



LUND UNIVERSITY

Positionering av människor i väg- och järnvägstunnlar i händelse av brand

Frantzich, Håkan; Fridolf, Karl; Liljestrand, Staffan; Henningsson, Alex

2023

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Frantzich, H., Fridolf, K., Liljestrand, S., & Henningsson, A. (2023). *Positionering av människor i väg- och järnvägstunnlar i händelse av brand*. Brandteknik, LTH.

Total number of authors:
4

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Positionering av människor i väg- och järnvägstunnlar i händelse av brand

Slutrapport

Håkan Frantzich, Karl Fridolf, Staffan Liljestrand och Alex Henningson



LUND
UNIVERSITY

Teknisk rapport
Rapportnummer: 3250

Positionering av människor i väg- och järnvägstunnlar i händelse av brand

Slutrapport

Håkan Frantzich, Karl Fridolf, Staffan Liljestrand och Alex Henningsson



LUND
UNIVERSITY

Rapportnummer: 3250

Copyright © Lunds tekniska högskola, Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Avdelningen för brandteknik

ISSN 1402-3504

Lund 2023

Organisation Avdelningen för brandteknik, LTH, Lunds universitet Författare Håkan Frantzich, Karl Fridolf, Staffan Liljestrand och Alex Henningsson	Dokumenttyp Teknisk rapport	
	Publiceringsdatum 2023-02-15	
	Finansiär Brandforsk	
Titel Positionering av människor i väg- och järnvägstunnlar i händelse av brand		
Abstract <p>The overall aim of the current project is to investigate the possibility of using people's mobile phones to locate people in a tunnel environment, both during normal operation and during an emergency. As part of the project, a technology for locating people based on Wi-Fi communication between access points in a tunnel and the user's mobile phone is investigated. To examine the precision of the localization system, 39 different trials have been carried out under various conditions during an experiment in a road tunnel in Stockholm, Sweden. In the tests, the Wi-Fi-based predicted location has been compared with the actual location, for each time step, of the people in the tunnel. The variables changed in the experiment include the number of people in a group, the number of available access points in the tunnel, whether the mobile phone distinguishes between an active or passive connection, whether it differs between a person moving or standing still, whether the mobile phone is held in the hand or is stored in the person's pocket and if there are obstacles in the tunnel (a vehicle). The results indicate that the mean value for the distance between actual and predicted position is in the order of 20 m or less. The variation in distance for a single individual is relatively large and the standard deviation for the mean distance is in the same order of magnitude as the mean value. Despite this, there is a good potential to locate individuals in a tunnel as the distance between emergency exits is often much longer than the uncertainties in the predicted locations of people. Also, the technology seems to be able to predict the direction of movement for the individuals. These results are promising and indicate the potential of cost-efficient improvement of tunnel safety both for existing and new tunnels. With a refined positioning system, there is potential for further improved ability to locate individuals in a tunnel fire environment with this technology.</p>		
Nyckelord utrymning, positionering, wifi, räddningstjänst, vägtunnel, järnvägstunnel, tunnel safety, evacuation, rescue services, Wi-Fi, indoor localization, indoor mapping, sensor		
Klassifikation öppen		
Övrigt Avdelningens rapportnummer: 3250	Språk Svenska	
ISSN 1402-3504	ISBN	
Mottagares anteckningar	Antal sidor 72	Pris

Signatur _____ Datum ____

Förord

Följande rapport är framtagen som en slutrapportering i Brandforsk projekt 319-002. Brandforsk är en icke vinstdrivande organisation för att initiera och finansiera kunskapsutveckling inom det brandtekniska området. Forskningsprojektet redovisas också genom en teknisk rapport som beskriver tekniska lösningar som kan användas för positionering av personer "Fridolf, Frantzich och Liljestrand, Indoor Localization for Fire Safety – A brief overview of fundamentals, needs and requirements and applications" dvs referens 1 i referenslistan.

Projektet har genomförts av Håkan Frantzich (Lunds universitet), Karl Fridolf (Trafikverket) samt Staffan Liljestrand (Bumbee Labs). Under försöken som genomfördes medverkade även Micke Mossberg (Bumbee Labs) och under analysfasen medverkade Alex Henningsson (Bumbee Labs). Projektet söktes inledningsvis av WSP där Karl Fridolf var verksam och WSP har även bistått i kvalitetsgranskningen av projektet i dess slutfas. Denna roll har även Johan Lundin haft, numera verksam vid Brandskyddslaget men vid projektets tillkomst verksam vid WSP. Projektet har letts av Karl Fridolf och Håkan Frantzich.

På grund av den rådande pandemin har projektet haft en lång tidsmässig utsträckning. Ursprungligen planerades försök att genomföras i Göteborg i december 2020 men dessa kunde inte genomföras på grund av smittspridningen av Covid-19. Istället fick försöken skjutas på framtiden och tack vare Trafikverkets positiva inställning med att hitta en lämplig plats för att genomföra försöken kunde dessa genomföras i oktober 2021. Författarna riktar därför ett stort tack till Pär Gustafsson, Daniel Andersson och Mats Ljungberg, samtliga på Trafikverket. Vid försöken deltog också en rad forskningspersoner till vilka ett särskilt tack riktas. Forskningspersonerna rekryterades från Brandforsk, Brandkonsulten, Brandskyddslaget, Briab, LTH Brandteknik, Region Stockholm, Risktec, Safeaid, Trafikverket och WSP.

Till projektet har det även funnits en referensgrupp som på grund av projektets utdragna karaktär varit aktiv i några omgångar. Referensgruppen har trots den utdragna tiden bistått med relevanta synpunkter på såväl försökens genomförande som slutrapporteringen. Referensgruppen har bestått av följande personer:

Jonas Andersson, Trafikverket

Per Broström, Trafikverket

Mattias Delin, Brandforsk

Johan Lundin, Brandskyddslaget

Ulf Lundström, Trafikverket

Henric Modig, Trafikverket

Emma Nordwall, Räddningstjänsten Skåne Nordväst

Bert Paulström, Förvaltning för utbyggd tunnelbana, Stockholm

Daniel Rydholm, Trafikförvaltningen, Stockholm

Gustav Sandell, Räddningstjänsten Syd

Marie Skogsberg, SKB

Stefan Svensson, MSB

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1. Brandteknisk bakgrund	1
1.2. Positionering av människor	2
1.3. Syfte	4
1.4. Mål.....	4
1.5. Metod	4
1.6. Avgränsningar och begränsningar	5
2. Försöksplats	7
2.1. Vägtunneln	7
2.2. Tekniska installationer och datainsamling	8
3. Forskningspersoner	13
3.1. Rekrytering.....	13
3.2. Information och samtycke	13
3.3. Ersättning	13
4. Försöksscenarioer och genomförande	15
4.1. Gruppstorlek	15
4.2. Gångvägar	15
4.3. Uppehåll i tunneln	15
4.4. Hinder	15
4.5. Mobiltelefonens placering	16
4.6. Försöksöversikt.....	16
4.7. Genomförande	17
5. Etiska överväganden	19
5.1. Hantering av personuppgifter	19
5.2. Informerat samtycke	19
5.3. Upprepning av information och säkerhetsinstruktioner	19
5.4. Åtgärder för minimering av risk för fysiska skador	20
5.5. Försäkring	20
6. Analys	21
6.1. Positionering med wifi-data.....	21

6.2.	Positionering baserat på videoinspelningar	25
6.3.	Positioneringsanalys	26
7.	Resultat	29
7.1.	Positionering i grundfallet med enstaka individer och med mobiltelefonapparat i handen.....	30
7.2.	Positionering i grundfallet med enstaka individer och mobiltelefonapparat i fickan 32	
7.3.	Positionering i grundfallet med mindre grupp och mobiltelefonapparat i handen	35
7.4.	Positionering i grundfallet med enstaka individer, med mobiltelefonapparat i handen och som stannar upp i tunneln	36
7.5.	Positionering med ökat antal accesspunkter och aktiv lyssning	37
7.6.	Positionering med ökat antal accesspunkter och passiv lyssning	40
8.	Diskussion och fortsatt forskning.....	45
8.1.	Generellt om tekniken.....	45
8.2.	Resultatdiskussion	46
8.3.	Vidare forskning.....	48
9.	Slutsatser.....	51
	Referenser	53
	Bilaga 1: Forskningspersoninformation	55

Sammanfattning

Generellt sett är det svårare för människor att självutrymma eller på annat sätt sätta sig i säkerhet vid en brand i en väg- eller järnvägstunnel jämfört med i en byggnad ovan mark. Samtidigt är det också besvärligare för räddningstjänsten att utföra effektiva räddningsinsatser med tillfredsställande säkerhet vid en tunnelbrand. I en tunnel är de vanligaste säkerhetsstödjande systemen (såsom system för brandlarm, ventilation, fast släcksystem, styr- och övervakning och trygg- och säkerhetskameror) utformade på sådant sätt att de i huvudsak kan bidra med information om branden. Några av systemen kan i viss mån också användas för att lokalisera var personer befinner sig men då huvudsakligen i ett tidigt skede innan röken i tunneln gör det svårt att observera personers närvaro och position. Även vissa typer av IR-tekniker kan användas för att lokalisera personer i en rökfylld miljö.

Om det finns personer kvar i en väg- eller järnvägstunnel och var dessa befinner sig är sannolikt faktorer som kan förväntas ha ett avgörande inflytande på hur räddningsinsatsen utvecklas, och i förlängningen räddningstjänstens möjligheter att assistera utrymningen. Ett system för positionering av utrymmande människor bedöms därför vara en teknisk installation som i stor utsträckning kan bidra till att öka både möjligheterna till utrymning vid brand och till effektivare räddningsinsatser.

I projektet har ett sådant system, som bygger på positionering med hjälp av smarta mobiltelefoners wifi-funktion, testats under realistiska förhållanden i en vägtunnel. Försöken genomfördes i samband med en planerad avstängning i en av Trafikverkets vägtunnlar i Stockholm. Syftet var att undersöka vilka förutsättningar systemet har att fungera för att positionera personer i en vägtunnel. Målet var i första hand att undersöka hur nära en wifi-predikerad position är en verklig position och om det finns möjligheter att avgöra i vilken riktning personen förflyttar sig. Målet är vidare att utreda om positioneringssystemet i framtida praktiska tillämpningssammanhang kan användas som underlag för beslut dels av trafik- eller driftledningscentraler (såväl vid normal drift som i en nödsituation), dels av räddningstjänsten vid insats.

Försöken genomfördes i oktober 2021 i Sicklatunneln i Stockholm och totalt genomfördes 39 enskilda försök. En rad olika variabler ändrades mellan försöken såsom forskningspersonernas vägval i tunneln, antal samtidiga personer som förflyttar sig, hur mobiltelefonen hanteras (i handen eller i fickan), närvaron av hinder i tunneln och sättet som mobiltelefonen kommunicerar med de närvarande accesspunkterna. Under försöken användes inte forskningspersonernas egna mobiltelefoner utan varje forskningsperson utrustades med apparater som fungerar på samma sätt som en mobiltelefon, varje forskningsperson bar med sig två apparater. Motivet till de utbytta mobiltelefonerna var för att av integritetsskäl inte kunna koppla en privatägd mobiltelefon till en specifik individ. Wifi-nätet skapades med hjälp av 20 accesspunkter som placerades med 10 meters avstånd, längs med tunnelns båda sidor, utmed försöksområdet som var cirka 110 meter i ett tunnelrör. De verkliga positionerna för forskningspersonerna dokumenterades med hjälp av videokameror. Totalt deltog 16 personer.

Resultaten från försöken visar på en relativt stor avvikelse mellan en mobiltelefons (egentligen de använda mobiltelefonapparaterna som användes som ersättning) verkliga position i tunneln och den position som wifi-systemet predikterar. Avvikelse mellan predikerad och verklig position bestämdes ungefär var femte sekund under respektive försök.

Avvikelsen var i genomsnitt i storleksordningen 20 meter och avvikelsens variation är även den förhållandevis stor. Anledningen till den något större avvikelse än vad som var förväntat är sannolikt knuten till den tekniska förmågan i de accesspunkter som användes. Positioneringen baserades på s.k. trilaterering som använder signalstyrkan som accesspunkten uppfattar som utgångspunkt att bestämma avstånd till en mobiltelefon. När signalstyrkan varierar får det en stor inverkan på avståndsbedömningen vilket sammantaget leder till en osäkerhet i positioneringen när data från flera accesspunkter samverkar för att prediktera en position. Det var inte någon större variation i avvikelsen beroende på försökens förutsättningar.

Bland annat undersöktes även hur en mobiltelefons uppkopplingsfrekvens påverkar möjligheten att positionera en person. Detta är viktigt då det skiljer sig om mobiltelefonen har en aktiv uppkoppling mot wifi-nätet eller om den bara har en passiv uppkoppling. Det mest sannolika är att passiv uppkoppling är vanligast då den aktiva uppkopplingen kräver att användaren anslutit sig till tunnelns wifi-nät liknande som görs på en arbetsplats eller i bostaden. Konsekvensen av att ha en passiv uppkoppling påverkar inte precisionen i positionen för mobiltelefonen men däremot antalet uppkopplingar per tidsenhet. Det blir således svårare att tillförlitligt positionera en passivt uppkopplad telefon. Det kan även konstateras att användning av fler accesspunkter inte per automatik leder till en bättre precision. De flesta analyserade försöken inkluderade enbart hälften av accesspunkterna för positioneringen, något som gav mindre avvikelse jämfört med fallet då samtliga accesspunkter användes. Sannolikt beror detta på det känsliga sambandet mellan avstånd och signalstyrka.

Trots den något större avvikelsen mellan verklig position och predikterad position kan systemet ändå ses som användbart för att lokalisera personer i en tunnel. Orsaken till detta är att generellt är avståndet långa i tunnlar och en felmarginal på ett tiotal meter när avståndet mellan utrymningsvägar vanligen är cirka hundra meter eller mer påverkar inte underlaget för beslut så mycket. Sett över en kortare tid finns det även möjligheter att identifiera i vilken riktning en person eller en grupp förflyttar sig.

En inledande tanke med försöken var att också undersöka möjligheten att använda tekniken för datainsamling av förflyttningsparametrar. Traditionellt används observationer i kombination med videoanalys för att bestämma personers gånghastighet, flöden genom dörrar och liknande, något som behövs för modellering av personer förflyttning. Med tanke på precisionen i positioneringen av wifi-apparaterna kan det konstateras att noggrannheten inte når den nivå som behövs för att ersätta dagens tekniker för datainsamling.

Försöken ska ses som en del i ett inledande arbete med att kartlägga teknikens möjligheter. Till de aspekter som inte undersökts och som kan påverka möjligheten att positionera personer med mobiltelefonens hjälp är att brandrök kan komma att påverka signalerna som används för positionering. Det finns vidare tekniskt sett bättre utrustning för att skapa wifi-nätverket som bidrar till att förbättra möjligheten att positionera personen. Vidare kommer det att finnas ett behov av att kunna skilja på signaler som härrör från en mobiltelefon som någon bär på från en wifi-apparat i en surfplatta eller i ett fordon. Det återstår således en del arbete innan det går att förkasta tekniken och som nämnts, det finns sannolikt en potential för att höja personsäkerheten vid brand i tunnlar med hjälp av wifi-positionering.

Summary

Generally speaking, it is more difficult for people to self-evacuate or otherwise get to safety in the event of a fire in a road or rail tunnel compared to in a building above ground. At the same time, it is also more difficult for the emergency services to carry out an efficient and safe rescue intervention in the event of a tunnel fire. In a tunnel, the most common safety support systems (such as fire alarm systems, ventilation, fixed fire fighting system, monitoring and security cameras - CCTV) are designed in such a way that they can mainly contribute with information about the fire. To some extent, some of these systems can also be used to locate where people are, but then mainly at an early stage before the smoke in the tunnel makes it difficult to observe people's presence and position. Also some IR techniques can be used to identify people in a smoke-filled environment.

If there are people trapped in a road or railway tunnel and, in that case, where they are located are likely factors that can be expected to have a decisive influence on how the rescue operation develops, and also on the rescue service's ability to assist the evacuation. A system for locating people evacuating is therefore considered to be a technical installation that can largely contribute to increasing both the possibilities for a safer evacuation in the event of a fire and to more efficient rescue interventions.

In the project, such a system, which is based on localization using the Wi-Fi function of smart mobile phones, has been tested under realistic conditions in a road tunnel. The test was carried out in connection with a planned shutdown in one of the Swedish Transport Administration's road tunnels in Stockholm. The purpose was to investigate the conditions for the system to locate people in a road tunnel. The goal was primarily to investigate how close a wifi-predicted position is to a real position and whether it would be possible to determine in which direction the person is moving. The goal is further to investigate whether the localization system in a future practical application context can be used as a basis for decisions partly by traffic/operations control centers (both during normal operation and in an emergency situation), partly by the rescue services during an operation.

Experiments were conducted in October 2021 in the Sickla tunnel in Stockholm and a total of 39 tests were conducted. Several variables were changed between the tests, such as the route chosen by the research subjects in the tunnel, the number of people moving at the same time, how the mobile phone is kept (in the hand or in the pocket), the presence of obstacles in the tunnel and the way the mobile phone communicates with the access points present. During the experiments, the research subjects' own mobile phones were not used, but instead each research subject was equipped with devices that worked in the same way as a mobile phone, each research subject carried two such devices. The motive for not using the subjects' own mobile phones was to not be able to connect a privately owned mobile phone to a specific individual for privacy reasons. The Wi-Fi network was created using 20 access points that were placed 10 meters apart, along both sides of the tunnel, along the test area, which was approximately 110 meters in a single tunnel tube. The actual positions of the research subjects were documented using video cameras. A total of 16 people participated.

The results of the tests show a relatively large deviation between a mobile phone's (actually the devices that were used as a replacement) real position in the tunnel and the position predicted by the Wi-Fi system. Deviation between predicted and actual position was determined approximately every five seconds during each test.

The deviation was on average in the order of 20 meters and the deviation's variation is also relatively large. The reason for the somewhat larger deviation than was expected is most likely linked to the technical ability of the access points that were used. The localization was based on a so-called trilateration that uses the signal strength perceived by the access point as a way to determine the distance to a mobile phone. When the signal strength varies, it has a large impact on the distance assessment, which overall leads to an uncertainty in the localization when data from several access points work together to predict a position. There were only small variations in the deviation depending on the conditions of the experiments.

Among other things, it was also investigated how a mobile phone's connection frequency affects the ability to locate a person. This is important as it differs if the mobile phone has an active connection to the Wi-Fi network or if it only has a passive connection. The most likely that a passive connection is more common, as the active connection requires the user to connect to the tunnel's Wi-Fi network, similar to what is done at a workplace or in the home. The consequence of having a passive connection does not affect the precision in the position of the mobile phone, but rather the number of connections per time unit. It thus becomes more difficult to reliably locate a passively connected phone. It can also be stated that using more access points does not automatically lead to better precision. Most of the analyzed trials included only half of the access points for the localizations, which gave less deviation compared to the case when all access points were used. This is likely due to the sensitive relationship between distance and signal strength.

Despite the somewhat greater deviation between real position and predicted position, the system can still be seen as useful for locating people in a tunnel. The reason for this is that distances are generally long in tunnels and a margin of error of about ten meters when the distance between escape routes usually is around 100 meters or more does not affect the basis for decisions that much. Seen over a shorter period of time, there is also an opportunity to identify the direction in which a person or a group is moving.

One of the objectives was to investigate the possibility of using the wifi technology for data collection of movement parameters. Traditionally, observations are used in combination with video analysis to determine people's walking speed, flows through door openings and similar, something that is needed for modeling movement of people. However, the precision of the positioning of the Wi-Fi devices does not reach the accuracy needed to replace today's data collection techniques.

The trials should be seen as part of an initial work to map the technology's possibilities. Among the aspects that have not been investigated and which may affect the possibility of locating people with the help of the mobile phone is that fire smoke may affect the signals used for localization. Also, equipment with higher performance for creating the Wi-Fi network helps to improve the possibility of locating the person. There is also a need to distinguish a Wi-Fi-signal from a smart phone carried by a person from a fixed device in a car or tablet. There is thus some work left before the technology can be rejected and, as mentioned, there is likely a potential to increase personal safety in the event of a fire in tunnels with the help of Wi-Fi localization.

1. Inledning

Det aktuella projektet syftar övergripande till att undersöka möjligheten att positionera personer i en tunnelmiljö där brand utbrutit. Med begreppet positionera avses att finna positionen i en tunnel för en bestämd individ. Tanken är att tunneloperatörer och räddningstjänst ska kunna lokalisera var personer befinner sig i tunneln med syftet att underlätta räddningsinsatser och kunna styra tunnelns säkerhetssystem såsom dess ventilationssystem. Principen är att positioneringen ska genomföras med hjälp av personernas mobiltelefoner som kontinuerligt kopplar upp sig mot en befintlig it-infrastruktur. I det aktuella fallet undersöks en teknik som bygger på wifi-kommunikation mellan accesspunkter i tunneln och användarens mobiltelefon. Med wifi avses den teknik som används för trådlös kommunikation mellan en mobiltelefon, dator eller liknande och ett trådlöst nätverk. Det är ett vanligare begrepp än WLAN (Wireless Local Area Network) som är ett annat begrepp för samma teknik. Det finns en rad olika tekniker för trådlös kommunikation men wifi-tekniken är sannolikt den vanligaste.

I projektet ingår en sammanställning av olika kommunikationstekniker, vilka redovisas i en separat rapport av Fridolf, Frantzich och Liljestrand [1], samt en experimentell del som redovisas i föreliggande rapport. Den inledande sammanställningsrapporten beskriver möjligheten att positionera en individ med de olika teknikerna som presenteras. Den experimentella delen har genomförts som ett kontrollerat laborieförsök i en befintlig vägtunnel. Det innebär att miljön för försöken varit realistisk och representativ för den miljö som tekniken i en framtid kan komma att användas i.

1.1. Brandteknisk bakgrund

Säkerhet i undermarksanläggningar för väg- och järnvägstrafik, det vill säga väg- och järnvägstunnlar, är i stor utsträckning förknippat med vilka tekniska egenskaper dessa byggnadsverk har med avseende på säkerhet i händelse av brand. Det gäller i synnerhet de tekniska egenskaper som påverkar dels vilka möjligheter människor som vistas i dessa anläggningar har att självutrymma eller på annat sätt sätta sig i säkerhet, dels vilka möjligheter räddningstjänsten har att utföra effektiva räddningsinsatser med tillfredsställande säkerhet. Att tillgodose möjligheter för utrymning är dock, i förhållande till vanliga byggnader ovan mark, i många avseenden besvärligare. I huvudsak beror det på att bränder i väg- och järnvägstunnlar kan förväntas att både utvecklas snabbare och bli större än i vanliga byggnader ovan mark [2-4]. Vid en inträffad brand i en väg- eller järnvägstunnel är det dessutom sannolikt att rök snabbt sprids i stora delar av tunnelsystemet. Därtill är det troligt att den typ av skiktning som normalt uppstår i vanliga byggnader (med en rökfylld zon överst, och en rökfri zon nederst) inte sker i en tunnel på grund av luft rörelser och att röken snabbt kyls ned mot tunnelns omslutande konstruktion.

En konsekvens av dessa förutsättningar är att människor som vistas i väg- och järnvägstunnlar kan tvingas till att utrymma under mycket svåra förhållanden, till exempel långa sträckor i tät rök med endast några meters siktsträcka [5-8]. Försvårande omständigheter är dessutom att väg- eller järnvägstunnelmiljön sannolikt utgör en okänd miljö för den som utrymmer till fots, att belysningsförhållandena kan vara dåliga (eller i en rökfylld miljö i det närmaste obefintliga), att avståndet till närmaste utrymningsväg kan vara långt och att det samtidigt kan vistas många andra personer i väg- eller järnvägstunneln. I förhållande till vanliga byggnader ovan mark är behovet av hjälp under utrymningen således ofta större.

