Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

FORSKNING/STUDIE

Metodförsök

Planera, genomföra och analysera praktiska försök

Sammanfattning

Rapporten ger en detaljerad beskrivning av hur praktiska försök (metodförsök) tillsammans med räddningstjänsten har planerats, genomfört och analyserats. Avsikten är att ge en bild av hur teknik och metoder för räddningsinsats kan testas i olika miljöer och under olika förutsättningar. Denna typ av metodförsök kan vara till hjälp för att utveckla ett metodstöd till räddningstjänster som själva vill utföra försök på sina övningsplatser. Metodförsöket har testat den praktiska användbarheten hos olika verktyg vars syfte är att begränsa en brand i batterifordon som befinner sig i parkeringsgarage. Fem olika utrustningar har testats och dess fördelar och begränsningar har bedömts.

Metodförsök – Planera, genomföra och analysera praktiska försök

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)
Enhet: RO-SA-LED

Foto omslag: Lotta Vylund
Text: Lotta Vylund
Tryck: DanagårdLiTHO

Publ nr: MSB1689
ISBN: 978-91-7927-101-5

Förord

Vi vill börja med att tacka alla de räddningstjänster som hjälp till att planera, genomföra och analysera försök. Utan deras värdefulla kommentarer hade inte denna studie gått att utföra. Försöket hade inte heller gått att genomföra utan all kompetent personal på MSB:s övningsfält i Sandö.
Under projektets tid har många kontakter samverkat vilket visat sig var nödvändigt för att kunna genomföra denna typ av försök. Flera personer som inte deltog i försöksdagarna har varit viktiga för planering och genomförande.
Projektet Early Responders Innovation Arena (ERIA) har genomförts med stöd av Vinnova inom pilotutlysningen Verklighetslabb inom offentlig verksamhet. Det är det första svenska projekt av sitt slag inom området skydd och undsättning och ett av få verklighetslabbsprojekt inom samhällssäkerhetsområdet även internationellt sett. Projektet har inte alltid haft en spikrak väg framåt och viktiga lärdomar har dragits under vägens gång. Denna rapport hoppas vi kan användas som bakgrund till kommande metodstöd för hur försök kan genomföras hos kommunal räddningstjänst.

Vänligen

Tanja Ståhle, MSB (Projektledare ERIA)

Lotta Vylund, RISE (Försöksledare och författare till rapporten)

Innehåll

1 INLEDNING 6
1.1 Syfte och mål 6
1.2 Avgränsning 7
1.3 Läsanvisningar 7

..... 7

2 ATT GENOMFÖRA ETT FÖRSÖK 8
2.1 Förutsättningar för ett försök 8
2.1.1 Identifiera behov av metod-och teknikutveckling 9
2.1.2 Identifiera sammanhang 9
2.1.3 Beskriva ramarna för försöket 10
2.2 Försöksplanering för metodförsök 10
2.2.1 Formulera mål med försöket 10
2.2.2 Formulera forskningsfrågor 10
2.2.3 Bedömningskriterier 10
2.2.4 Scenariobeskrivning 11
2.2.5 Datainsamlingsplan 11
2.2.6 Hitta lösningar 13
2.3 Genomföra försök 13
2.4 Analys och dokumentation 14

3 RESULTAT FRÅN PLANERING AV METODFÖRSÖK 15
3.1 Förutsättningar för försöket 15
3.1.1 Behov av metod- och teknikutveckling 15
3.1.2 Sammanhang 16
3.2 Försöksplanering 18
3.2.1 Försöksmål och forskningsfrågor 18
3.2.2 Bedömningskriterier och datainsamling 19
3.2.3 Scenario 20
3.2.4 Lösningsförslag 20
3.2.5 Försöksuppställning förberedande försök 21
3.2.6 Försöksuppställning metodförsök 23

4 UTVÄRDERING AV LÖSNINGAR 25
4.1 Utvärdering försöksdimensionen 25
4.2 Hur kan en begränsningslinje upprättas? 26
4.2.1 Dolly 27
4.2.2 Sjöfartsrör 30
4.2.3 Smarthose 33
4.2.4 Ridåmunstycke 36
4.2.5 Tre-slang 38
4.3 Slutsats utvärdering av metodförsöket 41

4.4 Transport av fordon 42

5 UNDERLAG FÖR METODSTÖD 44

BILAGA 1: ENKÄT OCH PROTOKOLL 46
Lösningsdimensionen, enkät 46
Lösningsdimensionen, övriga kriterier 47
Forskningsdimension, protokoll försöket 47
Forskningsdimensionen, protokoll förförsök 47
Forskningsdimensionen, Workshopfrågor 48
Försökdimensionen, Enkät 48
Försöksdimensionen, Workshopfrågor 48
Försöksdimensionen, Övriga frågor 48

BILAGA 2: OMVÄRLDSANALYS - LITTERATURSAMMANSTÄLLNING 49
Risker för räddningspersonal i händelse av brand i litiumjonbatteri 50
Släcktaktik 51
Hantering av batterier efter brand 53

BILAGA 3: DIAGRAM 54

BILAGA 4: CHECKLISTA - ATT GENOMFÖRA FÖRSÖK 56

1 Inledning

Projektet Early Responders Innovation Arena (ERIA) har pågått från september 2017 och kommer att avslutas i december 2020. Arbetet har utförts med stöd från Vinnova tillsammans med egen finansiering från MSB. Syftet med ERIA är att etablera en arena där samhällets aktörer, under verklighetsnära, säkra och metodologiskt robusta förhållanden, kan samarbeta för att innovationer, metoder och produkter ska uppnå den mognad och den träffsäkerhet som krävs för att kunna användas skarpt inom området samhällsskydd och beredskap. Detta verklighetslabb ska också kunna bidra till de utvärderingar som krävs för att vi skall kunna tala om ”evidens” inom området samt utgöra en plats där beprövad erfarenhet synliggörs och dokumenteras.

Projektets mål är att med utgångspunkt i existerande infrastruktur vid MSB i form av MSB:s utbildningsverksamhet definiera ett koncept för denna innovationsarena. Verklighetslabbet ska också erbjuda stödjande metodik för metodförsök inom området och underlätta samverkan med och mellan andra testbäddar , verklighetslabb och liknande infrastruktur i Sverige. Konceptet tas fram och valideras genom experiment, försök och demonstrationsövningar. Verklighetslabbet bygger på en kombination av virtuella, simulerade och verkliga skeenden och miljöer. Här ska innovatörer, forskare, blåljus- och andra aktörer inom området samhällsskydd och beredskap, tillsammans med pedagoger och studerande, kunna testa och undersöka framtidens metoder, processer och teknik. Konceptet har tagits fram i samarbete med ett stort antal personer i olika möten och workshops men framför allt genom att under hela processen genomföra olika tester och försök som har utvärderats och genererat underlag för nya iterationer av resultatet. Försöken på Sandö utgjorde en ansats att utifrån gjorda erfarenheter sammanfatta ett underlag för det metodstöd som är en del av projektets resultat.

1.1 Syfte och mål

Syftet med studien är att i samarbete med kommunal räddningstjänst och ERIA planera, genomföra och analysera försök för att utvärdera nya metoder vid räddningsinsats. Fortsättningsvis kommer det att heta metodförsök i rapporten. Lärdomar från studien ska användas till att utveckla ett verklighetslabb som ska stödja innovation och utveckling för svensk räddningstjänst.

Målet med studien är uppdelat i följande två delar:

1. Skapa underlag för ett metodstöd som kan användas av räddningstjänsterna när de bedriver försök.

2. Utvärdera olika lösningar för säkrare och effektivare räddningsinsatser i batterifordon.

1.2 Avgränsning

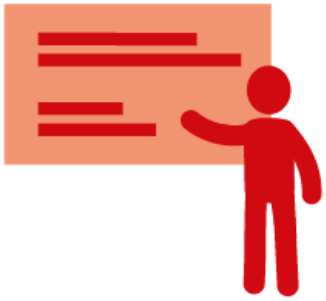
Rapport dokumenterar hur metodförsöket planerats, genomförts samt analyserats. Rapporten ger enbart ett underlag för ett metodstöd som kommer att publiceras i samband med projektets slutrapport.

1.3 Läsanvisningar

Rapportens struktur är uppdelad utifrån de två målen ovan. Kapitel 2 beskriver metodik för att genomföra försök. Tillsammans med kapitel 5 och till viss del kapitel 3 skapar de ett underlag till kommande metodstöd.

Kapitel 3 ger bakgrunden till varför försöket utformades som de gjorde och kan vara bra för ökad förståelse kring resultatet av utvärderingen. Är man bara intresserad av vilka fördelar och begränsningar som de olika testade lösningarna har så hänvisas till kapitel 4.

Kapitel 5 beskriver hur lärdomar från studien kan skapa underlag för ett metodstöd kring hur försök hos räddningstjänsten kan genomföras.



2 Att genomföra ett försök

Inom ramen för studien har RISE planerat, genomfört och analyserat försök på ett systematiskt sätt i anslutning till projektet Early Responders Innovation Arena (ERIA). Metodiken som använts är inspirerad av RISE utvärderingsmetod SPAR och EU-projektet Driver+ i form av deras vägledning för försöksmetodik. Metodiken har dock anpassats efter syfte och mål med studien.

Metodiken är uppdelad i följande moment:

1. Förutsättningar för försök

- Identifiera behov av metod- och teknikutveckling
- Identifiera sammanhang
- Beskriva ramarna för försöket

2. Försöksplanering

- Formulera mål med försöket
- Formulera forskningsfrågor
- Bedömningskriterier
- Scenariobeskrivning
- Datainsamlingsplan
- Hitta lösningar

3. Genomföra försök

4. Analys och dokumentation

2.1 Förutsättningar för ett försök

Första steget är att identifiera förutsättningarna för ett försök. Det handlar dels om att ta reda på vilka behov som finns, d.v.s. vilka kunskapsluckor som finns och som kan kompletteras med hjälp av försöket. Detta görs genom att analysera vilken nytta försöket har beroende på hur det kan genomföras.

Frågor som behöver ställas är;

- Vilka personella och materiella resurser finns?
- Vad innebär detta för möjligheten att samla in data?
- Hur kan insamlad data användas för att fylla kunskapsluckorna?

Nedan beskrivs metodiken för hur förutsättningarna togs fram i studien.

2.1.1 Identifiera behov av metod-och teknikutveckling

Första steget handlade om att identifiera behov av metod- och teknikutveckling inom området operativ räddningstjänst. De identifierade behoven skulle dessutom vara lämpliga som teman för försök inom projektet ERIA. Identifieringen genomfördes genom diskussioner med Metod- och Teknikutskottet (M&T) där utskottet dels fick identifiera behoven och dels prioritera vilket tema försöket skulle ha.

Nästa steg handlade om att identifiera vilka kunskapsluckor som fanns inom temat. Kunskapsluckorna identifierades genom en omvärldsanalys av den senaste forskningen, studierna och erfarenheter inom temat.

2.1.2 Identifiera sammanhang

De identifierade kunskapsluckorna är kopplade till problematiken på olika sätt. Är det till exempel vid larmet som kunskapsluckan uppstår eller är det vid räddningsinsatsens avslut? För att identifiera i vilka sammanhang kunskapsluckorna uppstår genomfördes en workshop där deltagarna fick svara på frågor kring när, var och hur kunskapsluckorna uppstår. Syftet var att fånga så många aspekter som möjligt kring kunskapsluckan och skapa förståelse för hur räddningstjänsten idag hanterar sammanhang där kunskapsluckan uppstår. Som hjälp användes en metod som heter baslinje, vilken är en tidslinje som beskriver vilka roller som de inblandade har, vilka aktiviteter de genomför samt vilka verktyg de använder idag. Baslinjen användes sedan för att kommunicera behovet av metodutveckling för lösningsägare samt underlag för den fortsatta försöksplaneringen.

För att rita upp baslinjen ställdes följande frågor:

- Vem eller vilka har behov av nya lösningar? T.ex. rökdykare, styrkeledare eller insatsledare?
- I vilket skede av insatsen finns det behov av nya lösningar? T.ex. före, under eller efter insats?
- I vilken typ av miljö finns det behov av nya lösningar? T.ex. höghus, parkeringsgarage eller översvämningsområde?
- Vad ska den nya lösningen klara av? T.ex. släcka brand, minska risken för översvämning eller bidra med snabbare lägesbild?

2.1.3 Beskriva ramarna för försöket

Sista steget innan målet med försöket kunde färdigställas behövde ramarna för försöket klarläggas. Exempelvis; Var ska försöket genomföras? Vilken infrastruktur finns att tillgå? Vilken mätutrustning finns? Vilken kompetens finns? Vilka resurser finns att tillgå, både materiella och personella?

Svaren på dessa frågor var grunden för själva försökplaneringen som beskrivs i nästa kapitel.

2.2 Försöksplanering för metodförsök

Efter att förutsättningarna för försöket var noga beskrivna så var det dags att börja planera själva försöket. Denna del är den viktigaste och mest tidskrävande delen.

Nedan beskrivs metodiken för hur försöksplaneringen genomfördes i studien.

2.2.1 Formulera mål med försöket

För att formulera målet med försöket genomfördes en brainstorming tillsammans med räddningstjänster väl insatta i temat. Brainstormingen utgick från tre identifierade kunskapsluckor samt de sammanhang där kunskapsluckorna uppstår. Målet formulerades genom SMART-modellen vilket innebär att målet ska vara Specifikt, Mätbart, Accepterat, Realistisk och Tidsbestämt.

2.2.2 Formulera forskningsfrågor

Målet med försöket beskrevs övergripande för att kunna ställa frågan VAD deltagarna hoppades uppnå med försöket. Utifrån målet formulerades forskningsfrågor som beskrev vad som var viktigt att ta reda på under försöket. Dessa frågor underlättade i arbetet med att ta fram försöksscenario och bedömningskriterier. Forskningsfrågorna togs fram i samarbete med en mindre grupp deltagare från ERIA-projektet och gruppen utgick ifrån att det är mest optimalt att arbeta utifrån få frågor med utförliga svar.

2.2.3 Bedömningskriterier

Bedömningskriterier användes för att veta vilken data som behöver samlas in under försöket. Det viktiga med bedömningskriterierna var att de skulle ge de parametrar som var viktigast för att urskilja VAD som gjorde en förändring. Därför delades kriterierna in i tre olika områden som representerar var sin dimension av frågorna. **Forskningsdimensionen, försökdimensionen och lösningsdimensionen**[1]. Alla tre dimensioner analyserades enskilt men också hur de hänger ihop. För ytterligare information läs mer om metoden för analys under 2.4.

[1] Mer information kring de olika dimensionerna finns i den handbok för försök som tagits fram i EU-projektet Driver+, se https://www.driver-project.eu/trial-guidance-methodology/

Forskningsdimensionen, som är den viktigaste, syftar till att identifiera bedömningskriterier för att kunna besvara forskningsfrågorna. Kriterier togs fram med hjälp av baslinjen.

Försöksdimensionen handlar om att utvärdera själva försöket och den praktiska organisationen kring försöket, t.ex. scenario, möjlighet till observation, antal deltagare etc. Denna dimension är viktig eftersom den påverkar resultatet på utvärderingen.

Lösningsdimensionen inkluderar kriterier kopplade till själva lösningens funktion och hur användbar den är. Dessa kriterier togs fram genom diskussioner med behovsägare och utgick från försöksmålet och forskningsfrågorna. Som hjälpmedel vid diskussionerna användes dels ISO 9241-11[2] och dels följande fem övergripande grundkriterier:

- Livscykelkostnader – kriterier kopplat till finansiella kostnader för räddningstjänsten samt samhällskostnader för miljöpåverkan.
- Kapacitet – kriterier kopplat till lösningens förmåga att utföra sin uppgift, t.ex. släckeffektivitet, tidsåtgång, personalåtgång etc.
- Implementering – kriterier kopplat till t.ex. utbildningsbehov vid implementering eller att extra utrustning måste användas i brandbilen.
- Underhåll – kriterier kopplat till vad som behöver göras för att upprätthålla kapaciteten under produktens livstid.
- Arbetsmiljö – kriterier kopplat till ergonomi och säkerhet samt jämställdhet och jämlikhet.

2.2.4 Scenariobeskrivning

Scenariot ska beskriva exakt under vilka omständigheter som kunskapsluckan kan uppstå. Scenarioformuleringen utgick från den uppritade baslinjen och innehöll; vem gör vad; när; var; och med vilken utrustning. Beskrivningen av scenariot liknades vid hur ett manus skrivs vid övningar och skapade en unik situation där ny teknik eller metoder kan testas för att utvärdera om den identifierade kunskapsluckan kan fyllas.

