätt så att de inte skadas, är lättåtkomliga och rena.”*

Enligt 20§ ska också maskinoperatörer vara utbildade, med tillgänglig dokumentation, för att bruka maskinerna i underjordsmiljö. 29§ ställer krav på utrymningslarm vid brand. Enligt 30§ ska ett arbetsställe under jord, likt avancerade byggnader ovan jord, ha två av varandra oberoende utrymningsvägar. Är det inte möjligt ska det finnas räddningskammare. Räddningskammarna ska vara placerade ”...där så erfodras.” Utrymningsvägar ska vara fria och tydligt markerade.

Fordon ska också vara utrustade med brandbekämpningsutrustning som inkluderar handbrandsläckare enligt 34§.

Enligt 31§ ska det finnas en skriftlig handlingsplan vid olyckor. Det ska också finnas ett system för lokalisering av nödställda. Utrymning från arbetsställe under jord övas regelbundet, minst en gång per år och uppgifter om personer som befinner sig under jord ska finnas tillgängliga.

I 32§ och 33§ står att brandfarlig vara, explosiv vara, installationer, vätska, elektricitet ska förvaras eller utföras på ett sådant sätt att det minskar risken för bland och/eller explosion. Brandbelastningen på arbetsplatser ska hållas till ett minimum.

34§ beskriver att brand ska bekämpas snabbt och effektivt samt förebygga eller kontrollera spridning av brandgaser.

### 3.2.2.2 Plan och byggförordningen (PBF)

Vidare i PBF (2011:338) 3 kap, 8§ ställs krav på egenskaper med avseende på säkerhet vid brand;

1. *Byggnadsverkets bärförmåga vid brand kan antas bestå under en bestämd tid.*
2. *Utveckling och spridning av brand och rök inom byggnadsverket begränsas,*
3. *Spridning av brand till närliggande byggnadsverk begränsas,*
4. *Personer som befinner sig i byggnadsverket vid brand kan lämna det eller räddas på annat sätt, och*
5. *Hänsyn har tagits till räddningsmanskapers säkerhet vid brand.*

### 3.2.3 Rekommendationer och allmänna råd

Rekommendationer och allmänna råd är inte bindande utan kan ge generella rekommendationer om hur en lag, föreskrift eller förordning kan tillämpas.

#### 3.2.3.1 Arbetsmiljöverkets allmänna råd om tillämpning av föreskrifterna om berg- och gruvarbete

Angående AFS (2010:1) Berg- och gruvarbete 7§ står att kontaktkravet kan vara uppfyllt vid regelbundna besök av arbetsledare mellan raster samt kontakt med andra arbetskamrater under rast. Vid mer krävande förhållanden kan en tätare kontakt behövas. Vidare står att trådlös kommunikation kan ersätta personbesök, till exempel vid avlägsna arbetsområden.

Till 14§ står att brand bör förebyggas genom att regelbundet tvätta motorn för att undvika kvarvarande bränsle- och oljespill, speciellt i närheten av eller på heta ytor. Utöver det bör också regelbunden tillsyn utföras med avseende på läckage, av generatorrem med avseende samt kabeldragning och tätning med avseende på isolationsskador. Till 15§ uppmanas generellt beaktande av flampunkt hos de oljor och drivmedel som används till fordon. I kommentarer till 16§ rekommenderas ett lika stort antal flyktmasker som platser i fordonet samt regelbundna kontroller av flyktfiltret. De exempel på flyktfilter som rekommenderas är sådana som uppfyller kraven enligt;

- SS EN 403
- SS EN 404

I kommentarer till 20§ rekommenderas, utöver utbildning kring det tekniska handhavandet av speciella fordon under jord, också kännedom om de särskilda risker som kan vara förknippade med att använda maskinen.

Till 29§ finns exempel på hur utrymningslarmet kan ges ut;

- Genom ljud- och ljussignaler
- Via radiokommunikation
- Via telefon
- Blinksignal via hjälmlampa

Till 30§ finns exempel på åtgärder för sekundär utrymning;

- Installation av räddningskammare
- Tillgänglig utrustning för ren andningsluft
- Automatiska brandbekämpningsanordningar på fordon, elanläggningar och materialupplag
- Sekundär utrymningsväg är oberoende

Vidare står i samma kommentarer till 30§ om att räddningskammare;

- Bör vara utförda i obrännbart material
- Räddningskammaren inte är placerad för långt ifrån orten. Ett avstånd på 200-300 meter rekommenderas men avståndet beror samtidigt på;
  - o Tunnelns lutning
  - o Avstånd till utrymningsväg
  - o Avstånd till tunnelmynning
- Räddningskammaren har säker tillgång till ren luft
- Ventilationsledning för luft och lufttillförsel har säker avstängning inuti kammaren
- Temperaturen i kammaren kan hållas på godtagbar nivå vid brand i området
- Räddningskammaren har talkommunikationsmöjligheter med markyta eller annan opåverkad plats
- Tillgång till kammaren är fri från bråte
- Utrustning för första hjälpen och dricksvatten finns tillgängligt inuti kammaren

Till 31§ finns exempel på vad handlingsplanen kan innehålla, dessa är;

- Förteckning över personal och räddningsmateriel
- Alarmeringssystem
- Plan för utrymning, elkraftsdistribution, ventilation och vattenförsörjning
- Räddningsinstruktioner
- Information till utomstående
- Samverkan med räddningstjänst
- Krishantering

I samma paragraf står även att större gruvor bör ha tillgång till elektroniska in- och utpasseringssystem för information om hur många som befinner sig under jord och var dessa personer befinner sig.



I kommentarer till 32§ rekommenderas obrännbara material under jord i ventilationsledningarna närmast fläktar, värmearbänläggningar, genomgångar i portar. Det rekommenderas också att utföra brandförebyggande underhåll på fordon samt att se över dess släckutrustning. Annat brännbart material bör hållas till ett minimum och det föreslås att Gasol transporteras till markytan efter användning. Fortsatt i kommentarer till 33§ föreslås slagbrottsventiler för vätske- och gasledningarna samt rengöring, jordfelsbrytare, överlastskydd och fasföljdsbrytare för elektriska ledningssystem.

Till 34§ står att brandsektionering och brandventilation är vanliga åtgärder för att förhindra spridandet av brandgaser. Vidare i samma paragraf står att;

*”Större permanenta anläggningar under jord, exempelvis verkstäder, krossrum och elanläggningar, kan lämpligen vara försedda med automatiska släckanordningar. En del fordon, exempelvis laddtruckar, persontransportfordon och större motordrivna fordon kan förutom en eller flera handbrandsläckare av tillräcklig kapacitet, också vara utrustade med automatiska släckanordningar i motorrummet. Handbrandsläckare innehållande pulver bör regelbundet konditioneras ...”*

### 3.2.3.2 Svemins rekommendationer om brandskydd i gruv- och berganläggningar

Ett forum med appliceringsförslag av gällande regler i gruvmiljö ges ut av Svemin, som är en undergrupp till Gruv- och Mineralindustrins arbetsmiljökommitté, GRAMKO, med fokus på brandskydd i gruvor.

Svemin rekommenderar som specifikation på AFS (2010:1) Berg- och gruvarbete, 6§ att utbildning ska finnas för personal och entreprenörer som inkluderar teorikunskap om brand, släckning och gällande regler samt övningar med släck- och räddningsutrustning. Svemin rekommenderar också att;

*”Praktiska övningar av utrymningsrutinerna skall ske i tillräcklig omfattning, dock minst en gång per år”*

Svemin anger snabb spridning av brandgaser som den största risken vid brand under jord och rekommenderar därför som specifikation till AFS (2010:1) Berg- och gruvarbete, 34§ ventilationsscheman som beskriver ventilationens riktning och hastighet. Svemin rekommenderar också en planering av systemet som tillåter styrning av brandröken till evakuerade områden samt sektioneringsportar.

I Svemins rapport Brandskydd i gruv- och berganläggningar – samlade råd och anvisningar finns rekommendationer vid användning av räddningskammare. För att ha en räddningskammare som utrymningsväg rekommenderar Svemin att;

- Placering föregås av riskbedömning som undersöker personalens förmåga att nå kammaren, ortens fordonstyp och antal och det förväntade brandscenarioets initiala förlopp. Utöver det rekommenderas att kammaren inte ska placeras nära brännbart material, brandfarligt material eller att avståndet mellan två räddningskammare, alternativt mellan räddningskammare och annan säker plats inte bör överstiga 500 meter.
- Kammaren ska vara inredd och rustad med tillgång till andningsluft i 8 timmar förutsatt att;
  - o Räddningskammaren inte placeras nära en osprinklad fordonsparkering
  - o Total brandbelastning i brandcellen understiger 200 GJ
  - o Räddningstjänstens insatsväg från brandsektionering till kammaren understiger 500 meter.
- Kammaren ska vara utrustad med medel för informationsöverföring för placering.
- System för regelbundna kontroller av funktion finns upprättat.

Om utrymningslarm skriver Svemin att systemet bör väljas efter anläggningens förutsättningar. Exempel på larm är;

- Akustiskt larm.
- Tvåvägs radiokommunikation som täcker hela anläggningen under förutsättning att alla nås vid larm.
- Blinkande belysning kan användas under förutsättning att armaturer finns monterade i hela anläggningen där eventuellt strömbortfall alltid ska leda till utrymning.
- Kommunikationssystem utvecklas kontinuerligt och kan fungera som komplement eller ersättning till ovan nämnda. Exempelvis WLAN-baserade system eller långvåg.

För utrymningsplan gäller;

*”I byggnad och berganläggning skall, i den omfattning som behövs och på lämpligt belägna platser, finnas planer som schematiskt visar utrymningsvägar och räddningskammare. Dessa skall ange hur räddningstjänst och annan hjälpinsats larmas. I förekommande fall skall placering av manuella larm och larmtelefon samt plats för återsamling markeras.”*

Reflekterande utrymningsskyltar rekommenderas i berganläggning för att de syns bäst vid belysning.

Om detektion står att;

*En automatisk brandlarmanläggning är ett medel för skydd av sakvärden och är genom sin tidiga varning vid brand även ett skydd för person”*

Svemin rekommenderar också ett rapporteringssystem över alla inträffande bränder och brandtillbud med klassindelning för allvarlighetsgraden.

## 4 Gruppdiskussion om gruvssäkerhet och brand

Forskning, lagar och rekommendationer skiljer sig åt i frågor om brandskyddet under jord och är delvis motsägelsefulla. För att undersöka hur gruvverksamheten och räddningstjänsten upplever personsäkerheten vid utrymning i underjordsgruvor så samordnades en gruppdiskussion.

Gruppdiskussionen representerar Del 2 i den utredning som rapporten utgör. Del 2 baseras på resultatet från Del 1, Litteraturundersökning, där några av de verktyg och strategier som undersöktes nu diskuteras och utvärderas.

Gruppdiskussionen hölls den 16e september 2019 med fem deltagare. Dessa fem deltagare kontaktades på grund av sin erfarenhet inom förebyggande arbete i gruvor, industribrandkår på gruvanläggning och räddningstjänst i gruvort.

Deltagarna arbetar som;

- Deltidsbrandman i industribrandkår samt förebyggande med brandsäkerhet i gruva.
- Brandingenjör och yttre befäl på räddningstjänst i gruvort.
- Säkerhetsansvarig i gruva.
- Enhetschef på räddningstjänst i gruvort.
- Utvecklingsingenjör för gruvföretag.

Till en början kontaktades fler personer som valde att inte medverka i diskussionen. Risker och riskreducerande åtgärder för att underlätta navigering, evakuering och självräddning i underjordsmiljö diskuterades. Diskussionen varade i 70 minuter och spelades in för att sedan transkriberas. Frågor till medverkande baserades på litteraturundersökningen.

Gruppdiskussionen inleddes med att samtliga medverkande introducerade sig och sin yrkesroll. Medverkande informerades på nytt om att samtalet skulle spelas in och sedan redovisas i denna rapport. Samtliga informerades sedan om intervjuens syfte. Respektive del inleddes med en kortfattad beskrivning och de frågor som mejlats ut i förtilid, se Bilaga D – Förberedande frågor gruppdiskussion. Gruppdiskussionen utfördes som en semistrukturerad intervju, där övergripande frågor bestämdes innan intervjun med utrymme för fria följdfrågor. I kommande avsnitt presenteras en sammanfattning av det transkriberade materialet.

### 4.1 Risker

Dålig sikt och långa utrymning- och inträngningsvägar är två av de största problemen vid utrymning och räddningsinsats under jord. Det finns inget bra navigeringssystem idag och personsäkerheten bygger delvis på lokalkännedom och tidigare kunskaper om, t.ex. pumpgropar och andra ”fallor”.

### 4.2 Riskreducerande åtgärder

De riskreducerande åtgärderna delas in i tre kategorier; navigering, självräddning och evakuering (räddningsinsatser).

#### 4.2.1 Självräddning

Gemensamt för gruvorna är att stora resurser läggs på självräddning. Bland annat hålls regelbundna utbildningar för nyanställda som ska vistas under jord. Vid utbildningstillfällen får personal lära sig generellt om brandsäkerhet, handhavande av släckningsutrustning och hur de ska agera vid händelse av brand. Personer som ska jobba under jord genomgår också en introduktionsperiod med handledare där, bland annat, räddningskammarnas positioner inspekteras.

Utrymningsstrategierna i gruvorna är liknande. Vid händelse av brand ska personal i gruvan uppsöka säker plats. Utrymning ut ur gruvan har visat sig ineffektivt eftersom att utrymning annars kan leda till trafikstockning eller kollisioner. ”*Skulle det gå illa då har man helt fel människor på fel plats i gruvan*” – Utvecklingsingenjör för gruvföretag.

Det finns olika metoder för en effektiv ut-/inrymning. Lokalkännedom och utbildning är grundläggande för en fungerande självräddning.

Vid bränder och övningar har ett beteende påträffats av några deltagare där personal i gruvan, i stället för att ta sig till säker plats, inrymt osäkrade kontrollrum eller fikarum utan tillgång till säker luft. Förslag finns på att göra säkra platser till naturliga samlingsplatser för att öka trygghet och igenkänning. Det skulle samtidigt öka kännedom om räddningskamrarnas placering. Ett exempel på ett välfungerande sådant system är den nya huvudnivån på LKAB i Kiruna, där räddningsrummet annars används som matsal, fikarum och ledningscentral.

Vidare diskuteras ventilationshastigheten. Ventilationshastigheten varierar mellan olika områden och det finns inga direkta riktlinjer om den mekaniska ventilationen bör vara avstäng eller påslagen.

Larmsystem som används är;

- Ett utbyggt WLAN-system<sup>1</sup> med IP-telefoner som gruvradio. IP-telefonen är en handenhet som har en brandlarmsknapp, vilken personal under jord ska kunna trycka på vid händelse av brand. Om knappen trycks in går det ut ett larm till alla i gruvan som innebär att de ska bege sig till närmaste säkra plats. I dagsläget undersöks möjligheten att koppla fordonslarm till samma system, så att dessa dirigeras direkt till närmaste gruvarbetare som kan kontrollera fordonet.
- Ett annat system som används är direkt larm eller kommunikation via komradio och-/eller wifi-telefon.

Beroende på gruvans storlek kan det vara aktuellt att enbart larma sektioner eller delar av gruvan som påverkas av branden istället för att larma alla.

#### 4.2.2 Navigering

Individen har ett ansvar att känna till placering av närmaste säkra plats för att snabbt kunna ta sig dit vid brand. I gruvorna används också kartor för de anställda. En övergripande karta över gruvområdet med en kort beskrivning av räddningskammarens position. Den uppdateras varje gång en räddningskammare flyttas. De största faktorerna för en lyckad ut-/inrymning upplevs vara regelbundna övningar och ett tidigt larm.

I en annan gruva används akustisk ljudsignal på räddningskammaren för att personer ska kunna lokalisera den även i rökfylld miljö. Där har det tidigare uppstått situationer där personer har gått till kammaren men inte hittat den i röken. När väggen används som referenspunkt vid navigering är risken att personen går runt räddningskammaren och därför inte hittar den. Ett problem som uppstår med ljudsignal är då ljudet studsar mot väggarna, det kan vara förvirrande för någon som står nära kammaren. Men signalen avtar då personen färdas bort från kammaren vilket kan indikera rätt riktning.

För personer som befinner sig i kammarens direkta närhet kan också LED-lister användas. De finns utplacerade vid dörr och handtag och gör det lättare att hitta dörren. LED-listerna upplevs också hjälpa också personer att uppmärksamma kamrarna i vardagen.

Ett annat redskap som ska testas är avspärningslinor i trattform in mot kammaren. Dessa ska vägleda personer som använder väggen som referenspunkt och motverka att personer går runt kammaren.

För personer som fastnar i brandrök finns inga direkta strategier. Personalen får direktiv om att ha med sig en flykthuva till arbetsplatsen. Det kan vara möjligt för personer att ta sig ur röken om de rör sig åt motsatt håll från spridningsriktningen. Det förutsätter dock att personen inte är skadad eller av andra anledningar inte kan ta sig ut själv samt att avståndet inte är för långt. Idag finns också teknologi för att lokalisera personer via taggsystem. Instruktionen till de anställda är då att larma räddnings- och krisorganisation som sedan kan hjälpa till att lokalisera och evakuera personen.

#### 4.2.3 Evakuering

Problem som framkommer vid räddningsinsatser under jord är, bland annat; långa insatstider, långsam transporthastighet, stor fysisk ansträngning för insatspersonal och begränsad lufttillgång.

Vid tidigare insatser har lågt riktad belysning testats för att öka sikten då röken ibland skiftar sig vid golvnivå. Belysningen upplevdes som ett bra komplement till övrig utrustning för att göra den ojämna markytan blir synlig och lättare att färdas på.

Räddningsinsatser under jord tar ofta lång tid och problem uppstår vid eventuella personskador där frakt med bår krävs. Som komplement efterlyses fordon för transport av insatspersonal och nödställda under jord. Av en räddningstjänst används räddningsvagnar. Vagnarna fraktar en syredepå och fästs vid räddningslinan. På vagnen monteras mm-Radar som är kopplad till ett ljudsystem som skickar ut en signal då vagnen kommer för nära en vägg. Systemet används dock främst som ett komplement till annan navigeringsutrustning och för att hålla räddningsvagnen på vägen. För att användning av ljudsystemet ska fungera behöver avstånd kalibreras. Ett problem som uppmärksammats är risken för nödställd gruvpersonal är hypotermi under vagnsfärden och man överväger därför bår med värmemadrass som fraktas på vagnen. Ett annat problem är då personer inte andas självständigt, där finns alternativ som automatiserad syrgasmask. Är flera skadade på plats krävs fler vagnar, då endast en person kan transporteras per vagn. Kärra används i en annan gruva av samma anledning. Kärran och vagnarna innebär en mindre påfrestning för insatspersonal i de fall då personer är skadade och inte kan gå själva. Den har ännu inte använts i något område nära branden där räddningspersonal haft med sig brandslang.

Vid fall när skadade personer befinner sig räddningskammare, räddningsrum eller annan säker plats med tillgång till telefon och första hjälpen-utrustning upprättas kontinuerlig kontakt med ambulanspersonal. Det är en strategi som används hos alla medverkande under gruppdiskussionen. Strategin som fungerar i de fall personen eller personerna har möjlighet att själva underhålla skador till dess att räddningstjänsten eller ambulans kan ta sig fram och ta över arbetet.

Fordon efterfrågas av räddningstjänsten för att kunna ta sig fram på den långa inträngningsvägen snabbare med mindre påfrestning för räddningspersonal. Ett fordon hade också löst problem med frakt av personer. Fordon har testats tidigare vid några tillfällen men har i vissa fall upplevts som osäkra. Svårigheter framkommer också vid navigering under framkörning i tät brandrök. Vidare kan det finnas en ökad krockrisk vid körning i tät rök.

### 4.3 Reflektioner

I avsnittet *Reflektioner* presenteras författarens egna tankar efter gruppdiskussionen. Personer som deltog i gruppdiskussionen har samtliga erfarenhet av bränder under jord. Samtliga arbetade inom räddningstjänst eller med planering av brandskydd i gruvor. Det hade varit intressant att bredda kompetensen vid gruppdiskussionen genom att tillfråga personer som har erfarenhet från räddningsinsatser i vägtunnlar och stora geografiska områden. Det hade också varit intressant att tillfråga personer med kompetens inom brandskydd i internationella gruvor. Annan kompetens och internationella lösningar hade kunnat bidra med nya lösningar och perspektiv.

Informationsinhämtningen hade kunnat utföras genom enskilda intervjuer eller enbart enkätfrågor. Orsaken till att gruppdiskussion valdes var efterfrågan på kunskapsåterföring mellan deltagande parter. Vidare fanns det också möjlighet för deltagare att ställa frågor till varandra för att på sådant sätt utveckla sina och varandras resonemang.

Gruppdiskussionen fungerade bra. Vid en sådan typ av intervjumetod finns risk för att vissa deltagare håller igen eller inte känner sig trygga med att tala fritt. Detta verkar dock inte ha skett i denna gruppdiskussion.

#### 4.3.1 Navigering

I diskussionen framkommer att värmekamera används av samtliga medverkande vid räddningsinsats, trots att de flesta upplever att den fungerar dåligt i den homogena temperaturen. Mediastråk som vatten- och elledning är synliga och kan, till viss del, användas som referens vid navigering. Dessa typer av mediastråk verkar dock inte vara aktuella för de delar av gruvan där samlingspunkter inte finns tillgängliga och skulle då kunna ersättas med självlysande värmekablar längs golvet som rekommenderas i litteraturundersökning av Kumm (2010).