Behovet av hjälp vid utrymning av väg- och järnvägstunnlar tillgodoses till vis del av räddningstjänstens insats och den valda taktiken i denna typ av byggnadsverk [9]. Problemet är dock att även räddningstjänstens insats är förknippad med stora svårigheter [8-12]. Bortsett från bristen på erfarenheter av att genomföra insatser i väg- och järnvägstunnlar (och de konsekvenser det innebär för val av taktik och metodik vid insats), utgörs den mest centrala insatsen oftast med ett begränsat antal angreppsvägar. Räddningstjänsten kommer således att sakna en fullständig överblick över olycksplatsen, liksom information att basera taktiska beslut på, i synnerhet i de inledande skedena av insatsen. I detta avseende har brist på information om vad det är som brinner, var det brinner, om det finns personer kvar i

byggnadsverket, och i så fall var, pekats ut som särskilda skadeplatsfaktorer i genomförda forskningsinsatser [9], [13].

Enskilda skadeplatsfaktorer kan ha ett avgörande inflytande på hur räddningsinsatsen utvecklas [9], [13] men i många fall kan information om dessa delges räddningstjänsten av en trafik-/driftledningscentral. En sådan trafikledningscentral kan med hjälp av olika tekniska system få information om den inträffade händelsen baserat på underlag och signaler från till exempel system för brandlarm, ett automatiskt släcksystem, styrsystem och övervakning samt trygghets- och säkerhetskameror (så kallade CCTV-system). Majoriteten av dessa system är dock utformade på sådant sätt att de i huvudsak kan bidra med information om branden. Trygghets- och säkerhetskameror kan förvisso förväntas bistå en trafik- eller driftledare med information om utrymningsförloppet, men främst i ett inledande skede av branden. Därefter kan sådan information främst erhållas i de delar av en väg- eller järnvägstunnel som inte är påverkad av brandrök. En av de mest prioriterade uppgifterna för en räddningstjänst blir således att fastställa om och var det fortfarande kan finnas personer kvar i tunneln som kan behöva assistans. För att kunna tillgodose detta behov kan system för att positionera personer vara en lösning som kan bidra till att öka såväl människors möjlighet att sätta sig i säkerhet som möjligheten för räddningstjänsten att bedriva en effektiv insats.

1.2. Positionering av människor

Det finns idag en rad, mer eller mindre utvecklade, tekniker för att positionera människor och deras förflyttning såväl utomhus som inomhus under normala förhållanden [14]. GPS-tekniken är den mest vanligt förekommande i utomhusmiljöer, men kan endast i begränsad omfattning utnyttjas vid positionering av människor inomhus och behöver då kompletteras med andra tekniker [15]. I väg- och järnvägstunnlar liksom andra typer av djupa undermarksanläggningar, såsom gruvor, med endast ett begränsat antal in-/utgångar utgör GPS-tekniken dock inte ett praktiskt tillämpbart alternativ för positionering av människor, inte ens då den kompletteras med andra tekniker.

För att fastställa en persons position i olika typer av inomhusmiljöer används därför vanligen andra tekniker än GPS. Vilken som är lämpligast att använda i en viss tillämpning beror bland annat på behovet av detaljeringsgrad, precision, räckvidd, responstid och tillförlitlighet. Positionering med hjälp av Bluetooth, RFID och wifi är i detta sammanhang olika exempel på tekniska lösningar med förhållandevis hög teknologimognadsgrad avseende positionering av människor under normala förhållanden. RFID-tekniken har till exempel under längre tid tillämpats i gruvindustrin för att övervaka gruvarbetares läge i de många gånger långa och djupa nätverken av tunnlar som förekommer i denna typ av verksamheter [16]. Tekniken innebär i korthet att anställda förses med en RFID-bricka vilken, varje gång en läsare passerar, sänder en signal med information som loggas i ett datasystem. Positioneringen kan ske genom att se vid vilka passageläsare som registrerat en RFID-bricka och i vilken ordning registreringarna sker. Tekniken innebär således att en form av zonidentifiering ska göras, personen kan sägas befinna sin inom en viss zon.

Bland annat på grund av att RFID-tekniken är förhållandevis dyr, inte erbjuder övervakning i realtid (utan endast information om när någon passerar en viss plats) och att den har begränsad räckvidd har den endast begränsade förutsättningar att kunna användas för att positionera människor med den precision som behövs i händelse av brand. I synnerhet när det handlar om positionering av människor i publika utrymmen eftersom de kan förväntas sakna den nödvändiga RFID-brickan. Det aktuella kunskapsläget om inomhuspositionering av människor i händelse av brand är emellertid mycket begränsat [17], vilket gör att erfarenheter och praxis av andra lämpliga tekniska lösningar i stor utsträckning saknas.

I en inomhusmiljö kan det i stället vara wifi-tekniken som har den största potentialen att positionera personer till olika platser. Tekniken finns tillgänglig och utrustning monteras ofta i offentliga miljöer. Positioneringen av människor sker i dessa fall med hjälp av smarta telefoners wifi-funktion. Tekniken är idag dessutom en verifierad och validerad datainsamlings teknik som bland annat tillämpas i kommersiella sammanhang för att till exempel beskriva hur många besökare som tar sig till en viss del i ett köpcentrum, hur länge de stannar där och vilka som är de vanligaste gångstråken [18]. Den bygger på och utnyttjar att smarta telefoner kontinuerligt skickar signaler till omgivande nätverk (till nätverkets mottagarenheter, s.k. accesspunkter) som de är eller inte är anslutna till; signaler med information om enheten och signalstyrka

som genom triangulering eller trilaterering fastställer dess position. Det finns även statistiskt säkerställda metoder för att uppskatta bortfallet, det vill säga det antal personer som kan förväntas ha stängt av wifi-funktionen.

Det som är av intresse för möjligheten att positionera personer är med vilken noggrannhet det kan ske samt för att kunna bedöma i vilken riktning en individ rör sig. Detta är en tillämpning som är av stort intresse i en tunnelmiljö där räddningstjänsten vill veta inte bara var personen är utan också vart personen rör sig samt hur många personer det kan handla om. Det finns forskning som menar att precisionen för vissa tillämpningar kan vara på några meter när [19]. Artikelnen går igenom ett antal olika tekniker för positionering och redogör för typiska problem i samband med lokalisering med wifi-tekniken. Exempel på sådana problem som påverkar precisionen är att radiosignaler inte alltid överförs via kortaste avståndet utan reflekteras i omgivningen. Även om inte en perfekt överensstämmelse mellan en verklig position och den som wifi-tekniken förutsätter finns det sannolikt goda förutsättningar för en praktisk tillämpning. En överblick av den tillgängliga tekniken för positionering redovisas även i rapporten som Fridolf, Frantzich och Liljestrand skrivit [1].

Ett näraliggande forskningsområde som skulle kunna ha nytta av tekniken handlar om insamling av data för att mäta personers gånghastighet och persontäthet i olika situationer. Denna typ av data har sedan 1950-talet utgjort underlag för att beskriva utrymningstider vid brand och även vid normala förutsättningar [20-22]. Simulering av förflyttning är ett forskningsområde som vuxit det senaste decenniet genom utveckling av simuleringsmodeller för normalflöden och för utrymning. Det underliggande datamaterialet är i många fall baserat på de ursprungliga sambanden mellan persontäthet och gånghastighet. Sedan några år tillbaka ifrågasätts dessa data då de baseras på en annan population än den som förekommer idag (med avseende på en ökande andel åldrande och överviktig befolkning, etc.) [23-25]. Behovet av en tillförlitlig och valid metod för att positionera människor under insamling av data i empiriska forskningssammanhang är således stor, men har främst bestått av att observationer görs manuellt antingen direkt eller med hjälp av kamerautrustning även om vissa tekniker, såsom RFID-teknik, IR-teknik och Bluetoothteknik har testats på senare tid [26-28]. Det finns med andra ord en stor utvecklings- och framför allt effektiviseringspotential inom grundforskningsområdet för att med hög precision kunna positionera människor utan att behöva använda videoinspelningar och bildanalys.

Inom räddningstjänstområdet pågår också forskning knuten till utveckling av ny teknik för positionering av räddningspersonal vid insatser [29-30]. Traditionellt sker sådan positionering manuellt via radiokommunikation genom att till exempel en rökdykare kommunicerar sin position över radio till en rökdykar- eller räddningsledare under pågående insats [17], [31]. Behovet av forskningen grundar sig bland annat i gällande arbetsmiljölågstiftning kopplat till rök- och kemdykning [32], och de aktuella frågeställningarna är i huvudsak förknippade med hur positioneringstekniken kan utnyttjas för att räddningsinsatser ska kunna genomföras med tillfredsställande säkerhet i undermarksmiljöer med särskilt långa inträngningsvägar. Den teknik som identifierats som lämpligast i detta sammanhang är en radiokommunikationsteknik som innebär att räddningspersonalen, under pågående insats, skapar ett så kallat ad hoc-nätverk genom att sprida ut kommunikationsenheter längs med insatsvägen [29]. Positioneringen sker sedan genom att dessa kommunicerar med utrustning som räddningspersonalen har på sig. Även här finns en potentiell utvecklingsmöjlighet genom att använda redan installerad wifi-teknik som en räddningsinsats kan ha nytta av.

I litteraturen omnämns även potentialen i att utnyttja smarta telefoner för att öka människors möjligheter att sätta sig i säkerhet [33-34]. Förinstallerade applikationer som utnyttjar information om enhetens lokalisering och som illustrerar närmaste/bästa vägen till en säker plats, utgångar som är blockerade och utrymmen i en byggnad som är direkt brandpåverkad, etc., har till exempel testats, dock i begränsad omfattning och i förhållandevis kontrollerade miljöer med medvetna/informerade personer, såsom i kontor [17]. Tillämpningen har främst inriktats mot att aktivt styra fasta installationer i en byggnad, främst vägledande markeringar [35]

Ett system för att positionera utrymmande personer i väg- och järnvägstunnlar i händelse av brand bör inte bygga på att de själva eller räddningstjänsten under den pågående insatsen ska bygga en temporär

infrastruktur för positioneringssystemet. Det kan heller inte förutsätta att den som behöver positioneras på förhand aktivt ska ha aktiverat eller anslutit sig till en redan existerande infrastruktur. En grundläggande, hållbar utgångspunkt för ett fungerande positioneringssystem i en väg- och järnvägstunnel är i stället att den byggda miljön och infrastrukturen på förhand har anpassats för användaren och de särskilda behov och förutsättningar som kommer att råda i en utrymningsituation. Fördelen med att använda en befintlig wifi-teknik är att den finns inbyggd i de flesta mobiltelefoner, s.k. smarta telefoner. En annan fördel är att tekniken relativt enkelt kan installeras i befintliga tunnlar då den inte är särskilt utrymmeskrävande.

Enligt Internetstiftelsen [36] äger 90 % av befolkningen över 12 år (år 2018) i Sverige en smart telefon. En positioneringsteknik som bygger på wifi-tekniken och som utnyttjar varje enhets (smarta telefons) unika identifikationsnummer (MAC-adress) och signalstyrka (RSSI) för att beräkna enhetens ungefärliga avstånd från en mottagare är således en teknik med en potential att fungera vid en utrymning från en väg- eller järnvägstunnel. Det eftersom majoriteten av de utrymmande redan kan förväntas bära med sig en del av den tekniska utrustning som behövs för själva positioneringen och att kommunikationen sker med ett standardiserat protokoll. Därtill finns inget behov av förinstallerade applikationer eller motsvarande i telefonen.

Mot bakgrund av ovan bedöms det finnas förutsättningar för tekniken att fungera även i de förhållandevis enkla geometrier som väg- och järnvägstunnlar utgör. Det finns därför en anledning att undersöka om tekniken är tillämpbar och vilka begränsningar som kan identifieras i en praktisk situation i den aktuella miljön. Med kunskap om teknikens begränsningar och var som påverkar noggrannheten vid positionering av individer kan det förmodas att en trafik-/driftledningscentralen skulle kunna använda informationen om mobiltelefoners positioner som underlag för beslut om val och aktivering av åtgärdsplaner samt öka möjligheten för en effektiv räddningsinsats.

1.3. Syfte

Syftet är att undersöka förutsättningar att positionera personer i en väg- eller järnvägstunnel med hjälp av personens smarta telefoners wifi-funktion, dels vid normal drift, dels vid utrymning i händelse av brand.

1.4. Mål

Målet är i första hand att genom realistiska försök i en vägtunnel undersöka noggrannheten i ett positioneringssystem som bygger på wifi-tekniken för att bedöma om tekniken kan användas som underlag för beslut dels av trafik-/driftledningscentraler (såväl vid normal drift som i en nödsituation), dels av räddningstjänsten vid insats.

Målet är också att utreda om, och i så fall under vilka omständigheter, samma positioneringssystem kan utnyttjas som datainsamlingsteknik i framtida forsknings sammanhang för att både underlätta och effektivisera samt öka noggrannheten vid empiriska studier av människors förflyttning.

1.5. Metod

Målet ska uppnås genom att utföra en rad försök i en vägtunnel där forskningspersoner rör sig utifrån ett antal förutbestämda scenariobeskrivningar. Forskningspersonerna bär en apparat som motsvarar en smart mobiltelefon och denna ska för varje individ kunna positioneras med hjälp av en vald wifi-teknik. Positioneringen med hjälp av wifi-tekniken sker genom en analys av insamlat material efter genomförda försök. Valet att använda en apparat som motsvarar en smart mobiltelefon om inte forskningspersonens egen telefon göra av integritetsskäl.

Under försöken dokumenteras forskningspersonernas verkliga positioner i tunneln med hjälp av videospelning för att i en senare analys kunna jämföra den fysiska positionen med den som erhålls från positioneringen med wifi-tekniken. Försöken genomförs i en verklig vägtunnel för att så långt som möjligt efterlikna realistiska förhållanden som kan förekomma i denna miljö. På det viset kan yttre faktorer som

kopplas till miljön hållas konstanta under samtliga försök. Avsikten är att undersöka olika förekommande scenarier som kan uppstå i samband med tunnelbränder där utrymning kan bli nödvändig.

Under försöken installeras infrastrukturen för det positioneringssystem som ska testas. Utgångspunkten är att systemet ska testas dels i ett sammanhang med många personer på en liten yta, dels med få personer på motsvarande yta (till exempel för personer som utrymmer en buss i en riktning, och personer som utrymmer bilar i en annan). För att kunna analysera systemets mätnoggrannhet är utgångspunkten vidare att systemet ska undersökas under två anslutningsförutsättningar:

1. På sådant sätt som datainsamlingen sker i andra liknande sammanhang där tekniken används, det vill säga utan en aktiv anslutning till wifi-nätverket som har personens medgivande (passiv avlyssning).
2. Med fullständigt medgivande till anslutning från medverkande personer, dvs. där en aktiv anslutning skett till wifi-nätverket (aktiv avlyssning).

Även om en aktiv anslutning till ett datanätverk inte skett förekommer radiotrafik mellan nätverket och den smarta telefonen. Men mätnoggrannhet, bortfall, effektivitet med avseende på parametrar och variabler som beskriver människors förflyttning (såsom vägval, gånghastighet, gångriktning och persontäthet) kan förväntas vara högre om datainsamlingen sker med en aktiv anslutning vilket innebär att datatrafiken sker mer frekvent.

1.6. Avgränsningar och begränsningar

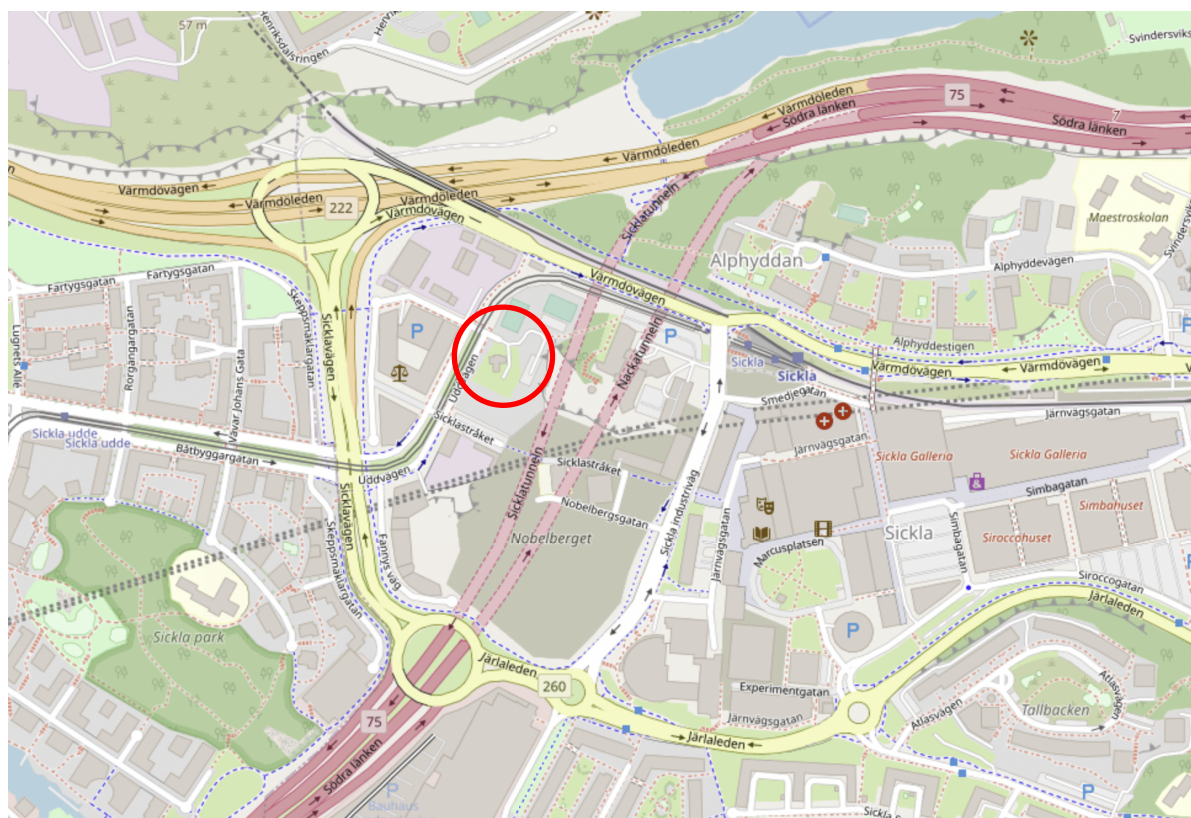
Rapporten omfattar en redovisning av de försök som genomfördes i Sicklatunneln 2021. Den ska därför ses som en teknisk redovisning och inkluderar således endast en begränsad reflektion av tidigare forskning. Försöken ska heller inte ses som en utvärdering av övriga tekniska system som i dagsläget finns i tunneln då de inte bidrar till resultaten från försöken. Valet av försöksplats innebär en viss begränsning av generaliserbarheten men resultaten bedöms ändå vara relevanta för en tunnelmiljö då liknande förutsättningar finns mellan olika väg- och järnvägstunnlar även om bland annat geometriska förhållanden skiljer sig åt. Beslutet att genomföra försöken i Sicklatunneln i Stockholm grundar sig främst i att tunneln var lämplig för ändamålet och var tillgänglig under den aktuella tiden för projektet.

Den tekniska utrustningen för wifi-kommunikationen som användes i försöken valdes för att den skulle vara enkel att montera under den tillgängliga förberedelse tiden men ändå tillämpbar för projektets syfte och mål. Förutsättningarna leder dock till att en något enklare teknik användes även det finns annan teknik som ger en bättre precision. Vidare var det nödvändigt att anpassa tekniken så att den gick att drivas av batterier vilket också motiverade den enklare tekniska lösningen. Konsekvensen av att använda mer avancerad teknik beskrivs vidare i diskussionen.

2. Försöksplats

2.1. Vägtunneln

Försöken genomfördes i Sicklatunneln som är en del av Södra Länken i Stockholm och samtidigt en del av riksväg 75. Sicklatunneln är det norra tunnelröret i den östligaste delen av Södra länken och ansluter i söder mot Sickla trafikplats och i norr mot Värmdöleden, se figur 1. Figur 1 redovisar även platsen för Trafikverkets depå i Sickla, som användes som utgångspunkt för forskningspersonerna, de personer som deltog i försöken.



Figur 1. Sicklatunneln i Stockholm. Inringat är Trafikverkets depå.

Sicklatunneln är cirka 500 m lång och har förbindelse med det parallella tunnelröret, Nackatunneln, via fem tvärförbindelser. Dessa är numrerade 1–5 med start från södra mynningen och tvärförbindelserna utgör utrymningsvägar från tunneln. Avståndet är cirka 100 meter mellan tvärförbindelserna vid platsen där försöken genomfördes (mellan utgång 2 och utgång 4). Tunneln har två körfält och båda är för södergående trafik. Tunneln lutar nedåt i körriktningen dvs. söderut. Försöksområdet har startpositionen nedanför utgång 4 i den övre delen av tunneln och sluttar således nedåt innan platsen för utgång 2 nås, d.v.s. i närheten av försöksområdets nedre gräns. Figur 2 visar en vy över tunneln sedd från norra sidan i riktning mot söder. De installationer och markeringar som syns i bilden förklaras i de följande avsnitten.

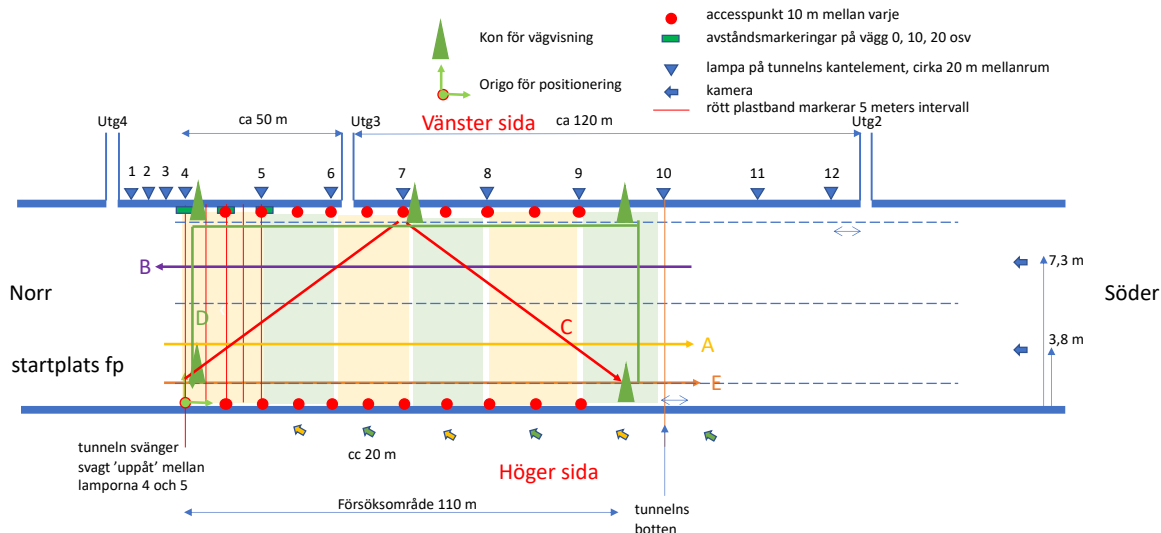


Figur 2. Bild som visar tunneln sedd från tunnelns norra sida i riktning mot söder. Första röd-vita markeringen anger försöksområdets begränsning mot norr.