2.2.5 Datainsamlingsplan

Vid planeringen av datainsamlingen användes en metod som heter innovationslinje. Likt baslinjen ger innovationslinjen en bild av vilka roller som är inblandade när, vilka aktiviteter de genomför samt vilka verktyg de använder. Skillnaden är att innovationslinjen istället beskrev hur räddningstjänsten förväntades agera när de använder den nya lösningen. En

[2] Ergonomi vid människa-systeminteraktion – Del 11: Användbarhet: Definitioner och begrepp

jämförelse mellan baslinjen och innovationslinjen gav en bild av när och hur data behöver samlas in samt vilka roller som krävs under försöket.

Vid planeringen av datainsamlingen ställdes följande frågor:

- Vilka bedömningskriterier har vi?
- Hur kan dessa kriterier bedömas (vi vill bara samla in data som verkligen behövs)?
- Hur mycket tid och resurser kräver datainsamlingen (vilken data är möjlig att samla in)?

Efter den genomgången listades vem som gör vad, när, var och med vilken utrustning. Nedan ges ett övergripande exempel på olika roller från en sådan genomgång. Observera att samma person kan ha flera roller eller att en roll kräver flera personer.

Roll	Uppgift	Vilken dimension utvärderades?	Hur och när ska data samlas in?
Försöksledare	Övergripande ansvar för genomförandet av försöket	Försök	Möte efter genomförda försök.
Utvärderare	Ansvarar för insamling av data.	Forskning	Protokoll fylldes i under försöket.
Deltagare	Testa lösningarna.	Lösning	Intervjuer efter varje försök
Figuranter	Rollspel i försöket.	Lösning	Intervjuer efter försöksveckan var slut.
Tekniker	Sköta allt tekniskt, branden, kameror, brandbil etc.	Försök	Möte
Observatörer	Observera försöket.	Lösning	Enkät
Alla	-	Försök och forskningsfrågor	Enkät och workshop sista dagen.

Figur 1 Roller och försöksdimensioner

2.2.6 Hitta lösningar

För att hitta lösningar användes främst Metod- och Teknikutskottet (M&T). Syftet var att få en bred representation från hela landet och hitta många olika typer av lösningar. Beskrivningen av försöksscenariot tillsammans med försöksmål och forskningsfrågorna skickades till M&T med uppmaning att inkomma med lösningsförslag. För att få in än fler lösningsförslag insamlades lösningar också via:

- Nationella och internationella nätverk, samt nätverk inom RISE.
- Fokusgrupp med räddningstjänster väl insatta i temat.
- Sakkunniga MSB.
- Publicering MSB:s hemsida och Utkiken[3].

När lösningsförslag var inhämtade sammanställdes dessa och en första gallring genomfördes tillsammans med sakkunniga hos MSB.

I nästa steg fick M&T prioritera vilka lösningsförslag som skulle testas under försöket. Till slut var det dock projektgruppen som beslutade vilka lösningar som skulle testas. De utgick från prioriteringslistan från M&T men också från de förutsättningar som finns på Sandö där försöket skulle genomföras.

2.3 Genomföra försök

Metodförsöket genomfördes under fyra dagar där de två första dagarna var avsatta till förberedande övningar och tester av teknik inför själva ”metodförsöket” som genomfördes dag 3. Sista dagen avsattes för reflektion över dagarna. Följande arbetsmoment genomfördes under försöksveckan i Sandö:

1. Val av deltagare som ska genomföra försöket. Resultatet från utvärderingarna kommer att påverkas beroende på vem som genomför försöket.
2. Förberedande förförsök som undersöker de viktigaste försöksparameterna i syfte att optimera försöket.
3. Uppbyggnad av försöksuppställning. Realistiskt scenario med möjlighet att samla in data som krävs för att besvara forskningsfrågorna.
4. Tekniktest med syfte att testa datainsamlingsmetoderna och identifiera om något behöver kompletteras.
5. Utbildning och träning av deltagarna med syfte att de ska veta hur lösningarna fungerar så att de kan hantera lösningen i försöket.

[3] https://www.utkiken.net/

6. Fullskaligt förförsök med syfte att göra de sista små korrigeringarna innan själva ”metodförsöket”.
7. Metodförsöket: Samla in data utifrån datainsamlingsplanen på lösningarnas hanterbarhet.

2.4 Analys och dokumentation

Vid analys och dokumentationsfasen kontrollerades först all data, som sedan illustrerades och till sist analyserades och drogs slutsatser från. Analys och dokumentationsfasen handlar om att pussla ihop all insamlad data till något begripligt som kan kommuniceras i skrift och bild. Det är viktigt att avsätta gott om tid och resurser till detta.

I ett första steg analyserades data kring försöksdimensionen eftersom denna kan påverka övrig insamlad data. Till exempel kan en brandslang ha gått sönder under ett av testen vilket medfört avsevärda fördröjningar som inte har med lösningen att göra. Lösningens hela potential kanske inte framgår vilket måste tas med i analysen. I andra steget analyseras förhållandet mellan lösningsdimensionen och forskningsdimensionen då en lösning kan ha stora fördelar genom att fylla kunskapsluckan, men på grund av ett handhavandeproblem går det inte att se lösningens hela potential. Att se hur dessa tre dimensioner hänger ihop är lika viktigt som att särskilja dem.

Först i tredje steget beskrivs VAD som utgjorde skillnaderna mellan när lösningen användes eller inte. Slutligen behöver forskningsfrågorna besvaras och beskriva om målet med försöket har uppnåtts.

3 Resultat från planering av metodförsök

Detta kapitel beskriver resultaten från planeringen av metodförsöket. Resultatet från utvärderingen av lösningarna beskrivs i kapitel 4.

3.1 Förutsättningar för försöket

Ramarna för försöket var att det skulle genomföras ett praktiskt försök tillsammans med räddningstjänsten i Sandö. Nedan beskrivs resultatet från arbetet med att ta fram förutsättningarna för vilka försök som skulle genomförs.

3.1.1 Behov av metod- och teknikutveckling

Utifrån synpunkter från M&T beslutades att temat för försöket skulle vara alternativa släckmetoder vid batteribränder. Motiveringen till detta var att batteribränder identifierades som ett ökande problem för räddningstjänsten. Det finns även forskning och erfarenhet på området som kan nyttjas vid planering av praktiska försök. Fördelen var också de samordningsvinster som finns med övrigt arbete på MSB.

En längre litteratursammanställning finns i **Bilaga 2** men **Tabell 1** sammanfattar de viktigaste kunskapsluckorna som kan relateras till räddningstjänstens hantering av brand i batterifordon.

Tabell 1 De viktigaste kunskapsluckorna kopplade till räddningstjänstens hantering av brand i batterifordon.

Kategori	Kunskapslucka
Toxiska gaser	Behov av att veta mer kring vilka toxiska gaser som produceras samt vilka praktiska konsekvenser detta får. T.ex. vilka skyddskläder behövs och hur stort område behöver utrymmas (zonindelning). Kontrollera hur hela skyddsklädseln klarar av toxiska gaser, som HF, med fokus på skarvar och sömmar. Gjorda tester visar på gott skydd för vissa ämnen för helt intakta provbitar. Andra diskussioner är om det går att tvätta brandgaser och på så sätt skapa en bättre arbetsmiljö. Hur påverkas då spillvattnet – blir det mer toxiskt? Behov av indikeringsutrustning.
Inneslutna utrymmen	Att släcka bränder i stora utrymmen inomhus är svårt oberoende vad som brinner. Problemet med batterifordon är att insatsen kan bli längre på grund av att det är svårt att släcka det finns risk för återantändning. Praktiska problem kan relateras till hur planen för långsiktig insats kan se ut samt metodik för ventilering.

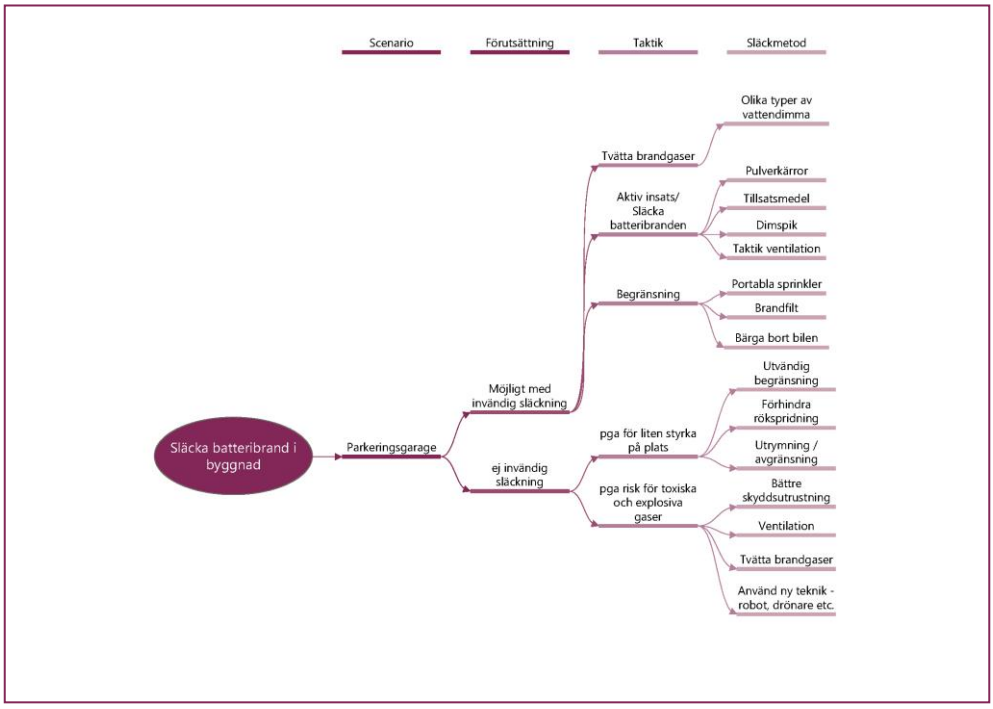
Släcka batteribranden	En battericell som uppnår termisk rusning går inte att stoppa utan inriktning måste vara att förhindra spridningen av termiska rusningen till närmaste cell eller celler. Försök som genomförts har visat att kylning kan stoppa spridningen men att släckmedel behöver transporteras ner till cellerna för att få effekt. Praktiska frågor som uppkommer är mest relaterade till om battericellerna är tillräckligt skyddade och hur ofta går det enbart att kyla utsidan för hela batteripaket. En kylning enbart på utsidan innebär att cellerna inte kyls effektivt och därmed inte uppnås någon släckeffekt.
Låta batteriet brinna	För att minska risken för återantändning är rekommendationen idag att låta batteriet brinna. Praktiska problem som uppkommer på grund av det är relaterade till om omgivningen kan skyddas för att branden inte sprider sig vidare. Frågeställningen är då hur taktiken kan utformas om det inte går att låta fordonet stå och brinna klart.
Den snabba utvecklingen	Batterier består av väldigt många olika kemikalier, har olika laddningsgrad etc. vilket gör det är svårt att bedöma konsekvenserna för olika scenarier. Därför behövs en vägledning som innehåller generella rekommendationer.
Explosion	Vilka risker innebär det om endast flammorna släcks samtidigt som batteriet fortsätter producera stora mängder gaser. Finns det risker för sekundära explosioner i fordonet eller i omgivningen av det brinnande fordonet.
Miljö-konsekvenser	Om vi sänker batteriet i en container, hur ska vi hantera spillvattnet?
Bedömning av risken för termisk rusning	Går det att använda IR-kamera för att bedöma risken för termisk rusning – och i så fall hur?

3.1.2 Sammanhang

För att veta vilka typer av försök som ska genomföras behöver kunskapsluckorna kopplas till ett sammanhang. Till exempel när, var och hur uppstår kunskapsluckan och behovet av metod- och teknikutveckling. Som **Figur 2** visar är det främst i parkeringsgarage som kunskapsluckorna och behovet av metod- och teknikutveckling är uppstår.

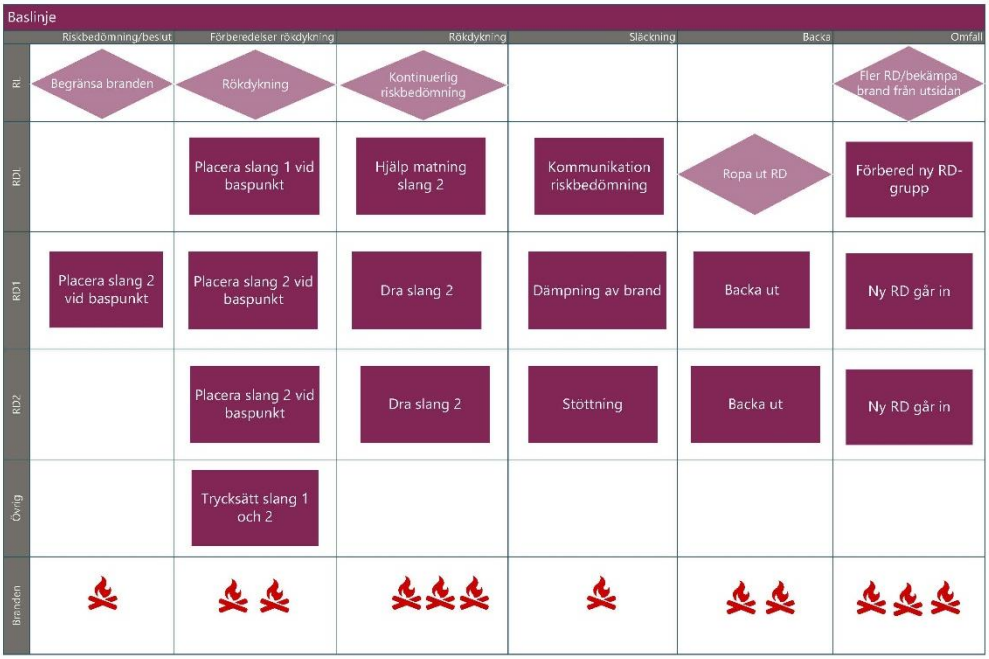
Figur 2 visar förutsättningarna vid släckinsats samt flera olika taktiska val och släckmetoder. Flera av dessa är relaterade till generella problem vid att hantera brand i fordon oberoende drivmedel. Temat med försöket är dock alternativa släckmetoder vid batteribränder och därför var en förutsättning att det var möjligt med invändig släckning. Om förutsättningen istället skulle vara att det inte går att

ta sig fram till bilen som brinner så går det inte att utreda metod- och teknikutveckling för batteribränder.



Figur 2 Visar scenariot brand i batterifordon i parkeringsgarage. Figuren visar också förutsättningar för scenariot, möjlig taktik och möjlig släckmetod.

För att illustrera inriktningen i fallet med invändig släckning i parkeringsgarage så ritades en baslinje, se **Figur 3**. Baslinjen beskrev olika roller och deras aktiviteter på en tidslinje. Baslinjen beskriver på ett mycket generellt sätt hur rökdykare går in i parkeringsgaraget och försöker släcka branden, men på grund av arbetsmiljön inte kan stanna tillräckligt länge för att få kontroll över branden. Denna baslinje användes sedan vid försöksplaneringen. Baslinjen illustrerar behovet av att hitta lösningar för att kunna hantera brand i batterifordon inomhus (parkeringsgarage t.ex.).



Figur 3 Baslinjen längst upp i figuren visar olika roller och deras aktiviteter vid invändig rökdykning. RL-Räddningsledare, RDL-rökdykarledare, RD – Rökdykare. Bilderna på branden visar att eftersom det är svårt att nå fram till batteriet med släckmedel kommer branden dämpas men batteriet fortsätter att brinna. På grund av den dåliga arbetsmiljön i garaget behöver rökdykarna bytas ut ofta och därmed riskeras att branden ökar i intensitet vid bytet.

3.2 Försöksplanering

Nedan beskrivs resultatet från planeringen av metodförsöket.

3.2.1 Försöksmål och forskningsfrågor

Vid formulering av försökmål och forskningsfrågor så används baslinje som hjälpmedel. Från baslinjen identifierades följande fyra taktiska inriktningar:

1. Hantering av toxiska gaser.
2. Släckning av batteribrand.
3. Hantering av fordon som inte går att släcka.
4. Bedömning av risken för termisk rusning efter brand.

Förutsättningarna för försöket medförde dock att enbart en inriktning kunde prioriteras. Prioritering genomfördes med hjälp av en workshop där en mindre grupp räddningstjänster fick till uppgift att diskutera kunskapsluckorna utifrån följande frågeställningar:

- Vad är det största problemet med de identifierade kunskapsluckorna?
- Vad behöver vi bli bättre på?

- Vad är möjligt att genomföra/testa?

De två inriktningarna som främst diskuterades under workshopen var:

1. Taktik för att släcka batteribranden.
2. Taktik för att låta batteriet brinna färdigt.

De andra inriktningarna valdes bort direkt på grund av att inriktningen hanterades i andra forskningsprojekt och att de krävde avancerad mätutrustning och tillgång till batterier.