#### 4.3.2 Självräddning

Att det förekommit fall där personal inrymmer andra samlingsplatser i stället för räddningskammare kan bero på beteendemässiga aspekter som redovisas i Del 1. En av dem är igenkänningsteorin enligt Canter o.a. (1980). Det kan också bero på en viss osäkerhet inför räddningskammarens funktion och säkerhet, vilket kommenteras vidare i diskussionsavsnittet.

I små gruvor anses all personal vara påverkade vid brand och larmet går därför ut till samtlig personal under jord. Vid större gruvor som LKAB i Kiruna kan det kännas onödigt att delar av gruvan som inte är påverkade in-/utrymmer verksamheten. Där skulle i sådana fall meddelandet behöva sektioneras för varje del i gruvan.

#### 4.3.3 Räddningsinsats

Räddningsinsatser är idag svårt att genomföra under jord, det kan vara en viktig parameter vid utformning av nya gruvor och tunnlar eller ombyggnation i framtiden.

## 5 Beräkningar och tester

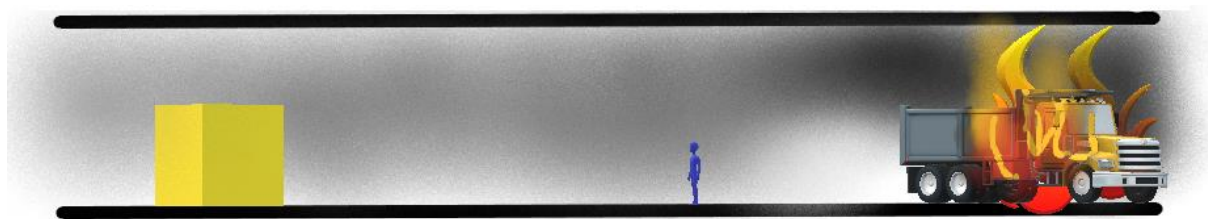
I Del 3 av rapporten testas några av de verktyg och rekommendationer som framkommit i tidigare delar. Denna del av rapporten grundar sig således på litteraturundersökning och gruppdiskussion. Delen är uppdelad i två underrubriker; beräkningar och utrymningsövning.

### 5.1 Beräkningar

Beräkningar utförs för att testas rekommendationer och utrustning som i olika grad appliceras på verksamheten under jord på LKAB.

Vid utrymningsberäkningar jämförs den tillgängliga tiden, ASET (Available Safe Escape Time), som personen har för att ta sig till säker plats med den tid som personen behöver, RSET (Required Safe Escape Time) för att kunna ta sig till säker plats. När  $ASET \geq RSET$  kan utrymning fullbordas. ASET baseras på exponering för toxiska ämnen; kolmonoxid, koldioxid, syretillgång och temperatur som personen utsätts för under utrymningsförloppet. Det är den totala dosen, exponeringsmängd över tid, som avgör om personen kan fortsätta utrymning. Dosen toxicitet som personen ackumulerar beskrivs som FED, Fractional Effective Dose. Vid beräkningar beskriver  $FED = 1$  den dos då personen har överskridit något av de förutbestämda gränsvärdena och därmed nått kritiska förhållanden.  $FED=0,3$  är ett vanligt designvärde (Frantzich, 2010) och innebär i praktiken att 10% av testpersoner nått kritiska förhållanden för beräknat gränsvärde (Yamada, o.a., 2016). Värdet  $FED=0,3$  brukar användas som en maxgräns för exponering av toxiska gaser. Ingason o.a. (2010) använder i sin studie för utrymning i tunnlar under konstruktion värdet som riktlinje vid beslut av placering för räddningskammare. Det kan också användas för att bedöma behov av rökgasavskiljande portar eller som riktlinje vid utformning av skivor. I beräkningar i denna rapport kommer  $FED=0,3$  att användas som ett *första gränsvärde*. Värdet är en indikator för säkerhetsnivån vid utrymning. Då *första gränsvärdet*  $FED=0,3$  uppnåtts väntas personen fortfarande kunna fullborda utrymning. För att vidare undersöka risken används det *kritiska gränsvärdet*  $FED=1,0$ . Då värdet inträffar kan personen inte längre fullborda utrymning vilket indikerar att brandskyddet inte är tillräckligt för att hantera personsäkerheten vid de specifika förhållanden som simulerats. I de fall där personen når  $FED=1,0$  bör brandskyddet ses över och potentiellt förbättras för att hålla högre säkerhetsmarginal.

Kammaren placeras enligt Svemins rekommendationer på ett avstånd av 500 meter från branden. I utgångsläget befinner sig personen mellan kammaren och branden på ett avstånd på 35 meter från branden. Om personen kan ta sig till räddningskammaren innan *kritiska gränsvärdet* nåtts,  $FED=1$ , kan utrymning fullbordas och  $ASET > RSET$  se Figur 6. Brandskyddet utvärderas både utifrån *första gränsvärdet* och det *kritiska gränsvärdet*.



Figur 6. Figuren illustrerar utrymningsförloppet som det sker vid beräkning, bilden är inte skalenlig.

I beräkningarna testas tre olika brandscenarier som är representativa för gruvmiljö. I beräkningarna varieras ventilationshastigheten, förberedelsetiden och om personen bär flykthuva. I simuleringen utreds följande frågor baserade på resultat från Del 1 och Del 2 i rapporten;

- Är 500 meter ett rimligt avstånd för räddningskammare?
- Hur påverkar ventilationen utrymning i gruvmiljö?
- Vilken effekt har flykthuva vid utrymning?
- Vilken inverkan på utrymningssäkerheten har förberedelsetiden?

Simuleringen är uppdelad i tidssteg. För varje tidssteg mäts de toxiska nivåerna i brandgasen och jämförs med värden för kritiska förhållanden. De parametrar som ackumuleras i kroppen adderas till personens tidigare dos. När maximal dos nås når personen det *kritiska gränsvärdet* FED=1.

#### 5.1.1 Matlab

Vid beräkningar används Matlab, det är ett beräkningsprogram utformat av Mathworks för att underlätta handberäkning. Programmet bygger huvudsakligen på linjär algebra och använder sig av vektorer och matriser för att utföra tekniska och statistiska beräkningar. Matriserna skapas med kommandon som brukar namnges *the Matlab language* (Mathworks).

#### 5.1.2 Kritiska förhållanden

Kritiska förhållanden inträffar om;

I beräkningarna påverkar andelen sot i luften endast förflyttningshastigheten. Modellen delas upp i tidsetapper om 30 sekunder. Var trettionde sekund adderas den dos som tillförts personen under det tidssteget till tidigare dos enligt samma princip som (Bergqvist, o.a., 2001). Om det *kritiska gränsvärdet* inträffat innan 30 sekunder har passerat visas inte detta i resultat.

#### 5.1.3 Antaganden

Modellen förutsätter att personer som befinner sig i närheten av branden vet hur de ska agera, samt att de vet hur räddningsutrustningen fungerar. Modellen förutsätter också att personen hittar till närmaste räddningskammare och går i rak riktning mot kammaren.

Modellen förutsätter att personen under förberedelsetiden inte utsätts för höga halter toxisk gas eftersom de befinner sig under brandgaslagret. Modellen förutsätter också att värmepåverkan invid branden inte överstiger gränsvärdet. Vid hög värmebelastning nära branden förväntas personen avlägsna sig från området.

Modellen förutsätter fullständig omblandning av röken och därmed att ingen skiktning sker i brandgaslagret. Det innebär också att toxiska gaser och sot fördelas jämnt över hela tunneltvärsnittet.

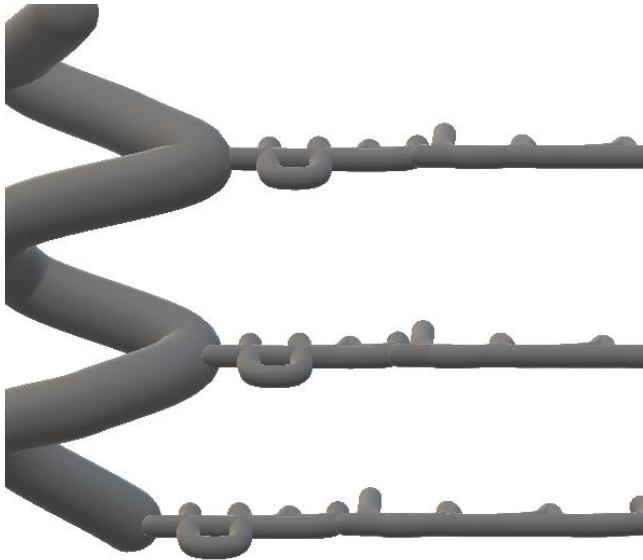
Modellen förutsätter att röken rör sig i ventilationsriktningen och fyller tvärorna på vägen. Det är giltigt för de flesta delar av LKAB Konsuln. Utblandning i tvärorna hanteras inte vid beräkning, vilket ger ett konservativt slutresultat.

Modellen förutsätter att samtliga utrymmande vet hur flykthuvan ska användas. Modellen förutsätter också att sikten är densamma vid användning av flykthuva som utan. Räddningstjänstens förmåga till assistans är inte medräknat i utrymningsberäkningar.

#### 5.1.4 Övriga förutsättningar

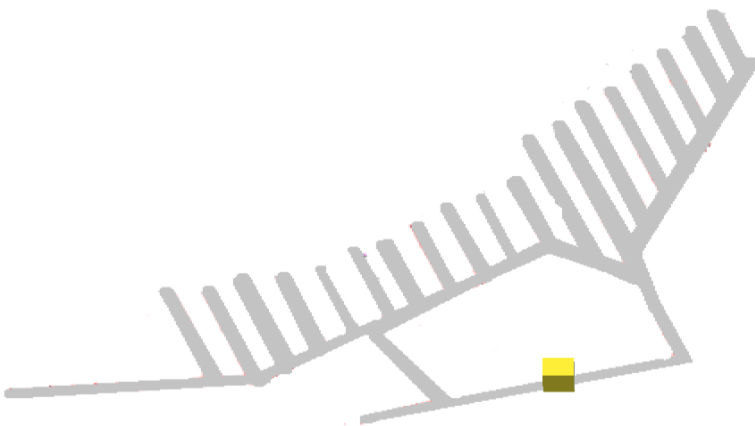
Delen av gruvan som kallas LKAB Konsuln är utformad som en nedåtgående spiral, snedbanan, med inslag och skivor längs vägen, ett exempel på hur snedbanan kan se ut finns illustrerat i Figur 7. Speciellt för gruvan är att det endast finns en utfart. Skivorna benämns efter den nivå de ligger på. Beräkningarna utgår från förhållanden på nivå 436, det är en skiva med tvärgående orter som tidigare utgjorde huvudnivå för LKAB Konsuln.





Figur 7. Figuren illustrerar en sektion av snedbanans utformning. Figuren visar hur en snedbana och nivåer kan se ut i en komplex gruva. Figuren visar inte LKAB Konsuln, är inte skalenlig och används endast för att illustrera gruvans komplexitet.

Nivån skildras i Figur 8.



Figur 8. Figuren beskriver nivå 436 i Konsuln LKAB. Gul fyrkant markerar räddningskammarens placering.

Brandlarm finns vid olika områden på LKAB Konsuln, bland annat ställverk, teknikrum, maskinutrymmen och pumpstationer. Vid händelse av brand går signalen från detektor till larmcentral och kan i vissa fall kvitteras och undersökas av driftspersonal innan det går vidare. Vid konstaterande av brand eller vid direkta signaler larmas räddningstjänst ut och personer i närheten meddelas via telefon, komradio eller utrymningslarm. Utöver brandlarm finns också utrymningslarm utplacerade på arbetsplatser som varnar personal.

I större gruvor kan tunnelns diameter variera ett flertal meter mellan olika tunnlar. Diametern kan också variera i en och samma tunnel. I tabellen nedan mättes diametern vid 16 olika punkter av samma tunnel. Medelvärde 8,42 meter för mätpunkterna utgör en representativ tunneldiameter vid beräkningar. Vid beräkning av area och omkrets liknas tunnelns tvärsnitt vid en cirkel. Resultatet finns i Tabell 2.

Tabell 2. Tabellen beskriver uppmätt tunneldiameter, -area samt -omkrets i LKAB Konsulns snedbana.

Mätpunkt	Uppmätt tunneldiameter [m]	Tunnelarea [m <sup>2</sup> ]	Omkrets [m]
1	7,45	43,6	23,4
2	6,63	34,6	20,8
3	8,24	53,4	25,9
4	10,1	79,7	31,7
5	6,19	30,1	19,5
6	8,24	53,4	25,9
7	7,59	45,3	23,8
8	9,84	76,1	30,9
9	9,47	70,4	29,7
10	9,36	68,8	26,1
11	8,32	54,4	24,5
12	7,81	47,9	29,1
13	9,25	67,2	29,4
14	7,98	49,9	25,0
15	8,56	57,5	26,9
16	9,73	74,3	30,6
<b>Medelvärde</b>	<b>8,42</b>	<b>56,6</b>	<b>26,5</b>

#### 5.1.4.1 Varseblivningstid

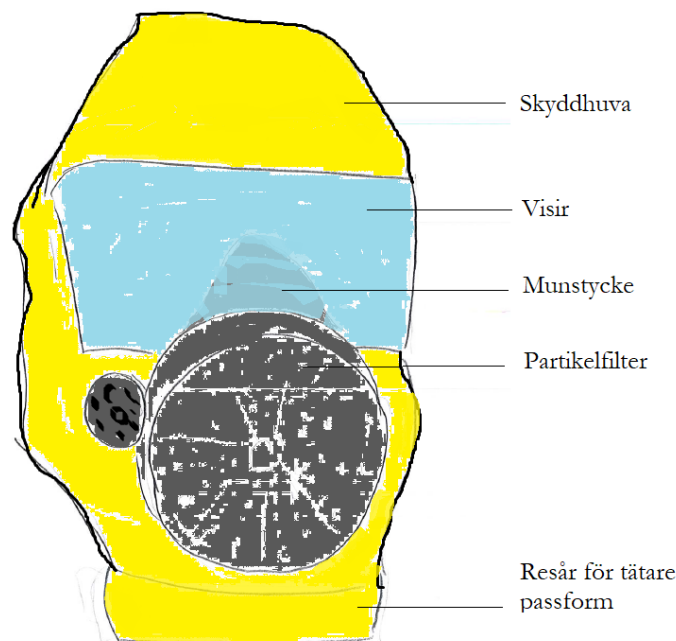
I scenarierna testas för både lång och kort varseblivningstid. Lång varseblivningstid approximeras till ca 5 minuter och kort varseblivningstid approximeras till en minut. Personen kan vara relativt opåverkad av branden i det tidiga skedet av brandförloppet och befinna sig i en tvärort som inte är i närheten av brandobjektet. Under branden som inträffade 2018-02-19 på LKAB Kiruna uppskattade föraren att släckinsatsen tog ca 15 minuter, släckinsats approximeras vid beräkningar att ta mellan fem och tio minuter och utförs med flykthuva.

#### 5.1.4.2 Flykthuva

Resistenstiden i flykthuvor som används på LKAB varierar beroende på röktäthet och partikelkoncentration men håller i minst 30 min enligt tillverkaren (Sundström Safety). En illustration av flykthuvan visas i Figur 9. Flykthuvorna är utrustade med gas- och partikelfilter för brand- och kemikalieolyckor. Huvorna som testas i rapporten och används på LKAB är tillverkade enligt SS-EN 403:2004 som är en Europeisk standard. Huvorna testas genom att utsätta filtret för en kontrollerad mängd gas. Gaserna som mäts är;

- Kolmonoxid
- Propenal
- Väteklorid
- Vätecyanid

Under processen kontrolleras luftens flöde, fuktighet och gasens koncentration (SIS, 2004). Flykthuvan har i sig inget skydd mot låg syrehalt, vilket har tagits med vid beräkning.



Figur 9. Figuren visar en illustration över flykthuva med partikelfilter.

I samband med utrymningsövning på LKAB Konsuln 2019-11-13 gjordes en enklare undersökning över förberedelsetiden vid användning av flykthuva. Tio personer som arbetade i gruvan fick i uppgift att ta på sig en flykthuva. Samtliga personer hade hjälm. Resultaten varierade enligt Tabell 3 men tog ingen hänsyn till de fall då flykthuvan inte befinner sig i användarens direkta närhet, vilket ibland är fallet.

Tabell 3. Tabellen beskriver tiden till dess att flykthuvan satt tätt runt försökspersonens ansikte och hals.

Person	Tid [s]
1	30
2	75
3	84
4	24
5	90
6	21
7	25
8	57
9	25
10	86
<b>Medelvärde</b>	<b>49,7</b>

Vid beräkning av flykthuvans effekt på utrymningstiden adderas 49,7 sekunder till förberedelsetiden, vilket utgör ett medelvärde för påtagning enligt Tabell 3. Under de 30 minuter som huvan används påverkas inte personen av kolmonoxid, koldioxid och irriterande brandgaser. Värmepåverkan, värmestrålning och syrekoncentration följer samma mönster som standardberäkning för hela förloppet.

#### 5.1.4.3 Ventilation

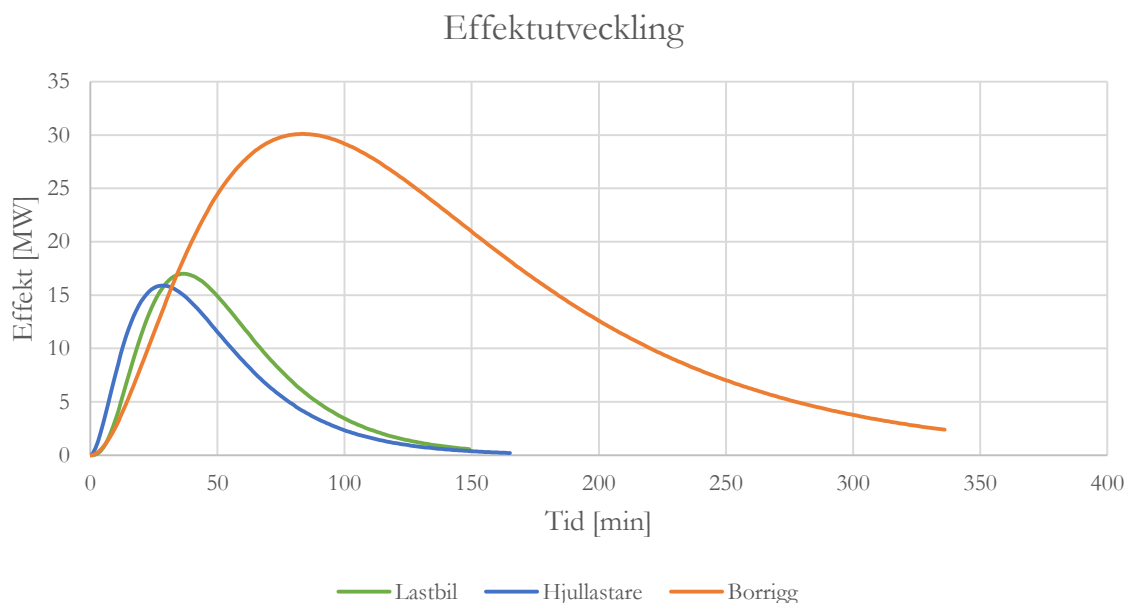
Idag används endast tilluftsflöde i LKAB Konsuln där luften pumpas in längst in på skivorna och längst ner i snedbanan. Maximal lufttillförsel utnyttjas oftast vilken ligger på ca 100m<sup>3</sup>/s. (Klemo, 2020) För uppmätt geometri, Tabell 2, ges en lufttillförsel på 1,8m/s. Värdet liknar resultat från mätningar som

utförts i en annan del av gruvan under 2016, där lufthastigheten varierade mellan 1,2-2 m/s (Johnsson, o.a., 2016). In till varje tvärort kommer det då att finnas fläkt med friskluftsduk. Om det pågår aktivitet i tvärorten kommer den fläkten att vara igång. Även om fläkten inte är igång finns dock risk för att brandrök ska pressas in i tvärorten. (Klemo, 2019)

Hastigheten vid avstängd tilluft baseras på undersökning av Rickard Hansen från 2010 till 0–1 m/s (Hansen, 2010). Vid beräkning representeras därför avstängd lufttillförsel men en lufthastighet på 0,5 m/s och 1 m/s. Enligt Svemin (2009) är en lufthastighet på 3–4 m/s vanligt förekommande i gruvorter. Vid beräkning av lufthastighetens inverkan på utrymningstiden används värdena; 0,5 m/s, 1,0 m/s, 1,8 m/s och 3,5 m/s.

### 5.1.5 Scenarier

Beräkningarna delas in i tre olika scenarier där bränslet består av typiska fordon som används i LKAB Konsuln; hjullastare, borrhigg och lastbil. Faktorer som undersöks är förberedelsetid baserat på om släckinsats utförs, användning av flykthuva samt lufthastighet i gruvgången. Förberedelsetiden varierar vid standardläge mellan en och fem minuter. I Figur 10 finns en sammanställning för effektutveckling för de olika scenarierna. Kurvorna baseras på tidigare försök och presenteras mer ingående under respektive scenario.



Figur 10. Figuren beskriver effektutvecklingen för respektive scenario baserat på de indata som hittas i respektive tabell.