Tunneln är vid försöksplatsen cirka 10,4 meter bred med två körfält á 3,7 meter (mätt i centrum av körfältsmarkeringen) och en vägren på vardera sidan. Längs högra sidan är vägrenen cirka 2 meter bred medan den på vänstra sidan är cirka en meter bred. I norra delen av försöksområdet är vägrenen något bredare men försöksområdet utnyttjar inte detta extra utrymme och utrustningens placering utgår från en vägren som är kontinuerligt en meter bred. På det viset skapas ett i princip rektangulärt försöksområde. Utanför vägrenen på vardera sidan finns kantelement placerade i tunnelns längdriktning som ger en slät yta längs med tunneln upp till ca 1,4 meter över marknivå. Monterat i kantelementen finns belysningsarmaturer fästa på den vänstra sidan. Tunnelns höjd är 6,7 meter upp till tunnelns takelement och fri tunnelhöjd är cirka 5,2 meter d.v.s. upp till de befintliga tekniska installationerna. Försöksområdet är cirka 110 meter långt vilket är området mellan de ytterst placerade accesspunkterna och 10 meter ytterligare i vardera riktningen, se figur 3.

2.2. Tekniska installationer och datainsamling

I tunneln finns tekniska installationer för den normala verksamheten. Bland annat var tunneln under försöken upplyst med den normala tunnelbelysningen. Nivån för belysningen var i högsta belysningsläget för att medge god belysning och inte utsätta forskningspersonerna för onödiga risker. Försöken har inte varit avsedda att undersöka någon inverkan av olika belysningsförhållanden och nivån på belysningen är därför inte uppmätt. Övriga installationer i tunneln används inte för försöken. Figur 3 visar schematiskt den aktuella delen av Sicklatunneln med det inritade försöksområdet.



Figur 3. Förenklad bild av försöksområdet i Sicklatunneln. Gula och gröna band utefter försöksområdet indikerar kamerornas ungefärliga täckningsområden.

Figur 3 visar placering av olika försöksinstallationer och hur försöksområdet placerats i förhållande till tunnelns krökning och lutning. Från positionen "startplats fp" lutar tunneln nedåt mot söder till lägsta punkten strax utanför försöksområdets södra avgränsning. Tunneln är i övrigt nästan rak mellan startplatsen och tunnelns botten. Den normala körriktningen för bilister i tunneln är från norr till söder.

I figuren visas även gula och gröna markeringar, dessa illustrerar ungefärligen den del som respektive videokamera kunde dokumentera. Videokameran på höger sida längst mot norr kan således dokumentera det gula området längst mot norr. De färgade markeringarna fanns inte fysiskt i tunneln.

2.2.1. Wifi-apparater

Avsikten med försöken var att kunna positionera en användares mobiltelefon. Men för att undvika en möjlig konflikt med Dataskyddsförordningen (GDPR) [37], som bland annat reglerar hur insamlade data får hanteras, ersattes forskningspersonernas egna mobiltelefoner med batteridrivna wifi-apparater, figur 4. Apparaten motsvarar tekniskt sett den funktion som mobiltelefonen har när det gäller kommunikation med omgivande mottagare för en wifi-signal. Det innebär att varje wifi-apparat kommunicerar minst lika ofta som en mobiltelefon gör i det fall den är aktivt uppkopplad (aktiv lyssning) mot ett trådlöst wifi-nät. I det aktuella fallet skedde en kommunikation mellan wifi-apparaterna och accesspunkterna varje sekund. Detta är vanligen mer frekvent jämfört med hur en mobiltelefon kommunicerar. Men på det viset erhöles en kontrollerad uppkoppling och i den senare analysen används ett genomsnittsvärde av datamängden över varje 5-sekundersintervall för positioneringen. Den passiva lyssningen representeras i analysen av att endast ett mindre, slumpmässigt valt, urval inkluderas för positioneringen. Uppkopplingsfrekvensen för det fallet redovisas i avsnitt 6.3.

Varje forskningsperson bar på två wifi-apparater, en hölls i ena handen och den andra var placerad i forskningspersonens ena ficka. De två apparaterna till varje forskningsperson användes för att undersöka om placeringen av en mobiltelefon är viktig för positioneringen eftersom det kan variera mellan olika personer vid en verklig utrymning. Varje wifi-apparat var numrerad och varje forskningsperson hade wifi-apparater i nummerordningsföljd. Den apparat med lägst nummer var placerad i personens ficka och den andra med det högre numret i personens hand.

Wifi-apparaterna tillverkades inom ramen för projektet.



Figur 4. Wifi-apparat med batteri som användes under försöken för att representera en mobiltelefon.

2.2.2. Accesspunkter

För att kunna positionera forskningspersonerna fanns 20 stycken så kallade accesspunkter uppställda längs med försöksområdet, se figur 3. Accesspunkten är den apparat som kan kommunicera med de wifi-apparater som forskningspersonerna bar med sig under försöken. Accesspunkterna var av typen Teltonika RUT955, som även är en 4G-router med inbyggd GPS vilket således gör den till en lämplig accesspunkt för mobila mätningar. Varje accesspunkt var monterad i en skyddande låda som även innehöll ett batteri för driften. Varje låda var placerad på marken längs försöksområdets långsidor med 10 meters mellanrum. Räckvidden för en accesspunkt i förhållande till en wifi-apparat är mer än 10 meter vilket gör att hela försöksområdet kunde täckas in av minst två accesspunkter (en på vardera sidan av tunneln).

Varje accesspunkt var uppkopplad mot Bumble Labs server som tog emot kommunikationsdata från mobiltelefonapparaterna för de 20 accesspunkterna. Dessa var vidare geografiskt lokaliserade så de kunde beskriva det lokala koordinatsystemet som användes för jämförelsen mellan verklig position och wifi-baserad position. Koordinaterna som samlades in under försöken redovisades i RT/SWEREF kartsystem, vilka räknades om till det lokala koordinatsystemet i tunneln.

2.2.3. Videokameror

För att kunna dokumentera forskningspersonernas verkliga position under försöken fanns sex videokameror på stativ placerade på tunnelns kantelement längs med tunnelns högra sida, se figur 5. Videokamerorna var av traditionell hemmakameramodell av fabrikatet Sony. Placeringen av kamerorna framgår av figur 3 där de illustreras som små pilar i nedre delen och avståndet var cirka 20 meter mellan kamerorna. Varje kamera riktades mot ett specificerat område i tunneln, illustrerat i figur 3 som färgade ytor på försöksområdet. Den första kameran (gul pil i norra änden) dokumenterar den mest norra gula ytan i figur 3. Varje dokumenterad yta är cirka 20 meter lång och täcker i princip hela tunnelns bredd. Kamerorna var igång kontinuerligt under hela experimentet.



Figur 5. Videokamera för dokumentation.

2.2.4. Avståndsmarkeringar och övriga markeringar

Analysen av forskningspersonernas positioner i tunneln underlättades av fasta avståndsmarkeringar längs med tunnelns vänstra sida. Dessa var synliga från videokamerornas placeringar. Avståndsmarkeringarna var utplacerade var 10:e meter, figur 6. Vidare lades plastband ut tvärs över tunneln på var 5:e meter för att på det viset, tillsammans med väglinjerna, skapa ett rutnät som stöd för positioneringen baserat på videofilmerna. Plastbanden hade omväxlande röda och vita fält som vardera var 20 cm, figur 2.

För att underlätta för forskningspersonerna att förflytta sig längs de bestämda sträckorna fanns små plastkoner utplacerade. Dessa ställdes ut i början och slutet av försöksområdet d.v.s. vid starten och efter 110 meter från starten. Konerna stod på båda sidorna tunneln, cirka en meter från vardera väggen. Det primära syftet med konerna var att undvika att forskningspersonerna skulle svänga av för tidigt när de gick längs gångsträcka C. Det fanns även en kon vid vänstra sidan efter cirka 60 meter från starten för att hjälpa forskningspersonen att gå en rak väg längs med gångväg C, som löper snett över körbanorna.



Figur 6. Avståndsmarkering på vänstra sidan och en utplacerad accesspunkt.

2.2.5. Fordon

I ett av scenarierna fanns ett fordon (en minibuss) utplacerat i tunneln för att skapa en viss avskärmning för möjligheten att positionera forskningspersonen när denne passerade mellan bilen och tunnelväggen. Minibussen ställdes mitt i det högra körfältet mellan cirka 77 meter och 82 meter från startplatsen i norra delen av försöksområdet. Placeringen innebar att det blev cirka en meter utrymme mellan bilen och gångvägen (sträcka E som löper längs med körfältets yttre kantlinje) som forskningspersonen gick längs med.

3. Forskningspersoner

3.1. Rekrytering

Totalt deltog 16 personer i försöken. Dessa rekryterades bland brandtekniska konsulter i Stockholmstrakten samt från Brandforsk, LTH Brandteknik, Region Stockholm och Trafikverket. Rekryteringen genomfördes via personliga kontakter med respektive organisation och kriteriet för att få delta var att respektive person hade en på egen hand bedömd fysisk förmåga att röra sig obehindrat inom försöksområdet. Med tanke på sättet som forskningspersonerna rekryterades var samtliga forskningspersoner kända för försöksledningen.

Varje forskningsperson anmälde sitt intresse att delta via e-post till försöksledaren. Personen fick då utökad information om projektets genomförande via i det bekräftande e-brevet samt genom en s.k. forskningspersoninformation, se bilaga 1. Varje person kunde därmed ta ställning till sitt deltagande samt bekräfta sitt deltagande och i bekräftelsen ange sitt födelsedatum. Uppgiften om födelsedatum användes för att Trafikverket skulle kunna registrera besökare i tunneln. I informationen framgick var och när försöken skulle genomföras samt vilken skyddsutrustning som skulle komma att krävas (varselväst eller varseljacka samt skyddshjälm). Det framgick även hur försöken skulle dokumenteras.

3.2. Information och samtycke

Inför försökens genomförande samlades de deltagande forskningspersonerna utanför försöksplatsen och fick där ytterligare kompletterande information. Samtyckesblanketter fylldes i och de som hade behov av att låna skyddsutrustning fick denna. Varje person registrerades således med namn, e-postadress och födelsedatum. Informationen användes enbart för administration innan försöken och i efterhand för att distribuera ersättningen. Därutöver samlades personlig information in i form av de videofilmer som dokumenterade försöken.

3.3. Ersättning

Varje forskningsperson ersattes med 500 kronor i form av ett presentkort som kunde användas i ett stort antal butiker. Presentkortet skickades via e-post efter försökens genomförande. Vid försöken fanns även tillgång till vatten, frukt mm.

4. Försöksscenarier och genomförande

Totalt omfattade experimentet fyra olika scenarier där det i varje scenario ingår ett flertal olika försök. Inom ett scenario sker främst en variation i antal forskningspersoner som förflyttar sig i tunneln och vilken väg de tar. Vidare är flera försök repeterande. Det innebär att ett scenario karakteriseras av gångvägar för forskningspersonen eller gruppen med forskningspersoner, om personen eller personerna gör ett uppehåll i tunneln samt om det förekommer ett hinder i form av ett fordon i tunneln.

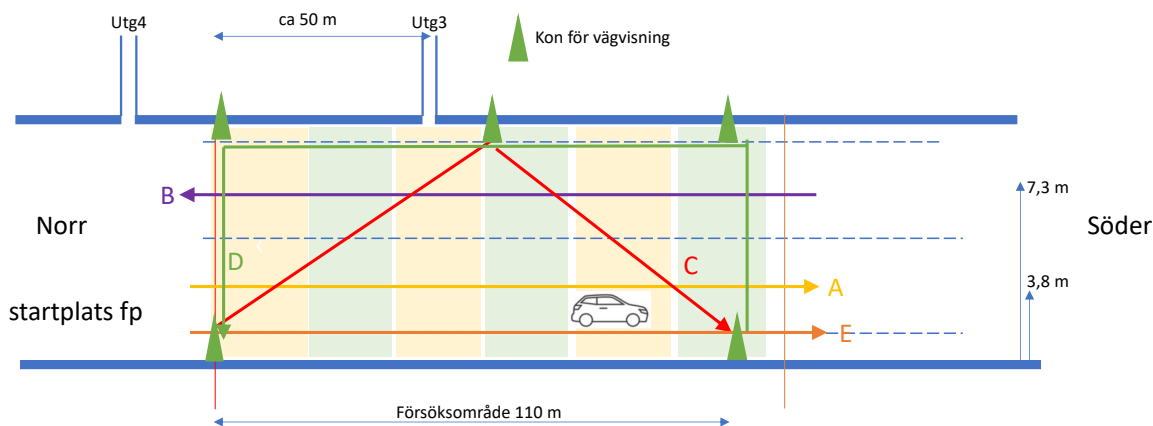
4.1. Gruppstorlek

Antalet forskningspersoner som genomförde ett enskilt försök varierade från en ensam individ till hela gruppen på 16 personer. I de fall fler än en forskningsperson deltog i ett enskilt försök deltog, 3, 5, 14 eller 16 forskningspersoner.

4.2. Gångvägar

Det fanns totalt fem olika gångvägar som forskningspersonerna kunde förflytta sig utmed, beroende på aktuellt scenario. Gångvägarna A och B användes för scenarierna 1 och 3. Gångvägarna C och D används för scenario 2 och gångvägen E användes för scenario 4. Figur 7 illustrerar de fem olika gångvägarna som ingick i de olika scenarierna. De deltagande uppmanades att gå så rakt som möjligt längs de anvisade vägarna. Gångvägarna A och B var nära mitten av de två körfälten i tunneln. Gångväg E följde höger körfälts linjemarkering på högra sidan. Gångvägarna C och D följde enbart delvis tunnelns naturliga sträckning, se figur 7.

Gångväg C innebar en sned förflyttning över tunnelns bredd och därför fanns koner utplacerade som utgjorde riktmärken så att en rak förflyttning ändå kunde ske. Även för gångväg D fanns koner utplacerade för att underlätta för forskningspersonerna att välja rätt väg och inte gena i närheten av riktningsändringar.



Figur 7. Gångvägar för de olika scenarierna.

4.3. Uppehåll i tunneln

Ett scenario (S3) kännetecknas av att forskningspersonen först går en sträcka, cirka 50–60 meter för att därefter göra ett uppehåll i tunneln. Personen stod då stilla i tunneln under en minut och gick därefter den avslutande delen av sträckan. Förflyttningen skedde i dessa fall utmed sträckorna A och B.

4.4. Hinder

I scenario 4 fanns ett fordon utplacerat i tunneln, se figur 7, och i det scenariot gick forskningspersonerna längs med sträcka E i tunneln.

4.5. Mobiltelefonens placering

Varje forskningsperson bar med sig två apparater som båda representerar mobiltelefoner: en hölls i handen och den andra placerades i forskningspersonens ficka. I varje försök finns det således data från varje forskningspersons båda apparater.

4.6. Försöksöversikt

Sammantaget genomfördes 39 olika försök, indelade i fyra scenarier, se tabell 1. I varje försök finns information från forskningspersonens båda apparater, se avsnitt 4.5.

I scenario 1 förflyttar sig forskningspersonerna längs sträckorna A respektive B. Scenariot består enbart av en rak förflyttning längs gångvägarna men kan ske med olika antal forskningspersoner per försök.

Scenario 2 har liknande förutsättningar som scenario 1 men med skillnaden att andra gångvägar används.

Scenario 3 omfattar försök där forskningspersonen gör ett uppehåll ungefär mitt i försöksområdet. Personen står då stilla ungefär en minut och fortsätter därefter.

Scenario 4 innehåller ett hinder i tunneln och i detta fall sker förflyttningen längs gångväg E

Tabell 1. Översikt för de försök som genomfördes. Markering med * anger att det är resterande forskningspersoner i gruppen. Scenarier som markerats med mörkare ton finns analyserade i rapporten.

Scenario	Försök #	Sträcka	Gruppstl	Paus	Hinder	Forskningsperson nr
S1	1	A	1	nej	nej	170
S1	2	A	1	nej	nej	173
S1	3	A	1	nej	nej	165
S1	4	A	5	nej	nej	163, 175, 177, 178, 162
S1	5	A	5	nej	nej	164, 169, 165, 172, 176
S1	6	A	3*	nej	nej	167, 168, 161
S1	7	B	1	nej	nej	177
S1	8	B	1	nej	nej	163
S1	9	B	1	nej	nej	178
S1	10	B	5	nej	nej	173, 165, 175, 162, 170
S1	11	B	5	nej	nej	168, 164, 169, 172, 176
S1	12	B	3*	nej	nej	166, 161, 167
S1	13	A	alla	nej	nej	alla
S1	14	B	alla	nej	nej	alla
S1	15	A	alla	nej	nej	alla
S1	16	B	alla	nej	nej	alla
S2	17	C	1	nej	nej	176
S2	18	C	1	nej	nej	170
S2	19	C	5	nej	nej	164, 165, 167, 168, 161
S2	20	C	5	nej	nej	177, 178, 163, 175, 162
S2	21	D	1	nej	nej	161
S2	22	D	1	nej	nej	168
S2	23	D	5	nej	nej	165, 167, 178, 175, 163
S2	24	D	5	nej	nej	177, 170, 176, 164, 162
S2	25	C	alla	nej	nej	alla
S2	26	D	alla	nej	nej	alla
S3	27	A	1	ja	nej	167
S3	28	A	1	ja	nej	175
S3	29	A	14*	ja	nej	resterande
S3	30	B	1	ja	nej	164
S3	31	B	1	ja	nej	162
S3	32	B	14*	ja	nej	resterande
S2	101	C	1	nej	nej	161
S2	102	C	5	nej	nej	173, 177, 170, 178, 172
S2	103	D	1	nej	nej	172
S2	104	D	5	nej	nej	161, 173, 177, 170, 178
S4	34	E	1	nej	ja	163
S4	35	E	1	nej	ja	178
S4	36	E	5	nej	ja	176, 177, 167, 168, 169

4.7. Genomförande

Försöken genomfördes natten mellan den 27 och 28 oktober 2021. Förberedande arbeten genomfördes natten innan men då utan forskningspersonerna närvarande. Temperaturen utomhus den aktuella försöksdagen var cirka 10 °C och det var i praktiken vindstilla i tunneln.

Samtliga inblandade personer samlades för en gemensam genomgång kl. 22.00 den 27:e oktober. Då delades utrustningen ut till samtliga forskningspersoner och de fick även skriva under samtyckesblanketten. Varje forskningsperson fick även tillgång till de två apparaterna som skulle representera två mobiltelefoner

samt nummerlappar att fästa på magen och på ryggen. Dessa användes för att identifiera forskningspersonerna på videofilmerna och för att sedan kunna identifiera positioneringsdata från mobiltelefonernas (wifi-apparaternas) positioner.

Därefter transporterades samtliga till försöksplatsen och försöken förbereddes. Tunneln var tillgänglig fram till ca kl. 02:00 men sista försöket avslutades cirka kl. 01:15 den 28 oktober.

Innan försöken startade placerades utrustningen ut, bland annat accesspunkter, videokameror, plastband, koner, avståndsmarkeringar. Plastbanden och avståndsmarkeringarna användes för att underlätta analysen av videofilmerna.

I starten av experimentet synkroniserades videokamerorna med en ljudsignal exakt kl. 23:45:00 och utifrån den signalen kunde senare videofilmerna förberedas så att de kunde betraktas synkroniserat med samma starttid.

Innan respektive försök informerades forskningspersonerna som deltog i respektive försök om vilka förutsättningar som gällde. De uppmanades även att hålla upp en nummerlapp med aktuellt försöksnummer som kunde registreras på videofilmerna. Forskningspersoner som inte deltog i ett försök befann sig cirka 10 meter utanför försöksområdet.

Försöken genomfördes i den ordning de presenteras i tabell 1.

5. Etiska överväganden

Enligt Lag (2003:460) om etikprövning av forskning som avser människor [38] ska forskning som utförs enligt "...en metod som syftar till att påverka en människa fysiskt eller psykiskt eller innebär en uppenbar risk att skada forskningspersonen fysiskt eller psykiskt..." godkännas vid en etikprövning. Ytterligare skäl anges i lagen men dessa är inte tillämpliga för den aktuella forskningen. Syftet är, som det uttrycks i lagtexten, att skydda den enskilda människan och respekten för människovärdet vid forskning.

Inför de aktuella försöken gjordes ingen formell etikprövning då ingen metod användes för att påverka forskningspersonen och det heller inte fanns någon uppenbar risk att forskningspersonen skulle komma till skada. Risknivån under samtliga försök bedömdes således som mycket liten utifrån rekryteringssättet, försökens upplägg och genomförande. Vidare var samtliga forskningspersoner helt införstådda med försökens genomförande och syfte. Däremot gjordes en intern etikprövning för att säkerställa personernas integritet och att risken för skador minimerades. Nedan redovisas de etiska överväganden som gjordes och vilken konsekvens dessa fick.

5.1. Hantering av personuppgifter

Hantering av personuppgifter kan utgöra en risk för psykisk skada. I det aktuella fallet var det främst genom möjligheten att personuppgifter i form av positioneringsdata från en mobiltelefon skulle kunna kopplas till en fysisk person. Tidigt i projektet beslutades det därför att inga privata mobiltelefoner skulle användas utan i stället fick varje forskningsperson bära en apparat som motsvarar en mobiltelefons kommunikation med en accesspunkt.

Under försökens gång skedde videoinspelningar av respektive forskningsperson när de passerade genom tunneln. Det finns en möjlighet att identifiera en forskningsperson på dessa inspelningar. Den informationen användes inte utan varje forskningsperson identifierades enbart med ett nummer. Kopplingen mellan forskningsperson och nummer sparades enbart tills att projektet var avslutat. Forskningspersonerna var dessutom helt kända av försöksledningen och inte några slumpmässigt utvalda personer från allmänheten. Detta gjorde att den bedömda risken för integritetskränkningen av att förekomma på en videofilm var liten det vill säga det bedömdes inte finnas en uppenbar risk att forskningspersonen skulle ta skada av att delta i försöken.

Videomaterialet som samlades in bearbetades enbart av en forskare i gruppen och hanteringen sker i övrigt enligt de rutiner som fastställts vid avdelningen för Brandteknik gällande dels hantering av försöksdata och dylikt efter genomfört försök som involverar människor (DNr 2015-012) och dels hantering av inspelat försöksmaterial som är föremål för etikprövning (DNr 2017-003).

5.2. Informerat samtycke

Samtliga forskningspersoner som deltog i försöken erhöll i förväg en skriven information som bland annat beskrev bakgrunden och syftet med försöken, hur förfrågan om deltagande genomförts, hur försöken rent praktiskt skulle genomföras, de förknippade riskerna och fördelarna av att delta, m.m. (se Bilaga 1: Forskningspersoninformation). Informationen gavs i en s.k. forskningspersoninformation, och det tydliggjordes att en forskningsperson när som helst under försökets genomförande skulle kunna avbryta deltagandet utan att därför gå miste om den utlovade ersättningen. Tillsammans med informationen i forskningspersoninformationen bifogades en samtyckesblankett som respektive forskningsperson var tvungen att skriva under innan sitt deltagande.

5.3. Upprepning av information och säkerhetsinstruktioner

Vid ankomst till försöksplatsen repeterade ansvariga forskare innehållet i forskningspersoninformationen för forskningspersonerna (i grupp). I samband med detta repeterades även det faktum att försöken var

frivilligt och att en forskningsperson när som helst kunde avbryta sin medverkan utan att gå miste om den utlovade ersättningen.