Räddningstjänsterna i workshoppen ansåg att försöket ska ta hänsyn till att räddningstjänsten inte kan komma åt batterierna och släcka utan behöver begränsa konsekvenserna av en batteribrand. I dagsläget ansåg räddningstjänsterna att det finns för många osäkerheter kring riskbedömning för att de ska vilja arbeta under en längre tid nära batterifordonet (vilket krävs för släckning), särskilt i ett parkeringsgarage. Vidare är batteriet väl tillslutet och det är svårt för räddningstjänsterna att nå och kyla batteriet med släckmedel. Marknaden går också snabbt framåt varför praktiska försök på en bilmodell inte kanske är applicerbart på framtida bilmodeller.

På basis av dessa argument formulerades följande mål och forskningsfrågor:

Målet med försöket är att undersöka begränsningsmetoder i inomhusmiljö (parkeringsgarage) för att skydda omgivningen från brandspridning medan batteriet brinner klart.

För att uppnå målet sammanställdes följande **forskningsfrågor**:

1. Hur kan man begränsa branden till ett fordon och därmed minska risken för en okontrollerbar brand?
2. Hur kan riskerna minimeras vid begränsningen, d.v.s. hur kan arbetsmiljön förbättras?
3. Hur kan miljökonsekvenser minimeras?
4. Hur praktisk användbar är lösningen?

3.2.2 Bedömningskriterier och datainsamling

För att kunna veta vad som utgjorde en förändring delades bedömningskriterierna upp i de tre dimensionerna; forskningsdimensionen, försökdimensionen och lösningsdimensionen.

Forskningsdimensionens kriterier var kopplade till forskningsfrågorna, d.v.s. ”hur kan en begränsningslinje upprättas medan miljö- och arbetsmiljöriskerna minimeras”? T.ex. hur nära behöver rökdykarna vara fordonet som brinner, hur

länge behöver de vara nära fordonet och hur länge behöver de vara i garaget. Här ingick även kriterier kring utrustningens förmåga att dämpa branden samt vattenförbrukning.

Kriterier kopplade till försöksdimensionen handlade om möjligheten att kunna utvärdera lösningarna, utformningen av försöksscenariot, deltagarnas kompetens och försöksplatsen.

Lösningsdimensionen hade kriterier kopplade till hur praktisk användbar lösningen var, t.ex. effektivitet, tillfredställelse, förmåga och påverkan på befintliga rutiner. Det fanns även kriterier kopplat till ergonomi och ekonomi.

I **Bilaga 1** finns de enkäter och protokoll som användes för att samla in data kring de tre dimensionerna.

3.2.3 Scenario

För att hitta lösningar skickades följande scenario till räddningstjänster och andra innovatörer och behovsägare med uppmaning att inkomma med lösningsförslag:

”Räddningstjänsten har fått larm om att ett fordon brinner i ett underjordiskt parkeringsgarage på plan –1 med flerbostadshus ovanpå. De är snabba på plats och ser att garaget är rökfyllt. De skickar in rökdykare som ser att det brinner längst bort i garaget vid ladd stolpar vilket får dem att misstänkta en batterifordonsbrand. De hanterar brandgaser genom att ventilera och når det enstaka fordonet som brinner. Först släcker de ner branden, men märker snabbt att det fortsätter att brinna undertill. Restriktionerna är att rökdykarna max ska vara inne i 20 minuter och nu har de varit inne i 15 minuter.

Mål Med Insats: Begränsa branden till fordonet som brinner. Konsekvenserna från branden på egendom och miljö ska inte förvärras och säkerhet för personal ska säkerställas.

> "Vilka metoder och vilken teknik krävs för att nå målet? Begränsa er inte vid er existerande metodik."

3.2.4 Lösningsförslag

Lösningsförslagen samlades först in via Metod- och Teknikutskottet (M&T). De flesta förslagen från M&T handlade om en kombination av metoder som ledde till att branden kunde hanteras. T.ex. först slå ner lågorna, sedan ventilera ut brandgaser och sedan transportera ut fordonet medan man täcker den med en brandfilt. De inkomna förslagen kategoriserades och M&T fick prioritera vilken kategori av metoder som skulle testas. Kategorierna som prioriterades var ”portabla sprinkler” och ”transport med hjälp av fordon”. Exakt vilka lösningar som skulle testas fick sedan hittas med hjälp av andra nätverk och annonsering på hemsidor.

Fem olika portabla sprinklerlösningar testades, se **Figur 4** Sprinklerna kom från sjöfartsindustrin, personer verksamma inom räddningstjänsten samt industrin.

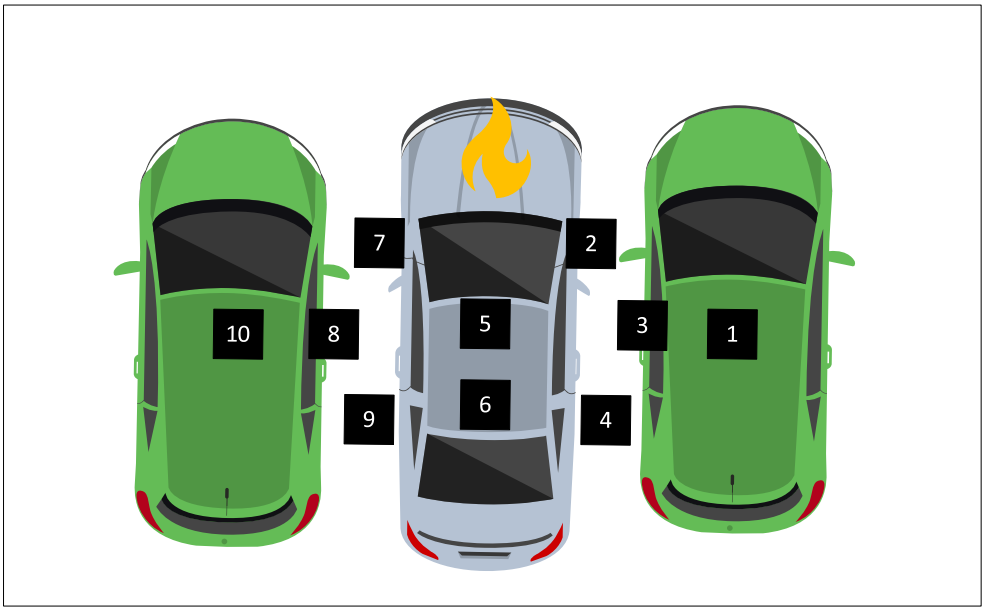
Inom kategorin ”transport” kunde inte tillräckligt många lösningar hittas och därför genomfördes enbart en demonstration av två lösningar.

3.2.5 Försöksuppställning förberedande försök

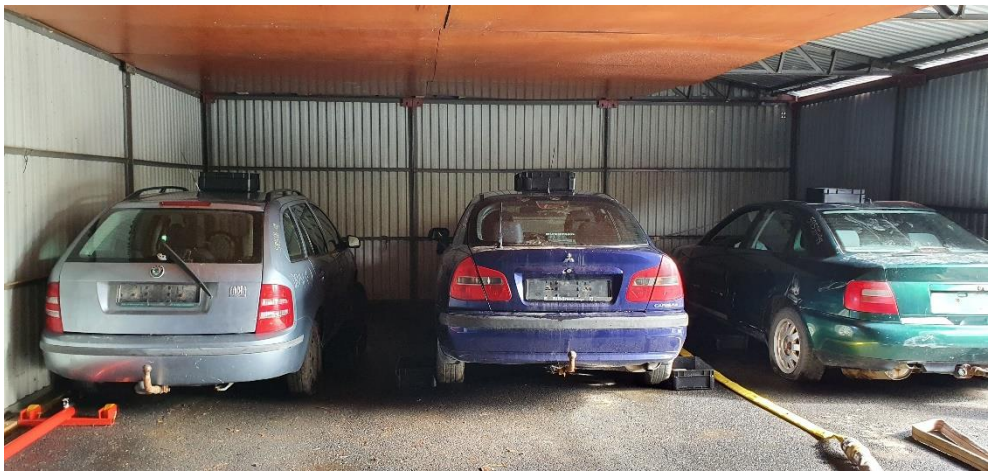
Syfte med det förberedande försöket var att testa den optimala placeringen av utrustningen för att uppnå maximal brandgaskylning genom vätning och kylning av yttemperaturer.

Figur 4 Visar de fem portabla sprinklersystemen. Från ovan vänster; Sjöfartsrör, Dolly, Treslang. Från undre vänster; Ridåmunstycke, Smarthose.

Försöksuppställningen bestod av tre fordon placerade bredvid varandra med ett avstånd på ca 40 cm mellan hjulen. Ovanför fordonen var ett tak placerat för att simulera takhöjden i ett parkeringsgarage. Distributionen bedömdes visuellt med hjälp av kamera samt att vattenmängden i 10 baljor utplacerade på strategiska platser uppmättes, se **Figur 5**. Ytan på baljorna var 32 cm × 47 cm. Baljorna fick var sitt nummer och baljorna 1, 5, 6 och 10 placerades på taket. De indikerade vattensprayens utbredning över takytorna på fordonen. Detta ger också en indikation på förmågan att kyla brandgaserna. Baljorna placerade på golvet indikerar hur mycket vatten som rinner ner längs fordonens sidor och där med väter och kyler bilarna. Golvbaljorna samlar även upp det vatten som träffar taket i rummet och faller rakt ner.



Figur 5 Illustration av försöksuppställningen och placering av baljorna 1 till 10.



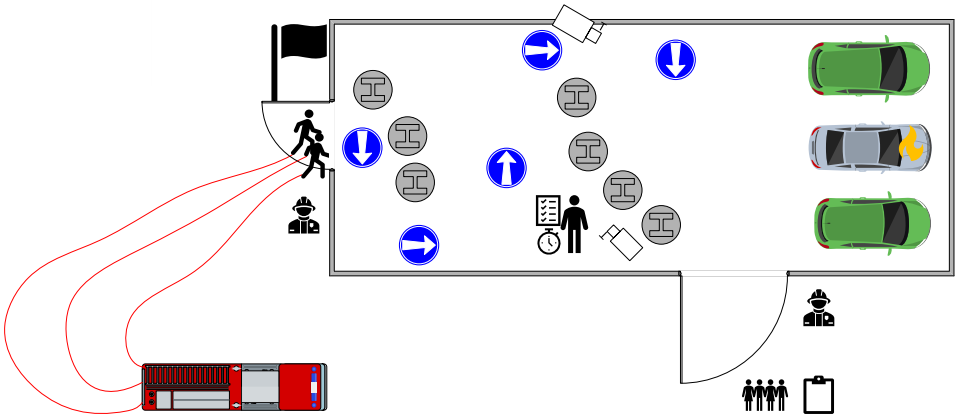
Figur 6 Placering av utrustningen

Försöket genomfördes genom att placera utrustningen mellan mittersta och högra fordonet, se **Figur 6**. Sedan trycksattes utrustning genom att öka trycket sakta under cirka 30 sekunder till dess att trycket vid pumpen var 8 bar. Denna procedur användes i samtliga fall förutom vid användning av Smarthose där pumptrycket var 5 bar. Grovslang (76 mm) användes i samtliga fall förutom för ridåmunstycket och Tre-slang där smalslang (42 mm) användes. På grund av tekniska problem kunde inte vattenflödet mätas i något fall, utan vattenflödet uppskattades uppgå till runt 200 l/min för samtliga system. Vattenflödet var igång under totalt 2,5 minut. Sedan mättes mängden vatten i varje balja genom att hälla över vattenmängden i mätglas.

3.2.6 Försöksuppställning metodförsök

Syftet med metodförsöket var att testa hur lätt eller svårt det är för rökdykarna att placera lösningen så optimalt som möjligt. Med optimal placering menas att vattnet har så stor täckningsgrad som möjligt så att risken för brandspridning minimeras.

Det krävdes därför att scenariot speglade hur fordon kan vara placerade i ett parkeringsgarage samt hur angreppsvägen kan se ut. Eftersom hantering av lösningarna främst berörde rökdykare så räckte det med två testpersoner per omgång (rökdykare 1 och 2). Resterande personer i scenariot är rollspel. **Figur 7** visar en översiktlig vy över scenariot med utvärderare, observatörer, rollspelare samt rökdykarna som testar utrustningen. **Figur 8** visar en bild över hur angreppsvägen såg ut.



Figur 7 Illustration över försöksuppställningen. Inne i byggnaden fanns utvärderaren. Observatörerna fick observera via den öppna porten. De gående figurerna symboliserar rökdykarparet och brandmännen symboliserar rollspel i form av rökdykarledare och pumpskötare.

Scenariot gick ut på att en första styrka hade anlänt och gått in för att dämpa branden. När den första styrkan upptäcker att bilen är svår att släcka (p.g.a. brand i batteri) kallar de in förstärkning i form av en utrustning som kan ställas upp inne i parkeringsgaraget och sköta sig själv. Utrustning ska förhindra brandspridning under tiden batteriet brinner klart.

För att försvåra för rökdykarna var glasen på skyddsutrustningen sotade. De nya lösningarna innebar en extra slang och utrustning som rökdykare 2 behövde hantera. Vid framkomst till fordonet placerade rökdykarparet ut utrustningen så att vattnet får så optimal täckningsgrad som möjligt. När den var placerad trycksatte pumpskötaren slangen. Rökdykarna behövde ibland justera lösningen efter att trycksättning genomfördes. De backade sedan ut ifrån parkeringsgaraget.

Figur 8 visar angreppsvägen för rökdykarparet.

4 Utvärdering av lösningar

Lösningarna har utvärderats utifrån de tre dimensionerna; försöksdimensionen, forskningsdimensionen och lösningsdimensionen. Försöksdimensionen kan påverka resultatet av utvärderingen och därför inleds med en sammanställning av resultatet från bedömningskriterierna för respektive dimension. Sedan följer utvärdering av de olika lösningarna för både forsknings- och lösningsdimensionen.

4.1 Utvärdering försöksdimensionen

En brand i ett parkeringsgarage innebär stora risker för rökdykarna och i många fall skulle inte riskbedömningen tillåta att rökdykare gick in i garaget. Det finns ett stort behov av att undersöka om det byggnadstekniska brandskyddet är tillräckligt eller om det bör ställas högre krav på brandskyddet. Brandskyddet i parkeringsgarage kommer dock att se ut som den gör idag lång tid framöver och räddningstjänsten behöver metoder som kan hantera dagens läge.

Scenariot gick ut på att en första räddningsstyrka har anlänt och gått in och dämpat branden. När den första styrkan upptäcker att fordonet är svårt att släcka (p.g.a. brand i batteri) kallar de in förstärkning i form av en utrustning som kan monteras inne i parkeringsgaraget och sköta sig själv. Av miljö- och hälsoskäl genomfördes metodförsöket utan varm rök eller brand, istället var visibiliteten i rökdykarmasken nästan obefintlig – simulerar motsvarande förhållanden som vid en verklig garagebrand. Deltagarna hade gärna sett att försöket hade genomförts med värme eftersom de kunde gå orealistiskt nära den ”brinnande” bilen. Scenariots enkelhet kan ha påverkat utvärderingen av lösningarna på så sätt att deltagarna var extra skeptiska till om lösningen hade fungerat i verkligheten. Utvärderaren inne i garaget kunde dock bedöma när rökdykarna var tvungna att gå nära fordonet och när det inte hade behövts.

Observatörerna hade önskat att de var mer insatta i de olika lösningarna samt hur utvärderingen skulle ske. T.ex. att man hade demonstrerat för dem innan försöket eller att tillverkarna varit på plats och visat hur de tänker sig att lösningen skulle hanteras på bästa sätt. Detta medförde att de var svårare för observatörerna att bedöma nyttan med lösningarna och besvara enkäten.

Deltagarna som genomförde rökdykning ansågs ha lämplig bakgrund och erfarenhet, men det fanns en av rökdykare som också varit med och tillverkat en av lösningarna vilket kan ha påverkat resultatet. Försöksledningen har hanterat detta genom att dela upp åsikterna mellan observatörerna och deltagarna. Vidare redovisas varje rökdykargrupp för sig så att eventuell inverkan på resultaten kan bedömas.

Försökets enkla utformning medförde möjlighet att få en bredare bild av hur praktiskt användbara lösningarna var (det gick att genomföra många försök eftersom scenariot är repeterbart). Det visade sig vara viktigt med flera försök per lösning eftersom olika rökdykarpar hanterade lösningarna på olika sätt. Scenariot

hade dock förstärkts av en längre angreppsväg, gärna i trappor för att ytterligare kunde skilja på de olika lösningarna. Ett mer realistiskt scenario med verklig brand och rök hade kunnat ge rökdykarna ett mer verklighetstroget scenario. Detta hade möjligtvis förstärkt deltagarnas upplevelse och kunnat bidra till annorlunda bedömning. Samtidigt var det grundläggande för utvärderingen att kunna ha en oberoende utvärderare med bra överblick inne i försökutrymmet, vilket inte hade varit möjligt om brand och rök funnits med i scenariot. En bra överblick över försöket var också viktigt eftersom det övergripande syftet med försöket var att utforma underlag för ett metodstöd.