Borrhigg har en betydligt högre maximal effekt än hjullastaren och lastbilen men en något långsammare tillväxt. Borrhiggen representerar en större brand under jord. Bränder i storleksordningen hjullastaren och lastbilen förekommer oftare än det för borrhiggen. Effektutvecklingen är relativt lika och kan ge en indikation på effektutvecklingens inverkan på utrymningsförloppet. Effektutveckling kan variera kraftigt mellan olika brandobjekt och går därför inte att applicera på gruvfordon i allmänhet.

#### 5.1.5.1 Hjullastare

I ett experiment av Hansen och Ingason (2013) har brand i fullskala utförts på två fordon typiska vid gruvindustri, en hjullastare och en borrhigg (Ingason, o.a., 2013). Fordonen är representativa för verksamheten under jord i Kiruna. Däcken på en hjullastare har hög rökpotential och strålningsvärme och kan brinna med upp till 3 MW (Ingason, o.a., 2010). Tabell 4 beskriver uppmätt effekt fullskaleförsök (Ingason, o.a., 2013).

I Tabell 4 hittas de värden som används vid effektberäkning för hjullastare.

Tabell 4. Tabellen beskriver mätvärden vid fullskaleförsök på hjullastare och är hämtade från Hansen och Ingason (2013).

Variabel	Värde	Beskrivning	Källa
<b>Qmax1</b>	15,9 MW	Maximal effekt	(Ingason, o.a., 2013)
<b>Etot1</b>	57000 MJ	Totala energiinnehållet	(Ingason, o.a., 2013)
<b>Etot2</b>	50500 MJ	Sekundära totala energiinnehållet	(Ingason, o.a., 2013)
<b>n1</b>	2,9		(Ingason, o.a., 2013)

#### 5.1.5.2 Borrigger

Borrigger som används i försök av Hansen och Ingason (2013) är elektroniskt driven men använder dieselmotor vid förflyttning. Hydraulolja och trycksatta system finns på fordonet med höga energiinnehåll men, likt hjullastaren finns också stora däck på fordonet som utgör en stor del av det totala energiinnehållet (Ingason, o.a., 2013). Tabell 5 beskriver uppmätt effekt vid fullskaleförsök (Ingason, o.a., 2013).

I Tabell 5 hittas de värden som används vid effektberäkning för hjullastare.

Tabell 5. Tabellen beskriver mätvärden vid fullskaleförsök på hjullastare och är hämtade från Hansen och Ingason (2013).

Variabel	Värde	Beskrivning	Källa
<b>Qmax1</b>	30,1 MW	Maximal effekt	(Ingason, o.a., 2013)
<b>Etot1</b>	309000 MJ	Totala energiinnehållet	(Ingason, o.a., 2013)
<b>Etot2</b>	0 MJ	Sekundära totala energiinnehållet	(Ingason, o.a., 2013)
<b>n1</b>	3		(Ingason, o.a., 2013)

#### 5.1.5.3 Lastbil

Lastbilar används i stor utsträckning för transport under jord på LKAB. De stora incidenter som inträffat har oftast involverat brand i lastbil. Tillväxthastigheten för lastbilen liknas vid den för en buss, därför används samma värde på *retard index* som används vid beräkning av gånghastighet vid bussolycka av Ingason et. al (2010)

Lastbilens värden baseras på en simulerad lastbilslast med lastbilsdäck och värdena är hämtade från (Ingason, o.a., 1994). Lasten bestod då av plast och trä. Värden som används vid beräkning av lastbilens brandförlopp hittas i Tabell 6

Tabell 6. Tabellen beskriver mätvärden som använts vid beräkning av lastbilens brandförlopp.

Symbol	Värde	Beskrivning	Källa
<b>Qmax1</b>	17 MW	Maximal effekt	(Ingason, o.a., 1994)
<b>Qmax2</b>	13 MW	Maximal effekt för andra ”peaken”	(Ingason, o.a., 1994)
<b>Etot1</b>	64 000 MJ	Totala energiinnehållet	(Ingason, o.a., 1994)
<b>n1</b>	4		(Ingason, o.a., 1994) (Ingason, o.a., 2010)

## 5.2 Beräkningsresultat

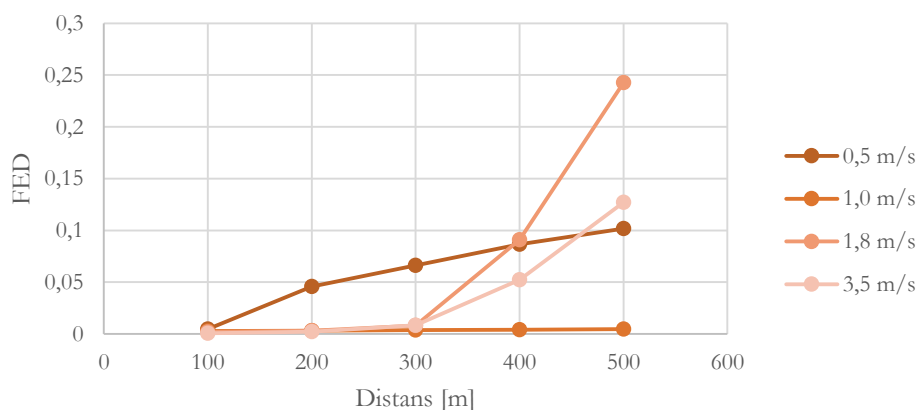
I avsnittet redovisas en sammanställning av beräkningsresultat.

### 5.2.1 Borrigger

I scenariot Borrigger inträffade maximal brandeffekt 30,1 MW efter ungefär 83 minuter.

Ventilationshastigheten hade viss inverkan på utrymningsförloppet i scenariot borrigger då utrymningstiden var kort. Vid en förberedelsestid på en minut var en hög ventilationshastighet fördelaktig. Inget gränsvärde nåddes vid utrymning i något av fallen vid en minuts förberedelsestid, se Figur 11.

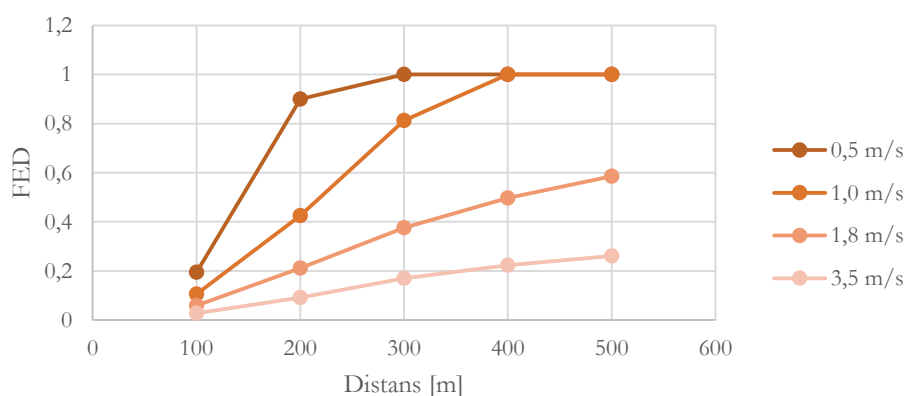
Ventilationshastighetens inverkan i scenario borrigger vid 1 min förberedelsestid



Figur 11. Figuren visar lufthastighetens inverkan på utrymningen i scenariot borrigger med en förberedelsestid på 1 minut.

Vid en förberedelsestid på fem minuter var låg ventilationshastighet betydande konsekvenser. Utrymning kunde inte fullbordas i något av fallen då naturlig ventilation simulerades. Vid en ventilationshastighet på 1,8 m/s överskreds gränsvärdet FED=0,3 vilket innebär att säkerhetsmarginalen är låg. Se Figur 12.

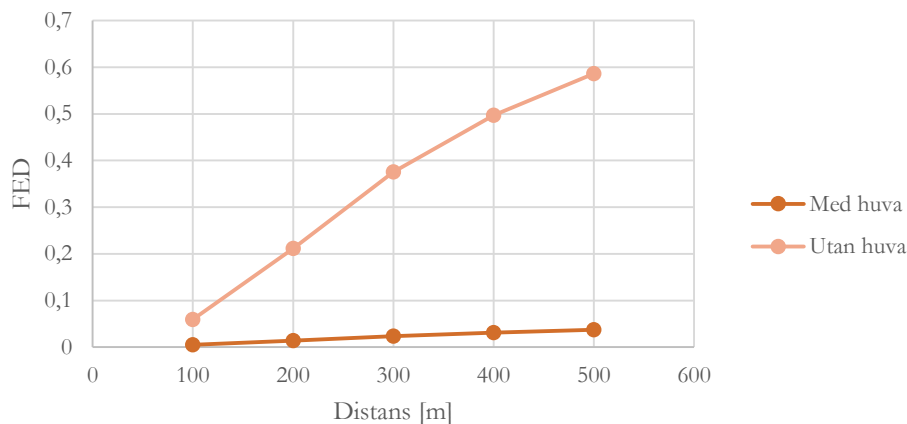
Ventilationshastighetens inverkan i scenario borrigger vid 5 min förberedelsestid



Figur 12. Figuren visar lufthastighetens inverkan på utrymningen i scenariot borrigger med en förberedelsestid på 1 minut.

Användning av flykthuva visade en markant ökning av säkerheten. Inget gränsvärde nås och säkerhetsmarginalen ligger på en acceptabel nivå. Se Figur 13.

### Utrymning vid förberedelsetid 5 min med och utan flykthuva för scenario borrhigg



Figur 13. Figuren beskriver hur flykthuva påverkar utrymningssäkerheten vid en förberedelsetid på 5 minuter i scenariot borrhigg.

Vid lägre vindhastighet och vid släckförsök som orsakar en förberedelsetid mer än 400 sekunder fullbordas inte utrymning på grund av för hög strålningsdos. Dessa resultat visas inte då personen förväntas inte vistas i närheten av om strålningsvärmens från branden är för hög.

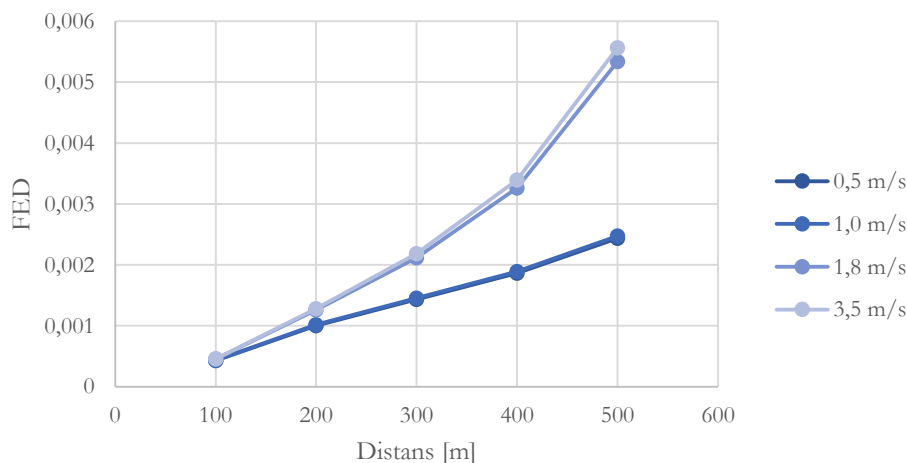
Säkerhetsmarginalen var generellt låg vid ventilationshastighet under 1,8 m/s i scenariot borrhigg.

#### 5.2.2 Hjullastare

I scenario Hjullastare inträffade maximal brandeffekt på 15,9 MW efter ca 30 minuter.

Ventilationshastigheten hade liten inverkan på utrymningsförloppet vid brand i hjullastare vid en kort förberedelsetid. Resultatet visade marginellt bättre utrymningsförhållanden vid en låg ventilationshastighet, se Figur 14.

### Ventilationshastighetens inverkan i scenario hjullastare vid 1 min förberedelsetid

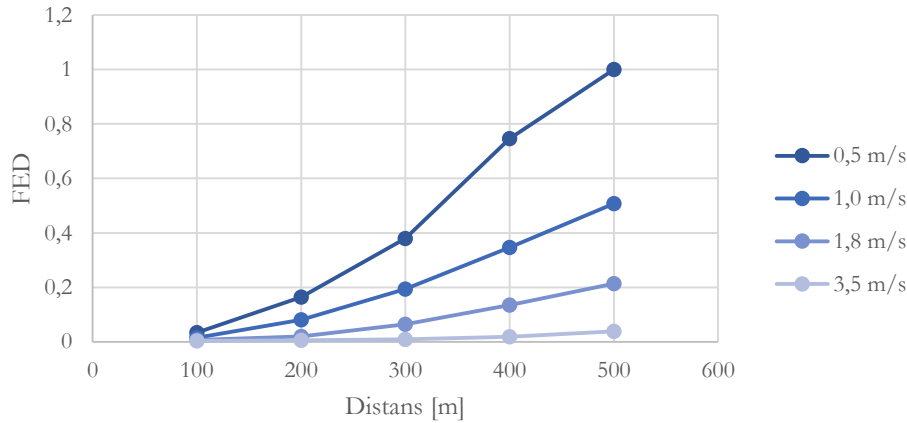


Figur 14. Figuren visar lufthastighetens inverkan på utrymningen i scenariot hjullastare med en förberedelsetid på 1 minut.

En förberedelsetid på fem minuter resulterade i mindre gynnsamma förhållanden vid låg ventilationshastighet. Ventilationshastigheten hade stor inverkan på utrymningsförloppet. Vid endast

naturlig ventilation på 0,5 m/s kunde inte utrymning fullbordas. Vid en naturlig ventilation på 1,0 m/s nåddes gränsvärdet FED=0,3 se Figur 15.

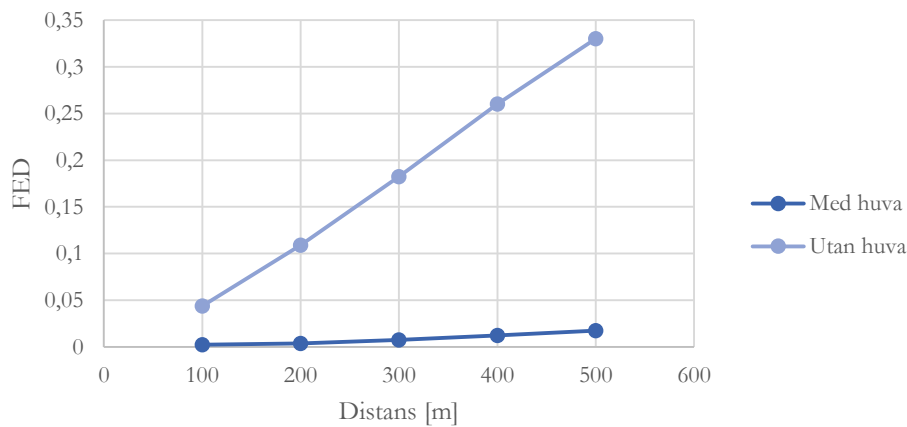
### Ventilationshastighetens inverkan i scenario hjullastare vid 5 min förberedelsetid



Figur 15. Figuren visar lufthastighetens inverkan på utrymningen i scenariot hjullastare med en förberedelsetid på 1 minut.

Likt scenariot borrhigg hade flykthuva stor inverkan på utrymningsförloppet i scenariot hjullastare. Användning av flykthuva utsatte personen för betydligt lägre toxisk påverkan. Vid fem minuters förberedelsetid når personen gränsvärdet för FED=0,3 utan flykthuva men inte med, se Figur 16.

### Utrymning vid förberedelsetid 5 min med och utan flykthuva för scenario hjullastare

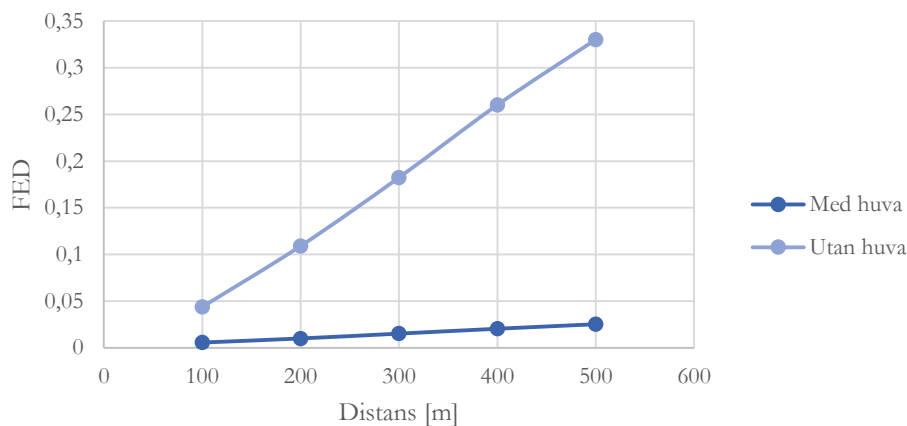


Figur 16. Figuren beskriver hur flykthuva påverkar utrymnings säkerheten vid en förberedelsetid på 5 minuter i scenariot hjullastare.



Samma resultat som vid en förberedelsestid på fem minuter, se Figur 16, observerades vid en förberedelsestid på tio minuter, se Figur 17.

### Utrymning vid förberedelsestid 10 min med och utan flykthuva för scenario hjullastare



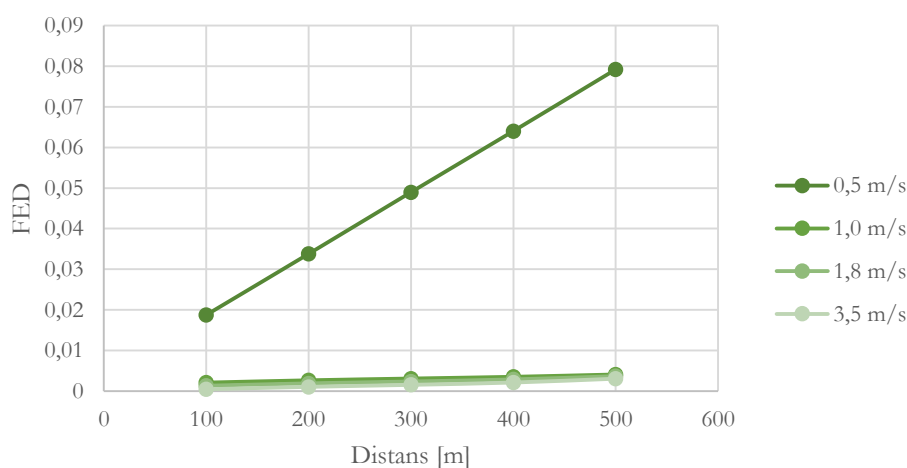
Figur 17. Figuren beskriver hur flykthuva påverkar utrymningssäkerheten vid en förberedelsestid på 10 minuter i scenariot hjullastare.

Säkerhetsmarginalen är generellt låg vid ventilationshastighet under 1,0 m/s i scenario Hjullastare.

#### 5.2.3 Lastbil

I scenariot Lastbil inträffade maximal brandeffekt på 17 MW efter ungefär 35 minuter. Scenariot liknar det för hjullastare. Vid en kort förberedelsestid på en minut var utrymningsförhållanden relativt goda vid hög ventilationshastighet. Endast vid låg ventilationshastighet nåddes gränsvärdet  $FED=0,3$ , personen hade en hög ackumulerad dos toxiska produkter vid slutet av utrymningen, se Figur 18.

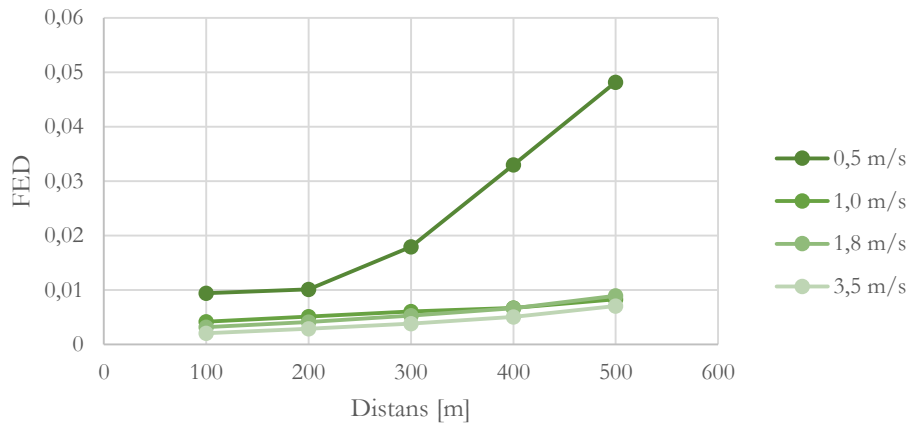
### Ventilationshastighetens inverkan i scenario lastbil vid 1 min förberedelsestid



Figur 18. Figuren visar lufthastighetens inverkan på utrymningen i scenariot lastbil med en förberedelsestid på 1 minut.

Vid en längre förberedelsestid på fem minuter hade låg ventilationshastighet fortsatt negativ inverkan på utrymningsförloppet. Sammanvägt för samtliga ventilationshastigheter gick utrymningsförloppet bättre för personen vid en längre förberedelsestid i scenariot lastbil, se Figur 19.