5.4. Åtgärder för minimering av risk för fysiska skador

Inför försökens genomförande vidtogs åtgärder inom försöksområdet för att minska risken för fysiska skador. Tunneln var vid tillfället avstängd för underhåll, även om inget underhållsarbete utfördes i det aktuella försöksområdet. Det innebar att tunnelns mynningar var avstängda med Trafikverkets s.k. TMA-bilar för att hindra otillåten passage genom tunneln. Vidare säkerställdes att tunneln inte innehöll lösa föremål som kunde innebära en snubblingsrisk. Tunnelbelysningen var under försöken påslagen och det gick hela tiden att ha uppsikt över tunnelns delar. En liten risk fanns att obehöriga fordon skulle kunna komma in i tunneln och för det fallet var närvarande forskare försedda med visselpipor och ficklampor för att varna forskningspersonerna och hantera ett eventuellt strömavbrott. En första-hjälpen-låda fanns tillgänglig om någon ändå skulle skada sig. Under genomförandet fanns två personer från Trafikverket närvarande. Samtliga personer som vistades i tunneln var försedda med varselklädet (jacka eller väst) samt skyddshjälm.

5.5. Försäkring

Samtliga forskningspersoner som deltog i försöken var försäkrade i en s.k. Särskild personskadeskyddsförsäkring (samling) från Kammarkollegiet. Försäkringen gällde under försöken, men även vid transport till och från försöksplatsen. Försäkringen motsvarar det skydd som anställda har vid arbetsskador och ersättning betalas bl.a. för personskada genom olycksfall eller vid sjukdom som drabbat den försäkrade under försäkringstiden.

6. Analys

Efter genomförda försök bestämdes forskningspersonernas positioner från de inspelade videofilmerna. Även positioneringen med hjälp av wifi-kommunikationen analyserades i efterhand. För det fallet prövades ett antal olika beräkningsmetoder för att hitta en metod som genererade en tillfredsställande precision vilken sedan användes för jämförelse mellan verklig position och beräknad position.

6.1. Positionering med wifi-data

6.1.1. Beräkningsmetoder - wifi positionering

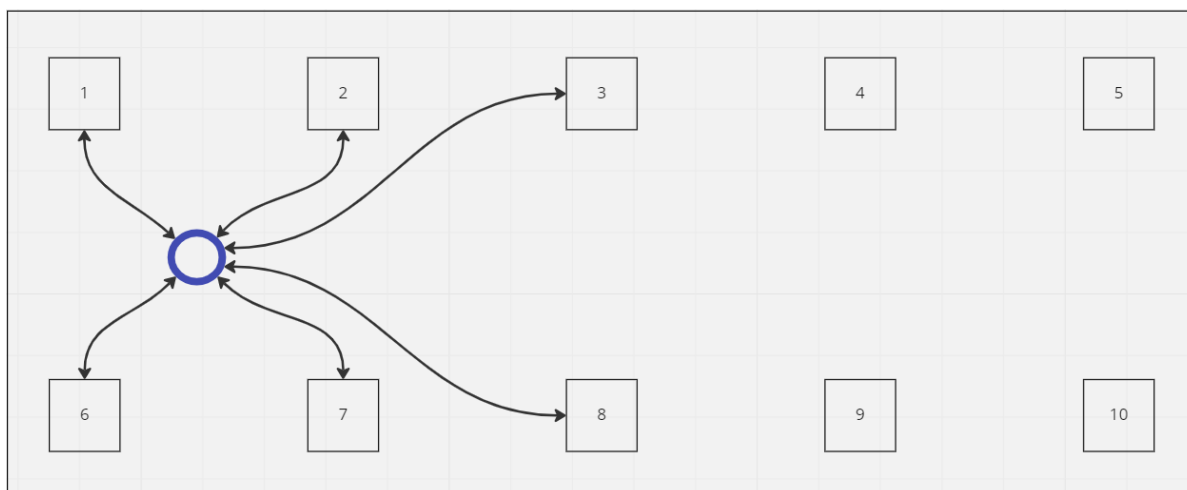
Att påbörja utvecklandet av metoder för att positionera telefoner med hjälp av wifi-positionering handlar till stor del om att välja beräkningstekniker eller positioneringsalgoritmer. Tidigare kända koncept som ofta är betraktade som standard i branschen är trilaterering eller triangulering, där trilaterering är vanligare. Den enskilt största skillnaden mellan trilaterering och triangulering är att trilaterering handlar om att hitta en position genom att beräkna distanser, medan triangulering hittar en position genom att beräkna vinklar och applicera dessa vinklar på redan kända distanser, se även [1] för en mer utförlig beskrivning.

För utvecklingen av beräkningsmetoden som skulle användas för wifi-positionering för det aktuella projektet ingick även utveckling av maskininlärnings-modeller. Specifikt så utvecklades neurala nätverk för att identifiera huruvida det är möjligt eller inte att genom att observera icke-linjära mönster mellan RSSI (wifi-signalernas signalstyrka), accesspunkternas placering och mobiltelefonapparaternas geografiska rörelse, för att finna positionen av respektive apparat.

Följande avsnitt beskriver mer i detalj hur positioneringen går till, principen bakom hur varje apparat kan positioneras med hjälp av RSSI-data. Beskrivningen utgår från ett exempel-scenario som visas i figur 8 nedan.

6.1.2. Grunden för wifi-positionering

Den här sektionen är tänkt att diskutera i mer detalj hur positioneringen går till, principen bakom att man med hjälp av några RSSI-data kan positionera en enhet i världen. Den kommer att utgå från ett exempel-scenario som visas i bilden nedan.

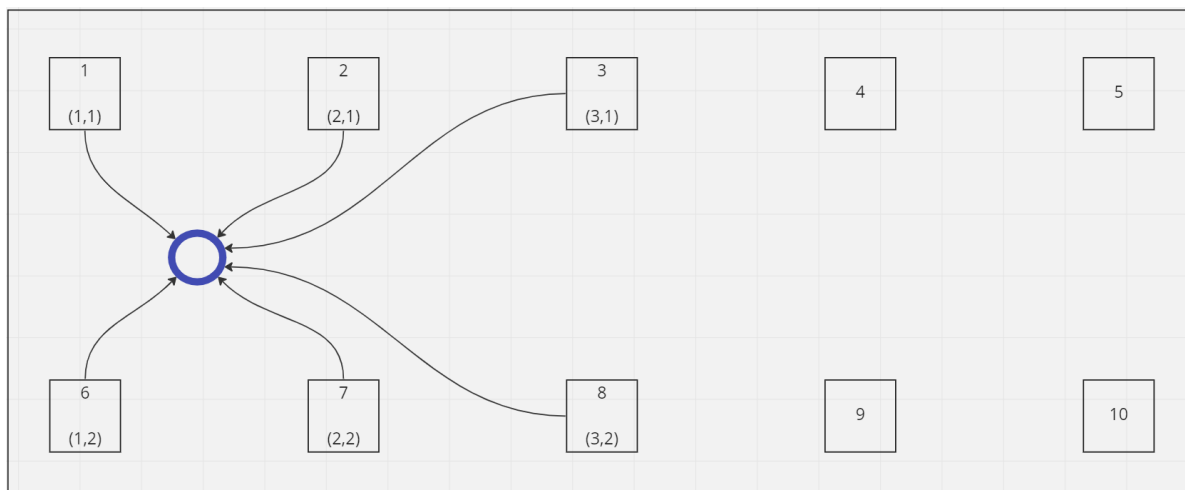


Figur 8. Figuren visar schematiskt principen för positionering med RSSI-data.

I figuren finns det 10 accesspunkter installerade, numrerade från 1 till 10, samt en blå cirkel som markerar en wifi-enhet. I exemplet uppfattar enheten sex accesspunkter (1, 2, 3, 6, 7 och 8) och vice versa. I praktiken innebär det att kommunikationen sker i båda riktningarna, wifi-enheten hör accesspunkterna, och accesspunkterna hör wifi-enheten. Som nämnts används ofta triangulering eller trilaterering för att

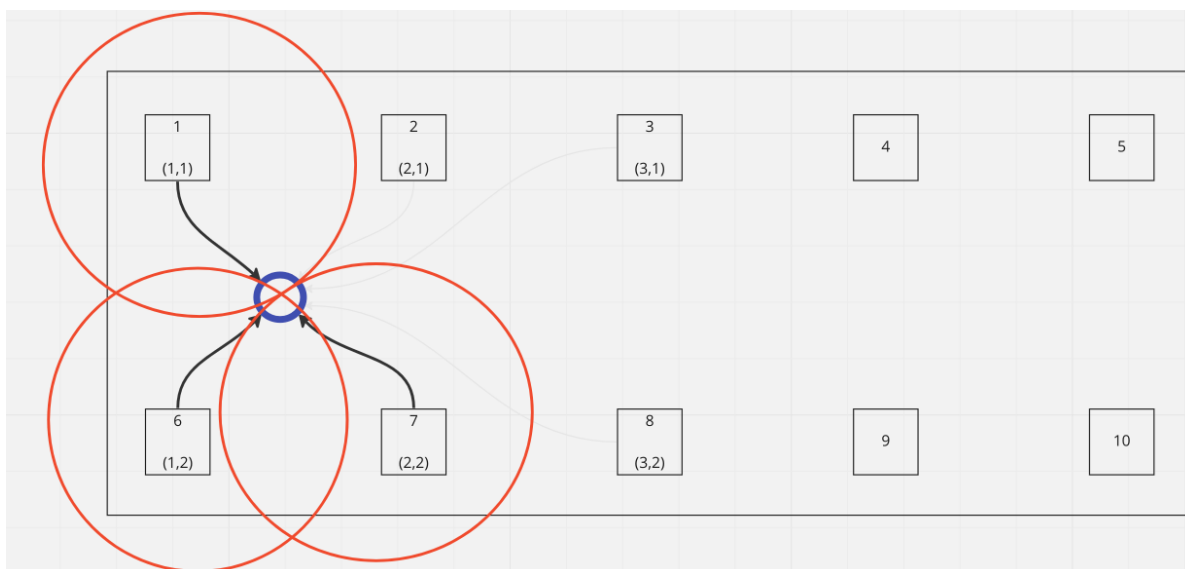
positionera med wifi (eller Bluetooth, satelliter eller telenätet), för att det är de enskilt lämpligaste metoderna. Genom att veta distanser men inte riktningar är trilaterering det lämpliga valet, då trilaterering syftar till att fastställa en position givet kända distanser till kända platser.

Nästa steg i analysen blir således att definiera de kända platserna det vill säga platsen för de aktuella accesspunkterna. I figur 9 har accesspunkterna fått positioner i form av koordinater vilka kan betraktas som longitud (i sidled) och latitud (i höjdlid). Dessa koordinater är alltid kända och varje pil representerar ett RSSI-värde, och med kunskap om förhållandet mellan avstånd och RSSI-värde kan avståndet mellan respektive accesspunkt och enheten bestämmas.



Figur 9. Figuren visar schematiskt principen för positionering med koordinater för respektive accesspunkt.

Eftersom riktningen fortfarande är okänd mellan enhet och accesspunkt behövs flera olika distanser för att kunna bestämma wifi-enhetens position, och för en mer gynnsam positionering bör accesspunkterna befinna sig i olika väderstreck sett från enhetens möjliga position. Figur 10 visar ett exempel där de tre starkaste signalerna, de med högsta RSSI-värde, används för positioneringen. Tre orangea cirklar är utritade runt varje accesspunkt med lite olika radie, för att demonstrera hur trilatereringen fungerar.



Figur 10. De tre starkaste signalerna används för positionering av enheten.

Utgångspunkten är att det kan förmodas att avståndet alltid är längre när RSSI-värdet är lägre, något som dock inte generellt är fallet. Förhållandet mellan RSSI-värde och avstånd är inte linjärt, men principiellt noteras ett lägre RSSI-värde ju längre avståndet är, men för ett enskilt RSSI-värde behöver detta

nödvändigtvis inte stämma. En svårighet i experimentet var att fördelningen av RSSI-värden var mindre gynnsam, sannolikt på grund av att utrustningen var alltför för okänslig. Det var genomgående svaga signaler under försöken vilket försvårade analysen och positioneringen. Som exempel noterades fall där RSSI-värdet vid en meter för en enhet mättes upp till -75 dB, men RSSI-värdet när en enhet var 50 meter bort var i genomsnitt -82 dB. Detta försvårar skapandet av en positioneringsalgoritm, då ekvationen för avstånd blir känslig för en liten RSSI-förändring, när det i själva verket kan handla om en slumpmässig ändring och inte ett ändrat avstånd.

6.1.3. Utveckling av positioneringstekniken

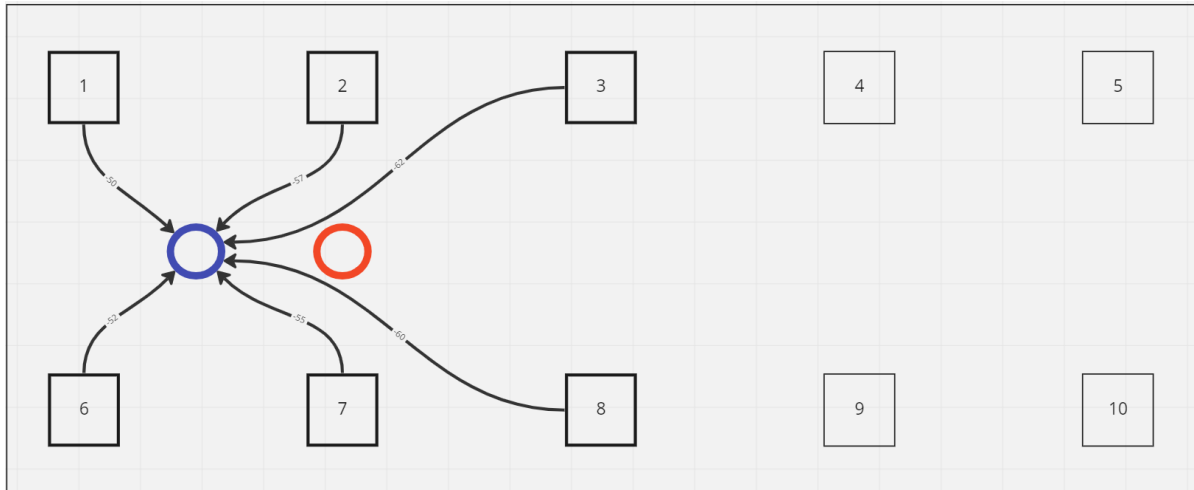
Tanken var att utveckla en positioneringsmetod där RSSI-värdet är den enda datapunkt som varierar med varje kommunikationssignal samt att det är det enda värde som kan säga något om hur långt ifrån en wifi-enhet en accesspunkt är. Detta visade sig vara en komplicerad uppgift som krävde den rad antaganden för att beakta de aktuella felkällorna.

Bland felkällorna som bedöms vara de mer framträdande finns accesspunkternas positioner samt i hur trilatereringen bör gå till för att positionera en wifi-enhet. Det kan även finnas oklarheter i hur uträkningen av att beräkna RSSI till distans. Accesspunkternas positioner är kända eftersom varje accesspunkt också har en GPS-mottagare men de använder en liknande typ av positionering som med wifi men de använder satelliter för att bestämma positionen. Felkällorna blir således väldigt lika för satellitpositionering som för wifi-positionering, vilket leder till att felet läggs på varandra. Det finns inte mycket som kan göras åt denna felkälla och det kan mest konstateras att den finns.

Vad gäller beräkningen av avstånd baserat på RSSI-värde så ger ekvationen en uppskattning av det korrekta avståndet, och hur säker uppskattningen är baseras på mycket information som finns tillgänglig för att ta fram ekvationerna då de baseras på en regressionsanalys. Det är främst värdet på N som kan komma att påverka precisionen i beräkningen, vilket beskrivs mer i detalj nedan. Värdet på N beskriver den överföringsstyrka som finns för en accesspunkt. Överföringsstyrkan är inte ett värde som kommer ifrån tillverkaren av accesspunkten, utan det är isolerat till ekvationen som används för att räkna ut distansen i meter baserat på ett RSSI-värde. Det finns två konstanter i RSSI-till-distans-ekvationen som båda kan väljas genom att prova utrustningen, nämligen N och *Measured Power*. De två konstanterna är valda genom ett inledande test. Variabeln *Measured Power* togs fram genom att en wifi-enhet placerades 1 meter från en accesspunkt under 30 minuter och därefter bestämdes ett medelvärde av RSSI-värdena som uppmättes. N bestämdes empiriskt genom att testa olika värden för några kända avstånd och sedan valdes det värde som gav den bästa överensstämmelsen.

Den sista potentiella felkälla som nämns är hur trilaterering fungerar, d.v.s. att riktningen är okänd samt att trilatereringsfunktionen använder information från alla signaler den får tillgång till. Det första problemet är löst genom att accesspunkter är placerade på både norra och södra sidan i tunneln, vilket ger en relativt hög täckningsgrad med täckning på samtliga platser och att accesspunkter i flera och olika riktningar underlättar att hitta rätt riktning. Det andra problemet illustreras i figur 11 nedan, där trilatereringsfunktionen använder data från sex signaler samtidigt. I det här fallet används en relativt okänslig utrustning vilket ger en sämre variation för RSSI-signalerna än vad känsligare utrustning hade kunnat ge. Detta resulterar i att avståndet i meter beskrivs dåligt i de uppmätta RSSI-värdena.

Risken som uppstår när för många signaler används, speciellt i en situation där distansen är dåligt representerad, är att istället för att bli positionerad där den blå cirkeln är utritad så positioneras wifi-enheten där den orangea cirkeln är placerad (med antagandet att den verkliga positionen är den blå cirkeln). Den orangea cirkeln kan närmast beskrivas som ett medelvärde av de hörda accesspunkternas predikerade position.



Figur 11. Illustration av problem som kan uppstå vid trilaterering dvs att verklig position avviker från den beräknade.

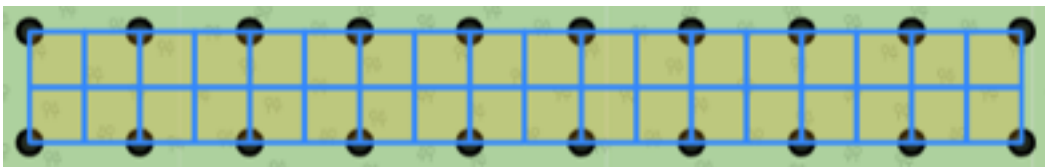
För att kunna beräkna avståndet baserat på RSSI-värden används ofta samma ekvation, oavsett om det handlar om wifi eller annan radiokommunikation som exempelvis Bluetooth [39]:

$$Distance = 10^{((MeasuredPower - RSSI) / (10 * N))}$$

där *Distance* är distansen från accesspunkten till wifi-enheten i meter, *Measured Power* är det uppmätta RSSI-medelvärde för en meters avstånd mellan accesspunkt och enhet och *N* är en konstant som syftar till att beskriva hur stark en signal möjligtvis kan vara i kommunikation med en specifik hårdvara. *N* kallas ibland för överföringsstyrkan hos accesspunkten. *N* sätts till ett värde mellan 2-4, där 2 historiskt är det vanligaste värdet som används. Om känsligare och bättre utrustning används kan ett högre värde vara relevant. Värdet påverkar ekvationens känslighet. I de aktuella försöken användes värdet 2 som ett generellt värde för *N*.

För att veta exakt vilket värde som bör användas för den aktuella utrustningen bör flera olika fall testas tills ett accepterat resultat är uppnått, och vad det ett accepterat resultat innebär bedöms utifrån erfarenhet av liknande mätningar. I vissa fall räcker det med att positioneringsalgoritmen vet var wifi-enheten är placerad inom 50 meter, i andra fall behövs en bättre precision.

För att kunna positionera en mobiltelefon behöver det finnas ett koordinatsystem. I projektet genomfördes försöken på en bestämd plats och det kan ses vara naturligt att använda denna geografiska plats som utgångspunkt. För positioneringen är detta dock inte nödvändigt eftersom det enda som behövs är en relation mellan de olika accesspunkternas inbördes positioner. Rådata från wifi-analysen innehåller visserligen positioner som är verkliga på kartan men dessa räknas sedan om till det lokala koordinatsystemet i tunneln där origo definieras enligt figur 13. För wifi-positionerna användes därför ett förenklat rutnät, med 36 stycken 5x5m stora rutor, där telefonerna skulle positioneras, se figur 12.



Figur 12. Schematiskt rutnät med 36 stycken 5x5m stora rutor. Varje svart prick är en accesspunkt.

6.1.4. Utvecklingsmetoder - vägen till slutgiltig metod

I början av utvecklingen av positioneraren användes all tillgänglig data, för att inte exkludera något som ännu var oprövat. De råa data som använts som bas för samtliga metoder har lämnats oförändrad, och den datamängden består av punkter som beskriver RSSI-värdet, tiden när signalen togs emot samt vilken accesspunkt som signalen nått fram till.

De data som användes i den slutgiltiga metoden var samma ursprungsdata som beskrivits ovan, förutom att en del data exkluderades i något fall då mängden data var för stor för att säkert kunna positionera. Positioneraren fungerar sämre när den är tillåten att använda alltför mycket data från för många accesspunkter. Den slutliga datamängden som användes för analys är således filtrerade på olika sätt, där dels för att enbart använda data från varannan accesspunkt på respektive sida av vägen, samt dels där rådatan är filtrerad till den grad att 30, 50, 70 respektive 100% av datamängden återstod, se vidare avsnitt 6.3.

Vägen till att bestämma vilken slutgiltig data som skulle användas gick genom att testa flertalet olika datamängder, där data från var tredje accesspunkt användes till att specifikt designade trianglar av accesspunkter användes. Olika metoder användes för att filtrera datamängden, men datan användes på samma sätt i samma processer för att skapa en så konsekvent testmiljö som möjligt. Samtliga metoder utvärderades i pricksäkerhet och prestanda. Slutligen valdes den teknik som gav bäst noggrannhet.

6.1.5. Utvecklingsmetoder - Maskininlärning

För positioneringen utvecklades även neurala nätverk för att skapa en positioneringsmetod speciellt utvecklad för det aktuella experimentet. Denna arbetsinsats gjordes som ett utökat test för att undersöka möjligheterna att i en framtid använda maskininlärning som ett komplement till trilaterering och triangulering. Detta kunde tränas på data från specifika accesspunkter uppmätta under dagen före dagen för experimentet. Modellen var aldrig tänkt att vara en generaliserad modell, utan idén var som nämnts att undersöka om ett neuralt nätverk skulle kunna användas för att positionera en telefon i ett rutnät, figur 12. Efter att nätverket hade tränats och optimerats, samt nått en punkt där det inte längre kunde bli bättre med den mängd data som fanns tillgängligt testades den på riktiga data. I det här specifika fallet var mängden data mycket låg. Den tillgängliga datamängden omfattade endast två timmar med data som har ett tillhörande dataset med etiketter som beskriver datamängden. Det gör att den enda möjligheten är att skapa ett neuralt nätverk som är tränat under konceptet 'Supervised Machine Learning' [40].

Att det här konceptet valdes är på grund av att ett neuralt nätverk byggt under konceptet 'Unsupervised Machine Learning' oftast kräver mycket mer data, och om mängden data redan från början var för lite för att ett neuralt nätverk skulle fungera korrekt, så var konceptet 'Unsupervised Machine Learning' redan uteslutet. För att hantera problemet med den lilla mängden data som fanns tillgänglig så tränades nätverket på några slumpmässigt valda accesspunkters data och dess etiketter, för att kunna klassificera en wifi-apparat till en viss zon (se figur 12), och de data som inte används till träning blev valideringsdata. Det första setet brukar kallas träningsdata och det andra brukar kallas valideringsdata eller testdata.