4.2 Hur kan en begränsningslinje upprättas?

Nedan redovisas fördelar och begränsningar med varje lösning som är relaterade till forskningsfrågorna, det vill säga. ”hur kan begränsningslinje upprättas medan miljö- och arbetsmiljöriskerna minimeras”, och hanterbarheten.

Data kring forskningsfrågorna samlades främst in genom observation av utvärderare och information om hanterbarheten samlades in främst genom hjälp av enkäter till observatörer och intervjuer till deltagarna (rökdykarparen) i försöket. För varje lösning redovisas diagram för vad observatörerna och deltagarna ansåg om följande påstående:

1. **Snabbhet:** Med hjälp av utrustning kan jag snabbare begränsa branden till ett fordon än om jag hade använt konventionellt slangsystem.
2. **Använda ofta:** Jag skulle vilja använda denna utrustning ofta.
3. **Mångsidig:** Jag tror jag kan använda denna utrustning vid många olika typer av insatser.
4. **Enkel:** Jag tyckte utrustningen var enkel att använda.
5. **Placering:** Det var möjligt att placera utrustningen så att branden begränsas till fordonet som brinner.
6. **Ökad förmåga:** Den här utrustningen kommer att öka vår förmåga att hantera batterifordonsbränder.
7. **Kompatibel:** Den här utrustningen är kompatibel med våra nuvarande rutiner.
8. **Förbättrad arbetsmiljö:** Den här utrustningen kommer göra vår arbetsmiljö bättre vid hantering av batterifordonsbrand i garage.

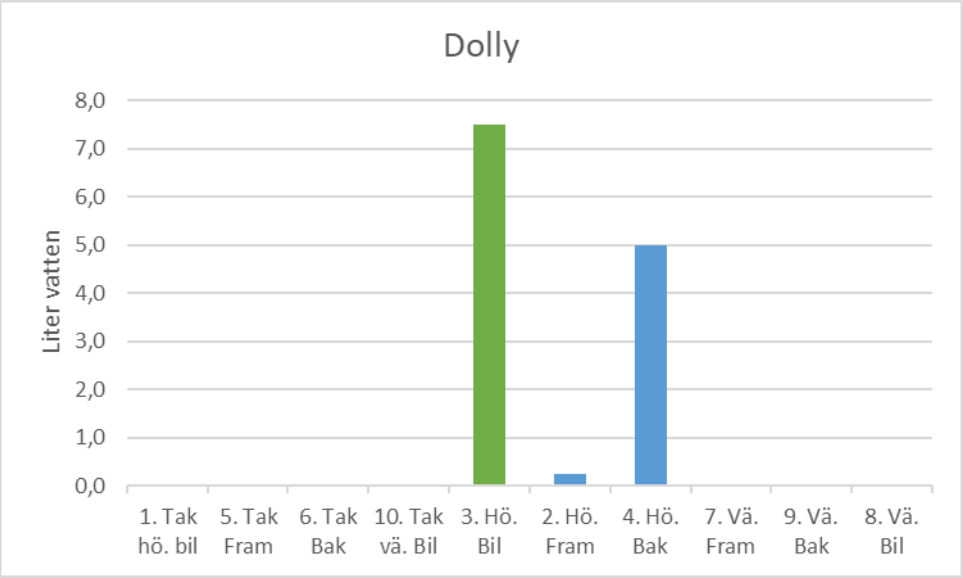
För lättare översikt syns bara siffrorna och förkortningen i diagrammen nedan. Data insamlad kring forskningsfrågorna redovisas som text nedan, samt diagram i **Bilaga 3**.

4.2.1 Dolly

Dollyn (se **Figur 9**) har utvecklats av personal från fartygsindustrin med syfte att kyla brandgaser under fordonet. Det behöver dock undersökas om den får plats under alla typer av fordon. Den består av ett rör med tre konventionella sprinklerhuvuden monterade på röret. Röret har hjul för att det lättare ska gå att dra utrustningen mellan fordonen på ett fartygsdäck. Dollyn är en första prototyp och finns inte att köpa på marknaden och är ännu inte optimerad för ett specifikt tryck och flöde.

Figur 9 Dolly

Dollyn är inte till för att kyla brandgaser och därför kan inte en begränsningslinje upprättas. **Figur 10** visar att den enbart kyler mittpartiet på den högra gröna bilen samt runt hjulhuset på högra sidan av batterifordonet.



Figur 10 Antal liter vatten uppsamlad per balja. Vattnets täckningsgrad för Dollyn visar att den enbart kyler det högra gröna fordonet samt hjulhuset (höger bak) på mittenfordonet.

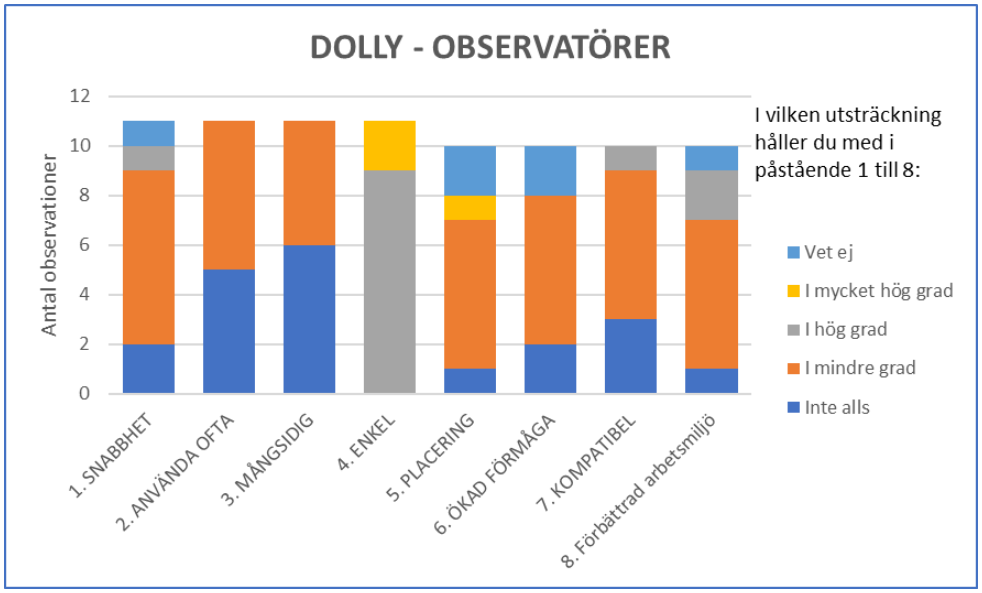
Dollyn var enkel att placera under fordonet, men rökdykarna behövde vara precis bredvid fordonet som brinner. Samtidigt krävde Dollyn i genomsnitt kortast tid i garaget samt kortast tid närmare än 5 m från fordonet. Hjulen monterade på Dollyn medförde att den var lätt att transportera och den krävde bara en extra slang. Det uppstod dock problem när det var mycket slang utlagd eftersom dessa förhindrade att det gick att dra med sig Dollyn. Istället fick rökdykarna lyfta den. Vid trycksättning rörde sig Dollyn lite grann på grund av hjulen.

Begränsat antal deltagare såg några andra möjliga användningsområden för Dollyn, utan det är främst fordon placerade på ro-ro fartyg som den går att använda till. Att transportera den i trapphus eller i skarpa svängar ansågs svårt. Många tyckte även att den var lite för stor och otympligt och då främst kopplat till att det inte finns möjligt att transportera den i brandbilen.

Förbättringsförslag är att göra den mindre och lättare och montera extra bärhandtag. Vidare kan raka rör eller mindre lutning på röret förbättra möjligheten att få in den under fordonet, hjul med låsfunktion kan placeras på bägge sidor.

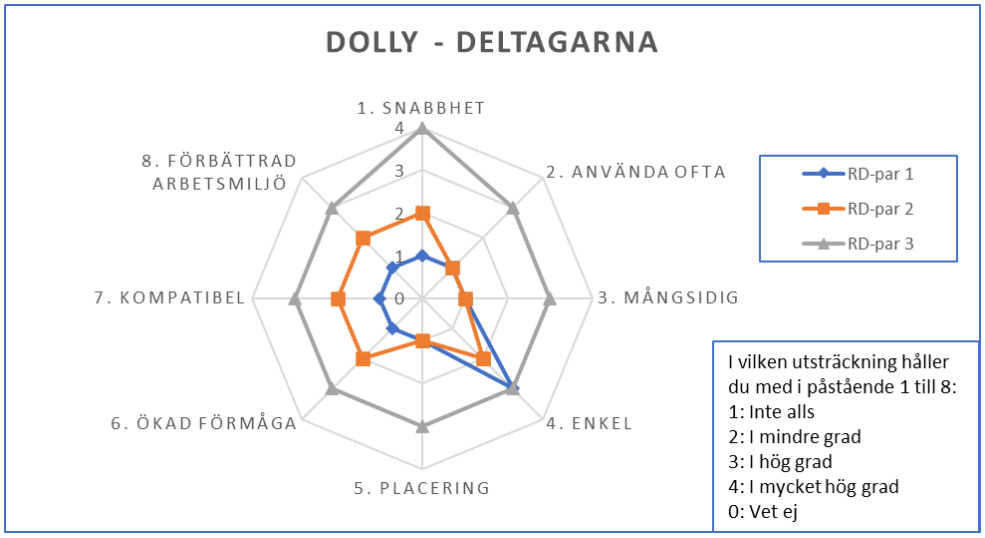
Samtliga rökdykare upplevde att verktyget krävde lite eller mycket lite styrka samt enbart något ansträngande.

Figur 11 visar resultatet från intervjuerna med deltagarna (rökdykarparen). En av personerna i rökdykarpar 3 hade varit med och tagit fram lösningen vilket vara en förklaring till att rökdykarpar 3 sticker ut i diagrammet. Övriga rökdykarpars kritik handlade mycket om bristen av förmågan att begränsa branden till ett fordon.



Figur 11 Utvärdering av Dollyn från de som deltog som observatörer.

Figur 11 visar åsikterna från observatörerna där enkelheten med röret är det mest positiva med Dollyn. Det går att se i observationerna att den inte är speciellt mångsidig och att bland landbaserade räddningstjänster kommer den inte att användas ofta. Övriga åsikter visar att den ansågs för stor och att möjligheten till att begränsa branden ansågs vara liten.



Figur 12 Utvärdering av Dollyn från de som deltog som rökdykare.

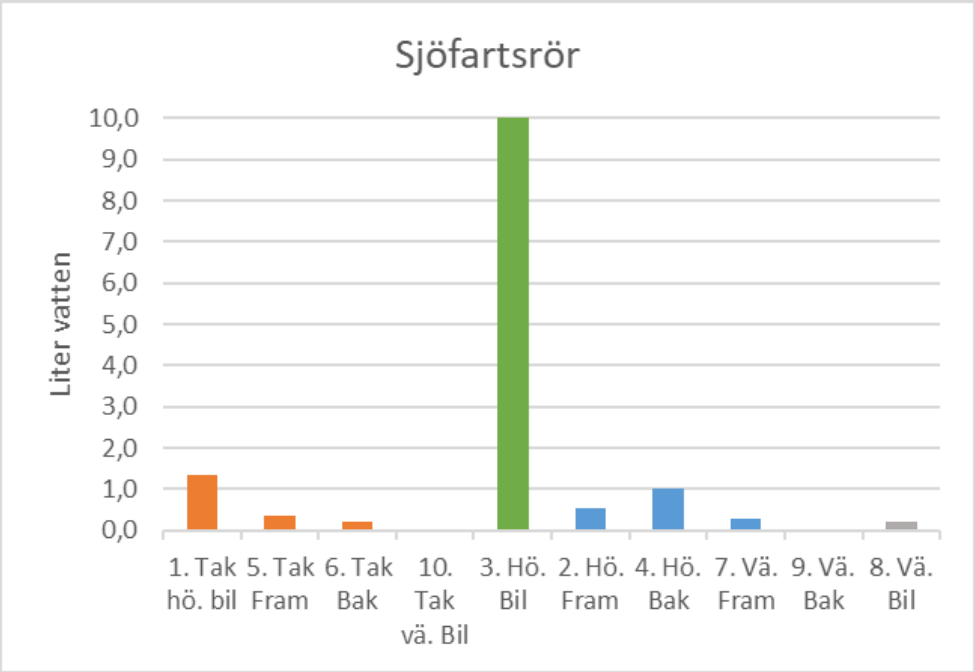
4.2.2 Sjöfartsrör

Sjöfartsrören är en prototyp framtagna i ett forskningsprojekt[4] som syftar till att ta fram säkra metoder för att transportera batteridrivna fordon till sjöss. De finns inte att köpa på marknaden. Rören ska placeras på var sin sida om fordonet som brinner. Varje rör är försedda med åtta dysor, två som pekar uppåt, tre som pekar snett nedåt och tre snett uppåt. Syftet är att kyla brandgaser med dem som pekar uppåt, kyla undertill på fordonet som brinner med dem som pekar snett nedåt samt väta och kyla fordonen bredvid med dem som pekar snett uppåt. Detta innebär att det finns ett vänster- respektive högerrör. Rören är designade för ett vattenflöde på 180 l/min/rör (totalt 360 l/min) vid 4,5 bar.

Figur 13 Sjöfartsrör

Sjöfartrören gav en fin spridningsbild med vattendimma mellan fordonen, se **Figur 13**. Vattensprayen som var riktad uppåt var inte tillräckligt hög för att nå garagetaket vilket även går att se i **Figur 14** där mycket lite vatten hamnade i baljorna placerade på biltaken. Det gick också att se i **Figur 14** hur de snett uppåtriktade dysorna träffar och kyler det högra fordonet. De snett nedåtriktade dysorna är främst till för att kyla golvet under mittenbilen och enbart lite mängd vatten träffar höger sida på mittenfordonet. Sjöfartrören kyler därmed fordonet undertill och bredvid fordonet. Den kan även kyla brandgaserna, men inte lika effektivt.

[4] http://www.alberoprojekt.de

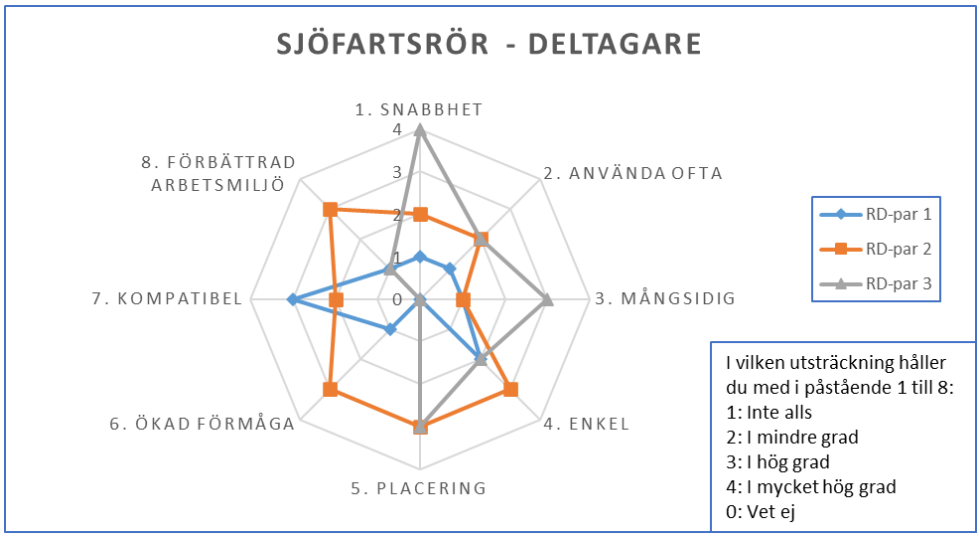


Figur 14 Vattendistributionen för sjöfartsrör. Antal liter vatten uppsamlad per balja när röret är placerat på enbart höger sida om mittenbilen.

Rören var stabila och lätta att placera, men det fanns risk att utrustningen blev placerad för nära ena fordonet och då kunde spridning av vattendimma försämras. Det gick snabbt att placera rören framme vid fordonet. Rökdykarna behövde dock gå nära fordonet som brinner vilket kräver att branden i fordonet är under kontroll. Utan att få branden under kontroll blir det svårt att kunna placera utrustningen. Rökdykarparen använde två olika metoder för att få rören på plats. Antingen bar ena rökdykaren rören, vilket medförde att den personen inte kunde hålla i matarslangen, eller så valde man att bära ett rör i taget in vilket kräver kort angreppsväg.