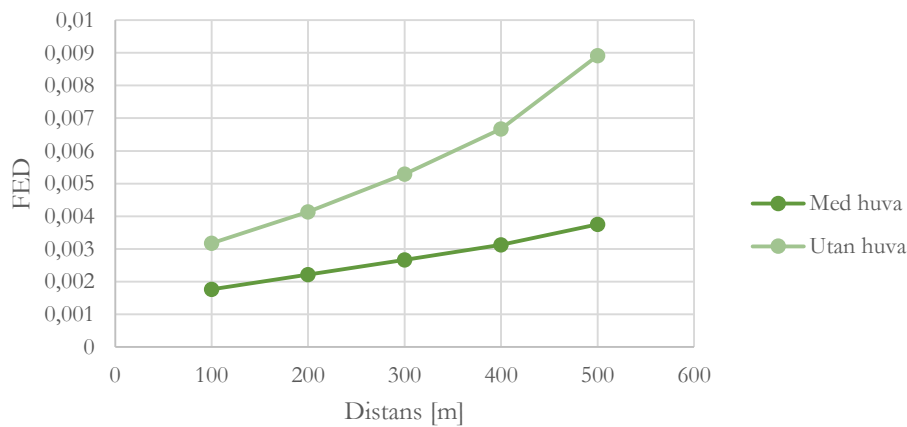
### Ventilationshastighetens inverkan i scenario lastbil vid 5 min förberedelsestid



Figur 19. Figuren visar lufthastighetens inverkan på utrymningen i scenariot lastbil med en förberedelsestid på 5 minuter.

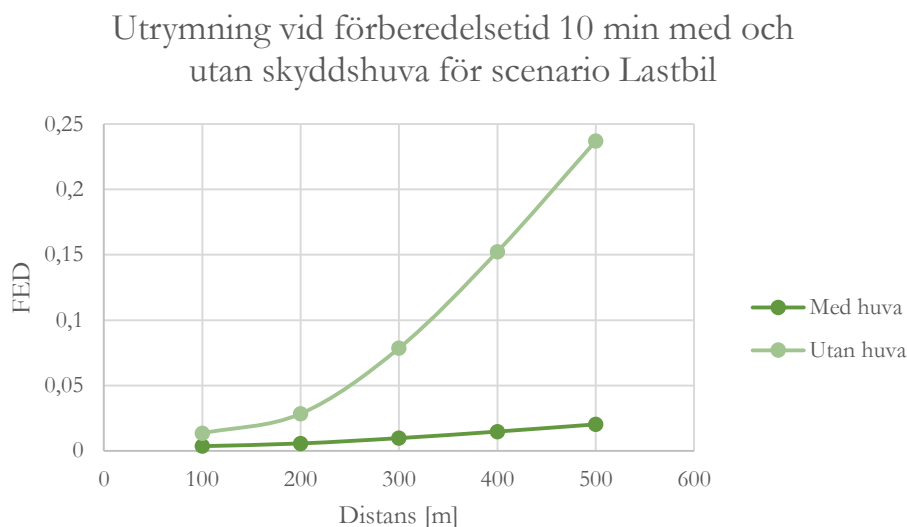
Flykthuva gjorde marginell skillnad på utrymningsförloppet vid en förberedelsestid på fem minuter i scenariot lastbil Figur 20.

### Utrymning vid förberedelsestid 5 min med och utan flykthuva för scenario lastbil



Figur 20. Figuren beskriver hur flykthuva påverkar utrymningssäkerheten i scenariot lastbil med förberedelsestiden 5 minuter.

Vid en längre förberedelsestid, tio minuter, hade flykthuvan en större inverkan på utrymningssäkerheten i scenariot lastbil. Personen når inget gränsvärde. Se Figur 21.



Figur 21. Figuren beskriver hur flykthuva påverkar utrymningssäkerheten i scenariot lastbil vid en förberedelsestid på 10 minuter.

Ventilationshastighetens påverkan på brandförloppet varierade. Vid förberedelsestid på en minut visade hög ventilationshastighet en lite mer positiv påverkan på utrymningssäkerheten. I försök där en förberedelsestid på fem minuter simulerades visade låg ventilationshastighet en mycket högre positiv påverkan på utrymningssäkerheten.

Förberedelsestiden hade stor inverkan på utrymningssäkerheten där en kort förberedelsestid var fördelaktigt.

Toxisk påverkan av brandgaser minskade kraftigt vid användning av flykthuva. Inte i något av scenarierna blev personen oförmögen att fullborda utrymning på grund av för hög koncentration av gaserna CO, CO<sub>2</sub> eller för låg koncentration av O<sub>2</sub>. Värmpåverkan från brandgaslager hade väldigt låg påverkan på personen under utrymningsförloppet. Personen förväntas inte heller stanna vid fordonet om strålningsintensiteten blir högre än 2,5 kW/m<sup>2</sup>. I fallen med flykthuva simulerades också släckförsök och förberedelsestiden ökade till fem och tio minuter. Kritiska förhållanden vid släckförsök nåddes inte om flykthuva användes.

#### 5.2.4 Resultatanalys

Resultat från beräkningar är scenario- och omgivningsberoende och kan endast ses som exempel på utfall vid dimensionerade förutsättningar. Mätningar har utförts och data har hämtats från LKAB Konsuln, men för mer korrekta resultat krävs mer forskning och tester på brandscenarier i den specifika miljön med mer specifika förutsättningar. Baserat på de resultaten från beräkningar skulle rekommendationer vara att;

- Att räddningskammare vid arbete med tunga maskiner som borrhugg bör ligga på kortare avstånd än 500 meter om flykthuva inte finns tillgängligt i personens direkta närhet.
- Att flykthuva bör finnas tillgängligt i personens direkta närhet på alla arbetsplatser under jord samt att släckförsök inte bör utföras utan flykthuva.
- Vid jämförelse av brandförloppen, Figur 10, syns att fordon med en hög effektutveckling vid test innebär stora säkerhetsrisker för personal under jord. Vid jämförelse av scenariot hjullastare och scenariot lastbil finns indikationer på att en snabb brandtillväxt har större inverkan på brandförloppet än en hög brandbelastning. Iakttagelserna kan inte betraktas som resultat och kräver vidare undersökning för att kunna analyseras.

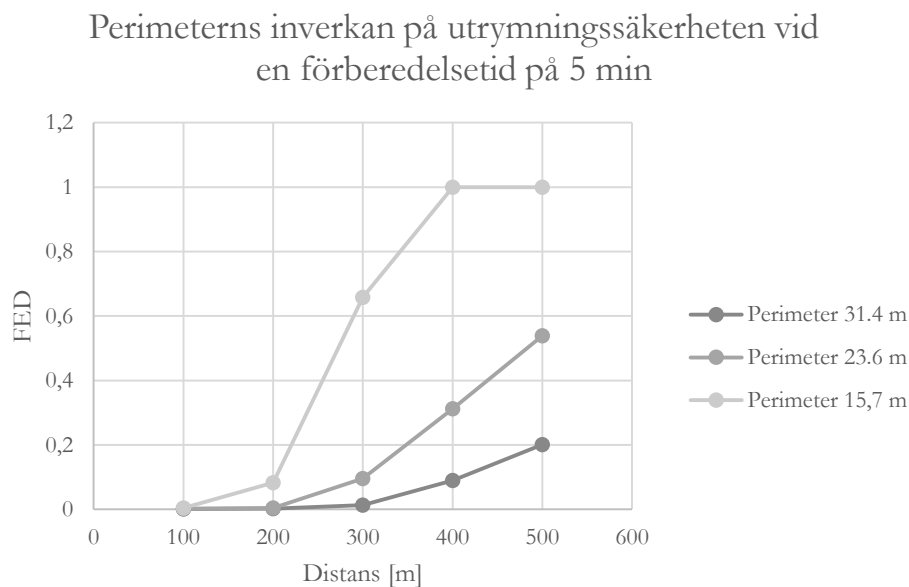
Vid beräkning används en relativt kort tid för påtagning av räddningshuvu. Ungefär 50 % av de som testades tog längre tid på sig att ta på luvan. För ett mer konservativt resultat kan en längre tid användas.

Vid samtliga fall hann inte personen påbörja utrymning innan rökfronten passerat startsträckan. Om personen i stället upptäcker branden i ett tidigt skede hade resultatet kunnat vara annorlunda.

### 5.2.5 Känslighetsanalys

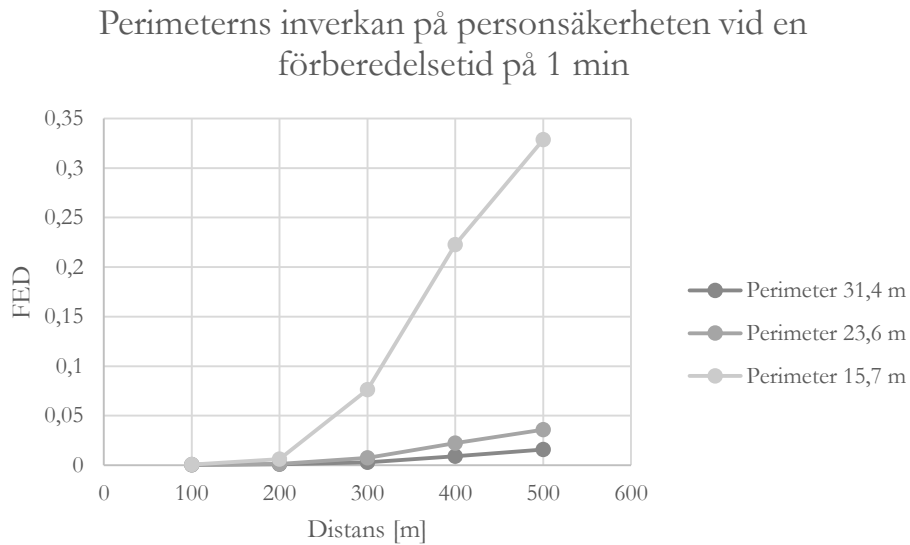
Storleken på gruvgången har stor inverkan på slutresultatet vid beräkning enligt Frantzich (2011). I Figur 22 varieras diametern och således omkretsen för gruvgången. Tunnelar med diametern 5, 7,5 och 10 undersöktes för det allvarligaste scenariot, borrhög och normal ventilation på 1,8 m/s, och förberedelsetiden en och fem minuter.

Vid en förberedelsetid på fem minuter hade tunnelns diameter stor inverkan på utrymningssäkerheten. En mindre perimeter innebar att personen blev mer påverkad av brandgaserna. Vid en perimeter på 15,7 meter inträffade oförmåga att ta sig ut efter 200 meter, se Figur 22.



Figur 22. Figuren beskriver tunnelomkretsens inverkan på utrymningssäkerheten vid en förberedelsetid på 5 minuter.

Vid en kort förberedelsetid, på en minut, hade perimetern ingen inverkan på utrymningsförloppet i scenariot, se Figur 23. I samtliga försök var säkerhetsmarginalen god. Se Figur 23.



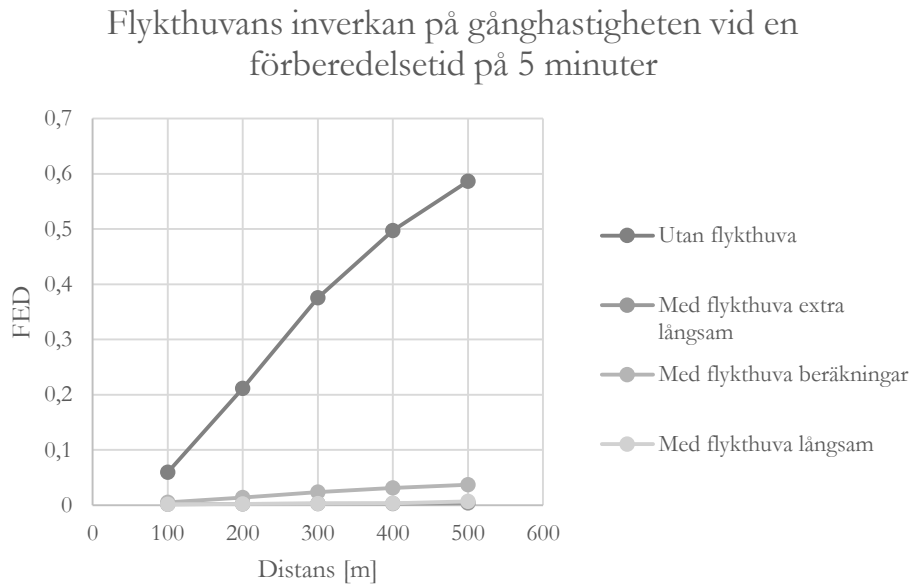
Figur 23. Figuren beskriver tunnelomkretsens inverkan på utrymningssäkerheten vid en förberedelsetid på 1 minut.

I Figur 24. Redovisas utrymning vid olika gånghastigheter för scenariot borrhög. I beräkningarna användes en ventilationshastighet på 1,8 m/s och en förberedelsetid på fem minuter. I beräkningarna redovisas också utrymningsförloppet med och utan användning av flykthuva och för samma gånghastighet som användes vid beräkningar för att skapa en extra dimension. Vid beräkningar hade gånghastigheten vid flykthuva en liten inverkan på säkerheten jämfört med att inte använda flykthuva alls. Gånghastigheterna som testas är;

- Samma gånghastighet som användes vid beräkningar
- Extra långsam gånghastighet
- Långsamgånghastighet

Samtliga enligt Karl Fridolf o.a. (2016).

Gånghastigheterna finns redovisade i Bilaga A – Beräkningsunderlag. Resultatet för beräkningar visade en marginell skillnad för säkerheten vid olika gånghastigheter och användning av flykthuva. Trots att gånghastigheten blev långsammare var förhållanden vid användning av flykthuva betydligt bättre än när den inte användes. Se Figur 24.



Figur 24. Figuren visar gånghastighetens inverkan på utrymningsförloppet vid användning av flykthuva. För dimension finns även utrymningsförlopp utan flykthuva redovisat i figuren. Förberedelsetiden är 5 minuter.

Felmarginalen för gånghastigheten kan uppskattas till relativt liten vid beräkningar där flykthuva används. Däremot skiljde sig resultatet vid olika tunneldiameter markant. För att få en tillförlitlig beräkning bör tunneldiameter testas för de specifika områden i gruvor som analyseras. Med fördel bör beräkningar göras för konservativa värden på tunneldiameter.

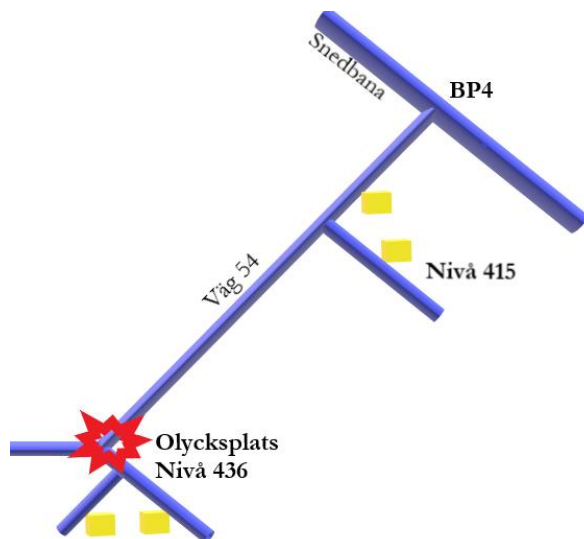
## 6 Utrymningsövning

Syftet med utrymningsövningen var att testa personalens kunskaper kring utrymning under jord. Innan övningen påbörjades definierades vilka moment i utrymningsskedet som skulle granskas. Momenten som valdes ut baserades på litteraturundersökning, gruppdiskussion och resultat från beräkningar;

- Användning av flykthuva
- Utrymningstid
- Larmfunktion
- Vetskap om räddningskamrarnas placering
- Vetskap om rutiner vid självräddning

Vid förberedelser för övningen placerades två bilar vid korsningen till nivå 436 efter väg 54 i Konsuln, LKAB, se Figur 25. Övningen startade klockan 11:00 med att information om en bilolycka rapporterades till LKABs underjordsstab och räddningsinsats påbörjades. LKABs egen ovanjords- och underjordsstyrka aktiverades. Räddningstjänsten begav sig aldrig ner till olycksplatsen. Vid övning undersöktes bara stabsarbetet.

Ingen utöver övningsledning, räddningspersonal och gruvstab hade informerats om övningen i förväg. Personer i närheten av den simulerade brandplatsen, som såg när scenariot riggades upp, instruerades att agera efter rutin samt agera inför sina kollegor som om verklig brand inträffat. Efter 10 minuter klockan 11:10 rapporterades att brand inträffat vid olycksplatsen och att personer befann sig skadade i bilarna. Vid samma tidpunkt startades en rökmaskin och utrymningsövningen initierades.



Figur 25. Figuren beskriver övningsområdets layout. Gula markeringar visar räddningskammare och räddningsrum. Röd markering visar olycksplats, varifrån olycka och brand rapporterades in. BP 4 visar brytningspunkt för räddningstjänst. Bilden är ej skalening.

Personal på nivå 436 meddelades om brand via komradio. Anropen gjordes flera gånger under övningstillfället.

Efter väg 54 fanns observatörer utplacerade. En vid räddningsrum 415, en vid närmaste brytpunkt, BP4 och en vid räddningskammare och arbetsområde 436 se Figur 25. Observatörerna hade som uppgift att meddela personal förbipasserande om att brand utbrutit på nivå 436 och att de skulle agera enligt rutin. Efter slutförda rutiner fick deltagarna fylla i en enkät med frågor berörande utrymningsstrategi som presenteras i avsnitt 6.4

### 6.1 Utrymningsstrategi

Vid upptäckt av brand används modellen rädda-varna-larma-släck (LKAB, 2019).

- Rädda personer i omedelbar fara
- Varna andra i närheten av branden.
- Larma SOS och gruvstab
- Släck om möjligt annars utrym direkt

För att varna andra i närheten används oftast komradio eller telefon. Dessa har dock begränsad täckning och når ibland inte ut till hela området. Vid larmsignal eller meddelande om brand ska personal i första hand ta sig till en ny, rökfri, nivå och i andra hand uppsöka närmaste säkra plats på den nivå de befinner sig. Väl på säker plats ska de kontakta SOS och gruvstaben för att förklara var de befinner sig, hur många de är, vilka de är och annan akut information, till exempel skada eller sjukdomsfall. När meddelande om brand når gruvstaben skickas en varning ut till informationsskyltar som finns utplacerade längs snedbanan, för att förhindra trafik mot platsen.

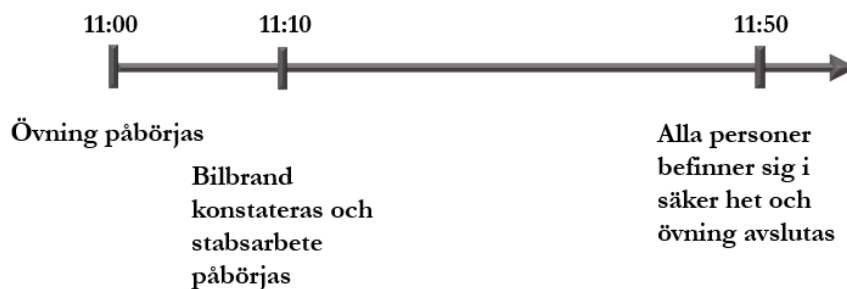
## 6.2 Avgränsningar

Den iscensatta kollisionen såg inte helt realistisk ut, därför fick två personer som befann sig i närheten av bilarna ganska snabbt reda på att det var en övning som pågick. Kunskapen om att övning pågår kan påverkat personernas agerande, bland annat att flykthuva inte medtages eller ansågs nödvändig. Samma gäller personer som inte påverkades av röken på grund av liten spridning upp i snedbanan. Rökmaskinen var bra för effekt men lyckades inte fylla hela sträckan upp till BP4. Röken var dessutom betydligt tunnare än vid skarp händelse och sikten var därför relativt god.

## 6.3 Resultat Utrymningsövning

Vid övningen tog det ungefär 50 minuter innan alla personer försatt sig i säkerhet se Figur 26. Personerna med längst varseblivningstid hade ingen uppsikt över olycksplatsen och påverkades inte av rökutvecklingen. Personer som befann sig nära den simulerade bilkrocken registrerade rökutveckling i tidigt skede.

Vid tillfället arbetade 27 personer i området varav samtliga deltog i övningen. Sista person att ta sig till räddningskammare rapporterade in till staben ca 50 minuter efter att larmet ringts in. En person rapporterade in fel nummer på sin räddningskammare och kunde därför inte kontaktas.

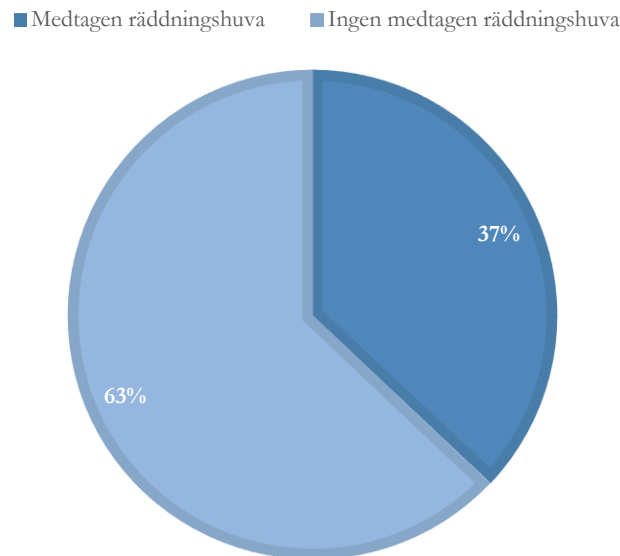


Figur 26. Bilden beskriver en tidslinje över resultat vid utrymningsövning

Vid observation hade 10 personer av 27 deltagare med sig flykthuva till säker plats vilket utgör ungefär 37% av deltagare i övningen, se Figur 27.