Resultatet av analysen med det neurala nätverket, efter att den tränat färdigt, var att den i bästa fall kunde förutspå att en wifi-apparat valde rätt ruta i 6,4 % av fallen. Det här nätverket användes alltså inte för den slutgiltiga versionen eller positioneraren, utan det ska ses uteslutande som ett test i huruvida ett neuralt nätverk kan användas för positionering istället för de mer klassiska metoderna trilaterering eller triangulering. Det här resultatet är en indikation på att neurala nätverk kan användas för att positionera, men att mer data krävs.

6.2. Positionering baserat på videoinspelningar

Inspelning skedde med hjälp av sex videokameror som placerades längs tunnelns högra sida sett i färdriktningen för trafiken, se figur 3. Med utgångspunkt från tidpunkterna för positioner erhållna från wifi-positioneringen bestämdes personernas riktiga position i tunneln. Mätnoggrannheten av forskningspersonens verkliga position i tunneln bedöms som sämst ligga inom en meter i tunnelns längdriktning och cirka 0,2 meter vinkelrätt mot tunnelns längdriktning. I längdriktningen är positionsbestämningen svårare och speciellt på ett längre avstånd från kameran. Nära videokameran är positionen mer exakt men fortfarande uppskattningsvis inte bättre än cirka 0,2 meter från verklig position.

Bedömningen av mätnoggrannheten baseras på uppskattning av positionen för en och samma person när denne förekommer samtidigt på två olika videoinspelningar dvs. för samma tidpunkt. Vidare används de

utplacerade plastbanden som avståndsmarkering i sidled då de har växlande röd-vita markeringar med 0,2 meters avstånd vardera.

6.3. Positioneringsanalys

Från wifi-positioneringen erhöles positioner i form av kartkoordinater i formen av latitud och longitud samt metriska koordinater enligt SWEREF 99 TM. Eftersom samtliga accesspunkter är positionerade med sin inbyggda GPS-mottagare kunde dessa användas som referens för att skapa ett lokalt koordinatsystem i tunneln med origo i tunnelns norra ände vid försöksområdets startlinje och intill högra kantelementet. I figur 13 anges origo i nedre vänstra delen av tunneln. All analysdata utgår sedan från denna punkt i redovisningen.

Förutom att redovisa positionen för en forskningsperson i ett försök utifrån wifi-beräkningen och den verkliga positionen från videoanalysen beräknas även avståndet mellan dessa två positioner. Det anger den noggrannhet för en positionering som kan förväntas med de givna förutsättningarna. Det som i första hand bestämmer hur god precisionen är bestäms enligt tidigare av den tekniska utrustningens kapacitet och hur databehandlingen i efterhand genomförts. Den sista aspekten avser främst hur många accesspunkter som används för en enskild positionering. De tre starkaste signalerna används för positioneringen i samtliga fall då detta konstaterades get det bästa utfallet. Det innebär i praktiken att varje position kan vara bestämd med olika accesspunkter då signalstyrkan kan variera under ett pågående försök, för olika platser och vid olika tidpunkter.

De data som finns tillgänglig för samtliga försök från wifi-positioneringen baseras på de förutsättningar som anges i kapitel 1. De variabler som är tillgängliga är

- a) mobiltelefonens placering i handen eller i fickan
- b) mobiltelefonens kommunikationsfrekvens
- c) antalet accesspunkter som är tillgängliga

Varje forskningsperson bar med sig två apparater där den ena hölls i handen och den andra låg i forskningspersonens ficka. Det gör att skillnad i precision för positioneringen kan göras baserat på hur mobiltelefonen förvaras.

Varje mobiltelefon upprättar en förbindelse med tillgängliga accesspunkter med olika intervall. Detta intervall beror delvis på vilken telefonmodell som avses men också om det finns en aktiv wifi-anslutning mellan accesspunkten och den enskilda mobiltelefonen. Även utan en aktiv anslutning upprättas en förbindelse men den sker mer sällan. I försöken representeras den varierade uppkopplingen genom att olika andel av den tillgängliga datamängden används för att analysera positionerna. Eftersom olika mobiltelefoner kommunicerar olika ofta, både i passiv och aktiv lyssningsform har en förenkling gjorts för att illustrera skillnaden. I aktiv lyssningsform har det antagits att kommunikationen sker cirka en gång var 5:e sekund vilket i praktiken innebär att värdet utgör ett medelvärde över 5-sekundersintervallet.

Det finns fyra dataset med vardera 100%, 70%, 50% samt 30% av det tillgängliga materialet som underlag för positioneringen. I dessa fall baseras positioneringen på tillgång till samtliga accesspunkter i tunneln. Av dessa har ett mindre antal jämförelser mellan wifi-baserad position och verklig position gjorts, nämligen för fallet med 100 % av tillgängliga data och för fallet med endast 30 % av tillgängliga data.

Den sista variabeln som definierar hur datasetet bestäms är antalet tillgängliga accesspunkter. Det finns två olika varianter av data med avseende på antalet använda accesspunkter för att välja de tre starkaste signalerna; data som använder alla tillgängliga accesspunkter samt data som använder varannan accesspunkt. Den huvudsakliga analysen i rapporten baseras faktiskt på det senare fallet d.v.s. där inte alla accesspunkter ingår som underlag för positioneringen. Anledningen är att precisionen visade sig vara bättre när inte alla accesspunkterna användes.

I grundfallet används således ett reducerat antal tillgängliga accesspunkter och i praktiken valdes att endast använda vartannat par av accesspunkter för att bestämma positionerna. Det innebär att i grundfallet används accesspunkterna 1, 11, 3, 13, 5, 15, 7, 17, 10, 20, se figur 13. Det som kan noteras är att i tunnelns

södra ände används inte paren 8 och 18 respektive 9 och 19 i analysen. Sista paret är 10 och 20 för att täcka in hela försöksområdet.

I samtliga fall baseras den wifi-baserade positioneringen för de för tillfället tre starkaste signalerna. Vilka accesspunkter som används för de enskilda positioneringarna kan således variera.

Sammanfattningsvis finns följande fem dataset tillgängligt för bestämning av wifi-baserade positioner:

- Varannan accesspunkt var 5:e sekund (100 % av data ingår) – grundfallet
- Samtliga accesspunkter var 5:e sekund (100 % av data ingår)
- Samtliga accesspunkter men 70 % av data ingår
- Samtliga accesspunkter men 50 % av data ingår
- Samtliga accesspunkter men 30 % av data ingår

I samtliga av dessa fall finns data för att kunna positionera en mobiltelefonapparat som förvaras i fickan och en som hålls i handen, allt för samtliga forskningspersoner och för samtliga 39 försök. Det kan förtydligas att alla fem datasetten utgår från samma insamlade information, det som skiljer är hur den insamlade datamängden har bearbetats för att kunna utgöra en grund för positionering.

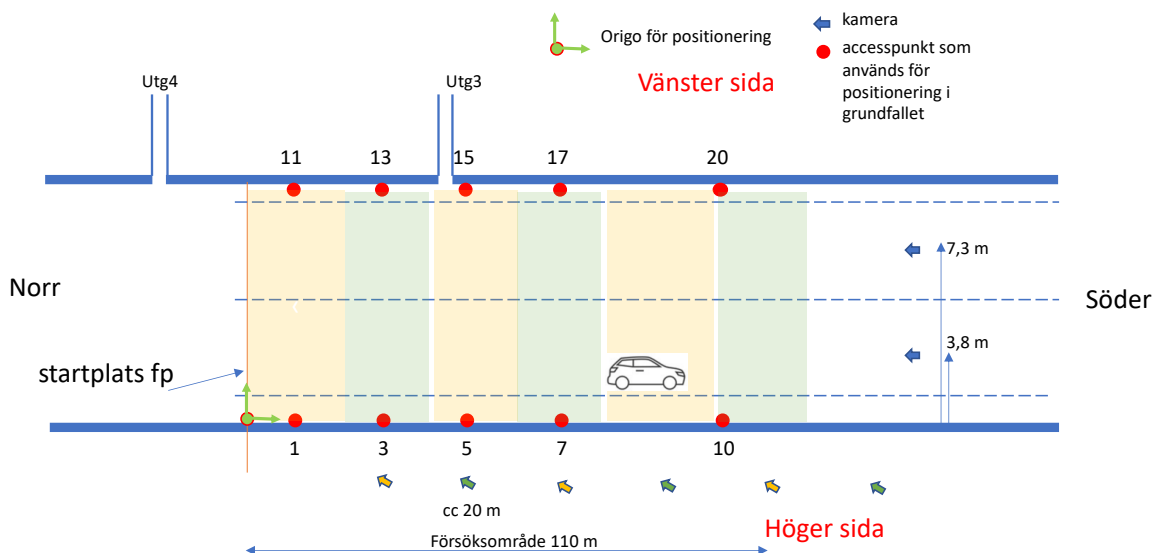
7. Resultat

Resultaten från experimentet redovisar främst skillnad i position med de två mätmetoderna, wifi-respektive videopositionering, för de olika försöken. De data som samlats in kan bearbetas på olika sätt bland annat för att representera de möjliga metoder som wifi-kommunikationen sker med samt hur många accesspunkter som finns tillgängliga i tunneln, se avsnitt 6.3. I samtliga fall baseras wifi-positionen på en analys av de för tidpunkter tre starkaste signalerna. Om fler accesspunkter ingår i analysen försämrades precisionen mellan verklig position och wifi-baserad position. Bortfallet av data uppskattas till cirka 35 % mellan en enskild accesspunkt och wifi-apparat. Eftersom kommunikationen sker cirka en gång per sekund och dataanalysen senare görs var 5:e sekund kommer detta bortfall att spela en mindre roll. Genom att undersöka ett antal stickprov av datapunkter som redovisas var 5:e sekund kan det konstateras att det praktiska bortfallet av dessa mätvärden ligger kring 3 %. Under 20 minuters redovisade data saknas alltså i genomsnitt 7 mätvärden, av 240 teoretiskt möjliga.

Det kan konstateras att mängden data är extremt stor och därför kommer endast en del av materialet från försöken att kunna redovisas i denna rapport. Resterande datamaterial kommer att publiceras i senare rapporter och artiklar men en god uppfattning av kapaciteten av tekniken kan ändå erhållas genom de resultat som presenteras i föreliggande rapport.

Utgångspunkten är att merparten av resultatet som presenteras baseras på analys med data där varannan accesspunkt är tillgänglig för kommunikation. En jämförelse sker även mot de fall där samtliga accesspunkter är tillgängliga för positioneringen. Detta görs för att strategiskt kunna jämföra olika positioneringsförutsättningar och samtidigt ha förmåga att presentera data från olika försök. Vidare baseras resultaten i huvudsak på försök där en enstaka forskningsperson deltar. Anledningen är åter igen att analysen är tidsödande och mycket resurskrävande men resultaten är ändå relevanta med avseende på frågeställningarna.

Grundfallet definieras alltså utifrån det datamaterial som utnyttjar varannan accesspunkt i tunneln, se figur 13. Origo i diagrammen som redovisas är genomgående på den plats som anges i figur 13 nedan. Diagrammen visar således samma vy som illustrationen nedan men i form av diagram med positioneringsinformation.



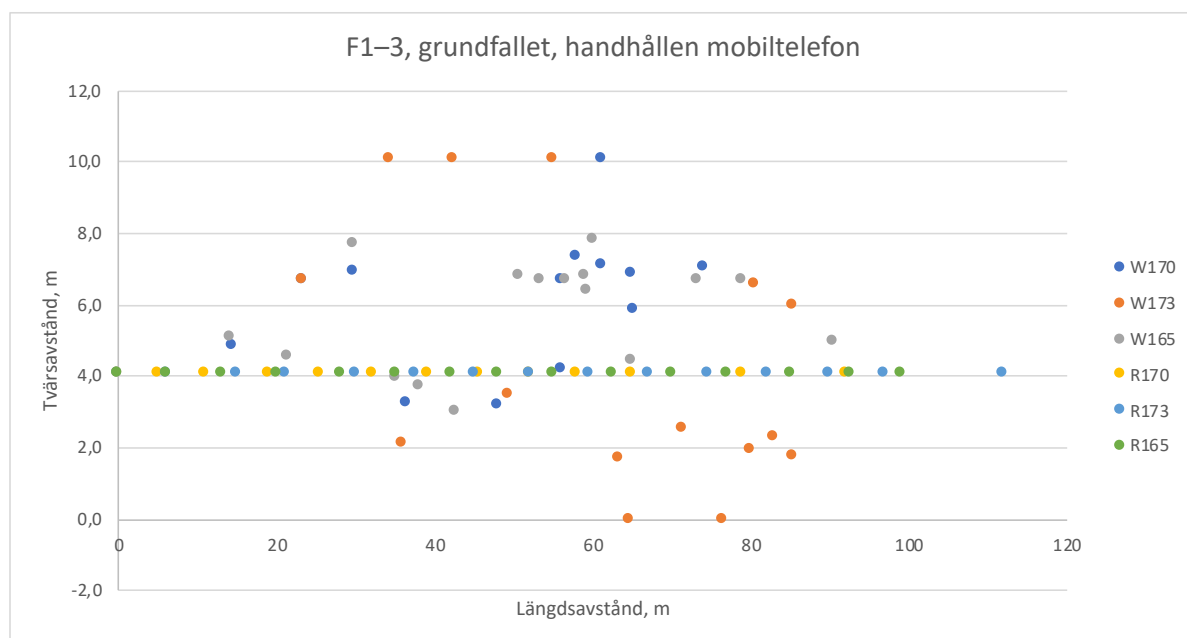
Figur 13. Tillgängliga accesspunkter för resultatens grundfall.

7.1. Positionering i grundfallet med enstaka individer och med mobiltelefonapparat i handen

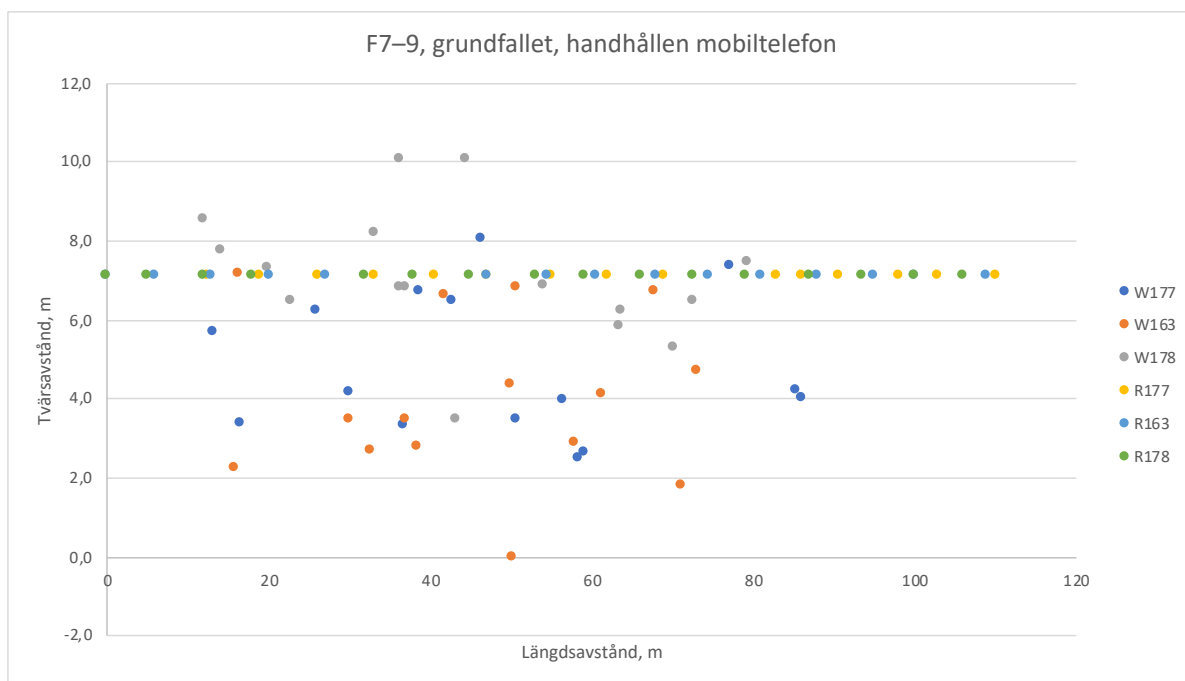
I försöken 1–3 och 7–9 förflyttar sig forskningspersonen längs mitten av körfälten i tunneln d.v.s. utefter gångvägarna A respektive B, se figur 7. I samtliga försök som redovisas i detta avsnitt håller forskningspersonen sin mobiltelefonapparat i handen.

Figur 14 och figur 15 redovisar position för de sex forskningspersonerna som deltog i de sex försöken. I försök 1–3 deltog forskningspersonerna 170, 173 och 165 och i försök 7–9 deltog forskningspersonerna 177, 163 och 178. I diagrammen anges om det är verklig position, markerat med R för forskningspersonens nummer (t ex R170) eller W för wifi-positionen. I försök 1–3 gick samtliga personer inte riktigt i mitten av körfältet, vilket i detta fall blev ca 4,1 meter från tunnelns kant. Positionerna för forskningspersonerna ligger då längs en och samma linje men tidsmässigt sker jämförelsen mellan verklig position och wifi-position vid olika tider vilket resulterar i att jämförelsen sker vid olika platser i tunneln och varje plats anknuter till en specifik tidpunkt. De markeringar som ligger utanför 4,1 meterslinjen är samtliga wifi-positioner.

För försök 7–9 redovisas samma information men eftersom forskningspersonerna går tillbaka till startplatsen för försöken går de längs gångväg B vilken i detta fall är 7,1 meter från tunnelkanten. Tunnelns körbanor ligger mellan cirka 2,0 meter och cirka 9,4 meter. Tunnelns totala bredd är cirka 10,4 meter.

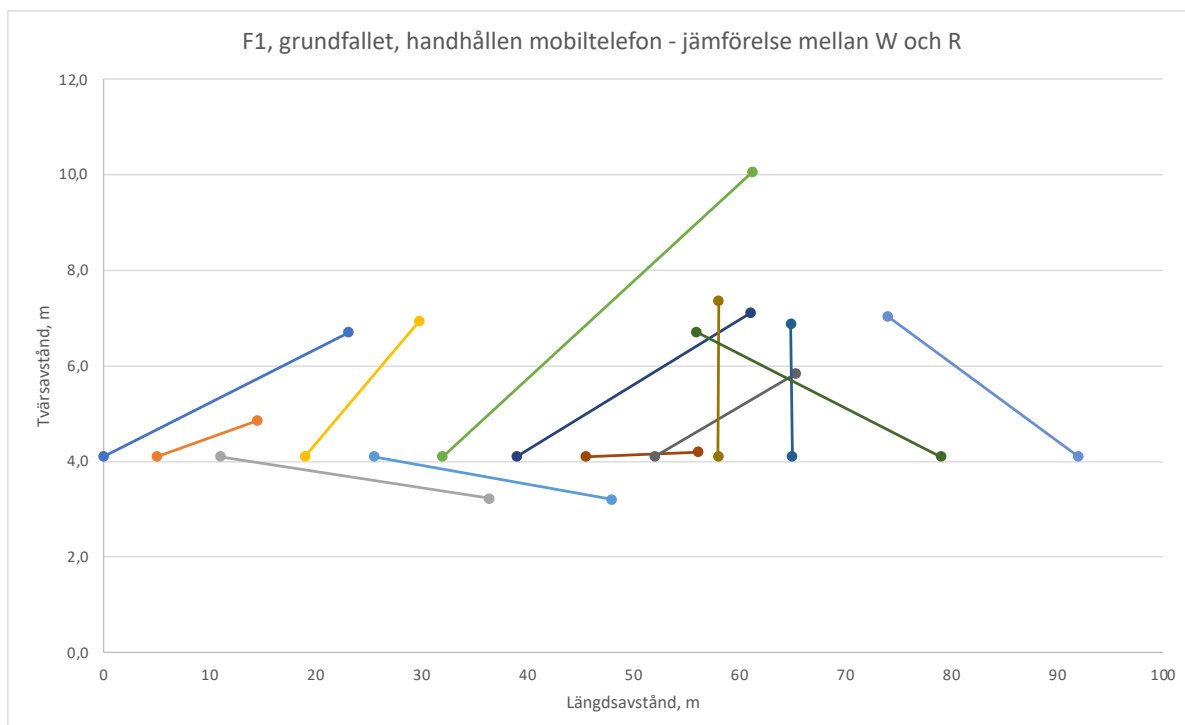


Figur 14. Försök 1–3 i grundfallet med handhållen apparat. W anger wifi-position och R anger verklig position.



Figur 15. Försök 7-9 i grundfallet med handhållen apparat. W anger wifi-position och R anger verklig position.

Det kan konstateras att det är en förhållandevis tydlig avvikelse mellan verklig position i tunneln och den som wifi-systemet predikterar. Spridningen mellan enskilda jämförelser kan dock vara svår att följa och figur 16 visar hur de olika positionsparen ser ut för försök 1, där varje verklig position knyts samman med den motsvarande wifi-baserade positionen. Figuren syftar till att illustrera den skiftande strukturen mellan predikerad och verklig position.



Figur 16. Verklig och wifi-baserad position för försök 1. Den verkliga positionen ligger längs med en linje vid tvärsavståndet 4,1 meter.

Det kan ses i figuren att det finns en viss systematik i avvikelserna mellan verklig position och den predikterade. I början av förloppet och i slutet tenderar wifi-positionerna att dras mot mitten. Detta kan vara ett resultat av vilka accesspunkter som används för bestämningen av wifi-positionerna, det vill säga vilka tre accesspunkter som har de starkaste signalerna. Den första accesspunkten för försök 1–3 är placerad vid 10 meter från startplatsen vilket gör att de första verkliga positionernas wifi-motsvarigheter baseras på accesspunkter 10 och 30 meter från startplatsen (där x-koordinaten är 0 meter).

För att kunna jämföra de två sätten att positionera personerna kan avståndet mellan positionerna beräknas. Men med tanke på tendensen i avvikelsernas riktning som illustreras i figur 16 beräknas medelavståndet och den tillhörande standardavvikelsen både för samtliga bestämda positioner i respektive försök samt för de positioner som ligger mellan de använda accesspunkterna dvs, mellan 10 meter och 100 meter. Medelvärde och standardavvikelse (stickprov) bestäms för samtliga undersökta forskningspersoners resultat och för hela den aktuella försöksgruppen. Med försöksgrupp avses de försök som har identiska förutsättningar t.ex. F1–F3. Tabell 2 nedan redovisar beräknade avstånd för försök F1–3 och F7–9. De grönmärkade cellerna anger de kortare avstånden i jämförelserna av medelvärden och standardavvikelser mellan de två sätten att välja positioner för beräkningen (om det föreligger en skillnad).

Tabell 2. Beräknade medelavstånd mellan verklig och wifi-baserad position för grundfallet och handhållen mobiltelefonapparat. Grönmarkerad cell har lägst värde.

Försök nummer/fp nr	Samtliga positioner		Positioner mellan 10m och 100 m	
	Medelvärde, m	Standardavvikelse, m	Medelvärde, m	Standardavvikelse, m
F1/170	16,6	8,7	16,6	9,0
F2/173	25,7	16,4	25,5	18,2
F3/165	18,3	16,1	16,2	14,6
F1–3	20,3	14,7	19,4	14,8
F7/177	20,0	17,2	19,9	18,5
F8/163	20,0	11,2	18,6	10,7
F9/178	18,0	16,5	12,2	7,7
F7–9	19,3	14,9	16,8	13,2

Som framgår av tabellen är avståndet mellan verklig position och den wifi-baserade positionen kortare för de flesta av fallen för de aktuella försöken när endast positioner mellan 10 meter och 100 meter ingår i beräkningen vilket indikeras av de grönmärkade rutorna. Detta tyder på att det finns en randeffekt i utkanten av försöksområdet som påverkar precisionen i wifi-tekniken. Skillnaden är dock i de flesta fall inte så stor.