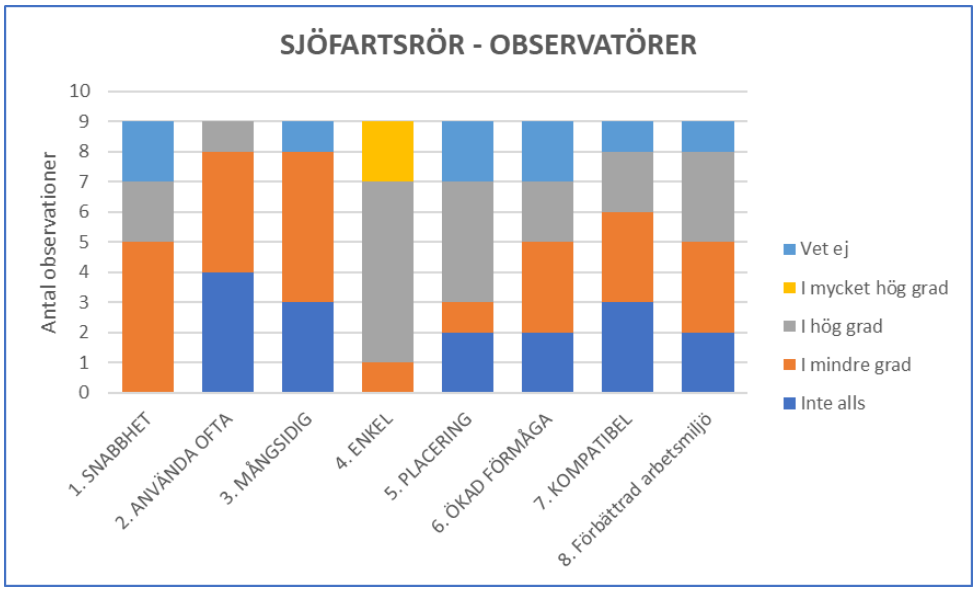
Utrustningen ansågs av de flesta att enbart kunna användas vid bilbränder. Eventuellt skulle dessa kunna användas för begränsning av andra objekt vid en insats. Dock upplevdes de som stora och skrymmande och otympliga att bära. För att förbättra utrustningen föreslogs att det skulle vara tydligare märkt vilket som var höger och vänster, eller om det går att göra dem identiska. Andra förslag för att göra rören smidigare är att använda lättviktsmaterial eller att de är delbara. För att underlätta transporten kan ett snabbfäste hålla ihop rören samt att använda axelrem som kunde frigöra extra händer.

Figur 15 visar resultatet från intervjuerna med deltagarna (rökdykarparen), där åsikterna varierade rejält mellan de olika rökdykarparen.



Figur 15 Deltagarnas utvärdering av sjöfartsrören.

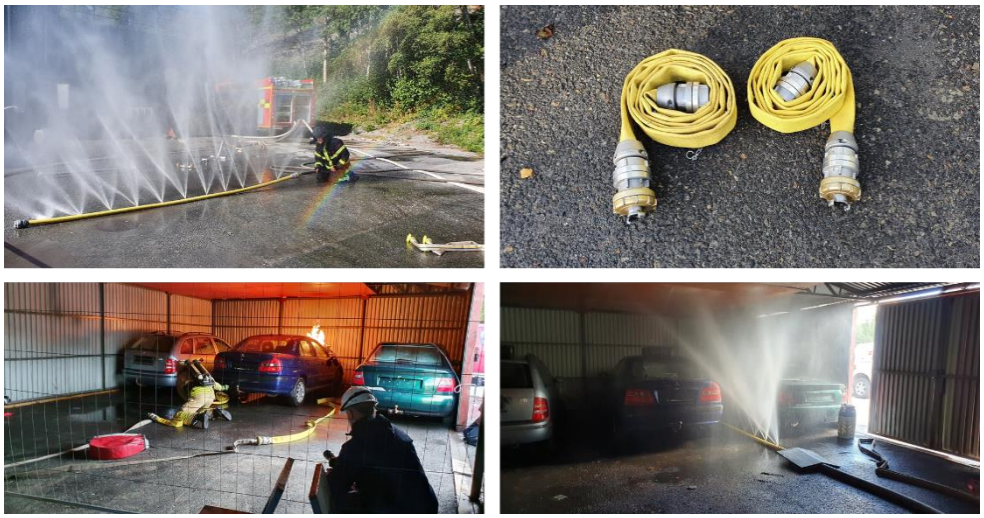
Figur 16 visar en översikt hur åsikterna från observatörerna varierade. De flesta ansåg att utrustningen var enkel att hantera och placera. Den var i mindre grad mångsidig och kompatibla med befintlig utrustning. Det rådde en viss tveksamhet om de kommer att öka förmågan att hantera en batteribrand samt förbättra arbetsmiljön.



Figur 16 Observatörernas utvärdering av sjöfartsrören.

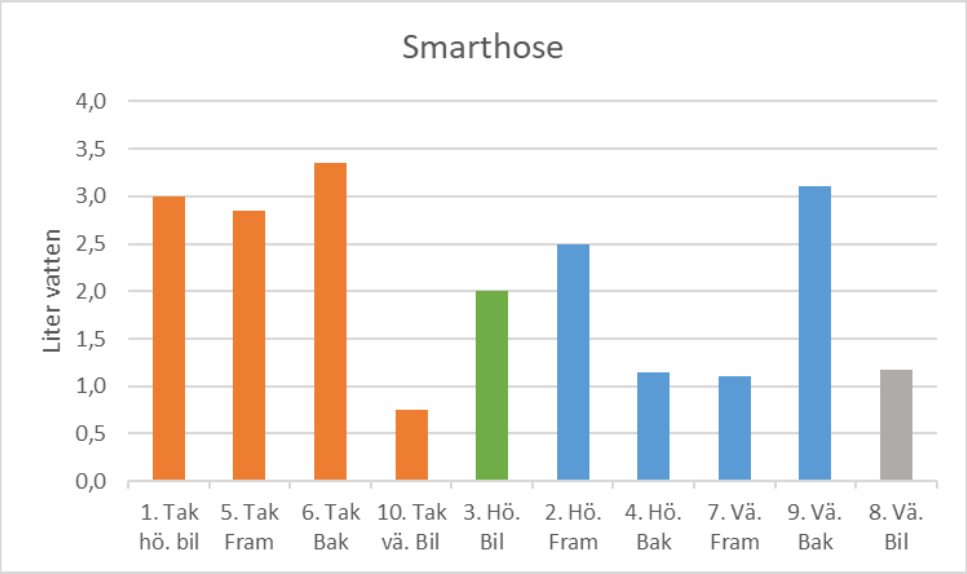
4.2.3 Smarthose

Smarthosen används redan idag främst vid skogsbränder och vid begränsning av brandspridning mellan fastigheter. Det är en slang utrustade med utbytbara munstycken, se Fel! Hittar inte referenskälla. **17**. Slangen stabiliseras automatiskt n är den trycksättes med vatten och skapar en vägg med vattenstrålar som kan nå upp till 15 m höjd. I slutet av slangen måste det finnas en mottryckspunkt som förhindrar att slangen roterar. Vattenförbrukningen på Smarthosen varierar beroende på typ av munstycke och tryck. En slang med diameter på 75 mm, 3-håls munstycke och tryck på 6 bar har ett vattenflöde på ca 250 l/min. I försöket användes en slang med en diameter på 52 mm och 3-hål i varje munstycke.



Figur 17 Smarthose

Smarthosen ger en fin spridningsbild på stor yta, se **Figur 18**. Den visar hur vattensprayen sprids till alla fordon även om den finns placerad endast på höger sida av fordonet. Vid optimal placering av slangen, som är mellan fordonen, är det troligt att den både kommer att kyla brandgaserna och ytan på fordonen som är placerade bredvid.



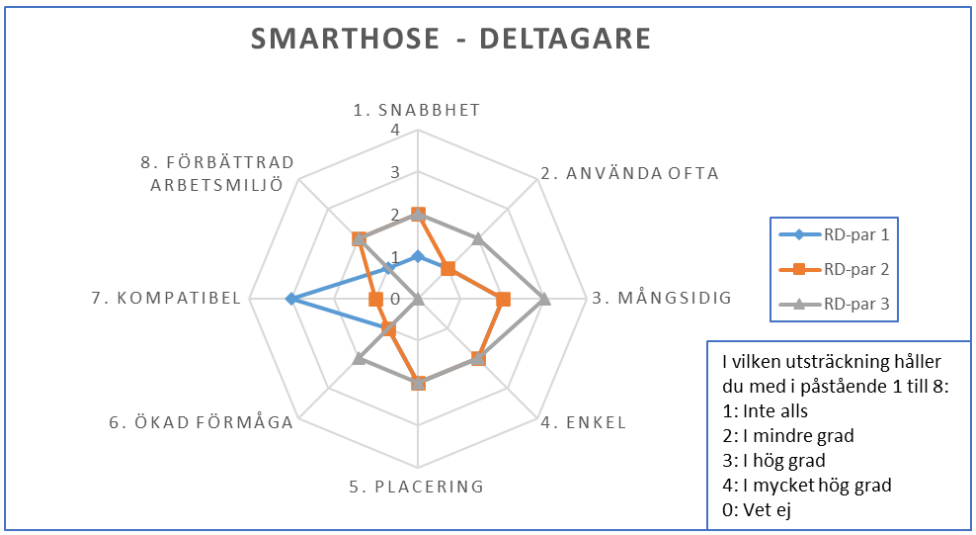
Figur 18 Vattendistributionen för Smarthose. Antal liter vatten uppsamlad per balja när slangen är placerat på enbart höger sida om mittenbilen.

Alla rökdykarpar använde slangväska när de bar in smarthosen. De tog även med sig ett grenrör in för att enbart kunna ha med en extra slang. Detta innebar dock hantering av väldigt mycket slang i närheten av bilarna och risk för att slagen trasslade in sig i varandra.

Vid placering av Smarthosen användes längst tid att inne i garaget samt längst tid framme vid fordonet. Främst berodde detta på att rökdykarna försökte rätta till slangarna som hamnade lite hur som helst. Det var svårt att hitta rätt vinkel och svårt att säkerställa att den låg rätt. Smarthosen var också den som upplevdes mest ansträngande att använda, mycket på grund av att de var tvungna att försöka rätta till dem när de var vattenfyllda. Rökdykarparen använde tre olika metoder för att placera slangarna. Det första rökdykarparet rullade ut slangarna från ca 2 m avstånd, det andra paret rullade ut slangarna från 0 m avstånd och det tredje paret sprang in mellan bilarna för att placera slangen. Även om möjligheten fanns för rökdykarna att placera utrustningen på 2-5 m avstånd genom att rulla ut slangarna mellan bilarna så var detta svårt och närhet till bilarna krävs för optimal placering.

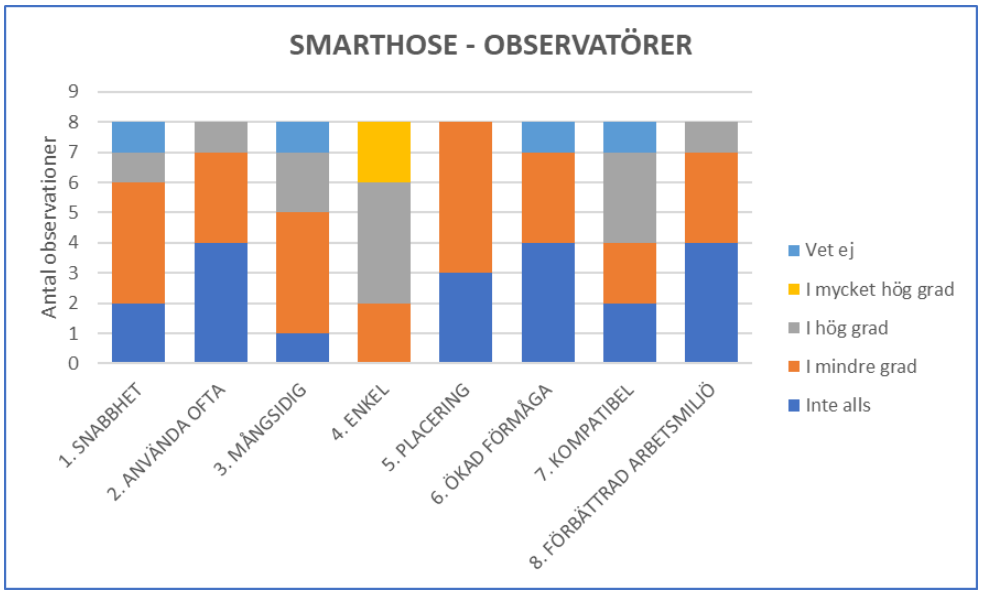
Positivt är att Smarthosen tar mindre plats i brandbilen och slangväskor kan underlätta när slangarna ska bäras. För att kunna lägga ut slangen utan att de vrider sig behövs klossar som håller still slangen placeras i båda ändarna. Problemet med garagebränder är att det inte alltid går att komma runt fordonet och placera ut klossar som håller still slangen.

Figur 19 nedan visar resultatet från intervjuerna med deltagarna (rökdykarparen).



Figur 19 Utvärdering av Smarthose av de som deltog som rökdykare i försöket.

Figur 20 visar enkätsvaren från observatörerna. Även om de flesta anser att den är enkel att hantera så ger svårigheten med att placera slangarna utslag i deltagarnas bedömning. De flesta bedömer att slangarna är mindre praktiska att hantera i ett parkeringsgarage. Det är dock flera som anser att den är mångsidig och kompatibel med nuvarande utrustning.



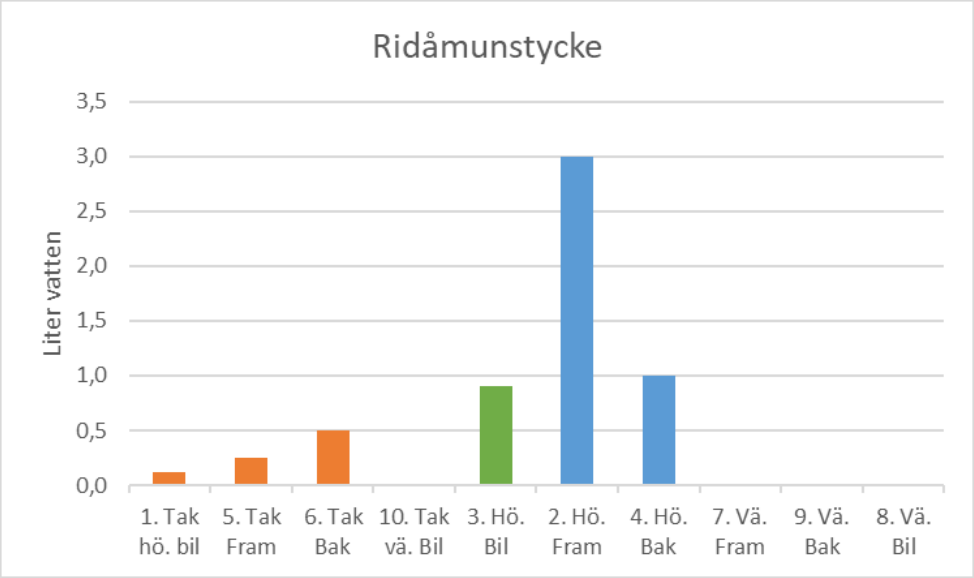
Figur 20 Observatörernas utvärdering av Smarthose.

4.2.4 Ridåmunstycke

Ridåmunstycke används idag för kylning av objekt och avgränsning av bränder. Munstycket pressas mot marken från slangen. Den som användes i försöket ger ungefär 190 l/min vid 6-7 bar. Plymen som bildas har en kastlängd på ca 12 x 6 m.

Figur 21 Ridåmunstycke

Ridåmunstycket ger en fin vattendimma som täcker minst två bilar på längden, se **Figur 21** Spridning sker främst längst vid den lodräta linjen och som **Figur 22** visar är vattnets spridning över takytorna på bilarna begränsad och enbart en lokal påverkan på brandgaserna är att vänta. Samtliga golvbaljor på höger sida har fyllts med vatten vilket indikerar att yt-kylning sker på den sida som munstycket är placerat.



Figur 22 Vattendistributionen för Ridåmunstycke. Antal liter vatten uppsamlad per balja när munstycket är placerat på enbart höger sida om mittenbilen.