## Användning av flykthuva vid transport under brand



Figur 27. Andel som tog med sig flykthuva under transport till säker plats vid övningen.

Enligt observation räckte inte röken från rökmaskinen till för att personer i närheten skulle uppfatta brand och påbörja utrymning direkt. Deltagare tenderade att undersöka den simulerade olycksplatsen innan de begav sig till räddningskammare. Röken färdades i riktning ut från skivan och personer inne på skivan hade klar sikt och rökfri miljö vid utrymning.

### 6.4 Enkätundersökning

Enkätundersökning utfördes i syfte att förstå hur personer som arbetar i gruvan upplever utrymningssituationen samt att få inblick i kunskapsnivån. Enkäten finns i Bilaga C – Enkätundersökning.

Enkäter skickades i efterhand ut till fler än enbart övningsdeltagare. Sammantaget besvarade 38 personer antingen helt eller delvis enkäten kring utrymning i underjordsgruvan i Konsuln. Cirka 95 % av personerna som svarade på enkäten ansåg sig ha tillgång till flykthuva i sin direkta närhet trots att enbart 37 % hade tagit med sig flykthuva vid övningstillfället.

På frågan ”Vad gör du vid händelse av brand i Konsuln? - Beskriv de olika momenten som utförs innan, under och efter utrymning. Försök att vara detaljerad. Du kan anta olika scenarier om det underlättar beskrivningen.” nämnde enbart 18 % flykthuvan vid transport till kammare.

För de flesta som deltog i enkätundersökningen varierar arbetsplatsen från dag till dag men för de med fast arbetsplats under jord uppskattade 15 % att avståndet till räddningskammare överstiger 400 meter. Och 19 % uppskattade förflyttningstiden till fem minuter eller mer i rökfri miljö.

Vid frågan ”känner du dig säker på hur du ska agera vid händelse av brand i Konsuln?” svarade 27 % nej och 73 % ja där svarsalternativet ”nej” inkluderar svar där personen själv skrivit till ”ibland” eller ”delvis”.

Vid frågorna ”Vad hade kunnat förbättras med avseende på utrymning i Konsuln?” och ” Övriga tankar kring utrymningsövning” var det vanligaste svaret ”fler utrymningsövningar”.

#### 6.4.1 Resultatanalys

Problem som påverkade utrymning negativt för försökspersoner vid utrymningsövning var främst kommunikationsmöjligheter och utbildningsnivå. Radiotäckningen upplevdes som otillräcklig av försökspersoner och det var många som inte registrerade branden vid första anropet, antingen på grund av dålig täckning eller buller.

Under utrymningsövningen agerade de flesta enligt föreskrifter på LKAB Konsuln. Trots detta skiljde sig beskrivning kring rutiner åt vid enkätundersökning. Att svaren inte överensstämmer med verkligt agerande under övning kan bero på oklarheter i frågan, bristande intresse eller påverkan av gruppen vid utrymningsituation. Samma sak gäller flykthuvan där endast 18 % nämnde den som en del av utrymning trots att 63 % tog med sig den in i kammaren.

Enbart ett fåtal personer deltog i utrymningsövning och svarade på enkätfrågor varav många tillhörde samma skiftlag/arbetslag. För en mer tillförlitlig bild av kunskapsnivån hade fler utrymningsövningar erfordrats, vid olika platser i Konsuln. Utrymningsövningen och enkäten gav dock en uppfattning om hur personalen i gruvan upplever och förhåller sig till självräddning på LKAB Konsuln. Det gav också en indikation på hur det är möjligt för LKAB att skapa mer trygghet kring rutinerna vid brand.

Vid utrymningsövning tog sig alla deltagare, utom en, till räddningskammare och agerade där enligt riktlinjer från LKAB. Personen som inte tog sig till räddningskammare hade inte fått information om branden och var inte heller påverkad av rökutveckling.

Även vid de tillfällen då utrymning tog längre tid än dimensionerad hållbarhet för flykthuvan, 30 minuter, minskade påverkan av toxiska gaser med över 50%. Endast 37% av personerna i testet med sig flykthuva till räddningskammaren vid utrymningsövning. Teorier kring varför deltagare i övningen inte tog med sig flykthuva är;

1. Det fanns ingen rök vid kammaren och deltagare därför bedömde huvan överflödigt
2. Okunskap
3. Stress eller glömska
4. Vetskap om övning och därför slarv med rutiner

I teori 1, 2 och 3 kan utbildning eller fler och kontinuerliga övningstillfällen med utvärdering vara lämpligt. Både utbildning och övningstillfällen kan dessutom hållas korta och informativa för att inte påverka arbetsprocessen.

## 7 Diskussion

Några av de verktyg och strategier som används i underjordsgruvor har undersökts och utvärderats genom litteraturstudie, gruppdiskussion, beräkningar och utrymningsövning. Metoden som har använts kallas triangulering och innebär att i de fall där resultatet från flera undersökningsmetoder pekar i samma riktning finns det större belägg för att observationen stämmer. I diskussionen jämförs och analyseras resultaten från rapportens alla tre delar.

### 7.1 Verktyg vid utrymning

Ett flertal verktyg används för att förbättra personsäkerheten ur brandsynpunkt. Några av de strategier och verktyg som används för att öka personsäkerheten vid händelse av brand och som har undersökts närmare i rapporten är;

- Räddningskammare
- Flykthuva
- SBA och utbildning är ett lagkrav enligt arbetsmiljöverket. I SBA ingår förebyggande brandskydd, övning och utbildning.
- Mekanisk ventilation
- Möjlighet till assisterad utrymning och samarbete med räddningstjänst.

#### 7.1.1 Räddningskammare

Räddningskammare kan utgöra ett alternativ till utrymningsväg under jord. Enligt Svemins och arbetsmiljöverkets rekommendationer bör räddningskammarens placering inte överskrida 500 meter från annan utrymningsväg eller närmare än 200–300 meter från en brytningsfront. Arbetsmiljöverket ställer krav på riskutredning. Enligt arbetsmiljöverket ska räddningskammare placeras ”... där så erfordras”. Rekommendationerna och kraven är väldigt vaga och beskriver inte vilka förutsättningar som bör beaktas vid placering.

Tidigare studier har visat att räddningskammarens placering och hur långt en person kan färdas i brandrök under jord beror på ett flertal faktorer, däribland; gånghastighet, toxicitet, tunnelns geometri och branden. Beräkningar visade att säkerhetsstandard 500 meter vid utrymning i scenariot borrhög var låg i de fall när flykthuva inte användes. För att ett avstånd på 500 meter vid ett fordon med den brandbelastningen bör alltså flykthuva alltid finnas åtkomlig för personer i området för att säkerheten ska vara tillräcklig. Arbetsmiljöverket ställer också krav på att flykthuva ska finnas i varje fordon vilken kanske inte är tillräckligt om den är oåtkomlig då samma fordon brinner. För eliminera risken att inte befinna sig nära en flykthuva kan strategin vid arbete under jord inkludera att den alltid bör medtagas där inte fler flykthuvor finns tillgängliga.

I gruppdiskussion framkom att kammare kan vara svåra att urskilja i tät brandrök. Fall har förekommit där personer, vid självräddning har gått förbi eller missat dem. Idag testas avspärningslinor i en trattform mot kammaren för att undvika att personer använder väggen som referenspunkt därför går runt eller förbi. Starka ljusrör vid handtag och runt dörren testas också, dels i navigeringssyfte, dels i kognitivt syfte för att markera ingång. Lystråd i marken som fungerade väl i tidigare undersökning av Kumm (2014) för räddningstjänstpersonal som navigeringsverktyg skulle kanske gå att applicera för att markera vägen till räddningskammare.

Ett av problemen som diskuterades angående utrymning var att personer, i stället för att ta sig till närmaste säkra plats, beger sig till en oskyddad naturlig samlingsplats som fikarum eller planeringskur. Förslag på åtgärd var att räddningskammare ska utgöra naturliga samlingsplatser för planering och rast, vilket fungerar väl på andra platser i gruvan på LKAB.

Känslighetsanalysen visade att tunnelns geometri påverkade brandförloppet, specifikt då brandbelastningen var hög och förberedelsetiden var lång. Samma slutsats kom Frantzich (2010) fram till vid utrymningsberäkning. Därför kan den spela en viktig roll vid placering av räddningskammaren.

Baserat på litteraturstudie, gruppdiskussion, beräkningar och utrymningsövning bör dessa faktorer beaktas vid placering av räddningskammare;

- Brandbelastning. Hög brandbelastning kan till exempel vara stora fordon som borrhigg, Parkeringar med flertal fordon eller uppställningsområden för brandfarliga varor.
- Tunnelns utformning. Tunnelns utformning innebär, bland annat, tunnelns lutning, geometri, diameter och omkrets.
- Navigeringsmöjligheter;
  - o Om det är möjligt att följa väggen i tunneln eller om det finns inslag som kan innebära att personen går fel.
  - o Om ljussättningen är god, om räddningskammaren har en ljudsignal som går att följa eller om det finns andra navigeringsverktyg tillgängliga.
- Vem som väntas befinna sig i tunneln, om det är en person med god lokalkännedom eller ett område för, till exempel entreprenörer som inte kan förväntas känna till området.
- Människors beteende.
- Övriga omständigheter som kan underlätta utrymning eller minska brandens effekt. Exempel på en sådan omständighet är om flykthuva alltid finns tillgänglig, om sprinkler finns installerade för att dämpa branden eller om det är möjligt att styra rökens spridningsriktning.

### 7.1.2 Flykthuva

Beräkningsresultat visade att flykthuvan var väldigt effektiv för säkerhetsnivån vid utrymning. För att flykthuvan ska vara effektiv krävs att personer som befinner sig i brand tar på den direkt de får reda på att brand har inträffat. Enkätundersökningen visade dock att endast 37 % tog med sig flykthuva ut ur fordonet vid utrymningsövning. Flykthuvan som används idag på LKAB går inte heller att placera ovanpå hjälmen. Hjälmen måste därför avlägsnas och helst medtags för att utrymmande kunna utnyttja pannlampan som oftast är fastsatt i hjälmen. Ett förslag på en enklare flyktmask möjligt att använda under hjälm har tagits fram av Aaro (2012).

Nackdelar med att ha flykthuvan endast i fordonet kan vara att personen inte kan hämta den eller ta med sig den ut ur fordonet om det börjar brinna. Flykthuvan bör vara tillgänglig och nära till hands vid arbetsplatsen. Finns inte flykthuvan i närområdet kommer förberedelsetiden att öka. Aaro (2012) förespråkar en anordning för flykthuvor som kan fästas på väggen på avskilda platser där det är svårt att ta sig fram med bil.

### 7.1.3 Förberedelsetid

Resultat från beräkningar visade att förberedelsetiden kan vara avgörande vid större händelser. Vid utrymningsövningen fungerade inte kommunikationen med personal under jord. En person fick ingen information om att brand utbrutit i området. Förberedelsetiden kan förkortas vid tidig alarmering, vilket förespråkas i litteraturstudie (Ingason, o.a., 2010) och gruppdiskussion. Metoder som används idag eller rekommenderas i studier är;

- Alarmknapp på mobiltelefon eller radio som går till en ledningscentral vilka kan aktivera larm på samtliga enheter i riskzonen. Metoden används av Boliden och presenteras i gruppdiskussion.
- Säkrad radiokontakt via tillämpning av repeatermode, vilket kan förlänga räckvidden på radio/telefonsystem.

### 7.1.4 Ventilation

Tidigare studier har visat att en hög ventilationshastighet ökar brandens tillväxt och intensitet (Ingason, 2005) (Ingason, o.a., 2010). En hög ventilationshastighet medför också att rökfronten förflyttas snabbare i tunneln. Men källorna har varit oeniga om vilken ventilationshastighet som ger mest gynnsamt utrymningsförlopp. Vid beräkningar var låg ventilationshastighet generellt mer ogynnsamt för utrymning. Det kan delvis bero på att personen, i samtliga fall, inte hann påbörja utrymning innan röken passerat

dem. Om personen i stället upptäcker branden i ett tidigt skede hade resultatet kunnat vara annorlunda. Därför är det svårt att dra en slutsats kring ventilationsflödet.

#### 7.1.5 SBA

Av de personer som deltog i Enkätundersökning svarade 73 % att de var säkra på gällande rutiner vid brand. Cirka 67 % ansåg att fler övningstillfällen skulle optimera deras kunskaper kring agerande vid händelse av brand. Ett åtgärdsförslag för att utveckla lokalkännedom i området vid närmaste säkra plats är att vid början av arbetspass under jord lokalisera och uppsöka den.

Vid gruppdiskussion uppkom förslag på att göra säkra platser till naturliga samlingsplatser. Förslaget skulle kunna innebära att personer känner till platsen och kanske associera platsen med trygghet enligt igenkänningsteorin. Samtliga gruvor som representerades under diskussionen använde sig av SBA och utbildade personal angående utrymning under jord.

Vidare rekommenderas kontinuerliga övningar och utbildning enligt litteraturundersökning av (Fridolf, 2011) och (Frantzich, 2010)

I utbildning bör också ingå att släckning inte heller bör ske utan flykthuva. Dessutom enligt Shields (2005) fanns en risk att personer inte uppfattar faran vid händelse av brand vilket hade kunnat påverka personer att ta för stora risker vid släckning. För att personer ska kunna släcka en brand under jord bör den sortens kunskap inkluderas i utbildning.

#### 7.1.6 Räddningsinsats

LKABs strategi vid räddningsinsats följer redan många av de rekommendationer som framkommit vid tidigare undersökningar. Till exempel så genomförs så mycket som möjligt av insatsen i rökfri miljö som rekommenderas av (Lönnermark, o.a., 2015) (LKAB, 2019). Räddningstjänsten tar sig till närmaste rökfria plats för att sedan invänta instruktioner om möjlig framfart eller rökdykarinsats. Utöver det så används IR-kamera och kontinuerlig kommunikation vid framfart.

Vid navigering under insats finns inget fullgott tekniskt hjälpmedel. Vid gruppdiskussion rekommenderades vägvisare i form av personal som arbetar under jord med lokalkännedom om området. För att personer som inte är en del av brandstyrkan ska kunna vara med och tillämpa en säker räddningsinsats krävs utbildning, annars riskerar insatstiden att öka och säkerheten för insatspersonal och vägvisare att minska. Utöver vägvisare föreslås också kartor för varje specifikt område. Kartsystem kräver dock kontinuerlig uppdatering vid förändringar.

IR-kamera används idag vid räddningsinsats i de flesta gruvor men upplevs otillräcklig för att få en god bild av omgivningen enligt medverkande i gruppdiskussionen. Vid fullskaleförsök av (Lönnermark, o.a., 2015) rekommenderas utbildning på kameratyp och inställningar för en klarare bild. I sin undersökning hade Kumm (2010) god effekt vid användning av lyskabel, vilket också används som komplement för att uppmärksamma räddningskammare i gruppdiskussion. En lyskabel längs golvet med en viss resistens för att avge värme hade kanske kunnat underlätta navigering för både räddningstjänst och personer som befinner sig i gruvan.

Rökdykning under jord rekommenderas inte vid långa inträngningsvägar på grund av risk för fysisk utmattning, hög syreförbrukning och navigeringssvårigheter. För insatser vid kortare avstånd rekommenderas även;

- Trippmätare som säkerhetsåtgärd vid navigering vilken kan indikera om förflyttningssträckan är längre än den planerade.
- IR-kamera för navigering i de fall där miljön går att avläsa och som säkerhetsåtgärd för att hålla ihop insatsstyrkan vid inträngning i rök, enligt tidigare försök i tidbrottet sala av Kumm, o.a. (2014)
- Lågt liggande belysning som lyssnöre i marken eller fotlampor för att underlätta navigering och förbättra sikten vid marknivå enligt undersökning av Kumm (2010).

För att kunna dra slutsatser kring fungerande metoder och redskap på specifika platser i gruvan behövs tydlig dokumentation och analys av vilka faktorer som påverkar insatsen i respektive området.

Transportmöjligheterna är begränsade under jord. Det är framför allt tidsåtgång och fysisk påfrestning som gör att räddningstjänsten efterfrågar redskap för snabbare framfart. Fordon kan vara svåra att navigera under jord och låga syrehalter kan försvåra användandet av dieselmotorer.

I områden där brandbelastningen är hög kan brandförloppet bli långt och räddningstjänsten riskerar att inte kunna ta sig ner och hjälpa till. Att sektionera områden med hög brandbelastning med brandgasportar skulle göra inträngningsvägen i brandrök kortare.

Då det inte är möjligt med insats under jord kan räddningstjänst eller krisledning i gruvan finnas tillgänglig för att lokalisera personalen. Arbetsmiljöverket rekommenderar registrering av ut- och infart samt möjlighet till lokalisering inuti gruvan. Just nu används taggsystem med avläsningspunkter som finns utplacerade på strategiska platser i gruvan. Vid nerfart i gruvan används taggar av personal under jord som registreras vid avläsningspunkterna och informationen skickas till ett datasystem som endast gruvstaben har tillgång till (LKAB, 2019). Det finns också ett annat system där taggens position kopplas upp till wifi-nätet och kan avläsas med en precision på fem meters radie (Mobilaris). Samtlig personal under jord ska bära tagg.

## 8 Slutsats

De verktyg och rekommendationer som berör utrymningssäkerhet under jord idag är långt ifrån heltäckande. Eftersom miljön är komplex och skiljer sig åt mellan platser är det svårt att göra generella riktlinjer. Riskanalyserna bör genomföras kontinuerligt i takt med att gruvan förändras vilket är föreskrivet idag och en kostnads-nytta analys kan tas fram för större åtgärder som sektionering.

Möjlighet till självräddning är helt avgörande för säkerheten under jord. Personal som befinner sig nere i gruvan måste därför ha kunskap och tillgång till verktyg som behövs vid självräddning. Områden där personal vistas måste också vara utformade så att det är möjligt att inom rimlig tid ta sig till säker plats. Handlingsförslag för att öka personsäkerheten vid utrymning under jord är;

- Regelbundna utbildningar som berör hur personer ska agera under jord vid brand. I utbildningen bör ingå hur flykthuva används, hur räddningskammare fungerar, placering av räddningskammare, hur räddningskammare lokaliseras vid brand, kommunikation och släckkunskap. Personal bör också utbildas i hur de ska agera för att minska sannolikheten för att brand ska inträffa.
- Regelbundna övningstillfällen för att testa SBA och personalens kunskap om utrymning.
- Rutiner för lokalisering av närmaste säkra plats. Innan arbete under jord påbörjas kan närmaste säkra plats lokaliseras. För att självräddning ska fungera krävs att arbetare under jord vet var de ska gå vid händelse av brand.
- Flykthuva bör ingå i personlig räddningsutrustning och bör vara lätta att transportera från fordon i de fall där fordonet inte befinner sig i gruvpersonalens direkta närhet vid arbete under jord. Finns det risk för att brand inträffar i fordonet eller att flykthuvan på annat sätt inte är åtkomlig bör utplacerade flykthuvor finnas i närheten av arbetsplatsen.
- Det bör föreskrivas att släckförsök inte utförs utan flykthuva.
- Utrymningslarm för närliggande områden kan sammankopplas för att varna alla i närheten av branden och påbörja utrymning innan personalen överrumplas av röken.
- Utrymningstiden och inverkan av toxiska gaser ökar vid större bränder. Vid placering av räddningskammare finns det därför orsak att ta hänsyn till de fordon och maskiner som finns i området.
- Kontinuerlig utvärdering av brandskyddet i samband med förändringsarbete.

Självräddning måste kunna ske säkert utan räddningstjänstens assistans i de områden där det inte går att genomföra en säker insats. I nuläget är det svårt för räddningstjänst att ta sig in i rökfyllda tunnlar på grund av de långa inträngningsvägarna, speciellt i gruvor med en nerfart. Då det inte finns möjlighet för räddningstjänsten att ta sig under jord på ett säkert sätt måste ett system finnas för att lokalisera och komma i kontakt med personer som befinner sig i närheten av branden, räddningstjänst kan vara en del i det arbetet.

Gruvor kan till viss del underlätta både räddningstjänstens och personalens ansvar genom att bygga bort risker, placera arbetsområden och säkra platser strategiskt under uppbyggnad.

Handlingsförslag för att underlätta registrering av personer vid händelse av brand under jord är;

- Flera övningstillfällen kan hållas där larmkedja, kommunikation till anställda under jord, och insatspersonal testas. Vid tester bör specifika områden med försämrade kommunikationsmöjligheter identifieras och undersökas. För personal som arbetar långt ifrån varandra, eller vid långa insatser och där avståndet är för stort för direkt radiokommunikation kan möjligheten att använda repeatermode undersökas.
- Områden där det inte är möjligt att genomföra en säker insats bör identifieras och utvärderas. Speciellt områden med hög brandbelastning där det finns risk för att branden kan fortgå under längre perioder.
- Möjligheten till rökdykning med fordon kan undersökas för att minska långa inträngningsvägar.
- Brandgassektionering för att förkorta inträngningsvägar.

Handlingsförslagen i avsnittet beskriver författarens egna åsikter och utgör inga egentliga krav. Även enskilda åtgärder bland förslagen bedömer författaren kan bidra till en ökad säkerhet. Handlingsförslagen bör undersökas vidare för att kunna avgöra deras effekt.



## 9 Källor

**Aaro Fredrik** EN INTUITIV & LÄTTILLGÄNGLIG FLYKTMASK FÖR GRUVMILJÖ [Rapport]. - Umeå : Umeå Universitet, 2012.

**Akizuki Tokiyoshi Yamada and Yuki** Visibility and Human Behavior in Fire Smoke [Bokavsnitt] // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. - New York : Springer Science+Business Media LL, 2016.