7.2. Positionering i grundfallet med enstaka individer och mobiltelefonapparat i fickan

För att undersöka effekten av hur mobiltelefonen förvaras under positioneringen bar varje forskningsperson två apparater varav den ena förvarades i fickan. Analysen för detta är genomförd för försök F1–F3 samt F7–F9. Avstånd mellan verklig position och wifi-baserad position redovisas i tabell 3, både för samtliga positioner och för de mellan 10 meter och 100 meter. Även variationen redovisas i form av standardavvikelsen.

Tabell 3. Beräknade medelavstånd mellan verklig och wifi-baserad position för grundfallet och mobiltelefonapparaten i fickan. Grönmarkerad cell har lägst värde.

Försök nummer/fp nr	Samtliga positioner		Positioner beräknade mellan 10m och 100 m	
	Medelvärde, m	Standardavvikelse, m	Medelvärde, m	Standardavvikelse, m
F1/170	16,6	12,8	15,8	13,6
F2/173	23,4	20,3	20,0	20,4
F3/165	15,0	8,6	14,8	8,9
F1-3	18,2	14,7	16,8	14,6
F7/177	17,3	11,8	16,6	11,1
F8/163	17,7	10,8	16,2	11,2
F9/178	18,1	17,2	12,4	7,7
F7-9	17,8	13,4	15,0	10,0

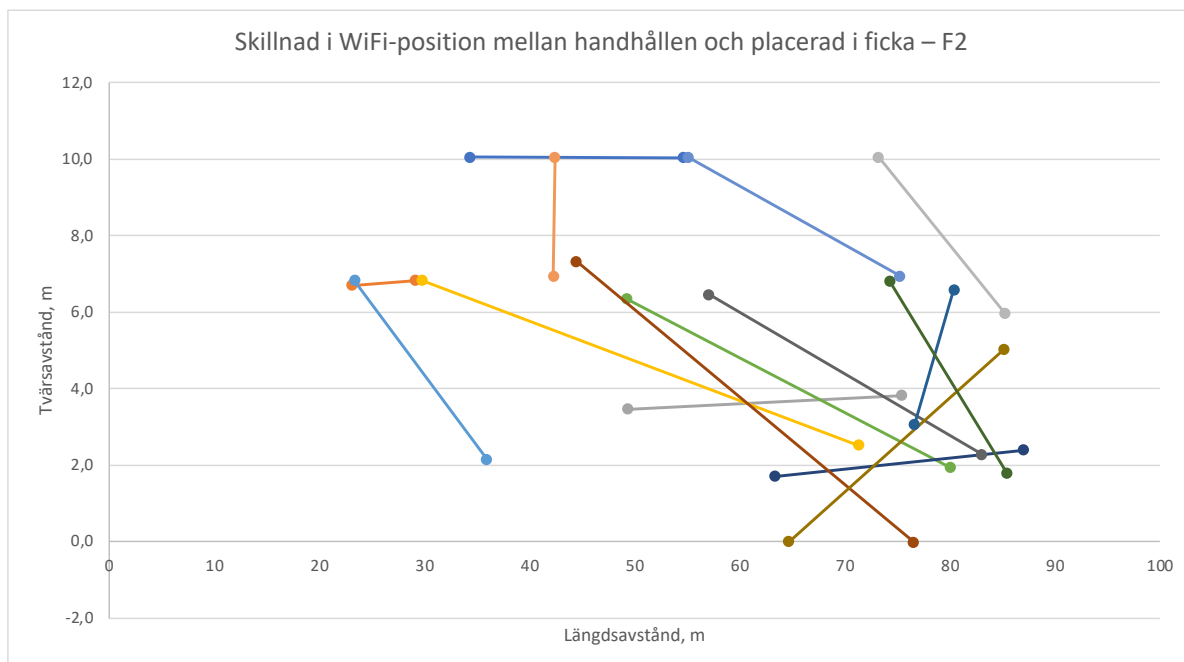
Som framgår av tabellen ovan är det även i detta fall fördelaktigt för skillnad i avstånd och variation mellan verklig position och den wifi-baserade positionen om endast värden mellan avstånden 10 meter och 100 meter inkluderas. Tabell 4 redovisar medelvärden för de två fallen baserat på skillnader i hur mobiltelefonen burits.

Tabell 4. Beräknade medelavstånd mellan verklig och wifi-baserad position för grundfallet och beroende på hur mobiltelefonapparaten burits. Grönmarkerad cell har lägst värde.

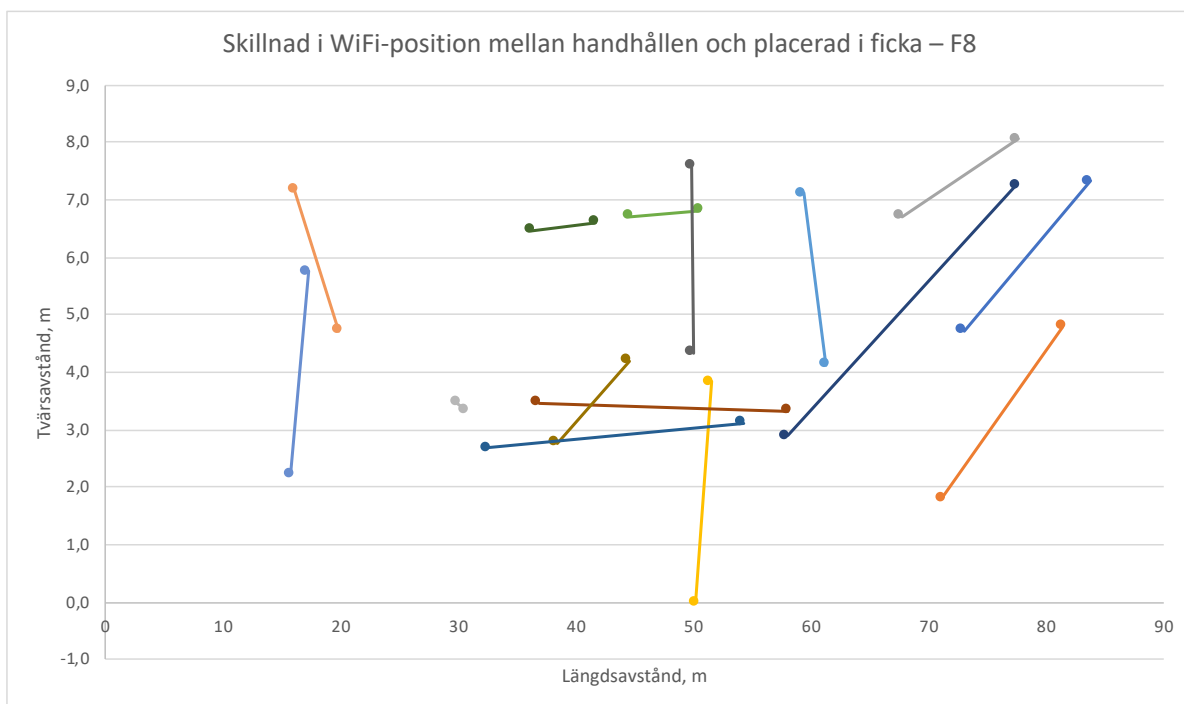
Försök nummer/fp nr	Positioner beräknade mellan 10m och 100 m	
	Medelvärde handhållen, m	Medelvärde placerad i fickan, m
F1/170	16,6	15,8
F2/173	25,5	20,0
F3/165	16,2	14,8
F1-3	19,4	16,8
F7/177	19,9	16,6
F8/163	18,6	16,2
F9/178	12,2	12,4
F7-9	16,8	15,0

Det förefaller som att det är mer fördelaktigt att bära telefonen i fickan då skillnaden mellan verklig position och den wifi-baserade positionen är lägre för det fallet. Dock kan det konstateras att skillnaden i position mellan de wifi-baserade positionerna uppvisar en skillnad som är i samma storleksordning, se figurerna 17 och 18, som redovisar hur det ser ut för F2 och F8, samt tabell 5. Försök 2 valdes för jämförelsen då det hade något fler datapunkter jämfört med försök 1 som användes i jämförelsen i avsnitt 7.1. Tabell 5 redovisar jämförelsen kvantitativt för alla scenarier som ingått i analysen dvs försök F1-F3 samt F7-F9. Det kan konstateras att skillnaden i wifi-baserad position för en handhållen apparat jämfört

med en apparat som förvaras i forskningspersonens ficka är mindre i försök F7–9 jämfört med de inledande försöken, d.v.s. F1–3.



Figur 17. Wifi-baserad position för försök 2 i grundfallet men med olika placerad mobiltelefonapparat, i handen eller i fickan, för aktuella tidssteg i försöket. Färgerna används för att skilja på olika positionsjämförelser.



Figur 18. Wifi-baserad position för försök 8 i grundfallet men med olika placerad mobiltelefonapparat, i handen eller i fickan, för aktuella tidssteg i försöket. Färgerna används för att skilja på olika positionsjämförelser.

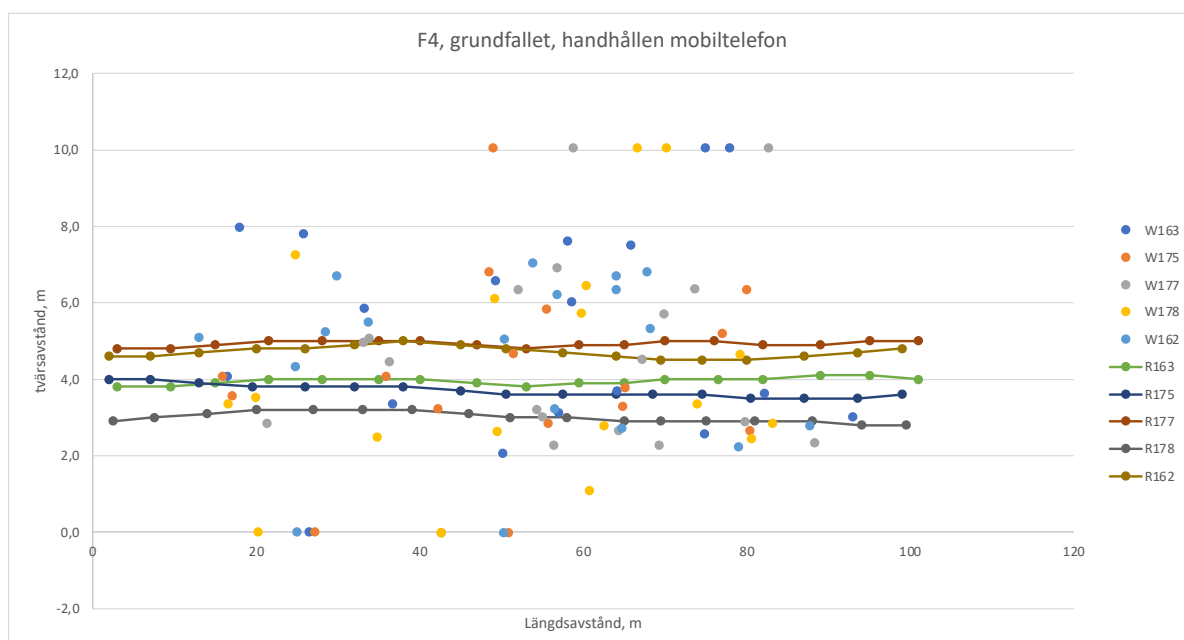
Tabell 5. Skillnad i wifi-beräknad position beroende på placering av mobiltelefonapparat.

Försök nummer/fp nr	Avstånd mellan handhållen apparat respektive apparat i fickan för wifi-baserade positioner.	
	Medelvärde, m	Standardavvikelse, m
F1/170	12,4	10,5
F2/173	19,8	11,0
F3/165	12,0	9,1
F1-3	14,8	10,6
F7/177	11,1	8,9
F8/163	8,8	6,3
F9/178	8,8	6,1
F7-9	9,5	7,3

7.3. Positionering i grundfallet med mindre grupp och mobiltelefonapparat i handen

Antalet personer som förflyttar sig i en grupp kan möjligen påverka precisionen för wifi-positioneringen. I probleminentifieringen inför försöken konstaterades att denna variabel skulle inkluderas. Flera olika gruppkonstellationer undersöktes under försöken men ännu är endast ett försök analyserat, F4.

I försök 4 undersöks när fem personer i en grupp förflyttar sig längs med gångväg A. Positionerna för de fem forskningspersonerna redovisas i figur 19. I detta fall flyttar sig personerna mer i sidled medan de går längs försökssträckan jämfört med de tidigare fallen då i princip samtliga går en identisk sträcka.



Figur 19. Försök 4 i grundfallet med handhållen apparat. W anger wifi-position och R anger verklig position, markeras även med linje.

Som framgår av figuren är spridningen även i detta fall förhållandevis stor. Tabell 6 redovisar medelvärde och standardavvikelse för skillnaden mellan verklig position och wifi-baserad position för de fem personerna i försöket.

Tabell 6. Beräknade medelavstånd mellan verklig och wifi-baserad position för grundfallet och handhållen mobiltelefonapparat. Grönmarkerad cell har lägst värde.

Forskningsperson	Samtliga positioner		Positioner mellan 10m och 100 m	
	Medelvärde, m	Standardavvikelse, m	Medelvärde, m	Standardavvikelse, m
163	12,9	12,6	9,6	7,7
175	14,4	10,4	14,0	10,6
177	18,3	12,6	15,4	10,4
178	14,2	12,0	14,3	12,8
162	15,8	16,2	16,0	17,0
Alla	15,2	12,8	13,9	12,1

Försök 4 kan även jämföras med tidigare redovisade försök 1–3 som har identiska förutsättningar med försök 4 bortsett från att de förra går individuellt medan försök 4 innehåller en grupp med fem personer. Tabell 7 redovisar några grunddata som jämförelse.

Tabell 7. Jämförelse av medelvärde och standardavvikelse för skillnad i avstånd mellan wifi-baserad position och verklig position för försök 1 - 4.

Försök nummer	Samtliga positioner		Positioner mellan 10m och 100 m	
	Medelvärde, m	Standardavvikelse, m	Medelvärde, m	Standardavvikelse, m
F1–3	20,3	14,7	19,4	14,8
F4	15,2	12,8	13,9	12,1

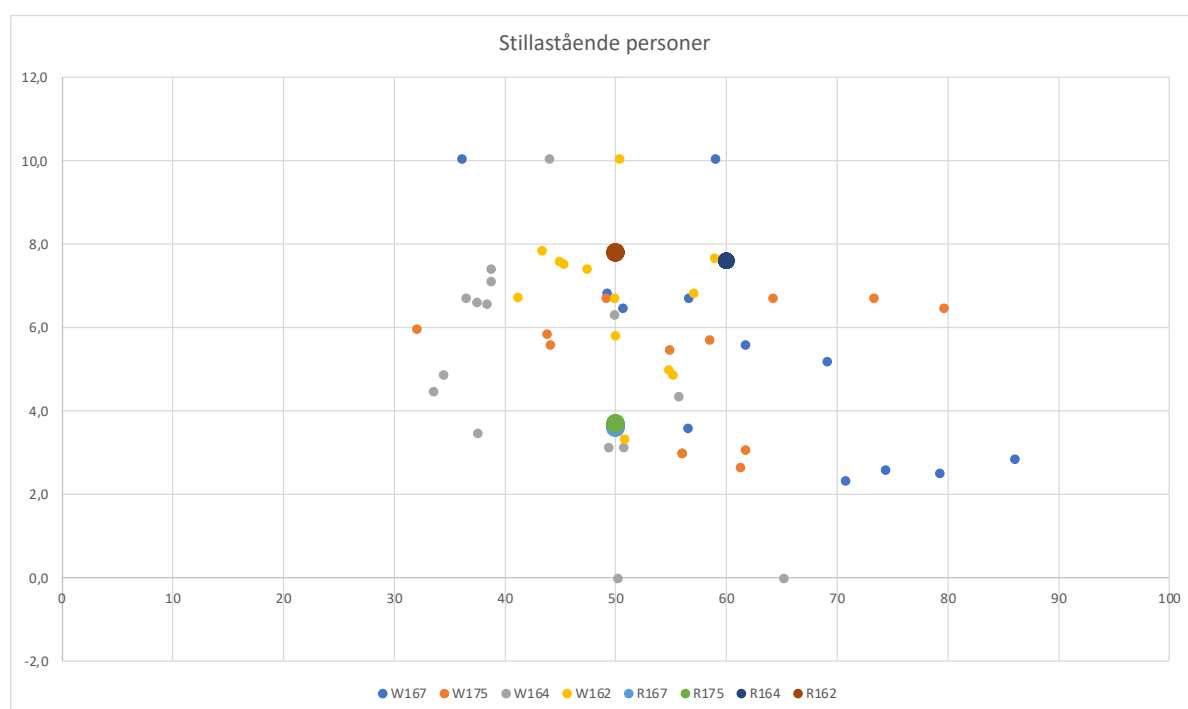
För samtliga beräknade jämförelseparametrar är gruppörflyttningen mer gynnsam ur ett positioneringsperspektiv. Såväl avvikelse i genomsnitt som variation inom respektive försök/försöksgrupp är mindre vilket tyder på en mer träffsäker positionering. Skillnaden är vidare så stor att den är statistiskt signifikant (signifikansnivå 0,02).

7.4. Positionering i grundfallet med enstaka individer, med mobiltelefonapparat i handen och som stannar upp i tunneln

I försök 27–28 och 30–31 genomfördes örflyttningen med ett inlagt uppehåll. Efter ungefär halva sträckan i tunneln stannade forskningspersonen och stod stilla under cirka en minut. Därefter fortsatte personen att gå mot slutmålet i andra änden av försöksområdet. I tabell 8 redovisas noggrannheten i positioneringen för den tid som forskningspersonen stod stilla. Figur 20 illustrerar variationen i den beräknade positionen i förhållande till var forskningspersonerna de facto stod under uppehållet. Tre av forskningspersonerna stod vid 50 meter och den fjärde vid 60 meter.

Tabell 8. Jämförelse av medelvärde och standardavvikelse för skillnad i avstånd mellan wifi-baserad position och verklig position för försök 27–28 och 30–31, stillastående forskningsperson.

Försök nummer	För den stillastående positionen	
	Medelvärde, m	Standardavvikelse, m
F27	14,5	11,0
F28	11,6	8,0
F30	17,4	6,9
F31	4,7	2,8
Alla	12,1	8,9



Figur 20. Försök 27–28 och 30–31 i grundfallet med handhållen apparat. W anger wifi-position och R anger verklig position. De kraftigare markerade punkterna anger platsen där de fyra forskningspersonerna stod stilla. Notera att den nedersta punkten egentligen utgör platsen för två forskningspersoner (två punkter på nästan samma plats).

Det kan konstateras att det fortfarande är en betydande spridning mellan verklig position och den med wifi-tekniken beräknade platsen. Variationen för en enskild forskningsperson är dock rätt stor där personen i försök 31 har en klart bättre precision jämfört med de övriga som har både ett högre medelavstånd och en större spridning i beräknade avstånd. Även om en fiktiv position som beräknas som ett medelvärde av de wifi-predikterade positionernas jämförs med den verkliga platsen personen står på är skillnaden i avstånd i samma storleksordning som de i tabell 8.

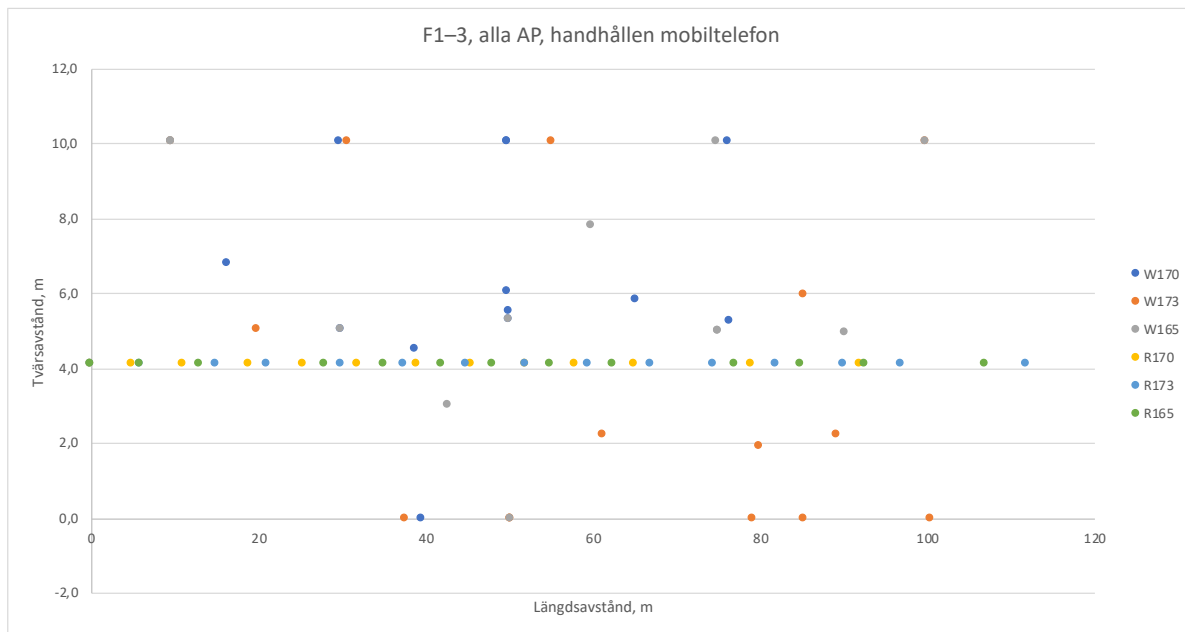
7.5. Positionering med ökat antal accesspunkter och aktiv lyssning

I grundfallet används cirka hälften av antalet accesspunkter i tunneln för att bestämma varje wifi-baserad position. Förutom att det under utvecklingen av positioneringsalgoritmen visade sig ge mer gynnsamma resultat kan det också ses som en något mer realistisk representation av en verklig installation i en tunnel.