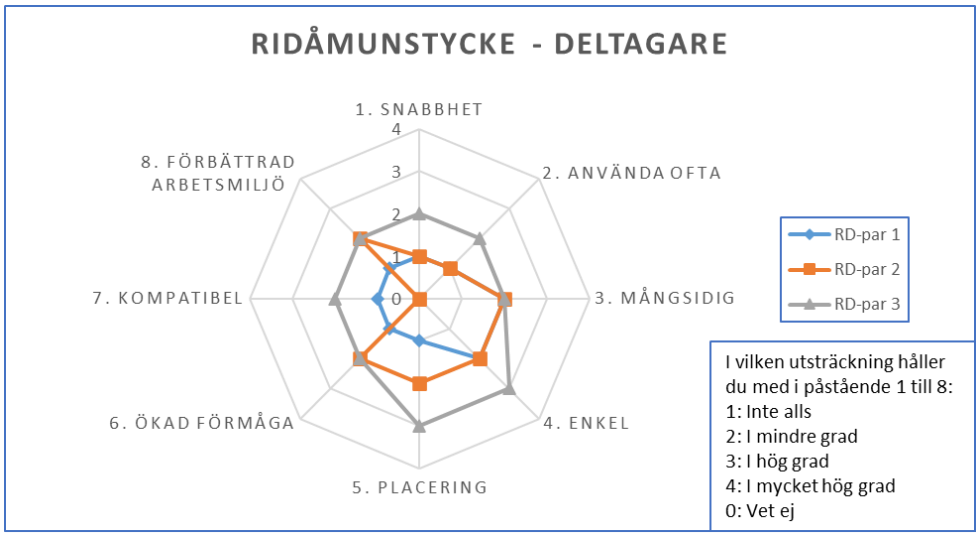
Ridåmunstycket är mångsidig, litet och smidigt att bära. Den var dock inte helt enkel att placera vilket också syns på tiden inne i garaget och tiden närmare än 5 m från fordonet (se Bilaga 3). Bästa sättet att placera den var att komma in från sidan och skjuta in den med skydd bakom bilen bredvid, se nedre vänstra fotot i **Figur 21**. Denna position medförde dels att rökdykaren kan ta skydd bakom bilen bredvid och dels att rökdykaren inte behöver vara så nära fordonet som brinner vid placering. Övning krävs dock för att placera den optimalt då vissa lyckades placera den optimalt direkt och andra fick stora problem vid placering. Några av gångerna så stabiliserades den inte vid trycksättning utan flög runt i utrymmet. Trots att Ridåmunstycket var litet och lätt upplevdes den vara ansträngande och lite otymplig på grund av att det krävdes mycket slang. Rökdykarparen provade att antingen dra in flera tomma slangar eller att ta med en kyrka in för att koppla på två slangar som kunde dras till var sin sida av fordonet. Båda metoderna genererade mycket slang som behövde hanteras av rökdykarna.

Förbättringsförslag bestod av att kunna ha en ledad del så att man kan skjuta in den mellan fordonen bakifrån. Det hade också varit bra om den gick att serie- eller parallellkoppla, i dagsläget kräver det mycket slang som kan vara krångligt att hantera. Som en observatör föreslog;

> "Tänk ha med två korta slangar in och en grenfördelare som snabbt kan sättas på matarslangen vid behov".

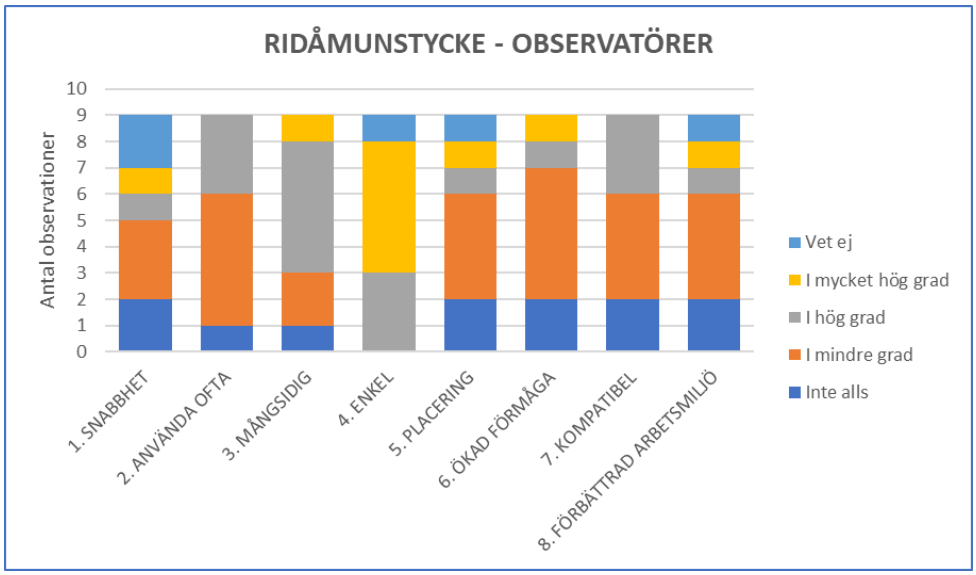
Vidare hade det varit bra med en kran/ventil som går att öppna och stänga för att kontrollera vattenflödet, samt eventuellt en större plattform eller stödben för att göra själva munstycket stabilare.

Figur 23 visar resultatet från intervjuerna med deltagarna (rökdykarparen).



Figur 23 Utvärdering av Ridåmunstycket av de som deltog som rökdykare i försöket.

RD-par 1 hade stora problem med att ridåmunstycket inte stabiliserades vid trycksättning och RD-par 2 hade problem med hantering av mycket slang.



Figur 24 Observatörernas utvärdering av Smarthose.

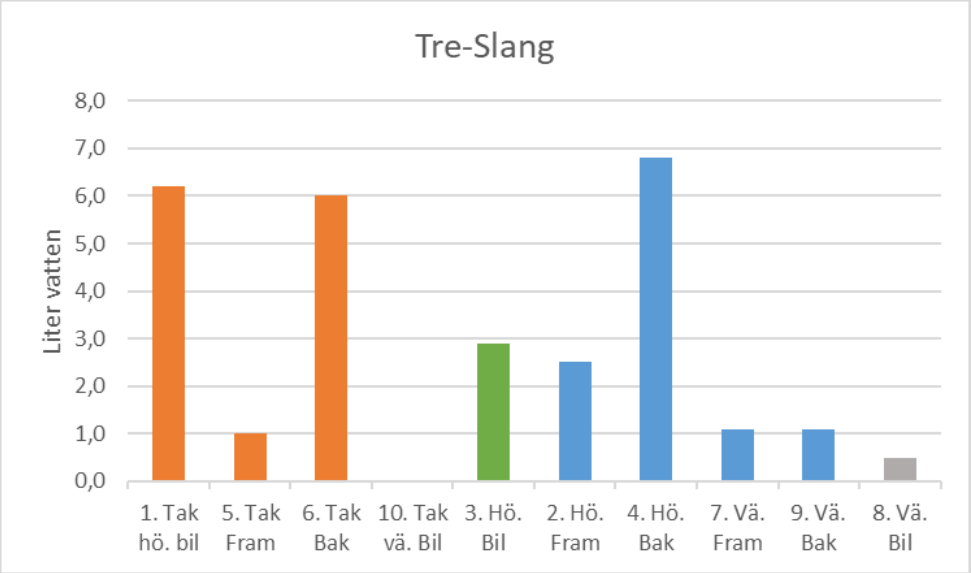
Figur 24 visar åsikterna från observatörerna. Det var många som höll med i att den var enkel att använda och att den var mångsidig. För resterande påstående dominerade att de i mindre grad höll med.

4.2.5 Tre-slang

Tre-slangen har precis tagits fram av Dafo i samarbete med räddningstjänst och kallas vattenridåsats. Den består av tre rördelar försedda med snabbkopplingar så att det går att ta isär och koppla ihop rördelarna. Det går att förlänga rördelarna vid behov. Varje munstycke kan riktas individuellt och det går att ställa in strålbilden från sluten stråle till dimstråle. Lösningen är tänkt att placeras bakom fordonet för att sedan kunna rikta in strålbilden. Vid tre dysor och tryck på 6-7 bar är vattenflödet ca 220 l/min.

Figur 25 Tre-slang

Spridningen av vattendimman var starkt beroende på hur man ställde in dysorna. I det förberedande försöket placerades Tre-slangen mellan fordonen för att bättre kunna jämföra med de andra lösningarna. Det går att se i **Figur 25** att det bildas en tät och bred vattendimma. **Figur 26** visar dock att den inte sprider sig bort till vänstra bilen. Vid placering bakom fordonet ger en bred strålbild bättre täckning över samtliga fordon.



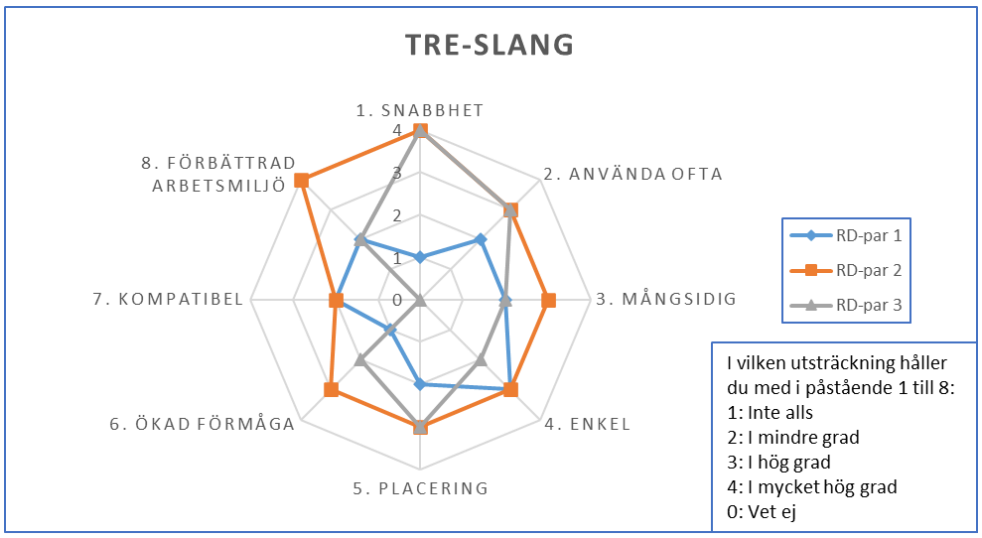
Figur 26 Vattendistributionen för Tre-slang. Antal liter vatten uppsamlad per balja när röret är placerat på enbart höger sida om mittenbilen.

Tre-slang är främst till för begränsning till ett fordon, men den skulle även kunna användas vid begränsning utomhus, t.ex. mellan två fastigheter. Tre-slang används med fördel bakom fordonen och inte mellan fordonen. Detta resulterar i att rökdykarna inte behöver befinna sig för nära fordonet som brinner och att de inte behöver placera en på varje sida. Vidare gör detta att den även fungerar om bilen är inlåst i gallerburar.

Att Tre-slang har många justeringsmöjligheter är både positivt och negativt. Positivt för att den går att anpassa strålbilden efter scenariot Det är dock krångligt att ställa in vid dålig sikt och det är ganska mycket som kan gå fel. Samtliga rökdykarpar bar med sig röret i sin helhet in vilket innebar att de höll röret i var sin ände. Detta sätt att transportera röret kräver ganska gott om plats och inga skarpa svängar. Röret gick att ta isär och snabbkoppla, men eftersom sikten var dålig antogs detta inte vara ett alternativ.

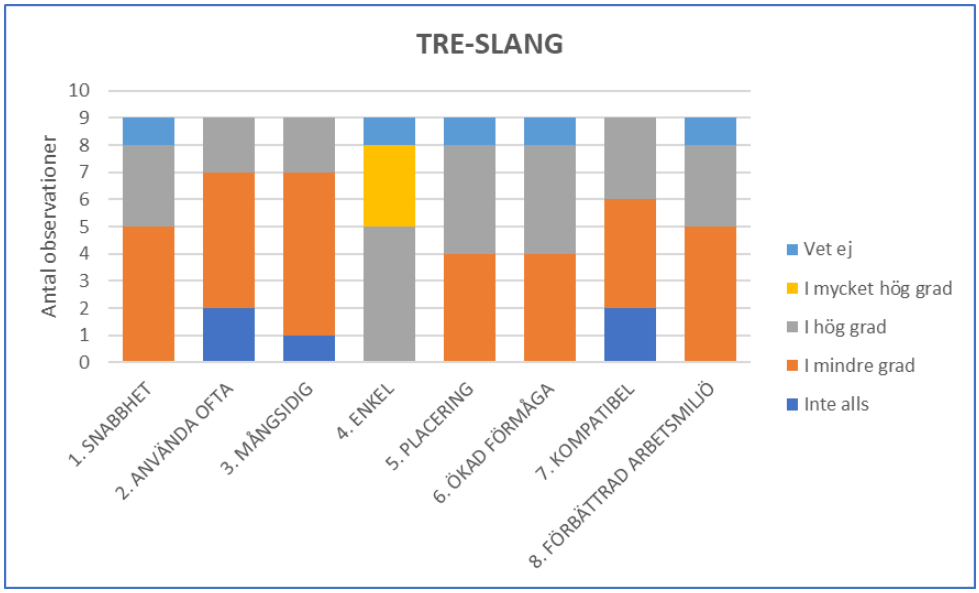
Den upplevdes lite tung och otymplig, men hur upplevelsen hade påverkats om den hade kopplats isär i tre delar är oklart. Förbättringsförslag är att det är viktigt att det går att bära och koppla ihop även vid dålig sikt. Möjligtvis hade det varit positivt att minska justeringsmöjligheterna så att mindre kan gå fel. En bäranordning som möjliggör extra fria händer hade varit positivt.

Figur 27 visar resultatet från intervjuerna med deltagarna (rökdykarparen) som visar att de mestadels är positiva till lösningen.



Figur 27 Utvärdering av Tre-slang av de som deltog som rökdykare i försöket.

Figur 28 visar åsikterna från observatörerna. Samtliga tyckte den såg enkel ut att använda och att den gick att placera så att brandspridning förhindras. Ökad förmåga och förbättrad arbetsmiljö var också flera som i hög grad höll med om. Lite mer tveksam var observatörerna kring mångsidigheten och hur ofta den kan användas. Tveksamhet fanns också kring hur pass kompatibel den är med existerande utrustning.



Figur 28 Observatörernas utvärdering av Tre-slang.

4.3 Slutsats utvärdering av metodförsöket

Målet med försöket var att undersöka begränsningsmetoder i inomhusmiljö för att skydda omgivningen från brandspridning medan batteriet brinner klart. Forskningsfrågor som skulle besvaras kan sammanfattas på följande sätt:

> "Hur kan en begränsningslinje upprättas medan miljö- och arbetsmiljöriskerna minimeras och hur praktisk användbar är lösningen?"

Försöket utformades så att det främst var hanterbarheten som kunde bedömas, men försöksuppställningen gav även indikation på lösningarnas förmåga att begränsa branden. Miljökonsekvenserna har enbart kunnat bedömas i form av vattenförbrukning.

Rökdykare bör arbeta i parkeringsgaraget så kort tid som möjligt och därför kan portabla sprinklersystem vara en lösning eftersom dessa kan ställas upp inne i parkeringsgaraget och sedan sköta sig mer eller mindre av sig själv. Syftet med lösningarna var ett att ge ett förstärkt skydd och att kunna frigöra personal till andra uppgifter. Den frigjorda personalen kan sedan arbeta med ventilering och att skydda byggnaden mot vattenskador. Det finns olika arbetsmiljörisker och förbättring av en kan leda till försämring av en annan, det är viktigt att väga ihop den sammanlagda arbetsmiljörisken. Arbetsmiljön förbättrades genom att minska tiden som personal behöver vara inne i parkeringsgaraget, men försämrades på grund av det nya momentet med att behöva bära in ytterligare utrustning. I dagsläget tyder forskning på att rökdykare inte bör utsättas för giftiga gaser som kan finnas ett parkeringsgarage när ett batterifordon brinner vilket medför att behovet att få in utrustning som kan sköta sig själv väger tungt. Samtidigt behöver de som utvecklar utrustning tänka på hur utrustningen ska transporteras.

Vidare är det viktigt att förstå att lösningarna ska ses som ett verktyg i verktygslådan, men löser inte en hel insats. Snarare är dessa lösningar något som kommer användas efter att branden kommit under kontroll, men inte går att släcka. Att lösningarna inte kommer lösa en hel insats återspeglas i enkäten där många svarade "i mindre grad".

Samtliga lösningar hade mer eller mindre potential, men alla lösningar kan utvecklas ytterligare genom enklare och smidigare handhavande. Små förbättringar av en utrustning kan innebära mycket för totalupplevelsen. Alla lösningarna innebar att mer eller mindre extra utrustning behöver bäras in av rökdykarparet. Detta minskar möjligheten för rökdykarna att bära med sig annan utrustning som t.ex. IR-kamera etc. All extra slang som rökdykarna behövde hantera innebar att slangarna kunde trassla ihop sig, fastna och risk för att snubbla. Alla lösningar som innebär mindre antal slangar är mycket positivt för handhavandet.

Det positiva med de lösningar som hade fasta rör istället för slangarna var deras stabilitet vilket medförde att de var enklare att placeras. Nackdelarna med fasta rör var att de blev stora och otympliga samt mindre flexibla och att de tar plats i brandbilen.