**Bandyopadhyay L.K., Mishra P.K. och Chaulya S.K.** Wireless Communication in Underground Mines: RFID-based Sensor Networking [Bok]. - New York : Springer, 2010.

**Bergqvist Anders [o.a.]** Räddningsinsatser vid tunnelbränder [Rapport]. - Karlstad : Räddningsverket, 2001.

**Brake D.J.** Fire Modelling in Underground Mines using Ventsim Visual VentFIRE Software [Rapport]. - Adelaide : 265THE AUSTRALIAN MINE VENTILATION CONFERENCE, 2013.

**Brinckerhoff Parsons** Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program [Rapport]. - Boston : Parsons Brinckerhoffs 4D imaging, 1996.

**Canter D., Breaux J. och Sime J.** Domestic Multiple Occupancy and Hospital Fires. In Fires and Human Behaviour 1st ed. [Rapport]. - [u.o.] : John Wiley & Sons, 1980.

**Carvel Richard och Beard Alan** Handbook of Tunnel Fire Safety [Bok]. - London : ICE Publishing, 2005.

**Carvel RO, Beard AN och Jovitt PW** The influence of longitudinal ventilation systems on fire tunnels [Rapport]. - Edinburgh : Department of Civil & Offshore Engineering; Heriot-Watt University, 2001.

**drysdale Dougal** An Introduction to Fire Dynamics [Rapport]. - [u.o.] : John Wiley Sons Inc, 2011.

**Frantzich Håkan** Fire incidents during construction work of tunnels - evacuation aspect [Rapport]. - Lund : Lunds Universitet, 2010.

**Frantzich Håkan och Nilsson Daniel** Utrymning genom tät rök: beteende och förflyttning [Bok]. - Lund : Lunds universitet, 2003.

**Frantzich Håkan och Nilsson Daniel** Utrymning genom tät rök: beteende och förflyttning [Rapport]. - Lund : Lunds Universitet, 2003.

**Frantzich Håkan** Tid för utrymning vid brand [Rapport]. - Karlstad : Räddningsverket, 2000.

**Frantzich Håkan** Utrymning av tunnelbanetåg. Experimentell utvärdering av möjligheten att utrymma i spårtunnel [Rapport]. - Lund : Lunds Universitet, 2000.

**Fridolf Karl [o.a.]** Projektering, Människors gånghastighet i rök: Förslag till representation vid brandteknisk [Rapport]. - Borås : SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2016.

**Fridolf Karl** Fire evacuation in underground transportation systems: a review of accidents and empirical research [Rapport]. - Lund : Lund Universitet, 2011.

**Fruin J.** Pedestrian planning and design [Rapport]. - New York : Metropolitan association of urban designers and environmental planner, 1971.

**Grant George och Jagger Stuart** Handbook of Tunnel Fire Safety [Bok]. - London : ICE Publishing, 2005.

**Gällivare TT** Flera skadade i gruvbrand [Artikel] // Svenska Dagbladet. - den 23 06 2011.

**Haack Alfred** Fire protection in traffic tunnels: resu of [Rapport]. - 1998.

- Hansen Rickard** Design fires in underground hard rock mines [Rapport]. - Västerås : Mälardalen Univeristet, 2011.
- Hansen Rickard** Design fires in underground mines [Rapport]. - Västerås : Mälardalen universitet, 2010.
- Hansen Rickard** Literature survey – fire and smoke spread in underground mines [Rapport]. - Eskilstuna : Mälardalen university, 2009.
- Hansen Rickard** Overview of fire and smoke spread in underground mines [Rapport]. - Västerås : Mälardalen Universitet, 2010.
- Hansen Rickard** Smoke spread calculations for fires in underground mines [Rapport]. - Västerås : Mälardalen University , 2010.
- Ingason Haukur [o.a.]** Fire incidents during construction work of tunnels [Rapport]. - Borås : SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2010.
- Ingason Haukur [o.a.]** Koncept för skydd mot brand och brandgasspridning i gruvor. - Västerås : Mälardalens Högskola, 2010.
- Ingason Haukur [o.a.]** Räddningsinsatser i vägtunnlar [Bok]. - Karlstad : Räddningsverket, 2005.
- Ingason Haukur** Fire developement in large tunnel fires [Rapport]. - [u.o.] : RISE, 2005.
- Ingason Haukur** Handbook of tunnel fire stafety - Fire Dynamics in Tunnels [Rapport]. - 2005.
- Ingason Haukur och Gehandler Johan** REPORT ON FIRE IN A HEAVY GOODS VEHICLE IN THE GUDVANGA TUNNEL ON THE E16 ROAD IN AURLAND ON 5 AUGUST 2013 [Rapport]. - Lillestrøm : SP- Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2014.
- Ingason Haukur och Hammarström Rolf** Fire test with a front wheel loader rubber tyre [Rapport]. - Borås : SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2010.
- Ingason Haukur och Hansen Rickard** FULL-SCALE FIRE EXPERIMENTS WITH MINING VEHICLES IN AN UNDERGROUND MINE [Rapport]. - Västerås : Mälardalen University, 2013.
- Ingason Haukur, Gustavsson Sören och Dahlberg Martin** Heat Release Rate Measurement in Tunnel Fires [Rapport]. - Borås : SP Sveriges forskningsinstitut, 1994.
- Jin Tadahisa och Yamada Tokiyoshi** Irritating effects of fire smoke on visibility [Rapport]. - Tokyo : Fire Research Institute, 1985.
- Johnsson Linn och Kaj Sara** Räddningsinsatser och brandskydd i underjordsgruva [Rapport]. - Luleå : Luleå Tekniska Universitet, 2016.
- Jonsson Anders och Gell Thomas** Svåra skador och dödsfall till följd av brand [Rapport]. - Karlstad : MSB Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, 2010.
- Jr. John R. Hall** DEATHS AND INJURIES DUE TO NON.FIRE EXPOSURE TO GASES [Rapport]. - Quincy : NFPA National Fire Protection Association, 2013.
- Kaj Sara och Johansson Linn** Räddningsinsatser och brandskydd i underjordsgruva [Rapport]. - Luleå : Luleå tekniska universitet, 2016.
- Karlsson Björn och Quintiere James G.** Enclosure Fire Dynamics [Rapport]. - Florida : CRC Press LCC, 2000.
- Karlsson Sofia, Lina Gyllencreutz Ulf Björnstig och Saveman Britt-Inger** Skadehändelser i tunnlar i jämförelse med händelser i underjordsgruvor [Rapport]. - Umeå : Umeå universitet, 2017.

- Khan Mohammed M., Tewarson Archibald och Chaos Marcos** SFPE - Combustion Characteristics of Materials and Generation of Fire Products [Rapport]. - New York : Springer, 2016.
- Kinateder Max T. [o.a.]** A Review of Risk Perception in Building Fire Evacuation [Rapport]. - [u.o.] : NIST, National Institute of Standards and Technology Technical Note, 2014.
- Kiruna Räddningstjänst** Insatsplan KUJ . - Kiruna : Räddningstjänsten Kiruna, 2018.
- Klemo Stina** Ventilationsingenjör [Intervju]. - den 20 07 2020.
- Klemo Stina** Ventilationsingenjör NGM, LKAB [Intervju]. - den 29 11 2019.
- Kuligowski Erica D.** Human Behaviour in Fire [Bokavsnitt] // SFPE - Handbook of Fire Protection Engineering. - New York : Springer, 2016.
- Kumm Mia [o.a.]** RÄDDNINGSSINSATS I TUNNELMILJÖ - Fullskaleförsök i Tistbrottet, Sala [Rapport]. - Mälardalen : Mälardalens Högskola, 2014.
- Kumm Mia** RESCUE OPERATIONS DURING CONSTRUCTION OF TUNNELS [Rapport]. - Västerås : Mälardalen universitet, 2010.
- Larsson Ida och Lönnemark Anders** Utsläpp från bränder - Analyser av brandgaser och släckvatten [Rapport]. - Borås : SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, 2002.
- Linnsén** Handbook of tunnel fire safety [Rapport]. - ICE Publishing : Hansen Publishing, 2001.
- Ljungkvist Carl** Flyktfilter i tunnlar och gruvor [Rapport]. - Lund : Lunds Universitet, 2021.
- LKAB** LKAB [Online]. - LKAB, 2019. - den 31 12 2019. - [www.lkab.se](http://www.lkab.se).
- LKAB** Ny världsstandard för hållbar gruvbrytning [Online]. - LKAB, den 27 07 2018. - den 23 01 2019. - <https://www.lkab.com/sv/nyhetsrum/pressmeddelanden/ny-varldsstandard-for-hallbar-gruvbrytning/>.
- LKAB** Riskutredning brandtillbud 2015 [Rapport]. - Kiruna : LKAB, 2015.
- Lönnemark Anders [o.a.]** Rekommendationer för räddningsinsatser i undermarksanläggningar [Rapport]. - Borås : SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2015.
- Mathworks** [ch.mathworks.com](http://ch.mathworks.com) [Online]. - Mathworks. - den 26 01 2020. - ([https://ch.mathworks.com/products/matlab.html?s\\_tid=hp\\_products\\_matlab](https://ch.mathworks.com/products/matlab.html?s_tid=hp_products_matlab) 2019-11-19) .
- Mobilaris** THE CUTTING EDGE OF Underground Productivity and Safety [Online]. - Mobilaris. - den 19 01 2020. - <https://www.mobilaris.se/mining-civil-engineering/>.
- Narvaez Francisco Daniel Rosero** Assessment of People's Perception of Fire Growth: A Virtual Reality Study [Rapport]. - Lund : Lunds Universitet, 2017.
- Newman Jeffery S.** Experimental evaluation of fire-induced stratification [Rapport]. - USA : Elsevier Inc., 1984.
- Palm Anders** Taktik och ledning vid brand i undermarksanläggningar [Bok]. - Västerås : Mälardalens Högskola, 2014.
- Purser David A.** Combustion Toxicity [Bokavsnitt] // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. - New York : Springer, 2016.
- Purser David A. och McAllister Jamie L.** SFPE - Assessment of Hazards to Occupants from Smoke, Toxic Gases, and Heat [Rapport]. - New York : Springer, 2016.
- RAKEL** Rakelhandboken [Rapport]. - [u.o.] : MSB Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, 2012.

- Röda Korsets Högskola** Guide till referenshantering enligt APA-systemet. - den 15 01 2014.
- Shields Jim** Handbook of tunnel fire safety - Human behaviour in tunnel fires [Rapport]. - [u.o.] : ICE Publishing, 2005.
- Sime Jonathan D.** MOVEMENT TOWARD THE FAMILIAR [Rapport]. - [u.o.] : Sage Publications, Inc., 1985.
- SIS** Andningsskydd - Filterskydd med huva vid brand - Fodringar, provning, märkning [Rapport]. - Stockholm : SIS Förlag AB, 2004.
- Stec Anna och Hull Richard** Fire Toxicity [Rapport]. - [u.o.] : Woodhead Publishing Limited., 2010.
- Sundström Safetey** Produktblad SR 77-3. - Lidingö : [u.n.].
- SveMin [o.a.]** Årsrapport 2016 Brandtillbud [Rapport]. - [u.o.] : GRAMKO, 2016.
- SveMin** BRANDSKYDD I GRUV- OCH BERGANLÄGGNINGAR [Rapport]. - Stockholm : SveMin AB, 2016.
- SVT** Boliden får böta halv miljon efter gruvbrand / prod. Assmundsson Mikael. - [u.o.] : SVT, 2015.
- SVT** Lastbilsbrand i gruva – fyra till sjukhus / prod. Liikamaa Amanda och Persson Alva. - [u.o.] : SVT, 2018.
- SVT** Samtliga räddade efter gruvbrand. - [u.o.] : SVT, 2013.
- Thors Lina [o.a.]** Nya risker för räddningspersonal vid bränder/gasning av batteripack hos e-fordon [Rapport]. - Umeå : MSB Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, 2016.
- Werner Jens [o.a.]** 22 arbetare stängdes in under gruvbrand [Artikel] // Expressen. - den 25 12 2013.
- West Virginia Mine Safety Technology Task Force** Mine Safety Recommendations [Rapport]. - West Virginia : [u.n.], 2006.
- Wingfors Håkan, Fredman Andreas och Thunell Marianne** Brandskyddskläders skyddskapacitetmaterialtester med kemikalier som bildas vid bränder och termisk rusning i Li-jon batterier i e-fordon. [Rapport]. - [u.o.] : MSB Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap och Brandmännens Cancerfond, 2018.
- Yamada Tokiyoshi och Akizuki Yuki** Assessment of Hazards to Occupants from Smoke, Toxic Gases, and Heat [Bokavsnitt] // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. - New York : Springer Science+Business Media LLC, 2016.
- Ölme Alf** Tabeller och formler [Rapport]. - Stockholm : Liber, 2003.

## Bilaga A – Beräkningsunderlag

Själva beräkningsmodellen är framtagen av (Frantzich, 2010). Några förändringar har gjorts för att anpassa den till LKAB Konsuln. Ekvationer för beräkning av brandförlopp och gånghastighet finns beskrivna i rapporten. Nedan följer de ekvationer som använts i modellen för beräkningar i denna rapport.

Toxicitetpåverkan beror på personens fysik, ålder, kön och allmänna hälsotillstånd (Purser, o.a., 2016). Vid beräkningar används data för att passa en frisk person på ca 70 kg.

### Effektutveckling

(Ingason, 2005) skriver om en studie av Numajiri och Furukawa som använde en kon-kalorimeter för att mäta effektutvecklingen för plastmaterial. I studien fann de att tidigare matematiska modeller inte representerade brandförloppet och tog därför fram en ny ekvation;

$$HRR = nr(1 - e^{-kt})^{n-1}e^{-kt}$$

Där

- HRR= Effektutveckling [kJ]
- $n$ = "Retard index" översätts till fördröjningskonstant och påverkar ett väldigt tidigt skede av brandförloppet, innan kurvan börjat stiga, variabeln beror på material, förlopp och övriga omständigheter.
- $k$ = "Time width coefficient" är en konstant som påverkar lutning vid tillväxtfasen.
- $t$ = Tid [s]
- $r$ = koefficient för kurvans amplitud

Vid beräkning av evakuering utförda av (Ingason, o.a., 2005) beräknades den totala effektutvecklingen av fordon som vanligtvis förekommer i tunnlar med ekvationen

$$\dot{Q}(t) = \dot{Q}_{max}nr(1 - e^{-kt})^{n-1}e^{-kt}$$

Där

- $\dot{Q}(t)$ = Är effektutveckling över tid [kW]
- $\dot{Q}_{max}$ = den maximala brandeffekten [kW]

Frantzich (2010) tog sedan fram ett samband mellan variablerna  $n$  och  $r$ . Där

$$r = \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{1-n}$$

Genom integration erhöles också ett samband för det totala energinnehållet  $E_{tot}$ .

$$E_{tot} = \frac{\dot{Q}_{max}}{k} \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{1-n}$$

### Gånghastighet

Vid beräkningar användes Metod 1 enligt Fridolf et. el. (2016). Gånghastigheten baseras på en 90 % percentil av försök med personer i alla åldrar vilket förväntas vara ett konservativt antagande.

### Sikt

Vid beräkning av sikten antas att andelen rök som bildas vid branden är konstant. Sikten beräknas enligt nedan;

$$V = 0,87 \frac{uA\Delta H}{Q(t)3300Y_s}$$

## Temperatur

Ingason o.a. (2005) beskriver bränstreckkontrollerade bränder där effektutvecklingen är direkt proportionell mot förlusten av massa genom;

$$Q = m(f)XH(T)$$

Vidare beskriver Ingason att gastemperaturen nära branden i tunneln beror på;

- Om brandgasen befinner sig närmare golvet eller nära taket
- Brandgasens hastighet och riktning
- Brandgasens omblandning
- Tunnelns diameter
- Effektutveckling

ekvationer görs dock antagande om att en tredjedel av den totala effektutvecklingen strålar bort. Det är svårt att hitta korrekta ingångsvärden på samtliga delar och en vanlig beräkningsmetod är i stället att anta fullständig omblandning av brandgaser. Gastemperaturen i hela tunnelns tvärsnitt i närheten av branden ( $T_x$ ) beräknar Ingason enligt nedan.

$$T_x = \frac{2Q(\tau)}{3\dot{m}_a c_p}$$

- $\tau$ = tiden gasen, som vid temperatur  $t$  når position  $x$ , startar att flöda från  $x=0$  [s]
- $\dot{m}_a$ = luftmassflödes hastigheten [kg/s]
- $c_p$ = värmekapaciteten för gasen [kg]/kgK]
- $Q$ = Effektutvecklingen [kW]

För beräkning av temperatur på brandgas som befinner sig längre bort från branden refererar Ingason till en studie kallad *Pulsations during large-scale fire tests in the Runehammar tunnel* av Dan Persson (2000).

$$T(x, t) = T_a + [T_{x=0}(\tau) - T_a]e^{-\left(\frac{hPx}{\dot{m}_a c_p}\right)}$$

Där;

- $T(x,t)$ = Temperaturen på ett specifikt avstånd  $x$  från branden dit brandgasen hunnit vid tiden  $t$
- $T_a$ = Omgivningens temperatur
- $h$ = Värmeöverföringskoefficient
- $P$ = Omkrets för tunneln vid avstånd  $x$  från branden

## Toxicitet

FID beräknas för samtliga  $CO$ ,  $CO_2$  och låg  $O_2$ , vid beräkning av fraktionsdos för medvetlöshet (inkapacitet) används Ekvationerna förutsätter  $COHb=30\%$  och. Vid beräkning av fraktionsdos för temperatur antas en brandgastemperatur över  $37^\circ C$ .

$$\Delta F_{CO} = \frac{K(koncentrationCO^{1,036})\Delta t}{30} \text{ källa (Ingason, o.a., 2005)}$$

$$\Delta F_{CO_2} = \frac{\Delta t}{e^{(6,1623 \cdot koncentrationCO_2)}} \text{ källa (Ingason, o.a., 2005)}$$

$$\Delta F_{O_2} = \frac{\Delta t}{e^{(8,13 - 0,54(20,9 - koncentrationO_2)}} \text{ källa (Ingason, o.a., 2005)}$$

$$\Delta F_{Temp} = \frac{\Delta t}{e^{(5,18 - 0,2737 \cdot T_{gas})}} \text{ källa (Ingason, o.a., 2005)}$$

CO<sub>2</sub> ökar andningsfrekvensen vilket leder till en snabbare upptagning av andra toxiska produkter i brandgasen. I modellen är det CO som ökar. Beräkning av aktuell fraktionsdos CO med förhöjd andningsfrekvens och beräkning av volymen CO<sub>2</sub> utförs enligt nedan;

$$\Delta FID = V_{CO_2} + \Delta F_{CO} + \Delta F_{O_2}$$

$$V_{CO_2} = \frac{\Delta e^{(2,0004+0,1903 \cdot \text{koncentrationCO}_2)}}{e^{(6,1623 \cdot \text{koncentrationCO}_2)}}$$

Addition av fraktionsdos för tidssteg utförs för FID, temperatur, CO<sub>2</sub> samt den gångsträcka som färdats. Beräkningen utförs enligt nedan.

### Standardvärden

De standardvärden som används som grund för alla scenarier presenteras i Tabell 7.

Tabell 7. Tabellen visar standardvärden som använts vid beräkningar.

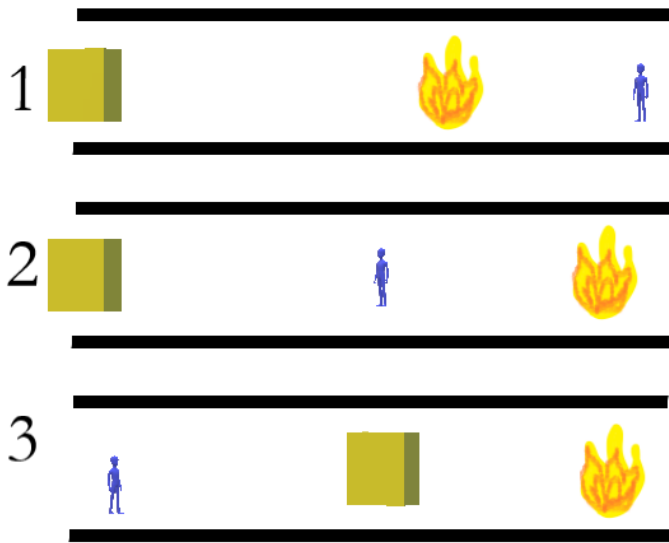
Standardvärden vid beräkning			
Symbol	Värde	Beskrivning	Källa
Q <sub>0</sub>	1,23 kg/m <sup>3</sup>	Luftens densitet	(Frantzych, 2010)
RMV	25 l/min	Rates minute volume, andningsfrekvens	70 kg person som utför lätt arbete (Purser, o.a., 2016)
incap_cohb	30 %	Procent COHb vid inkapacitet	(Purser, o.a., 2016)
Dmass	500 (cd/m <sup>2</sup> )	Materialets rökproduktion	(Jin, o.a., 1985)
Htot	0,03 kW/m <sup>2</sup> K	Värmeledningskoefficient	(Ingason, o.a., 2005)
C <sub>p</sub>	1 kJ/kgK	Specifik värmekapacitet	(Ölme, 2003)
T <sub>o</sub>	17 °C	Omgivningstemperatur	(LKAB)
Perim	26,5 m	Tunnelns omkrets	(LKAB)
avst	35 m	Avstånd från branden då utrymning påbörjas	(LKAB)
u	1,8 m/s	Vindhastighet	(LKAB)
A	56,6 m <sup>2</sup>	Tunnelns tvärsnittsarea	(LKAB)
MCO <sub>2</sub>	44 g/mol	Molvikt koldioxid	(Ingason, o.a., 2005)
MCO	28 g/mol	Molvikt kolmonoxid	(Ingason, o.a., 2005)
MO <sub>2</sub>	32 g/mol	Molvikt syre	(Ingason, o.a., 2005)
Ma	28,95 g/mol	Luftens molekylvikt	(Ingason, o.a., 2005)
Yield CO <sub>2</sub>	2,5 vol%		(Ingason, o.a., 2005) (Khan, o.a., 2016)
Yield CO	0,05 vol%		(Ingason, o.a., 2005) (Khan, o.a., 2016)
Yield sot	0,15 vol%		(Ingason, o.a., 2005) (Khan, o.a., 2016)

### Brandens placering

Brandens placering i förhållande till personen studeras i beräkningar av utrymningstid i tunnel under konstruktion av Frantzych (2010). Studien beskriver tre olika scenarier;

1. Personen befinner sig bakom branden i förhållande till räddningskammaren
2. Personen befinner sig framför branden i förhållande till räddningskammaren
3. Personen befinner sig bortom räddningskammaren

I studien är riskerna störst då personer befinner sig framför branden i förhållande till räddningskammaren se Figur 28.