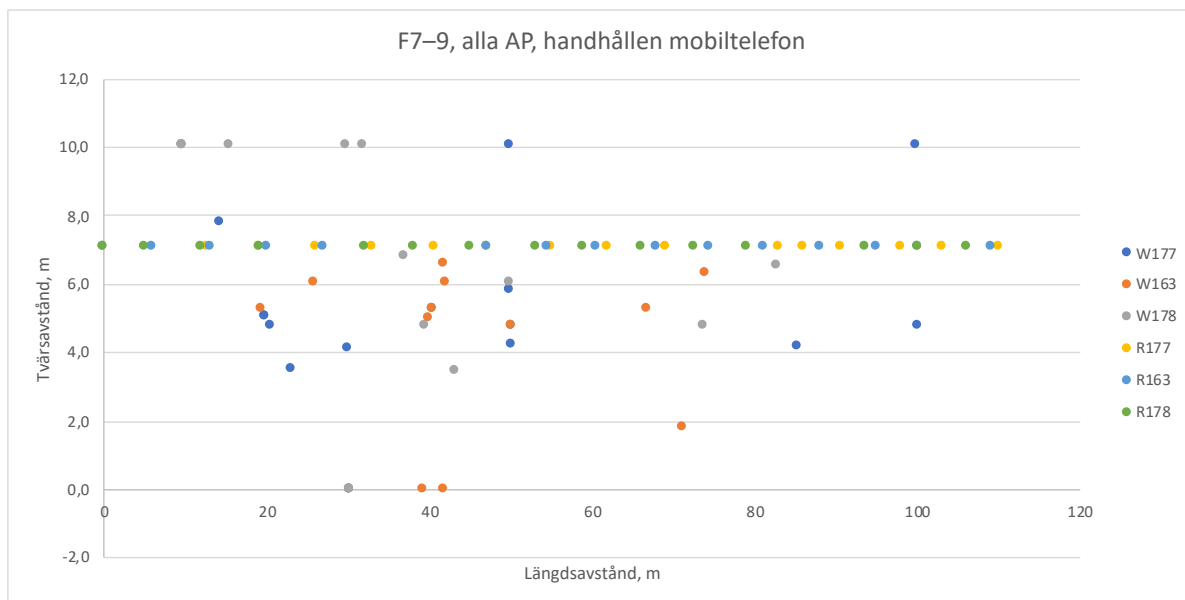
I detta avsnitt redovisas möjligheten att positionera individerna utifrån tillgång till samtliga accesspunkter i tunneln. Figuren 21 och 22 illustrerar positionen för de enskilda forskningspersonerna i försök F1–3

och F7–9. Punkterna som ligger längs en rät linje (vid ca 4,1 meter respektive 7 meter) anger personernas verkliga positioner. Figur 21 ska jämföras med figur 14 (i avsnitt 7.1) som i övrigt är identiskt undantaget antalet accesspunkter som används för bestämning av varje wifi-baserad position. Figur 22 redovisar motsvarande resultat men för försök 7–9 och ska på samma sätt jämföras med figur 15 i avsnitt 7.1.

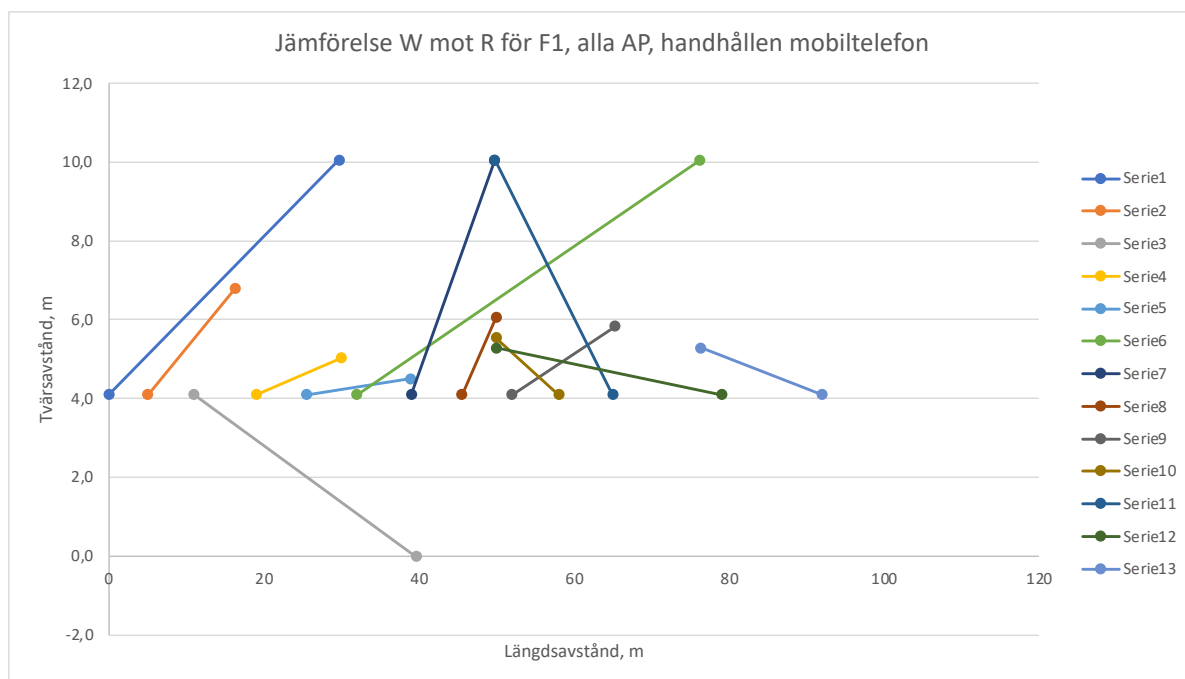
Även i detta fall kan det finnas skäl att undersöka var den wifi-beräknade positionen finns i förhållande till forskningspersonens verkliga plats i tunneln. I figur 23 redovisas de parvisa sambanden mellan verklig position och wifi-baserad position för en forskningsperson i försök 1. Det kan konstateras att liksom för grundfallet är det en förhållandevis stor spridning i wifi-position även i detta fall.



Figur 21. Försök 1–3 med alla accesspunkterna och med handhållen apparat. W anger wifi-position och R anger verklig position.



Figur 22. Försök 7–9 med alla accesspunkterna och med handhållen apparat. W anger wifi-position och R anger verklig position.



Figur 23. Verklig och wifi-baserad position för försök 1 och med alla accesspunkter tillgängliga för analys.

För att kvantitativt kunna bedöma fallet med samtliga tillgängliga accesspunkter som används för bestämningen av den wifi-baserade positionen jämförs även här medelavståndet till den verkliga positionen för ett antal försök. Tabell 9 sammanfattar beräknade skillnader mellan verklig position och de wifi-baserade positionerna för de aktuella försöken, dvs F1–3 och F7–9. Tabell 10 redovisar medelavstånden för försök 1–3 och 7–9 beräknade mellan 10 meter och 100 meter samt med alla positionerna beaktade för grundfallet i relation till nuvarande fall dvs. med alla accesspunkterna tillgängliga. Informationen utgör således en kombination av medelvärden från tabell 2 i avsnitt 7.1 och tabell 9.

Tabell 9. Beräknade medelavstånd mellan verklig och wifi-baserad position för när alla accesspunkterna används och för handhållen mobiltelefonapparat. Grönmarkerad cell har lägst värde.

Försök nummer/fp nr	Samtliga positioner		Positioner mellan 10m och 100 m	
	Medelvärde, m	Standardavvikelse, m	Medelvärde, m	Standardavvikelse, m
F1/170	18,4	11,3	18,0	11,6
F2/173	29,4	18,5	32,4	19,4
F3/165	21,7	22,7	23,1	25,2
F1–3	23,5	18,3	24,8	19,7
F7/177	22,9	23,1	24,2	24,3
F8/163	26,4	15,4	26,3	15,3
F9/178	28,2	19,2	23,8	16,9
F7–9	25,8	19,2	24,8	18,9

Tabell 10. Jämförelse av medelavstånden mellan wifi-baserad position och verklig position för grundfallet och fallet med alla accesspunkterna tillgängliga.

Försök nummer/fp nr	Grundfallet, varannan accesspunkt tillgänglig		Alla accesspunkterna tillgängliga	
	Alla datapunkter, medelvärde, m	Datapunkter mellan 10 och 100 meter, medelvärde, m	Alla datapunkter, medelvärde, m	Datapunkter mellan 10 och 100 meter, medelvärde, m
F1/170	16,6	16,6	18,4	18,0
F2/173	25,7	25,5	29,4	32,4
F3/165	18,3	16,2	21,7	23,1
F1–3	20,3	19,4	23,5	24,8
F7/177	20,0	19,9	22,9	24,2
F8/163	20,0	18,6	26,4	26,3
F9/178	18,0	12,2	28,2	23,8
F7–9	19,3	16,8	25,8	24,8

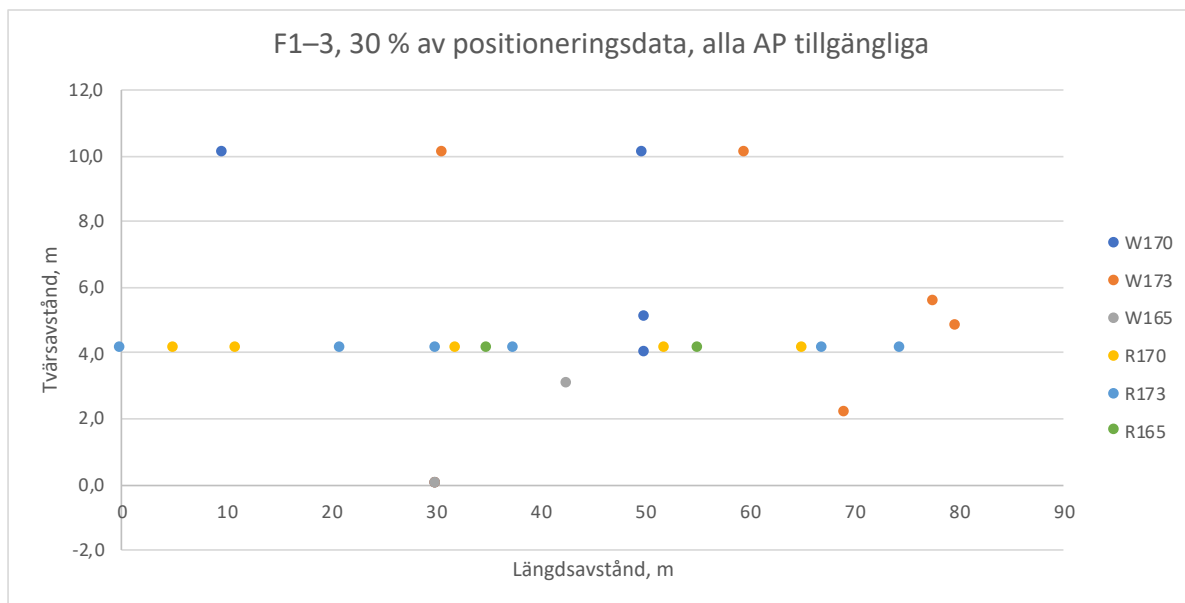
Som framgår av tabell 10 är det genomgående kortare genomsnittliga avstånd mellan wifi-baserade punkter och den verkliga platsen när den beräknade positionen använde ett färre antal accesspunkter. Uppenbarligen blir svårigheten större när mängden tillgänglig information ökar.

7.6. Positionering med ökat antal accesspunkter och passiv lysning

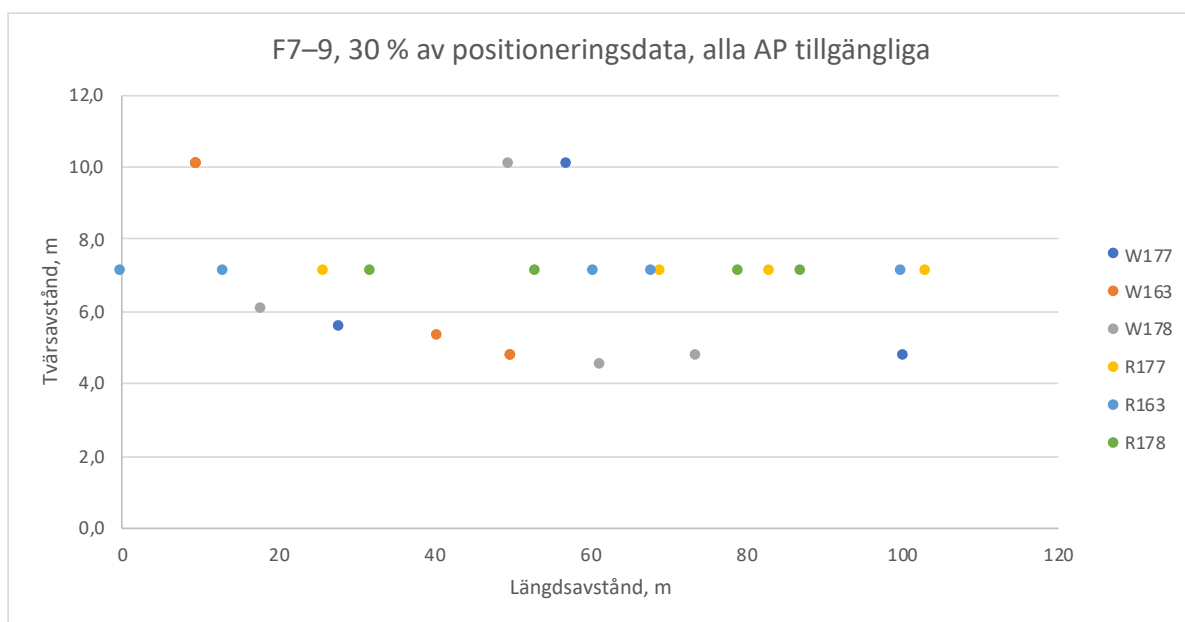
Möjligheten att positionera en mobiltelefon bygger på apparatens förmåga att kommunicera med ett antal accesspunkter. Det betyder att hur ofta kommunikationen sker också kan komma att påverka precisionen med vilken positioneringen sker. Det finns skäl att anta att skillnaden mellan en aktiv och passiv lysning inte kommer att påverka precisionen mer än i mindre omfattning eftersom det fortfarande är en position vid en given tidpunkt som används vid en jämförelse med en verklig position i tunneln. Avståndet bör således inte påverkas av hur ofta en förbindelse upprättas. Det som däremot kan påverkas av uppkopplingsfrekvensen är hur många uppkopplingar som sker per minut och att det antalet i sin tur kan påverka medelvärdet för avståndet över en viss förflytningssträcka.

För att undersöka uppkopplingsfrekvensen togs ett slumpmässigt urval från det befintliga datamaterialet av beräknade positioner med utgångspunkten att alla accesspunkterna är tillgängliga för att positionera en apparat. I ett första steg används 30 % av hela datamaterialet och i praktiken innebär det att ett färre antal datapunkter används för jämförelsen av positionsskillnaderna.

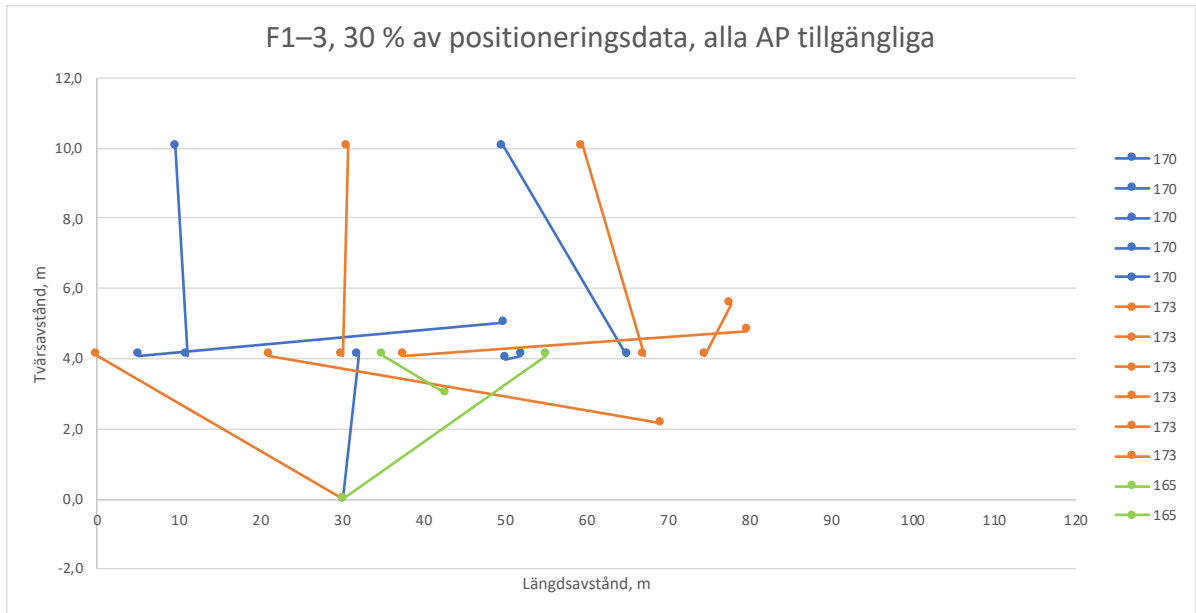
Undersökningen görs för försök 1–3 och 7–9. Figur 24 och 25 visar positionerna för forskningspersonerna i försök 1–3 respektive 7–9. I detta fall finns ett färre antal positioner redovisade jämfört med i tidigare situationer. Antalet varierar mellan två och sex positioneringar per försök. Figurerna 26 och 27 redovisar samma information men med en uppdelning per försök. Dessa figurer ger en bättre kvalitativ förståelse för hur verklig position förhåller sig till den wifi-baserade positionen för ett enskilt försök. Tabell 11 sammanfattar resultaten i form av medelvärde och standardavvikelse mellan wifi-baserad position och verklig position för respektive försök. Eftersom enbart ett mindre antal positioner finns för beräkning av medelvärde och standardavvikelse redovisas tabellen med samtliga analyserade positioner, d.v.s. även de som ligger innan 10 meter och de som ligger efter 100 meter.



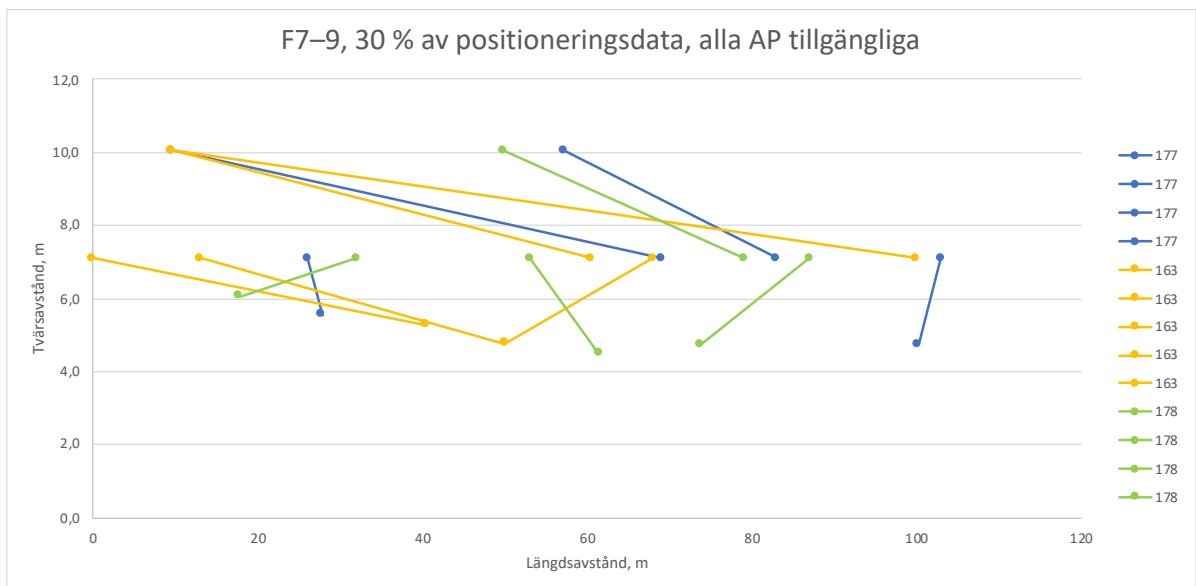
Figur 24. Positioner i tunneln när 30 % av datamaterialet används för analys, försök 1-3. Personen förflyttar sig utmed gångväg A (tvärsavstånd ca 4,1 meter).



Figur 25. Positioner i tunneln när 30 % av datamaterialet används för analys, försök 7-9. Personen förflyttar sig utmed gångväg B (tvärsavstånd ca 7,1 meter).



Figur 26. Positioner i tunneln när 30 % av datamaterialet används för analys, försök 1–3. Personen förflyttar sig utmed gångväg A (tvärsavstånd ca 4,1 meter).



Figur 27. Positioner i tunneln när 30 % av datamaterialet används för analys, försök 7–9. Personen förflyttar sig utmed gångväg B (tvärsavstånd ca 7,1 meter).

Tabell 11. Beräknade medelavstånd mellan verklig och wifi-baserad position för när alla accesspunkterna används och för handhållen mobiltelefonapparat men enbart 30 % av datamaterialet inkluderat. Samtliga tillgängliga datapunkter ingår i medelvärdet.

Försök nummer/fp nr	Samtliga tillgängliga positioner	
	Medelvärde, m	Standardavvikelse, m
F1/170	14,8	17,7
F2/173	23,3	19,5
F3/165	16,5	12,4
F1-3	19,0	12,4
F7/177	22,9	26,7
F8/163	47,4	26,8
F9/178	16,5	8,9
F7-9	30,4	25,3

8. Diskussion och fortsatt forskning

8.1. Generellt om tekniken

8.1.1. Allmänt

Wifi-tekniken används idag, förutom att bistå med en trådlös uppkoppling, även i kommersiella sammanhang för att positionera personer som ansluter till nätverket och för att kunna kartlägga delar av en byggnad där personer vistas en längre tid eller där flera personer vistas samtidigt. Det innebär att positioneringstekniken som sådan inte är ny men att det kan finnas tillämpningar där den ännu inte introducerats. I samband med en brand i en tunnel kommer röken snabbt att försvåra både utrymningen och i ett lite senare skede den räddningsinsats som ska genomföras. I och med att det kan förväntas finnas personer i tunneln som ännu inte nått en säker plats då räddningstjänsten kommer till platsen innebär det att räddningstjänstens taktik kan komma att påverkas av denna kunskap. Att då ha en möjlighet att identifiera om och var det kan finnas kvarvarande personer i tunneln förefaller vara en viktig kunskap. Det finns därför ett incitament att undersöka om tekniken kan tillämpas på en tunnelmiljö för att utöka informationsunderlaget som en räddningsledare har då beslut om insatstaktik ska göras. En fördel med tekniken som ytterligare kan nämnas är att utrustningen som behövs för en installation inte är så skrymmande vilket kan underlätta en installation även i befintliga tunnlar.

8.1.2. Tillämpning för räddningstjänst och tunnelns trafikledning

Eftersom tillämpningsfallet är förhållandevis nytt finns det inte mycket tidigare erfarenheter om hur tekniken kan användas. Det kan dock konstateras att kunskap om eventuellt kvarvarande personer i en väg- eller järnvägstunnel borde vara högst relevant information i samband med räddningsinsatser. Från olycksundersökningar efter inträffade bränder finns det fall exempelvis från branden i Gudvangatunneln 2013 [8] där personer gått långa sträckor i rök, när det i det inledande skedet uppfattades som ett bra alternativ att försöka ta sig ut genom den valda riktningen. Eftersom räddningstjänsten inte hade kunskap om kvarvarande personer i tunneln vände de luftströmmen, helt i enlighet med den förberedda instruktionen men med resultatet att personer översköldes av rök som försvårade utrymningen. Med kunskap om dessa personers position i tunneln hade kanske räddningstjänsten valt ett alternativt sätt att hantera branden.

Förutom att veta var personer befinner sig kan det vidare vara viktigt att veta i vilken riktning de förflyttar sig, och om de alls förflyttar sig. Detta samt kunskap om antalet personer som finns i tunneln kan vara av intresse. Frågeställningen i forskningsprojektet var om detta är information som kan erhållas med den undersökta tekniken och vilka eventuella begränsningar eller svårigheter finns. Resultaten tyder på att det finns möjlighet att både bestämma antalet personer, eller egentligen antalet mobiltelefoner eller motsvarande samt i vilken riktning dessa apparater förflyttas. Däremot behöver det ske en utveckling för att identifiera vilka apparater som är relevanta att positionera. Detta diskuteras vidare i avsnitten 8.1.4 och 8.3.3.