De testade lösningarna kan vara en del av verktygslådan för att hantera en brand i ett batterifordon som inte går att släcka. Sammanfattningsvis hade den optimala lösningen haft följande attribut:

- Tillräcklig förmåga att dämpa och förhindra brandspridning för en brand på mellan 9 – 12 MW.
- Liten så att den är lätt att transportera i trappor och andra trånga utrymmen samt tar liten plats i brandbilen.
- Ej behov av extra slang eller extra händer för att bära utrustningen.
- Mångsidig så att den kan användas i många typer av olyckor.
- Vara möjlig att placera även om fordonet är inlåst i gallerburar.
- Vara enkel att placera, det ska vara lätt att göra rätt och det ska gå fort. I parkeringsgarage kommer brandmännen främst att vara bakom bilen när utrustningen ska placeras.
- Kunna placera utrustningen på avstånd från branden samt kunna stänga av och sätta igång den från ett avstånd. Optimalt från utsidan av byggnaden.
- Rökdykarna ska kunna bedöma släckeffekten utan att vara på plats.

4.4 Transport av fordon

Då det inte fanns tillräckligt med lösningar inom kategorin ”transport av fordon” genomfördes istället en demonstration. Ett fordon med låsta hjul ställdes upp på en stor fri yta och sedan fick två leverantörer demonstrera olika möjligheter att bärga bort detta fordon. Det ena fordonet var en garagebärgare från Assistancekåren och den andra var ett fjärrstyrt fordon från Bobcat.

Garagebärgaren kommer lätt att få plats i ett parkeringsgarage och det gick relativt snabbt att få upp fordonet på vinschen. Det fanns vissa problem med att hjulen var låsta då det krävdes extra utrustning för att kunna transportera fordonet. Denna extra utrustning tog lite längre tid att montera. Problemet är också att den är bemannad och att personal måste vara nära fordonet som brunnit.

Bobcat var fjärrstyrd vilket är positivt att den skulle kunna transportera ut ett batterifordon utan att personal behöver vara i närheten. Transporten skedde genom att gripklor tog tag i bilen och kunde både lyfta, släpa och putta fordonet. Gripklon kunde ta tag i bilen vid bakluckan, i taket eller vid A-stolpen. Detta medför en flexibilitet i hur det går att transportera ut fordonet. Problem som kan uppstå är hur fjärrstyrningen skulle fungera i ett parkeringsgarage.

Figur 29: Demonstration av ett fjärrstyrt fordon från Bobcat och en garagebärgare från Assistancekåren.

Övriga frågeställningar som fördes fram under diskussionerna var:

- Går det att transportera ut fordonet när det brinner?
- Hur ska ett fjärrstyrt fordon kunna styras i ett parkeringsgarage utan att personal följer med in i garaget?
- Hur fungerar fordonet i rökig miljö?
- Går det att skydda bärgningsfordonet om batteriet skulle återantända?
- Fungerar det att transportera ut större fordon?
- Vem ska köra fordonet, räddningstjänst eller bärgningspersonal?
- Vem ska äga fordonet?
- Går den att använda till fler saker än vid brand i batterifordon?

5 Underlag för metodstöd

I förgående kapitel redovisades utvärdering av lösningar för säkrare och effektivare räddningsinsatser i batterifordon, vilket var ett av målet med studien. Det andra målet var att skapa underlag för ett metodstöd som kan användas av räddningstjänster när de bedriver försök. I detta kapitel diskuteras vilka aspekter som behöver tas upp i ett metodstöd utifrån lärdomar från studien samt vilken stöttning som deltagarna i den avslutande workshoppen ansåg att de behövde.

Metodstödet behöver belysa hur viktigt det är att ta fram förutsättningarna för ett försök. Det handlar först och främst om att ta reda på hur behovet av teknik- och metodutveckling kan tillgodoses i ett försök, det vill säga vad syftet är med själva försöket. Utifrån syftet med försöket behöver sedan möjligheterna för att genomföra försöket undersökas. Finns det rätt förutsättningar för att kunna samla in det data som behövs? Eller behöver försök genomföras på andra platser? Finns det behov av experthjälp? Behöver resultatet valideras med någon mätning? Det finns många olika fallgropar att hamna i när försök ska genomföras och metodstödet kan med fördel belysa några av dem som en vägledning för när det kan vara bra med experthjälp.

Räddningstjänstens övningsfält är främst anpassade för att utvärdera praktiska insatsmetoder och hur olika verktyg kan fungera i en verklighetsanpassad miljö. Därför behöver metodstödet innehålla stöd för hur de kan samla in och analysera data kring användarvänligheten. För att veta vilken data som kan och bör samlas in är det viktigt med stöd och inspiration kring detta. I denna studie var SPAR:s checklista och standarden för användarbarhet (ISO 9241-11) ett bra hjälpmedel för att identifiera vilken data som behöver samlas in.

Erfarenheter från denna studie visar att räddningstjänsterna helst vill testa hela komplexiteten i en insats och att försök gärna ska likna en övning. Realistisk försöksuppställning är viktigt, men detta ska vägas mot vilken data som behöver samlas in och syftet med försöket. I denna studie var det till exempel mer fördelaktigt att scenariot var av det något enklare slaget eftersom syftet var att undersöka den praktiska användbarheten i ett enstaka moment. Det enklare utförandet medförde att många repeterbara tester kunde utföras samt att utvärderarna hade god överblick för att kunna samla in det data som krävdes. Metodstödet behöver därför innehålla tips på hur en försöksuppställning kan utformas beroende på vilken data som behöver samlas in. Det måste också framgå skillnaden mellan ett försök och en övning.

Vid val av vilka personer som ska handha utrustningen i ett försök finns det flera aspekter att ta hänsyn till. Vid jämförande försök kan det vara bra om deltagarna har liknande bakgrund. Detta är särskilt viktigt om det inte går att genomföra så många försök. Ett exempel är när tre olika metoder för rökdykning ska testas och varje metod testas av olika rökdykarpar. Det kan då vara svårt att jämföra metoderna eftersom skillnaden kan bero på skillnaderna mellan rökdykarparen istället för skillnaden mellan de olika metoderna. Finns det möjlighet att

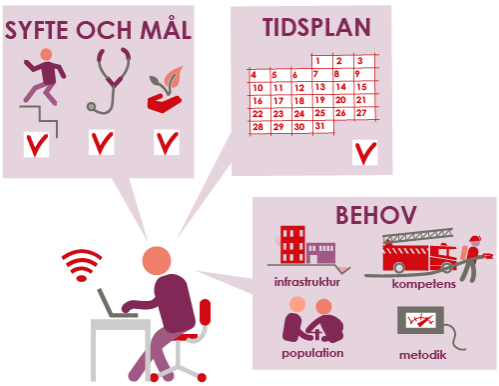
genomföra många försök kan det istället vara positivt med olika bakgrund hos de som genomför testerna eftersom det då går att få en bredare bild av användarvänligheten. Metodstödet behöver beskriva hur resultatet från försöket kan bero på deltagarnas erfarenhet och att detta är en av utmaningarna med försök. En annan aspekt är val av utvärderare då denna studie visar på vikten att de som utvärderar är väl insatta i syftet och bakgrunden till försöket.

Vid genomförande av försök visade det sig vara viktigt med förberedande förförsök. Många viktiga aspekter kom fram i detta försök och i metodstödet behöver det framkomma att man lär sig mer än man tror på förförsök.

Det sista men viktigaste delen som behöver finnas i ett metodstöd är hur dokumentationen ska gå till. Det kan vara en rapportmall med tips på som är viktigt att dokumentera och hur.

Från workshoppen (den sista dagen) kom det fram synpunkter kring behov av stöttning. Dessa kan sammanfattas i följande punkter:

- Omvärldsanalys för att identifiera kunskapsluckor.
- Sprida resultat från försök.
- Samordning eftersom vi har gemensamma behov som kräver gemensamma lösningar.
- Ta fram specifika kriterier för ett specifikt behov och utvärdera dessa.
- Marknadsundersökning.
- Få tag i experter.
- Söka utvecklingspengar.
- Arbeta tätare med innovatörer.
- Process för hur försök ska genomföras.



Bilaga 1: Enkät och protokoll

Lösningsdimensionen, enkät

- I vilken funktion deltar du i försöken/testerna?
- Vilken utrustning testas?

Hur ställer du dig till följande påstående (Inte alls, I mindre grad, I hög grad, I mycket hög grad, vet ej)?

Effektivitet:

1. Med hjälp av utrustning kan jag snabbare begränsa branden till ett fordon än om jag hade använt konventionellt slangsystem.

Tillfredsställelse:

2. Jag skulle vilja använda denna utrustning ofta
3. Jag tror jag kan använda denna utrustning vid många olika typer av insatser
4. Jag tyckte utrustningen var enkel att använda
5. Jag tror att de flesta personer kan lära sig använda utrustningen snabbt
6. Jag behöver lära mig mycket innan jag kan använda den utrustningen

Förmåga:

7. Det var möjligt att placera utrustningen så att branden begränsas till fordonet som brinner
8. Den här utrustningen kommer att öka vår förmåga att hantera batterifordonsbränder

Påverkan:

9. Den här utrustningen är kompatibel med våra nuvarande rutiner
10. Den här utrustningen kommer troligen att ändra våra rutiner vid batterifordonsbränder.
11. Den här utrustningen kommer göra vår arbetsmiljö bättre vid hantering av batterifordonsbrand i garage.

Ergonomi:

1. Upplever du buller eller vibrationer?
2. Hur mycket av din totala styrka krävs för att använda utrustningen
3. Hur ansträngande är arbetet med utrustningen

Fritext:

- Vilka möjliga andra användningsområden ser du för utrustningen?

- Förslag på förbättringar eller förändringar för att förbättra användarvänligheten
- Kan denna metod öka er förmåga att hantera en batterifordonsbrand i parkeringsgarage - hur?

Lösningsdimensionen, övriga kriterier

- Kostnad inköp
- Kostnad för underhållning
- Livslängd produkten - åldringseffekter

Forskningsdimension, protokoll försöket

1. Hur nära behöver RD vara fordonet som brinner för att placera utrustningen?
2. Under hur lång tid behöver RD vara närmare än 5 m från fordonet?
3. Hur länge behöver RD vara inne i garaget?
4. Vilken typ av sanering kommer krävas efter användning av utrustning?
5. Vattenflöde
6. Vattentryck
7. Luftförbrukning
8. Genomför deltagarna de handlingar vi förväntar dem att göra (gör de något avvikande, t.ex. snubblar)

Forskningsdimensionen, protokoll förförsök

Utrustning	Tryck	Vattenmängd, balja							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1									
2									
3									
4									
5									

Forskningsdimensionen, Workshopfrågor

Vilken begränsningsmetod och tekniklösning skulle kunna utvecklas som:

- Ger bäst förutsättningar för en bra arbetsmiljö?
- Ger bäst förutsättningar för att begränsa branden?
- Ger minst miljöpåverkan?

Försökdimensionen, Enkät

Hur ställer du dig till följande påstående (Inte alls, I mindre grad, I hög grad, I mycket hög grad, vet ej)?

1. Jag kände mig väl insatt i syftet med försöket
2. Jag hade en klar bild över vad som förväntades av mig
3. Jag hade en klar bild över hur utvärderingen skulle ske.
4. Träningstillfället med utrustningen var tillräckligt för att kunna testa utrustningen på ett bra sätt.
5. Försöksscenariot är tillräckligt realistisk för att utvärdera nyttan med utrustningen
6. Deltagarna i försöket hade rätt typ av bakgrund (expertis, erfarenhet)
7. Kunde ni observera försöket på ett tillfredsställande sätt?
8. Tiden var tillräcklig för att kunna utvärdera utrustningen
9. Upplägget under dagen fungera bra
10. Servicen har fungerat bra
11. Sandö är en bra plats för att utföra denna typ av försök

Försöksdimensionen, Workshopfrågor

- Vad har varit bra med dessa dagar?
- Vad kan förbättras?

Försöksdimensionen, Övriga frågor

- Teknisk överföring av bilder, internet etc…
- Skillnad mellan planerad och vad som hände.
- Risker som uppstod under försöket.
- Har vi samlat in data på ett bra sätt?
- Deltagarnas engagemang var tillräckligt?

Bilaga 2: Omvärldsanalys - litteratursammanställning

2018 skickade Räddningstjänsten Storgöteborg en hemställan till MSB angående risker och agerande vid brand i batterier. De efterfrågade att MSB skulle klargöra vilka risker som finns för räddningspersonal i händelse av brand i batterier.

De hemställde också att MSB skulle författa en vägledning om hur insatspersonal ska agera vid:

- Batteribränder vid energilagring i bostadsmiljöer,
- Batteribränder i fordon i flerbilsgarage,
- Batteribränder i energilagring i övriga verksamheter.

Behov av grundläggande kunskap och en samstämmig vägledning för att hantera batteribränder framkom också i projektet Effektiv räddningsinsats [1] där 16 olika räddningstjänster i landet intervjuades. MSB har sedan tidigare bedrivit flera studier relaterade till brand i batterier och då främst battericeller av litiumjontyp. Under de senaste åren har det också genomförts flertalet forskningsprojekt som analyserat riskerna vid brand i batteri samt möjligheten att släcka batteribrand. I augusti 2020 publicerade MSB en vägledning för räddningsinsats där litiumjonbatterier förekommer5. Vägledning ger information om risker med dessa batterier vid insats och bygger på rådande kunskapsläge.

Syftet med denna litteratursammanställning var att ge ett underlag för behovsanalysen samt identifiera forskningsfrågor som ska besvaras i försöket. Flera omfattande omvärldsanalyser av risker relaterat till brand i batterifordon samt taktik och metodik för att släcka har publicerats det senaste året. Nedan finns därför en kortfattad sammanfattning av risker kopplade till brand i litiumionjon batterier samt möjliga taktiska överväganden. Forskning berör främst brand i batterifordon, men kunskapen kan appliceras även på batterier i allmänhet.

För mer omfattande beskrivning av den senaste forskningen inom området hänvisas till följande rapporter:

[1] Ingason, H., Vylund, L., Kumm, M., Millgård, U., Eriksson, K., Zakirov, A., Sohlberg, J., Storesund, K., Hådell, P. (2019). Effektiv räddningsinsats – fokus brand, MSB 1441.

[5] https://rib.msb.se/filer/pdf/29268.pdf

[2] Vylund, L., Gehandler, J., Karlsson, P., Peraic, K., Huang, C., & Evergren, F. (2019). Fire-fighting of alternative fuel vehicles in ro-ro spaces (RISE Rapport 2019:91)

[3] Bisschop, R., Willstrand, O., Amon, F., & Rosengren, M. (2019). Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles (RISE Rapport 2019:50). Projektet utarbetade också rekommendationer tillsammans med Sveriges fordonsverkstäders förening[6].

[4] Lindkvist, M. (2020) Elektriska fordon och räddning – inhämtning av erfarenheter från fältet och rekommenderade arbetssätt, MSB 1533.

[5] Willstrand, O., Rosengren, M., Bisschop, R. (2019) Fire Suppression tests for vehicle battery pack. Rise Report.

[6] Sun, P., Huang, X., Bisschop, R., Niu, H. *A Review of Battery Fires in Electrical Vehicles,* Fire Technology journal 2020.

[7] Torbjörnsson, S., (2019) Brand i batterifordon och laddningsplatser i undermarksanläggningar, RISE rapport 2019:84.

Risker för räddningspersonal i händelse av brand i litiumjonbatteri

De vanligaste batterierna på marknaden är i idag av litiumjontyp. Inom denna familj finns det dock många olika typer med olika kemikalier och sammansättningar som påverka vilka konsekvenser en brand i batteriet får. Därför är riskerna nedan generellt beskrivna.

Ett litiumjonbatteri som utsätts för brand, värme, extern/intern kortslutning eller yttre mekanisk påverkan kan leda till en termisk rusning vilket leder till en snabb temperaturstegring. Oavsett hur den termiska rusningen startade kommer värme och gaser att utvecklas som antänder när de får tillgång till syre. Inuti batteriet är syret begränsat, men när trycket ökar på grund av produktionen av gas kommer dessa gaser att ventileras och antändas utanför battericellen. Om dessa gaser inte skulle antändas direkt finns det risk att de ansamlas och att explosiv atmosfär uppstår [2].

Utifrån brandtester som involverar litiumjonbatteri kan slutsatsen göras att de batterier som används idag bidrar med en lägre brandbelastning än konventionella fordon med flytande bränsle. Batteriet kan brinna med en extremt hög temperatur på specifika platser under begränsade tidsperioder, men samtidigt kommer elbilar sannolikt att ha en, totalt sett, lägre värmeavgivningshastighet än konventionella

[6] https://www.fordonsverkstader.se/wp-content/uploads/2019/10/Information-och-rekommendationer-Batterifordon.pdf

bilar. De kommer emellertid mycket troligt att brinna under en längre tid än konventionella fordon och det finns risk för återantändning flera dagar efter släckning [2].