Figur 28. Figuren visar personens positionering i förhållande till brand och räddningskammare enligt Frantzich (2010).

För att undersöka självräddning i gruvgångar med endast en infart har beräkningar utförts på nivå 436 i Konsuln. I beräkningar av utrymningstid i tunnel under konstruktion av Frantzich (2010) är riskerna störst då personer befinner sig framför branden i förhållande till räddningskammaren. Det fall som gav sämst resultat för personsäkerhet i undersökningen var då branden var lokaliserad bakom personen i förhållande till räddningskammaren. Samma fall används vid beräkning av utrymningstid på nivå 436 i LKAB Konsuln.



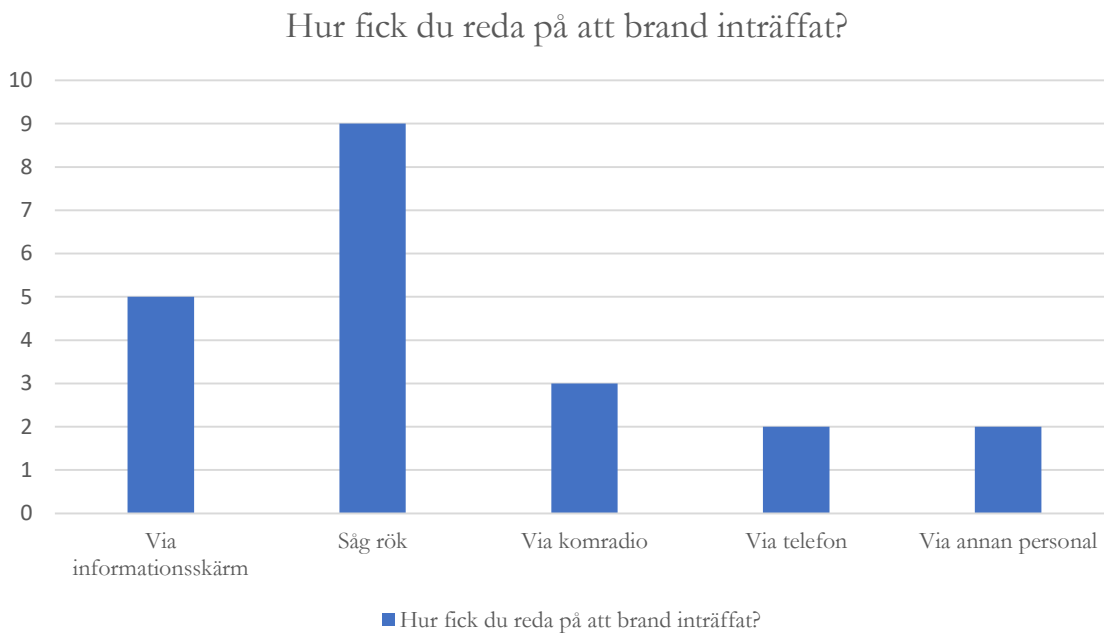
## Bilaga C – Enkätundersökning

### Enkät

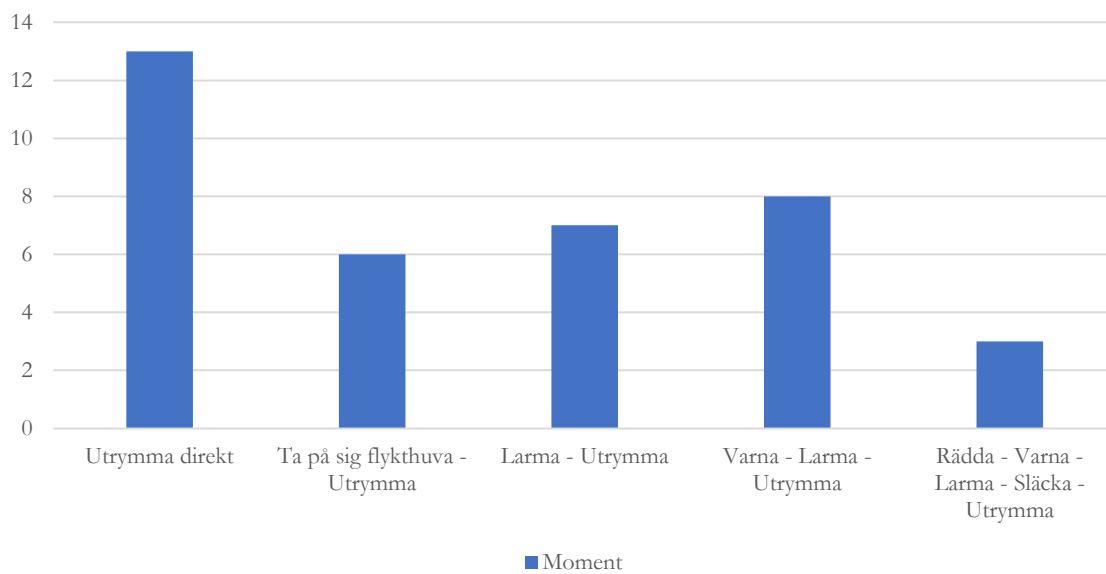
Frågor vid enkätundersökning för utrymningsövning:

- Hur får du reda på att brand har utbrutit i Konsuln?
- Vad gör du vid händelse av brand i Konsuln? - Beskriv de olika momenten som utförs innan, under och efter utrymning. Försök att vara detaljerad. Du kan anta olika scenarier om det underlättar beskrivningen.
- Vilken är den närmaste säkra platsen i förhållande till ditt arbetsområde? Hur långt är avståndet? Uppskatta antal meter.
- Hur tar du dig till närmaste säkra plats?
- Vad gör du efter att du tagit dig till närmaste säkra plats?
- Hur lång tid tog det för dig att ta dig från ditt arbetsområde till närmaste säkra plats i denna övning? Uppskatta.
- Har du tillgång till flykthuva i din direkta närhet under arbete?
- Om inte - Hur långt är avståndet till närmaste flykthuva? Uppskatta antal meter.
- Känner du dig säker på rutinerna vid brand i Konsuln?
- Vad hade kunnat förbättras med avseende på utrymning i Konsuln?
- Hur lång tid tog det för dig att inse att brand inträffat under dagens övning?
- Övriga tankar kring utrymningsövning

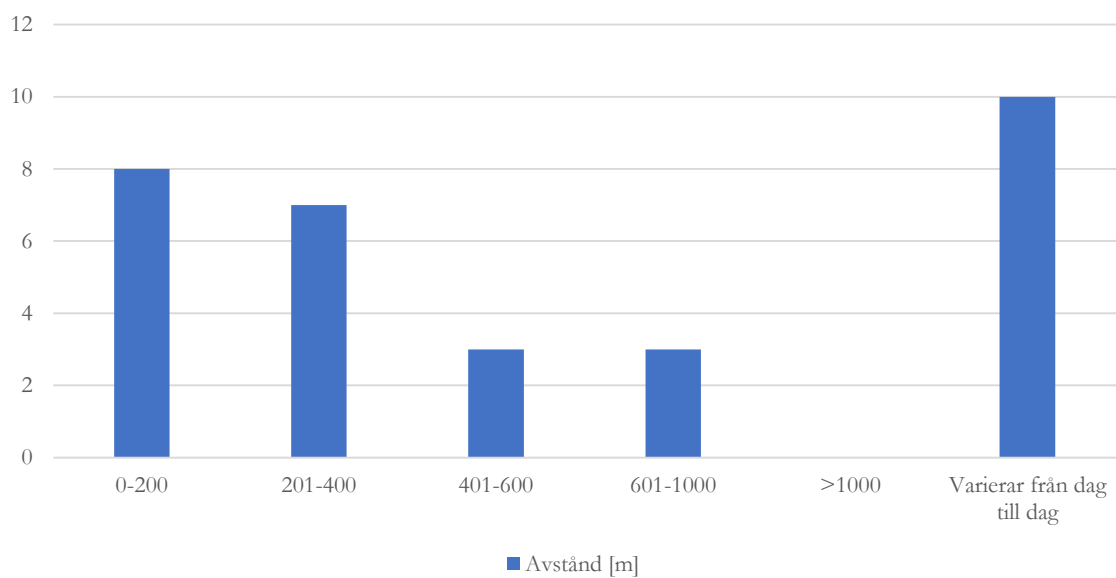
### Svarsresultat enkätundersökning



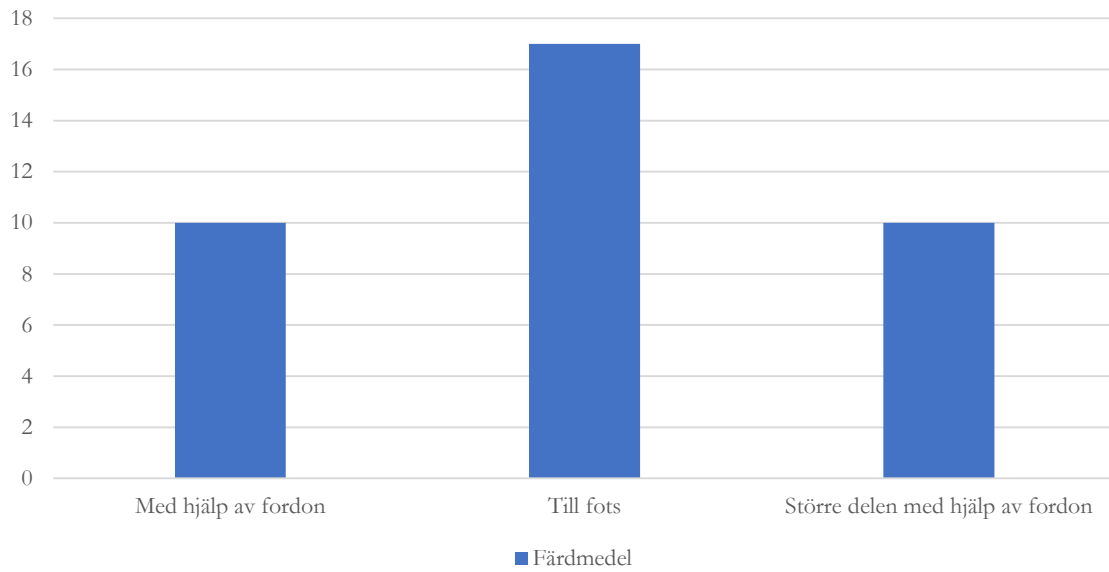
## Beskrivning av agerande vid händelse av brand i Konsuln



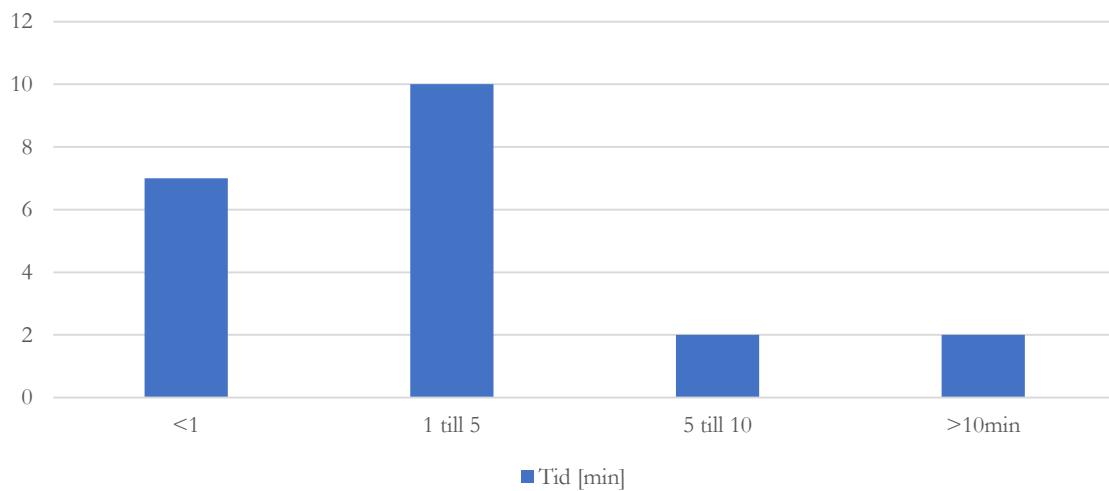
## Avstånd mellan arbetsplats och närmaste säkra plats



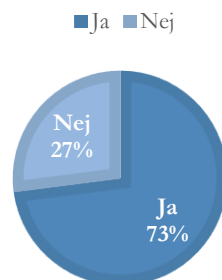
## Transportmetod till närmaste säkra plats



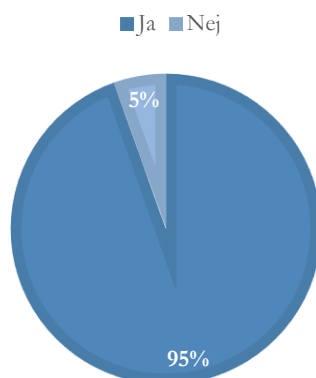
## Hur lång tid tog det för dig att ta dig till närmaste räddningskammare efter att du fått reda på att brand inträffat under denna övning?



## Känner du dig säker på hur du ska agera vid händelse av brand i Konsuln?

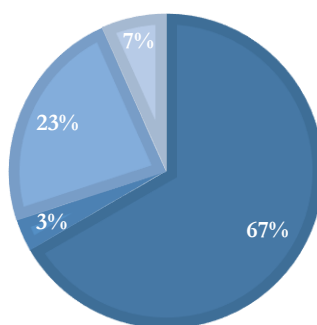


Har du tillgång till räddninghuva i din direkta närhet vid arbete i Konsuln?



Förslag på åtgärder för att öka trygghet vid sjäkräddning

■ Fler övningar ■ Utbildning ■ Ingen åtgärd kräv ■ Annat



## Bilaga D – Förberedande frågor gruppdiskussion

Det kan vara svårt att navigera i rökfyllda gruvgångar eftersom temperaturskillnaden mellan brandröken och väggarna kan vara låga. Värmeamera som annars används vid insats och orientering i hus kanske därför inte alltid är ett alternativ.

### Vilken/-a metod/-er används idag vid navigering i rökfyllda underjordstunnlar?

Faktor	Effektivitet				
<b>Tid</b>	Mycket liten tidsåtgång	Liten tidsåtgång	Rimlig tidsåtgång	Stor tidsåtgång	Mycket stor tidsåtgång
<b>Kommentar</b>					
<b>Resultat</b>	Navigering lyckas alltid	Navigering lyckas ofta	Navigering möjlig	Navigering misslyckas ofta	Navigering misslyckas alltid
<b>Kommentar</b>					
<b>Förkunskap och erfarenhet</b>	Mycket liten förkunskap och erfarenhet krävs	Liten förkunskap och erfarenhet krävs	Förkunskap och erfarenhet krävs endast i vissa fall	Liten förkunskap och erfarenhet krävs	Mycket förkunskap och erfarenhet krävs
<b>Kommentar</b>					
	- Vilka svårigheter finns med metoden?				
<b>Kommentar</b>					

- Hur skulle metoden kunna förbättras?

<b>Kommentar</b>	
------------------	--

- Vilken/-a redskap används idag vid navigering i undrjordstunnlar?

<b>Faktor</b>	<b>Effektivitet</b>				
<b>Tid</b>	Mycket liten tidsåtgång	Liten tidsåtgång	Rimlig tidsåtgång	Stor tidsåtgång	Mycket stor tidsåtgång
<b>Kommentar</b>					
<b>Nödvändighet</b>	Mycket nödvändigt	Nödvändigt i många situationer	Nödvändigt ibland	Ofta nödvändigt	Sällan nödvändigt
<b>Kommentar</b>					
<b>Förkunskap och erfarenhet</b>	Mycket liten förkunskap och erfarenhet krävs	Liten förkunskap och erfarenhet krävs	Förkunskap och erfarenhet krävs endast i vissa fall	Liten förkunskap och erfarenhet krävs	Mycket förkunskap och erfarenhet krävs
<b>Kommentar</b>					

- Vilka svårigheter tillför de redskap som används?

<b>Kommentar</b>	
------------------	--

- Hur skulle dessa redskap kunna förbättras?

<b>Kommentar</b>	
------------------	--

- Vad saknas vid navigering i rökfyllda underjordsmiljö?

<b>Kommentar</b>	
------------------	--

- Hur skulle navigering i underjordsmiljö kunna göras effektivare?

<b>Kommentar</b>	
------------------	--

- Vilka metoder används vid evakuering av personer under jord?

<b>Faktor</b>	<b>Effektivitet</b>				
<b>Tid</b>	Mycket liten tidsåtgång	Liten tidsåtgång	Rimlig tidsåtgång	Stor tidsåtgång	Mycket stor tidsåtgång
<b>Kommentar</b>					
<b>Resultat</b>	Evakuering av samtliga personer lyckas alltid	Evakuering av samtliga personer lyckas ofta	Evakuering av samtliga personer lyckas ibland	Evakuering av samtliga personer lyckas sällan	Evakuering av samtliga personer misslyckas alltid
<b>Kommentar</b>					
<b>Förkunskap och erfarenhet</b>	Mycket liten förkunskap och erfarenhet krävs	Liten förkunskap och erfarenhet krävs	Förkunskap och erfarenhet krävs endast i vissa fall	Liten förkunskap och erfarenhet krävs	Mycket förkunskap och erfarenhet krävs

**Kommentar**

- Vilka redskap används vid evakuering av personer under jord?

Faktor	Effektivitet				
<b>Tid</b>	Mycket liten tidsåtgång	Liten tidsåtgång	Rimlig tidsåtgång	Stor tidsåtgång	Mycket stor tidsåtgång
<b>Kommentar</b>					
<b>Nödvändighet</b>	Mycket nödvändigt	Nödvändigt i många situationer	Nödvändigt ibland	Ofta nödvändigt	Sällan nödvändigt
<b>Kommentar</b>					
<b>Förkunskap och erfarenhet</b>	Mycket liten förkunskap och erfarenhet krävs	Liten förkunskap och erfarenhet krävs	Förkunskap och erfarenhet krävs endast i vissa fall	Liten förkunskap och erfarenhet krävs	Mycket förkunskap och erfarenhet krävs
<b>Kommentar</b>					

- Vad saknas vid evakuering av personer i rökfyllda underjordsmiljö?

**Kommentar**

- Hur skulle evakuering av personer i underjordsmiljö kunna göras effektivare?

**Kommentar**



- Hur ser framkomligheten ut vid evakuering och navigering i rökfylld miljö under jord?

<b>Kommentar</b>	
------------------	--

- Vilka problem finns vid självräddning i rökfylld miljö under jord map:  
- Navigering

<b>Kommentar</b>	
------------------	--

- Evakuering

<b>Kommentar</b>	
------------------	--

- Förkunskapskrav

<b>Kommentar</b>	
------------------	--

- Framkomlighet

<b>Kommentar</b>	
------------------	--

- Tidsåtgång

<b>Kommentar</b>	
------------------	--

- Vilka metoder används vid självräddning?

<b>Faktor</b>	<b>Effektivitet</b>				
<b>Tid</b>	Mycket liten tidsåtgång	Liten tidsåtgång	Rimlig tidsåtgång	Stor tidsåtgång	Mycket stor tidsåtgång
<b>Kommentar</b>					

<b>Resultat</b>	Självräddning lyckas alltid	Självräddning lyckas ofta	Självräddning lyckas ibland	Självräddning lyckas sällan	Självräddning lyckas alltid
<b>Kommentar</b>					
<b>Förkunskap och erfarenhet</b>	Mycket liten förkunskap och erfarenhet krävs	Liten förkunskap och erfarenhet krävs	Förkunskap och erfarenhet krävs endast i vissa fall	Liten förkunskap och erfarenhet krävs	Mycket förkunskap och erfarenhet krävs
<b>Kommentar</b>					

- Vilka redskap används vid självräddning?