Toxiska förbränningsprodukter avges i alla bränder och så även vid brand i batterier. Ett brinnande litiumjonbatteri kan generera mycket gas och gaserna kan innehålla giftiga gaser som vätefluorid (HF), fosforylfluorid (POF3), fosforpentluorid (PF5), men även brandfarliga gaser som kolmonoxid (CO), metan (CH4) och vätgas (H2)[2]. När ett internt fel orsakar en termisk rusning, kan giftiga gaser produceras innan det uppstår brand. Om den termiska rusningen inte orsakar en brand kan den fortfarande avge mycket giftiga och brännbara gaser. Utan upptäckt finns det en risk att halterna av giftiga gaser blir betydande och att människor kan komma i kontakt med gasen utan föregående varning. Det finns också en risk för explosion på grund av frigörelse av brännbar gas som ackumuleras i slutna utrymmen [3].

En genomgång av incidenter med brand i batterier har inte kunnat finna några fall där räddningspersonal med personlig skyddsutrustning fått några förgiftningssymptom [4].

Släcktaktik

Möjligheten att släcka ett batteri beror på många faktorer som; batteriets storlek, brandens storlek, var batteriet är placerat och möjligheten att nå batteriet med släckmedel.

I fordon är batteripack väl skyddat vilket försvårar möjligheten att komma åt batteriet med släckmedel för att kyla. Ett batteripack består av flera moduler som i sin tur består av flera battericeller. I dagsläget anses det vara näst intill omöjligt att kyla ner batteriet för att stoppa att den termiska rusningen sprider sig mellan battericeller och mellan moduler [2]. Vissa batterier har dock ett inbyggt skydd mot brandspridning mellan moduler.

Tester som genomförts visar att det är viktigt att använda ett släckmedel med god värmekapacitet (t.ex. vatten) eftersom battericellerna måste kylas för att minska risken för fortsatt termisk rusning. Om vatten applicera direkt på cellerna där termisk rusning sker har detta en bra effekt. På grund av det begränsade utrymmet inne i ett batteripack indikerade testerna att lågt vattenflöde som applicerades under längre tid gav bättre effekt [5].

Svårigheten att stoppa spridning av termiska rusning beror dock främst på svårigheten att komma åt batteriet eftersom de flesta batterier är väl förseglade för att förhindra att damm och vatten når battericellerna. Andra tester har visat att beroende på var batteriet är placerat och dess kapacitet (storlek) kan det behövas över 10 000 liter vatten för att stoppa spridningen av termisk rusning [6]. Stora

mängder släckvatten som appliceras med stort flöde kan medföra stora mängder spillvatten vilket kan orsaka miljökonsekvenser.

I brandtester som genomförts på batterier så visar det sig att det tar 2-11 minuter innan termisk rusning sker. Fullskaliga brandtester på elektriska fordon visar dock att det tar 25-40 minuter för batteriet att bli involverat i branden. Ett test visade till och med att trots att bilen var övertänd så hade inte batteriet blivit påverkat alls av branden. Detta visar att batteriet i batterifordon ofta sitter väl skyddade och att det tar lång tid innan de involveras i branden, om den involveras alls [2]. Rekommendation är därför att släcka fordonsbranden då det inte är säkert att batteriet är involverat, särskilt om det är placerat lågt i fordonet [3].

När ett batteri brinner är det två fenomen som behöver hanteras, dels brand i brandfarlig vätska och plaster och dels termisk rusning som är en kemisk exoterm reaktion där batteriet töms på sitt energiinnehåll. Branden kan släckas även med torra släckmedel som t.ex. CO_2 eller pulver, men för att stoppa spridningen av den termiska rusningen behövs kylning. Vidare kan en släckning av branden utan att termiska rusning stoppas medföra att stora mängder med brännbara gaser släpps ut. Om dessa gaser ackumuleras i ett slutet utrymme kan en explosiv atmosfär uppstå. När vatten används som släckmedel kan både branden släckas och batteriet kylas. Vattnet kan dock bidra till elektriska fel i ett senare skede samt att vattnet kan reagera med litiumet och bilda vätgas [6]. Mindre bränder som mobiler och hoverboards kan släckas med pulver[7].

Det finns en indikation på att mängden vätefluorid som det brinnande batteriet avger kan vara beroende på släckprocessen. Men ingen forskning har direkt belyst denna fråga [4].

Något som är problematiskt för alla typer av bränder i inneslutna utrymmen som parkeringsgarage, tunnlar och byggnader är svårigheten för räddningstjänsten att nå branden. För bränder i batterier har detta aktualiserats ytterligare på grund höga värden av HF [7].

Rapporten ”Elektriska fordon och räddning” [4] tar upp elektriska risker vid hantering av skadade batterifordon och sammanfattar att även om allt tyder på att den elektriska risken är liten så råder det en stor osäkerhet vid räddningsinsatser. Slutsatsen är att *det behöver klarläggas och om möjligt harmoniseras hur man ska säkerställa att högspänningssystemet är avstängt*.

[7] https://www.msb.se/contentassets/302a31c6b60540f0b6f2b60a3eee3e42/hemstallan-risker-agerande-brand-batteri.pdf

Hantering av batterier efter brand

Ett sätt att se till att det inte finns någon återantändning är att låta batteriet brinna helt ut. När allt aktivt material i batteriet är konsumerat blir risken för återantändning obefintlig [3].

Detta är dock inget som biltillverkarna rekommenderar utan förespråkar en aktiv insats med stora mängder vatten [4]. Fordon bör ställas upp på säker uppställningsplats där en ev. återantändning inte innebär några risker för brandspridning [3].

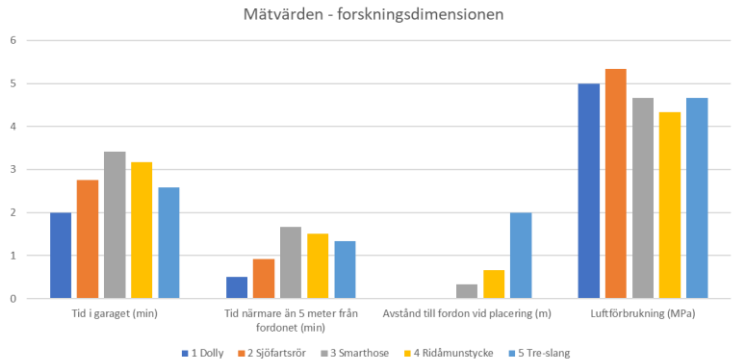
Efter en brand kan IR-kameror användas som referensvärde för att se om temperaturen på batteriet sjunker. Kameran kan dock inte mäta den faktiska temperaturen i olika celler/moduler och kan innebära falsk säkerhet [3].

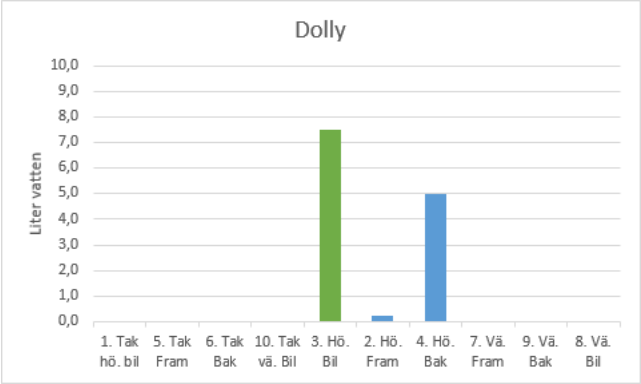
Kontaminerat släckvatten kan innehålla många skadliga metaller och behöver tas om hand.

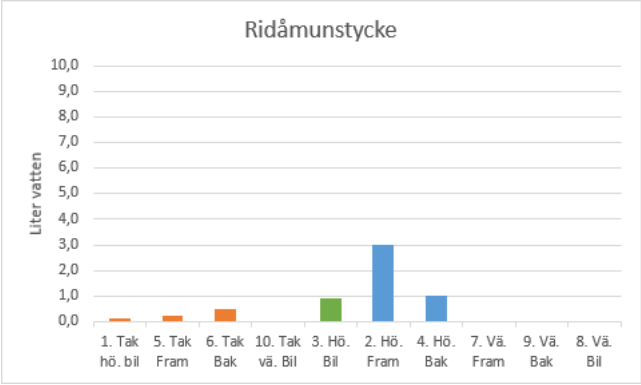
Bilaga 3: Diagram

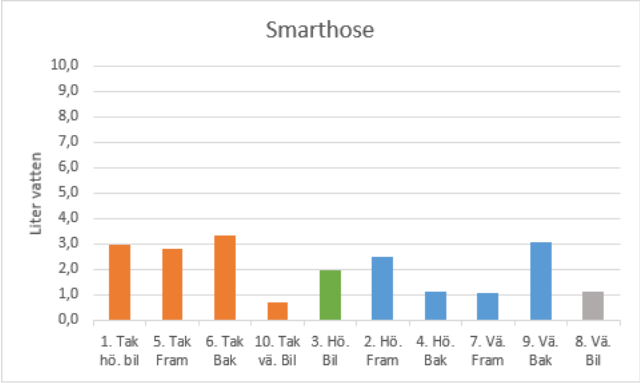
Bilaga 3 innehåller diagram över rökdykarparens tider inne i garaget och tid närmare än 5 meter från fordonet. Diagrammen visar också avstånd till fordonen vid placering och luftförbrukningen vid hantering av de olika lösningarna. Tiderna och luftförbrukningen nedan är ett medelvärde av samtliga rökdykarpar.

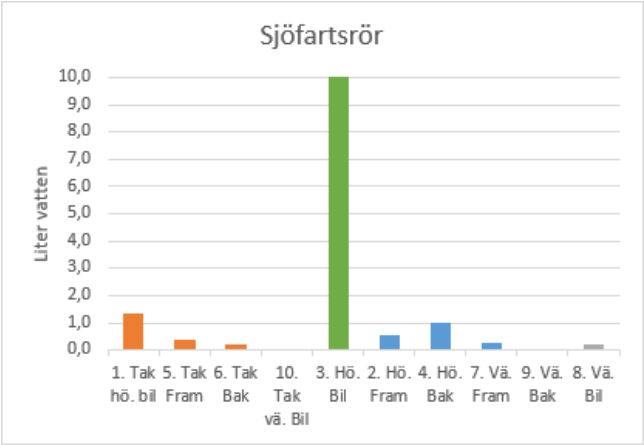
Nedan visar diagram över vattendistributionen när utrustningen var placerad på höger sida om den mittersta bilen.

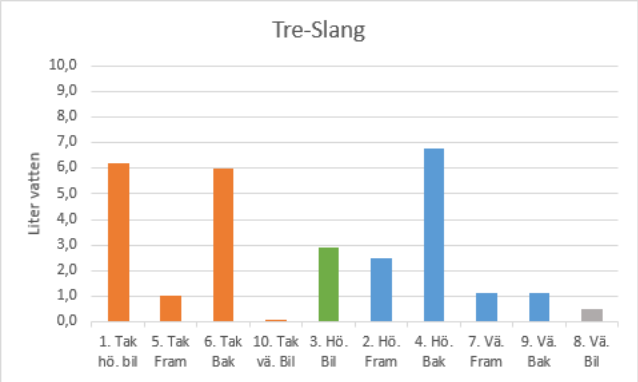







Smarthose
Liter vatten
10,0
9,0
8,0
7,0
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
1. Tak hö. bil
5. Tak Fram
6. Tak Bak
10. Tak vä. Bil
3. Hö. Bil
2. Hö. Fram
4. Hö. Bak
7. Vä. Fram
9. Vä. Bak
8. Vä. Bil


Sjöfartsrör
Liter vatten
10,0
9,0
8,0
7,0
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
1. Tak hö. bil
5. Tak Fram
6. Tak Bak
10. Tak vä. Bil
3. Hö. Bil
2. Hö. Fram
4. Hö. Bak
7. Vä. Fram
9. Vä. Bak
8. Vä. Bil


Tre-Slang
Liter vatten
10,0
9,0
8,0
7,0
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
1. Tak hö. bil
5. Tak Fram
6. Tak Bak
10. Tak vä. Bil
3. Hö. Bil
2. Hö. Fram
4. Hö. Bak
7. Vä. Fram
9. Vä. Bak
8. Vä. Bil

Bilaga 4: Checklista - Att genomföra försök

Den föreslagna checklistan kan användas när praktiska försök hos räddningstjänsten ska genomföras. För att få djupare kunskap kring olika metoder eller inspiration kring hur försök kan planeras, genomföras och analyseras hänvisas till kapitel 2 och 3 i denna rapport samt Driver+ handbok för att genomföra försök inom krishanteringsområdet: https://www.driver-project.eu/trial-guidance-methodology/.

Förutsättningar för att genomföra försök	
Allmänna behov – tema för försök	Uppkommer via AAR, Incidenter; olycksutredningar etc.
Detaljerade behov	Genomför en omvärldsanalys och ta reda vilka kunskapsluckor finns inom temat? Vad har andra gjort? Vilken forskning finns på området?
Sammanhang	För att veta vilka typer av försök som ska genomföras behöver kunskapsluckorna kopplas till ett sammanhang. Till exempel när, var och hur uppstår kunskapsluckan.
Ramar	Ta reda på vilka personella och materiella resurser som finns. T.ex. vilken kompetens finns, vilken mätutrustning finns? Hur ser infrastrukturen ut? Detta sätter ramarna för vilka typer av försök som kan genomföras.
Försöksplanering	
Mål med försöket	Vad vill vi uppnå med försöket? Formulerad enligt SMART-modellen (Specifikt, Mätbart, Accepterat, Realistiskt och Mätbart).
Forskningsfrågor	Formulera en eller flera frågor kring vad behöver vi veta för att uppnå målet? T.ex. Hur kan arbetsmiljön förbättras? Hur kan vi snabbare få ut personer från en krockad bil?
Bedömningskriterier	Vilken data ska samlas in? Vilka krav på lösningarna som ska testas finns? Utgå från följande fem grundkriterier: **Livscykelkostnader** – kriterier kopplat till finansiella kostnader för räddningstjänsten samt samhällskostnader för miljöpåverkan. **Kapacitet** – kriterier kopplat till lösningens förmåga att utföra sin uppgift, t.ex. släckeffektivitet, tidsåtgång, personalåtgång etc. **Implementering** – kriterier kopplat till t.ex. utbildningsbehov vid implementering eller att extra utrustning måste användas i brandbilen. **Underhåll** – kriterier kopplat till vad som behöver göras för att upprätthålla kapaciteten under produktens livstid. **Arbetsmiljö** – kriterier kopplat till ergonomi och säkerhet samt jämställdhet och jämlikhet.

Beskriv försöksscenario	Beskriv vilka arbetsmoment som ska utföras samt beskriv i vilket sammanhang potentiellt nya lösningar på problemet ska testas. Scenariot ska svara på vem gör vad, när, var och med vilken utrustning. Scenariot ska vara så realistisk som möjligt men helst samtidigt vara repeterbart.
Datainsamlingsplan	Hur ska data samlas in? Exempel är via enkät, intervjuer med deltagare samt observationer. Vilka personer ska genomföra försöket? Har vi ett representativ urval för att fånga många aspekter?
Hitta lösningar	Hitta lösningar som tros kunna uppfylla bedömningskriterierna. Lösningarna ska innebära väl avgränsad teknik eller metod för att de ska gå att utvärdera dem i ett försök.
Genomföra försök	
Beskriv försöksuppställningen	Detaljerad beskrivning av försökuppställningen så att den går att reproducera vid ett annat tillfälle.
Testa tekniken	Fungerar tekniken som tänkt?
Testa datainsamling	Fungerar den tänka metoden för datainsamling?
Förbered deltagarna	Förbered deltagarna som ska genomföra försöket genom att låta dem öva med lösningarna tills de känner att de kan hantera dem.
Genomför försök	Dokumentera allt på ett systematiskt sätt. Filma, ta kort och anteckna hela tiden.
Analys och dokumentation	
Beskriv försöksuppställning och metod för datainsamling	Beskriv noga hur försöksuppställningen såg ut och vilka antagande som gjordes. Beskriv hur data samlades in. Tänk att någon utifrån ska kunna genomföra samma försök och få liknande resultat.
Kontrollera data	Har vi samlat in all data vi behöver? Är all data korrekt?
Illustrera data	Grafer, bilder, diagram med mera kan användas för att göra insamlade data begriplig och överskådlig och visa vad som mätts.
Bedöm genomförandet av försöket	Hur har försöksuppställning och insamling av data påverkat resultatet? Hände något oväntat i någon av försöket som påverkat resultatet?
Bedöm hanterbarheten av lösningen	Hur kan lösningen praktisk hanteras?
Bedöm forskningsfrågorna	Besvara forskningsfrågorna.
Är resultatet begripligt?	Sammanställ och kontrollera så att dokumentationen av resultatet är begripligt för målgruppen som ska läsa dokumentet.

Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 **www.msb.se**
Publ.nr MSB1689 ISBN 978-91-7927-101-5