<b>Faktor</b>	<b>Effektivitet</b>				
<b>Tid</b>	Mycket liten tidsåtgång	Liten tidsåtgång	Rimlig tidsåtgång	Stor tidsåtgång	Mycket stor tidsåtgång
<b>Kommentar</b>					
<b>Nödvändighet</b>	Mycket nödvändigt	Nödvändigt i många situationer	Nödvändigt ibland	Ofta nödvändigt	Sällan nödvändigt
<b>Kommentar</b>					
<b>Förkunskap och erfarenhet</b>	Mycket liten förkunskap och erfarenhet krävs	Liten förkunskap och erfarenhet krävs	Förkunskap och erfarenhet krävs endast i vissa fall	Liten förkunskap och erfarenhet krävs	Mycket förkunskap och erfarenhet krävs
<b>Kommentar</b>					

- Tankar angående nuvarande lagstiftning som påverkar utrymnings säkerheten under jord:

## Bilaga E - Gruppdiskussion

Bilagan visar gruppdiskussionen. Texten har transkriberats från inspelning. I processen har upprepningar och diskontinuiteter skalats bort, osammanhängande meningar har justerats och texten har censurerats. Detta för att bidra till lättare läsning i textform och tillåta anonymitet.

### § 1. Mötets öppnande och introduktion

Mötetsansvarige, Kajsa Lotta Kärnebro hälsar alla välkomna och deltagare introducerar sig:

A: Deltidsbrandman, jobbar förebyggande med brandsäkerhet i gruva 1.

B: Brandingenjör och yttre befäl på räddningstjänst i gruvort 1.

C: Säkerhetsansvarig i gruva 2.

D: Enhetschef på räddningstjänst i gruvort 3.

E: Utvecklingsingenjör i gruva 3.

### § 2. Bakgrund

Kajsa Lotta Kärnebro beskriver mötets bakgrund. Mötet är en del av ett examensarbete som handlar om insats och evakuering i rökfylld miljö.

### § 3. Navigering

Första punkten på utsänt frågeblad diskuteras. Några av de svar kring risker som förekommer vid navigering räknas upp, där bland annat hinder och fallgropar.

Kajsa Lotta: Hur fungerar navigering vid brand under jord idag?

A: Navigeringen är det största problemet, det kan vara väldigt långa inträngningsvägar med dålig sikt. För att räddningstjänsten ska komma fram säkert så används brytpunkter i gruvan. Den ordinarie ut- och infarten till gruvan blir som en skorsten vid brand, där röken tar sig ut. Därför används nödfarten som första inträngningsväg. I utvalda korsningar finns som tidigare nämnt, brytpunkter, där beslut fattas med kris- och räddningsledare om vidare nerfart eller om insatsen ska avbrytas. Oftast kommer man åt branden från något håll, jag har aldrig varit med om att vi inte kommer åt branden alls. Ett stort problem vid själva rökdykningen är luft, det är väldigt ansträngande och insatsen sker över lång tid och stor fysisk ansträngning. För navigering används oftast värmekamera. Den upplevs inte fungera så bra eftersom att temperaturskillnaden inte är så hög. Vi har provat alla möjliga märken och inställningar, men där ser vi ett problem.

Kajsa Lotta: Upplever ni andra samma sak?

D: Det stämmer, vi har testat många olika tekniker med värmekamera och vi har hittat en användningsvariant som gav en bra bild med enkla funktioner. Det fungerar då att titta på mediastråk i tak och vatten vid sidan av gången. Ibland kan man också skönja väggar och tak i orten med den. Den fungerar bättre om man har en person i förgrunden. Vi brukar ha en vägvisare, som kan området och går i framgrunden sedan en handhållen värmekamera för teamchefen som kan hålla reda på gruppen. Vi har också värmekamera i mask sedan ett år tillbaka, det är bra för fordonsföraren. Man ser inte så mycket i den lilla masken, men det räcker för att framföra fordonet.

Kajsa Lotta: Med fordon, menar du då räddningsvagnen som du skrev om i frågebladet?

D: Ja, vi har en räddningsvagn som kan användas för att transportera ut skadade eller för att frakta utrustning.

Kajsa Lotta: Har någon annan något att tillägga på frågan om navigering?

E: Det finns inga tekniska system som är tillräckligt bra idag, utan det bygger på att det finns människor som har tillräckligt bra lokalkännedom och kan veta vars det finns pumpgropar och andra dolda risker. Det gör att det är extra viktigt med samövningar mellan kommunal räddningstjänst och gruvorna. Sedan har vi även verksamheter utomlands, där det ser lite annorlunda ut. Där är det gruvan som har det fulla ansvaret för att lösa nödlägen och brandsläckning och allting, så dom har ju Mine Rescue Teams, de består av är arbetare som är handplockade och får lägga väldigt mycket tid på att öva. Visst tekniska system är bra och blir bättre hela tiden, men jag tror inte att det är någon som har hittat något som är en lösning för allt.

B: Jag håller med alla föregående talare, men problemet jag ser i vår stad är att vi behöver få till något som gör att vi kan färdas snabbare i sådan miljö eftersom det är så himla långa insatser. Efter de händelser som vi har haft känner jag att vi snabbt får fram folk som hittar i det specifika området. Det dels på grund av vi har väl fungerade samverkansövningar. Men det är just det med att ta sig fram när vi inte ser som är problemet när vi ska färdas långa sträckor. Det behöver vi kunna göra snabbare än gånghastighet för att det ska finnas någon mening med insats.

E: Under en brand för några år sedan körde man bil i rök här. Men det var bara på grund av den lokalkännedom som chauffören hade och det var inte säkert på något sätt. Personalen hade kunnat hamna väldigt dåligt till då, man hade med sig två rökdykare från kommunal räddningstjänst i bilen. Dem har varit väldigt fordoncentrerade och pratat om att montera värmekameror i fronten och kunna köra på tekniska system. Och det blir ju bättre och bättre, vi bygger bland annat 3D-modeller av gruvorna vilket kanske gör att det går att lösa i framtiden.

A: Vi jobbar på detta idag, vi sitter nu i en fokusgrupp med räddningstjänsten och tittar på tekniska lösningar.

Kajsa Lotta Kärnebro: Har ni diskuterat möjligheter som mmRadar eller Gated Viewing, Ladar tror jag att det kallas?

D: Det finns en funktion på våra räddningsvagnar som heter Wall Detektion System. Den är till för att hålla vår räddningsvagn i mitten av gruvgången. När vi kommer mindre än en och en halv meter från väggen så säger vagnen åt oss om vi ska gå höger eller vänster, en halvmeter från väggen ljuder en signal. Vi har hunnit öva med vagnarna några gånger och kommit fram till att avstånden behöver kalibreras. Denna funktion är mer ett stöd för att inte köra ner vagnen i orter i gruvan. Men det är absolut ett navigeringsstöd.

E: Vi har ett projekt som heter Fire M2 där man syftar på att ta fram en fjärrstyrd räddnings- och evakuerings plattform. Där tittar man på olika typer av radar. Ladar brukar ha svår genomtränglighet för denna typ av brandrök. Men det kan hända att det finns olika typer av Ladar som funkar bättre och sämre.

D: Vi har enklare utrustning just nu. Just nu fungerar det bättre för oss än tekniska lösningar. Den blindkåppen vi jobbar med är en metod som fungerar i praktiken. Trippmätare i kombination med säkerställd kommunikation med basledningen vid baspunkt, samt kartmaterial är otroligt bra för att kunna räkna ut var man befinner sig, speciellt om man går vilse. Lågt riktad belysning är dessutom väldigt bra. Belysning mot marken där det kanske kommer uppstå en skiktning i brandröken är väldigt bra att ha och har bra påverkan på förflyttningshastigheten. I en annan gruva testas bland annat fotlampor som verktyg vid insats.

C: Här finns fordon som kan användas som räddningskammare. Fordon körs så länge det går för snabbare framfart. Annars används lina, och i vissa fall kärra. Hilux fordon brukar vara överlägset för stora avstånd som finns i vår typ av gruva. Nyckeln till allt är att det finns folk som är bekant med miljön och verksamheten.

Kajsa Lotta: Alla ni har nämnt personer med lokalkännedom. Känner ni att det kan vara ett av de bästa navigeringsverktygen i dagsläget?

B: Det är sant, men det största problemet är att ta sig igenom rök till nödställda personer då sätts navigeringsbiten på sin spets. Ser man inte kan det vara svårt även för personer som jobbat länge i gruvan att hitta.

C: Så kan det vara, men ibland kan det till och med komma partier med klar sikt beroende på hur luftflödena rör sig i gruvan. Då är lokalkännedom väldigt användbart längs dessa partier.

#### § 4. Evakuering

Kajsa Lotta: Den andra punkten på frågebladet var evakuering. Där har jag uppfattat det som att långa insatstider är det största problemet och framförallt kanske den största risken för nödställda. En svårighet verkar också vara transport av skadade personer. Hur transporteras nödställda och skadade idag?

A: Vi har ju räddningskammare och räddningsrum där personer ska kunna vistas en längre tid. Vi tar oss fram från baspunkten med räddningslina och denna lina fästs sedan på kammaren. Vi går därefter in i kammaren och pratar med nödställda och kopplar in dem i linan och våra rökskydd för att sedan gemensamt transportera personer ut från området gåendes. Vi har aldrig varit med om att få hämta en person som är livlös. Det ställer till problem om det är långa sträckor som personen måste bäras på bår. Vi hämtar alltså personer med våra egna räddningsskydd.

C: Grunden är samma. Men i de fall där folk blivit sjuka, till exempel för att de andats in för mycket rök har vi tagit oss fram med fordon ändå. Vi har också en kärra till förfogande om det skulle vara omöjligt att framföra fordonet. Den finns ofta med på insatsen.

D: Vi har, som sagt, räddningsvagnar med god kapacitet som vi kan stå och åka på, etc. som har gjort en dramatisk skillnad jämfört med tidigare. Det gör att vi kan färdas fortare samt förbrukar mycket mindre syre under vägen. När vi kommer fram till en räddningskammare använder vi samma princip för de som kan gå själva som gruva 1; de fästs vid linan och till en syredepå. Problemet är om man har blivit brännskadad eller rökskadad, vilket inte är helt osannolikt. Då har vi möjlighet att transportera en person per vagn. Under övningar har det visats sig bra att ha en medicinsk ansvarig från sjukvården med klar kommunikation till räddningskammaren som kan ge stöd till de som sitter tillsammans med den skadade och kan hjälpa räddningstjänst med triagering. På transporten tillbaka, som kan ta tid, har det största problemet varit nedkylning. Därför har det nu börjat diskuteras kring bår med värmemadrass som utvecklas av Umeå Universitet. Ett annat problem framkommer om personen inte andas självständigt, där finns alternativ som automatiserad syrgasmask som kan hjälpa en person som inte andas bra.

A: Vi använder foliefiltar som avger värme och vanliga filter som brukar förhindra nedkylning.

D: Här har det börjat köpas in i gruvorna overaller med värmeblock som man knäcker. Det ser lite omständligt ut med är väldigt bra i övrigt.

E: Det kan jag väl säga att dessa Mine Rescue Teams övar mycket bårbärning. Dem har en specialbyggd kärra för att dra folk men dom kör mycket bårbärning och det är fruktansvärt tungt. Dem upplever att de inte kommer många meter innan det ska bytas position eller växla armar. Är det personer som är i behov av bårhjälp är det svårt att bära skadade personer långa sträckor. Luftförbrukningen blir dessutom väldigt stor i dessa fall.

C: Ett fordon är ju nästan nödvändigt för så långa sträckor.

Kajsa: Vilka masker används vid evakuering på gruva 1?

A: Det är Revitox och räddningshuvor. I räddningsbilarna räddnings masker som kan kopplas till syrepaket.

Kajsa Lotta: Hur är lufttillgången för er på gruva 1?

A: Vi har jumbo-paket så vi har så mycket luft som man kan ha vid insats, men det är ju absolut en svårighet vid långa insatser.

Kajsa Lotta: Hur ser det ut i gruva 2 och 3?

D: Vi har Revitox och interspiro. Något som hjälper något enormt är luftdepåådan. Det tar väldigt mycket att behöva dela med rökdykare så luft depå är viktigt i dessa sammanhang.

C: I grund och botten kör vi med vanligt interspirosystem men sedan har vi även drägers, fyra sådana enheter så att vi själv kan operera längre tid. För oss är det ofta den fysiska begränsningen på personer som är problemet.

D: Fråga till C - med BG4an, re-breather, man renar luften och får då längre aktionstid, de kräver lite mer underhåll. Man behöver dessutom isblock för att kyla luften. Vad har ni för andningsluft som ni skulle ge till en nödställd i det läget?

C: Då har vi vanliga interspiropaket. En faktor som gör skillnad är klädseln, det är bra att vara så lätt klädd som möjligt för att kunna ta sig långa distanser och kunna arbeta. Vi använder vanligt, flamskyddad arbetskläder i stället för brandställ i områden som inte är nära branden.

A: Vid händelse av bränder har vi i gruva 1 faktiskt haft brandkläder. Men det har diskuterats många gånger, det blir en onödig värmepåverkan speciellt vid så pass långa insatser. Alternativ till larmställen har då efterfrågats. Klädvalet är viktigt, självklart ska släckarbetet utföras med larmställ men det kan vara svårt att avgöra när det övergår till kall rökdykning.

D: Vägvisaren som följer med oss vid insats är inte klädd i brandkläder. Vid insats har vi sagt att man får använda lätt hjälp och skogsbrandsoveraller där inte värmepåverkan från branden är för hög. Det finns alltså en möjlighet att lätta på klädsel längre bort från brandområdet.

A: Jag måste bara tillägga att nackdelen med tunnare klädsel kan vara genomsläpplighet. Speciellt nu när vi använder mer och mer batteridrift. Farliga partiklar som till exempel vätefluorid måste tas i åtanke i alla scenarion.

C: Insatsen och brandscenariot säger dock ganska mycket om vilken typ av dräkt som kan vara, den ska givetvis anpassas efter situation.

Kajsa Lotta: Hur gör man med evakuering nära brandområdet, speciellt vid skador och sjukdomsfall?

D: Är det så att branden blockerar någon som vi ska evakuera krävs det släckinsats först. Där finns stora osäkerheter till exempel bergsspjälkning, mm. Även efter att branden är släckt finns osäkerheter med att passera. Där måste man ta hjälp och stöd vid bedömning med kompetens från gruvor.

## § 5. Självräddning

Kajsa Lotta: Självräddning innebär ju att personer själva tar sig till säker plats vid händelse av brand eller liknande. Där kan navigeringssvårigheter spela in, och alla i gruvan kanske inte har full koll på till exempel placering av räddningskammare. Hur tycker ni att det fungerar med självräddning i gruvorna idag?

A: Vi har ju varit på en hel del bränder i gruvan och i de flesta fall har man inte använt sig av räddningskammare utan snarare försökt ta sig därifrån med fordon. Det är till och med vanligt att man i stället inrymmer andra, osäkrade platser, framför räddningskammare. Vi har fokuserat på att informera personal kring rutiner och försök. Det största problemet är alltså inte kunskap utan snarare att agera enligt plan.

E: I gruva 3 upplever jag att de flesta av personalen är väldigt duktiga på detta. Vi övar inrymning ganska frekvent och om det inte är några hinder går det väldigt fort tills dess att all personal sitter i räddningskammare. Det ingår i strategin att man inte ska försöka att ta sig ut utan bege sig till räddningskammare och invänta instruktioner. En av de viktigaste funktionerna jag upplever är tidigt larm. De gånger det har gått fel har det berott på att personer inte har fått kännedom om att det brinner i tillräckligt god tid och då blivit överrumplade av röken.

D: De utrymningar som sker regelbundet pekar på att ut- och inrymning i räddningskammare och -rum fungerar. I en av våra gruvor som är utformad med två brandceller är det utrymning till dagen som grundprincip. Problem har uppstått där folk inte tagit sig till räddningskammare för att dom inte känt sig trygga med det utan att de fastnat bakom röken.

A: Du pratade om tidigt larm, hur larmar ni personal i era gruvor?

E: Vi har byggt ut V-lan och använder IP-telefoner som gruvradio. Den handenheten har en dedikerad brandlarmsknapp så all personal som upptäcker brand ska kunna trycka på den knappen och verifiera "JA". Då går det ut ett larm till alla i gruvan som säger att alla ska bege sig till närmsta räddningskammare. Vi tittar även på ett projekt med ABB om att dra ut fordonssprinklerlarm så att de distribueras direkt till gruvarbetare. Det är också ett sätt att få tidigare larm och information om vad det är som brinner. Jämför man då med andra gruvor är det mer vanligt med radioutrop. Utomlands finns ett annat system där de använder sig av stinkgas. Så fort man ovan jord får en signal om potentiellt nödläge så bryter man en behållare med smörsyra i tilluften, det har dom kört med sedan tidernas begynnelse. Det går inte att missa till skillnad från teknik som kan strula, dels med täckning under jord, vilken kan vara dålig.

Kajsa Lotta: En fråga till E: är alltid hela gruvan påverkad i händelse av brand på ett område?

E: Ja, vi har en så pass liten gruva, går det ett brandlarm under jord följer alla samma instruktioner. Om man inte beger sig till säker plats vid misstanke av brand kan det snabbt vara försent. En av våra gruvor hade till för sex år sedan en strategi att försöka ta sig ut ur gruvan, men det fanns komplikationer och risker i form av trafikstockning och kollisioner. Skulle det gå illa då har man helt fel människor på helt fel plats i gruvan. De har nu justerat sin strategi.

C: I första hand i utrymning tar man sig ofta till räddningsrum som finns på varje nivå. De tar hundratals personer normalt sätt. Det tillhör också grundutbildning att veta hur man tar sig till dessa platser.

E: nyanställda har ofta en introduktionsperiod under jord, där positioner av räddningskammare är något man trummar på ganska hårt.

Kajsa Lotta: Har man strategier för personer som fastnar i rök? Bör man stanna kvar på givna plats eller försöka ta sig ut till säker plats? Hur gör man med ventilationen?

E: Fastnar man i rök är det svårt att sätta upp en strategi, folk är kreativa och försöker hitta låglänta platser där röken inte hunnit tränga ner. Men det finns inget beskrivet. Vi har även tillgång till flykthuva.

C: Vi har tillgång till flykthuva, man vill gärna försöka ta sig till en säker plats. Går man åt rätt håll är det lätt att ta sig till en mindre rökig plats. Annars är det viktigt att larma räddnings- och krisorganisation som kan prioritera personer som fastnat i rök.

B: I krisledningen ovan och under jord sitter de personer som styr ventilationen i gruvan, så de är med och föreslår tillvägagångssätt och hur de tror att utfallet blir av olika åtgärder, dvs att dra igång mer luft eller att stänga av den. Den dialogen är direkt och jättenära för att försöka styra ventilationen så gott det går. Det finns ingen standardåtgärd utan man avgör det från fall till fall.

C: Normalläget i gruva 2 är att inte göra någon åtgärd innan man hunnit analysera situationen.

Kajsa Lotta: finns det andra metoder som kan tänkas fungera hjälpsamt i sådana situationer, till exempel räddningskammare med ljudsignal?

D: En av våra gruvor använder akustisk signal på räddningskammaren för att kunna orientera sig dit. Man har varit med om scenarion där personer har gått till kammaren men inte hittat den i röken. De har istället gått runt eller förbi. Med ljudsignal vet man i alla fall när man är nära en kammare, även om ljudet studsar mot väggarna och förvirrar så märker man om man går bort från kammaren, då ljudet blir svagare. Vi har brottats mycket med hantering av ventilation i gruvan. Där har vi kommit fram till strategin att slå från ventilation för att minska rökspridningshastigheten. Men det finns ju möjlighet att låta ventilationen gå

som vanligt som bygger mer på en tanke om att gruvpersonalen vet åt vilket håll luftflödet går och på sådant sätt vet en fördelaktig utrymningsriktning.

Kajsa Lotta: Hur ser det ut med tillgång till kartor för räddningskammare och räddningsrum för personal?

E: Det är en svår process eftersom det krävs mycket administrativt arbete för varje del av gruvan då det sker många förändringar hela tiden. Däremot så är det en fortgående process att informera personal om förflyttning av räddningskammare och nya sådana allt eftersom det förändras.

A: Gruva 1 har en typ av ett kartsystem, med räddningskammare och beskrivning av position. Den kartan ska finnas i alla fordon under jord för att hitta närmsta räddningskammare under jord beroende på vart man är.

E: Ja, det finns även i gruva 3, men det är en mer övergripande typ av karta. Jag tänkte på det vi pratade om innan, om hjälpmedel för att hitta till räddningskammare. I gruva 3 så har man sedan några år tillbaka monterat väldigt starka Led-lister, vid dörren och vid handtaget. Det har visat sig vid skarpa händelser att man ibland missar dessa annars. Det finns även avspärrningslinor i trattformat in mot kammaren för att man ska ha något att orientera sig med vid kammaren, så det inte uppstår det problemet att man har bergväggen som referenspunkt och råkar runda en räddningskammare. Ljuset fyller absolut en poäng och hjälper även till med att uppmärksamma kamrarna i vardagen. Avspärrningslinorna har inte hunnit utvärderas än.

B: Svårigheterna är framför allt, som A sa, att få personer att gå till räddningskammaren. Då finns det en plan att göra räddningskammare attraktiva. Naturliga samlingsplatser bör därför bli räddningskammare och räddningsrum. Till exempel nu senast på den nya huvudnivån så är matsal och fikarum räddningsrummen. På ett liknande sätt hade man kanske kunnat göra med mobila räddningskammare ute i verksamheten, till exempel använda de som platser för strategi och planering.

## § 6. Avslutning

Kajsa Lotta tackar alla för medverkan i mötet och mötet avslutas.