8.1.3. Tillgång till mobiltelefoner

Generella svårigheter som ligger utanför målet med försöken som redovisas i rapporten är att inte alla har tillgång till en mobiltelefon som kan identifieras via wifi-systemet. Det finns alltså ett bortfall när det gäller antalet personer som potentiellt kan lokaliseras. Det är dock vanligt att personer i många västländer har tillgång till en mobiltelefon och andelen i Sverige närmar sig 100 %. Tekniken förutsätter vidare att användaren har wifi-funktionen påslagen. Om den inte är aktiv kan inte wifi användas för positionering men kommunikation från mobiltelefoner sker även med andra tekniker, i föreliggande arbete undersöks dock endast wifi-tekniken. Problemet ska heller inte överdrivas eftersom utrymning i många fall sker i grupp med flera individer. Om en person har en aktiv mobiltelefon kan det räcka för att identifiera

utrymmande personer men antalet blir ju inte känt. Människors beteende vid utrymning är i detta fall en fördel.

8.1.4. Teknikutveckling

Det som vidare kan vara försvårande är att det inte bara är mobiltelefoner som har en wifi-uppkoppling utan detta finns i flertalet surfplattor och även i många moderna bilar. Vid en olycka kan det också antas att personer glömmer sin mobiltelefon i bilen när de lämnar den för att utrymma. Det innebär att en identifierad wifi-apparat inte nödvändigtvis måste innebära att den är kopplad till en person. Det finns därför en risk att en orörligt wifi-apparat lika gärna kan vara buren av en person som inte kan förflytta sig som att den sitter i en stillastående bil där trafikanterna flyr till fots.

En annan aspekt som är värd att nämnas är att teknikutvecklingen är snabb inom området vilket kan innebära att teknik snabbt föråldras. Teknik som finns tillgänglig idag måste kanske bytas ut relativt snart med mer modern teknik vilket kan leda till att funktionen inte ses som kostnadsnyttig. Dock är den primära uppgiften för ett lokalt trådlöst nätverk att förse användaren med en uppkoppling och inte för att positionera personer vid en olycka. Motivet att installera ett wifi-system drivs sannolikt av andra skäl men en positiv bieffekt är att den kan användas även vid olyckssituationer. Just valet av teknisksystem kan behöva undersökas och föreliggande rapport är helt inriktat mot wifi men kombinationer med andra tekniker kan också behöva undersökas.

8.1.5. Hur kan det fungera i rök?

En aspekt som hittills inte berörts är hur tekniken kan fungera i en ytterligare mer realistisk situation exempelvis om det finns rök och värme i tunneln. Experimentet undersöker positioneringssystemet i en rökfri miljö men det kan förmodas att möjligheten att positionera en individ påverkas av rökpartiklar i luften. Partiklarna kan både reflektera signalen och kommer sannolikt också att absorbera en del av energin i signalen. Sammantaget kan det därför antas att signalen dämpas och därigenom påverka möjligheten att korrekt positionera en individ.

8.1.6. Integritetsaspekter

En avslutande synpunkt kring användningen av tekniken för att spåra personer är att det kan finnas en integritetsaspekt knuten till denna utveckling. Möjligheten att kontinuerligt spåra individer kommer alltid att vara möjlig, den behöver inte begränsas till olyckssituationer. Frågeställningen gäller dock i ett större perspektiv om vem som har rätt att veta var personer befinner sig och hur sådan information får samlas in, analyseras, lagras och presenteras.

8.2. Resultatdiskussion

8.2.1. Precision i positioneringen med wifi-tekniken

Sammanfattningsvis visar resultaten på en avvikelse mellan verklig position i tunneln och den position som wifi-tekniken predikterar som är större än förväntat. Från litteraturen finns försök redovisade som anger en genomsnittlig skillnad från cirka en meter och upp mot 8 meter beroende på teknik och uppkopplingsform. I de aktuella försöken som hittills analyserats ligger skillnaden snarare mellan 15 – 20 meter i genomsnitt för ett antal positioneringar under ett enskilt försök. Detta kan tyckas vara ett nedslående resultat men det behöver inte ses som ett större problem för den aktuella tunneltillämpningen och en av anledningarna till de längre avstånden i försöken jämfört med andra experiment ligger i den valda tekniken.

Försökets primära uppgift var att undersöka möjligheten att positionera individer under olika förutsättningar och med vilken precision det kan göras i en tunnel. För att kunna genomföra den typen av försök krävs att den tekniska utrustningen klarar av den aktuella miljön. Därför valdes en teknik som skulle fungera i den aktuella miljön även med vetskapen att det finns annan teknik som sannolikt skulle ge en bättre överensstämmelse mellan verklig och predikterad position. Det första steget för att förbättra den

tekniska utrustningen bedöms vara att accesspunkter som kan bestämma riktningen till en aktuell mobiltelefon används. Det innebär att positioneringsalgoritmen i stället kan använda triangulering istället för eller i kombination med trilaterering.

De accesspunkter som användes i försöken använder signalstyrkan för olika accesspunkter för att hitta lokaliseringen och med den metoden används inte information om riktning utan endast avstånd. Om apparaturen är känslig med avseende på variationer i signalstyrka för att bestämma ett avstånd kommer det att vara stora variationer i det predikterade resultatet.

Skillnaden i positioneringen ska också ses i ljuset av att avstånden mellan mynningar i en tunnel och avstånden mellan utrymningsvägar i tunnlar är längre än avvikelsen i prediktionen. Det gör att det sannolikt inte är så betydelsefullt om avvikelsen ligger i storleksordningen 15 meter.

Skillnaden i positioneringen mellan olika försök varierar inte mycket och variationen verkar vara något slumpartad. Tre till synes identiska försök kan skilja upp till 8 meter mellan det bästa och det sämsta försöket. I grundfallet varierar precisionen mellan försök 1 och 2 upp till 9 meter. Däremot är avvikelsen mer jämn för försök 7–9 som är snarlika men där forskningspersonen går i andra riktningen (se avsnitt 7.1). För dessa försök är variationen mellan enskilda försök som mest 2 meter.

De flesta fallen som redovisas i rapporten baseras på förutsättningen att endast data från varannan accesspunkt användes för att prediktera den wifi-baserade positionen. Men data finns även tillgängligt för fallet när alla accesspunkterna används. Det visar sig att precisionen är något bättre om endast varannan accesspunkt används, tabell 10. Detta gäller genomgående för de försök som analyserats dvs försök 1–3 och 7–9. Skillnaden är inte stor men det är ändå en försämring i precisionen i genomsnitt mellan 3,3 meter och 8 meter beroende på vilka försök som jämförs och om alla positioner ingår i analysen eller endast de mellan 10 meter och 100 meter i längdsled. Det finns en randeffekt som gör att skillnad mellan en verklig position och en wifi-baserad position är mindre en bit in i försöksområdet. Det är sannolikt orsaken till att skillnaden generellt är mindre om endast positioner mellan 10 meter och 100 meter ingår i beräkningen av avståndsskillnaden jämfört med om samtliga positioner ingår i beräkningen. Dessa praktiska aspekter är sådana som kan behöva belysas ytterligare för att identifiera ett optimalt antal accesspunkter och hur dessa placeras.

En av projektets frågeställningar var om tekniken kunde användas för datainsamling av personers förflyttning i en vidare mening. Idag används observationer och analys av videoinspelat material för att kartlägga personers gånghastighet, personflöden och förflyttningsmönster i samband med utrymning och under mer normala förutsättningar. Denna typ av data används oftast för att dimensionera gångvägars kapacitet och inte minst i samband med utrymning. Under de senaste åren har det konstaterats att hittills använt material i mindre utsträckning speglar dagens förutsättningar med tanke på biomekaniska förändringar som sker i befolkningen. Övervikt och en åldrande befolkning gör att dimensioneringsunderlaget som används idag ifrågasätts. Att använda andra tekniker som mer automatiserat kan bestämma förflyttningsegenskaper skulle sannolikt effektivisera insamlandet. Det kan dock konstateras att precisionen i tekniken inte bedöms vara så hög att wifi kan vara ett alternativ till videoanalys. En möjlighet kan vara att undersöka om kombinerad trådlös teknik kan vara ett alternativ men envar wifi-tekniken bedöms inte vara användbar i detta syfte.

8.2.2. Apparats placering i fickan

Det verkar inte vara så viktigt hur mobiltelefonen bärs, om den hålls i handen eller om den ligger i personens ficka. Resultaten tyder på att det verkar vara mer gynnsamt om telefonen ligger i fickan men skillnaden är inte så stor. Däremot är det intressant att se hur avvikelsen i wifi-baserad position är för de två apparaterna, handhållen respektive placerad i fickan. Det skulle kunna förväntas att de två apparaterna för varje mätpunkt skulle placera den predikterade platsen på ungefär samma ställe. Men det finns även en skillnad mellan de två predikterade (handhållen respektive placerad i fickan) platserna som är i storleksordningen 10 meter, se tabell 5. Även här ger försök 7–9 mer gynnsamma resultat än försök 1–3.

Predikteringsavvikelsen är cirka 5 meter bättre för de förra försöken även om förutsättningarna är relativt lika.

8.2.3. Personer som går i grupp

Endast ett gruppöversök är analyserats men detta uppvisar en bättre precision i den wifi-baserade positionen jämfört med liknande försök där personerna rör sig enskilt, jämför försök 1–3 med försök 4 där personerna går som en grupp. Skillnaden är visserligen i samma storleksordning men det är ändå cirka 5 meter. Även osäkerheten i avstånden mellan sammanhängande positioner är mindre för gruppöversöket i försök 4. Detta kan även bero på att antalet observationer är något fler, något som påverkar standardavvikelsen. Men baserat på de tillgängliga datamängden så är skillnaden i avstånd signifikant mellan försök 1–3 i förhållande till försök 4.

8.2.4. Stillastående person

Fyra försök har analyserats där personen först går en sträcka och sedan gör ett uppehåll och står stilla en viss tid. När personen står stilla är precisionen i den predikterade positionen bättre jämfört med när personen rör sig. Medelvärde för skillnaden mellan verklig och wifi-predikerad plats är cirka 12 meter jämfört med cirka 18 meter för ett motsvarande fall då personen förflyttar sig, jämförelse mellan försök 27 och 28 mot försök 1–3 samt 30 och 31 mot försök 7–9. Det är rimligt att precisionen ökar om personen står stilla då det sannolikt förekommer oftare att det är samma accesspunkter som bidrar till positioneringen och att skillnaden i signalstyrka minskar när personen står stilla.

8.2.5. Aktiv och passiv uppkoppling

Det är rimligt att anta att inte alla personer som behöver positioneras vid en olycka har sin telefon aktivt uppkopplad mot det lokala nätverket (det kanske inte ens erbjuds/kommer att erbjudas som en möjlighet i den här typen av miljöer). Snarare är det så att de flesta bilister kommer att ha en passiv uppkoppling vilket innebär att accesspunkter och mobiltelefon kommunicerar mindre ofta jämfört med under den aktiva uppkopplingen.

Utvecklingen av tekniken för att bestämma positionen baserat på insamlad wifi-material har också visat att komplicerade och precisa algoritmer tar lång tid att konstruera och validera. Detta är naturligtvis ett utvecklingsarbete som behöver genomföras innan denna typ av system kan tas i drift.

Positioneringstekniken som till slut användes för projektet är en trilatererings-metod, som med hjälp av RSSI-till-meter-sambandet skapar avstånd från en telefon till en accesspunkt den för en given tidpunkt kommunicerar med. I det aktuella experimentet var mängden accesspunkter algoritmen får använda sig av vid ett givet tillfälle bestämt till tre, vilket innebär att de tre starkaste signalerna är de som används för att positionera en telefon. Om en telefon inte hörts av tre eller fler accesspunkter så används inte signalerna. Det var således mycket fokus på hanteringen av datasetet jämfört med att på positioneringsalgoritmen i slutändan skulle ge det bästa resultatet. Det finns således möjligheter att ytterligare förbättra precisionen med andra strategier och för bättre utrustning.

8.3. Vidare forskning

Resultaten från experimentet och från den inledande tekniköversikten (Fridolf, Frantzich och Liljestränd, 2020) konstaterar att det finns möjligheter att använda tekniken för att positionera personer med en tillräckligt god noggrannhet. Men det finns också möjligheter att ytterligare förbättra tekniken och positioneringsmöjligheten och projektet har tydligt identifierat några sådana områden.

8.3.1. Undersök vidare det befintliga datamaterialet

Det mest uppenbara förslaget till vidare forskning är att analysera det återstående materialet från experimentet. I dagsläget är bara en mindre del analyserat och anledningen till detta är att analysen är tidskrävande. Men i ett kommande arbete kan det vara värt att utveckla mer automatiserade tekniker för att minska inslaget av manuellt arbete för att jämföra verklig position med en wifi-baserad predikerad

position. En uppenbar teknik som kan förenkla datahanteringen torde vara att använda videoanalysmetoder för att beskriva position för de aktuella forskningspersonerna.

8.3.2. Förbättrad och alternativ teknik

Den mest uppenbara begränsningen i dagens försök är att den använda tekniken är förhållandevis enkel. En upprepning av försöken men med en förbättrad teknisk utrustning som kan hantera positioneringen bättre bör undersökas. Främst bör accesspunkterna kunna bestämma riktningen till den aktuella mobiltelefonen för att positioneringen inte enbart ska behöva förlitas på signalstyrka. Ett problem som inte kunnat beskrivas fullt ut är hur signalvägarna ser ut i tunneln och hur signalen påverkas av tunnelns geometriska utformning. Signaler reflekteras av väggar, föremål och individer vilket sammantaget påverkar precisionen i positioneringen. Här skulle sannolikt en mindre studie i labmiljö kunna inleda ett sådant arbete för att sedan verifieras i full skala. I det sammanhanget bör det också beaktas hur den tekniska utrustningen över tid kan överleva i den svåra tunnelmiljön.

Positioneringen baseras nu helt på wifi-kommunikation. Det kan finnas behov av att undersöka möjligheten att kombinera flera signaltyper för att förbättra positioneringen. I detta sammanhang bör flera tekniker såsom Bluetooth, 4/5G-signaler och wifi inkluderas men inte begränsas till dessa. Utvecklingen av positioneringsteknik för tunnlar bör inte begränsas till den nuvarande tekniken utan sikta framåt.

En tydligare undersökning av användarens förutsättningar bör även undersökas d.v.s. i vilken mån det krävs att det finns en aktiv uppkoppling eller om det kan räcka att en passiv förbindelse finns. Av resultaten att döma är det inte någon större skillnad i precision mellan en aktiv och en passiv uppkoppling. Det är mest antalet positioneringar per tidsenhet som skiljer. Detta skulle i så fall tala för att det i många fall kan räcka med en passiv uppkoppling för att tekniken ska vara användbar. Men det kan finnas skäl att undersöka den utökade nyttan med att ha en aktiv uppkoppling och ett ytterligare bättre underlag för positioneringen

8.3.3. Utveckling av positioneringsalgoritmer

Grunden för att positionera en mobiltelefon är att det finns beräkningsmetoder som kan omvandla signaler mellan en mobiltelefon och den kringliggande infrastrukturen till en position och hur denna förändras med avseende på tiden d.v.s. om mobiltelefonens position ändras. Utvecklingen av bättre algoritmer bör sannolikt ske i samverkan med att annan teknik används. Men utvecklingsbehovet ska inte underskattas både i dess svårighetsaspekt och tidskrav för att utveckla en robust lösning.

I utvecklingen finns även ett behov av att kunna identifiera de apparater som behöver kunna positioneras. I dagsläget finns en rad apparater som har en trådlös uppkoppling, t.ex. surfplattor, datorer och även fordonen kan vara uppkopplade. Det innebär att det finns wifi-signaler som inte behöver vara kopplade till en individ och som då behöver kunna filtreras bort. Det kan vidare finnas mobiltelefoner som positioneras till en och samma plats, men det går inte att angöra om den signalen kommer från en mobiltelefon som någon glömt kvar i fordonet eller om den hör till en individ som inte längre kan förflytta sig. Den typen av information är väsentlig för att tekniken ska kunna användas som underlag för metodval i en räddningssituation. Det kan mycket väl vara så att denna information är viktigare att säkerställa jämfört med att kunna positionera med bättre noggrannhet.

8.3.4. Funktion i rökfyllda miljöer

Föreliggande experiment är genomfört i en realistisk miljö d.v.s. en vägtunnel. Tanken med tekniken är dock att den ska kunna användas för att lokalisera personer i samband med en olyckshändelse. Det innebär att ytterligare försvarande omständigheter bör undersökas och hur de påverkar precisionen att lokalisera individer i realtid. Med försvarande omständigheter avses exempelvis brandrök, högre temperatur och eventuella gaser som transporteras på väg och järnväg.

8.3.5. Tillämpning för räddningstjänst och trafikledning

Utgångspunkten för projektet som sådant är att det ska skapa ett underlag för att förse en trafikledningscentral eller räddningstjänsten med information om var personer befinner sig och i vilken riktning de förflyttar sig i realtid. Den typen av kunskap kan vara värdefull för att anpassa insatsens taktik och utgå från aktuella förutsättningar. Men för att detta ska vara möjligt krävs att mottagaren har kunskap och metoder för att ta emot den nya informationen. Det finns således ett utvecklingsbehov med att kartlägga förutsättningarna att använda resultaten från tekniken och för att undersöka hur den sedan kan användas i samband med en operativ insats sam för förberedelser för en sådan insats. Ett enkelt användargränssnitt anpassat för tillämpningen behöver t.ex. utvecklas.

9. Slutsatser

Projektets syfte var att utreda förutsättningarna för att positionera personer i en väg- eller järnvägstunnel med hjälp av personernas mobiltelefoner. För att bedöma den möjligheten har en genomgång av möjlig teknik gjorts (redovisad i en separat rapport) samt undersökts genom ett experiment i en realistisk miljö. Slutsatsen är att precisionen med den använda tekniken ligger kring 20 meter, d.v.s. skillnad mellan verklig position och med wifi predikerad position. Detta innebär att noggrannheten är tillräcklig för att tekniken på sikt ska kunna användas av räddningstjänsten och en trafikledningscentral för att bedöma position och förflyttningsriktning för aktuella personer i realtid.

Positioneringssystemet bedöms ha goda förutsättningar att öka säkerheten i både nya och befintliga tunnlar genom att tillhandahålla information som kan användas för både styrning av säkerhetsutrustning såsom ventilation och för planering och för genomförande av en räddningsinsats. Anledningen till den förmodade nyttan är att de utrymmande redan kan förväntas bära med sig en del av den tekniska utrustning som behövs för själva positioneringen, att tekniken kan tillämpas på samtliga fabrikat av mobiltelefoner och att det inte finns något behov av förinstallerade applikationer eller motsvarande i telefonen.

Experimentet har en del begränsningar vilket innebär att ytterligare undersökningar sannolikt behöver utföras till exempel att undersöka inverkan av det finns rök och värme i den aktuella miljön.

Experimenten visar även att faktorer såsom hur användarens mobiltelefon kopplas upp mot infrastrukturen, hur mobiltelefonen hanteras av användaren och om personen förflyttar sig enskilt eller i grupp påverkar noggrannheten i positioneringen med wifi. Skillnaderna är dock inte större än att den generella slutsatsen om teknikens möjlighet ändras.

Tekniken kan däremot inte sägas kunna ersätta traditionella metoder för datainsamling av personers förflyttning som är tänkta att kunna användas för att dimensionera förflyttningsvägar eller för modellering av personers förflyttning. Noggrannheten är inte tillräcklig god för detta syfte.

Referenser

1. Fridolf, K., Frantzich, H. och Liljestränd, S. (2020). Indoor Localization for Fire Safety – A brief overview of fundamentals, needs and requirements and applications. Report 7050, Div. of Fire safety Eng. Lund University, Lund.
2. Ingason, H, Li, Y. och Lönnemark, A. (2015). Tunnel Fire Dynamics, New York: Springer.
3. Beard, A och Carvel, R. (2012). Handbook of Tunnel Fire Safety, London: ICE Publishing.
4. Haack, A. (2003). Catastrophic Tunnel Fires – What have we learnt?, in International Symposium on Catastrophic Tunnel Fires, Borås.
5. Shields, J. och Boyce, K., (2004). Towards Developing an Understanding of Human Behaviour in Fire in Tunnels, in The third International Symposium on Human Behaviour in Fire, Belfast.
6. Fraser-Mitchell, J. och Charters, D. (2005). Human Behaviour in Tunnel Fire Incidents, in Fire Safety Science.
7. Fridolf, K. (2015). Rail Tunnel Evacuation, Lund university, Lund.
8. AIBN (2015). Report on fire in a heavy goods vehicle in the Gudvanga tunnel on the E16 road in Aurland on 5 August 2013. Report ROAD 2015/02, Lillestrøm, Norway.
9. Lönnemark, A., Vylund, L., Ingason, H., Palm, A., Palmkvist, K., Kumm, M., Frantzich, H. och Fridolf, K. (2015). Rekommendationer för räddningsinsatser i undermarksanläggningar, RISE Fire Safety, Borås.
10. Bergqvist, A., Frantzich, H., Hasselrot, K. och Ingason, H. (2001). Räddningsinsatser vid tunnelbränder: Probleminventering och miljöbeskrivning vid brand i spårtunnel, Räddningsverket, Karlstad.
11. Ingason, H., Bergqvist, A., Lönnemark, A., Frantzich, H. och Hasselrot, K. (2005). Räddningsinsatser i vägtunnlar, Räddningsverket, Karlstad.
12. MSB, (2015). Taktik och Metodik vid brand i Undermarksanläggningar (TMU), Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Karlstad.
13. Palm, A. (2014). Taktik och ledning vid brand i undermarksanläggningar: Analys av fullskaleförsök och tre verkliga händelser, Mälardalens Högskola, Västerås.
14. Schiller, J. och Voisard, A. (2004). Location-Based Services, Elsevier.
15. Kaplan, E. och Hegarty, C. (2005). Understanding GPS Principles and Applications (second edition).
16. Agnew, N., Huber, M. och Simmons, I. (2016). Fire and Life Safety Matters During Tunnel Construction, in Seventh International Symposium on Tunnel Safety and Security (ISTSS), Montreal.
17. Bastos, A., Vieira, V. och Apolinario, A. (2015). Indoor location systems in emergency scenarios - A Survey, i Brazilian Symposium on Information Systems, Goiania.
18. Ohlsson, A. (2017). Bumble Labs mäter strömningarna i samhället, Fastighetssverige, pp. 82-84.
19. Liu, F., Liu, J., Yin, Y., Wang, W., Hu, D., Chen, P. och Niu, Q. (2020). Survey on WiFi-based indoor positioning techniques. IET Communications, Vol 14, Issue 9, pp 1372-1383.
20. Frantzich, H. (1993). Utrymningsvägars fysiska kapacitet - Sammanställning och utvärdering av kunskapsläget, Lunds tekniska högskola, Lund.
21. Proulx, G. (2008). Evacuation Time i SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (fourth edition), National Fire Protection Association, Quincy.
22. Gwynne, S. och Boyce, K. (2016). Engineering Data, in The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Springer, 2016.
23. Thompson, P., Nilsson, D., Boyce, K., McGrath, D. och Molloy, M. (2015). Exploring the Biomechanics of Walking and Crowd Flow, i The Sixth International Symposium for Human Behaviour in Fires, Cambridge.

24. Thompson, P., Nilsson, D., Boyce, K. och McGrath, D. (2015). "Evacuation models are running out of time, *Fire Safety Journal*, vol. 78, pp. 251-261.
25. Hansen, A. (2017). *A Scoping Review for the Parameters of Crowd Movement*, Lund University, Lund.
26. Rinne, T., Hostikka, S., Paloposki, T., Korhonen, T., Saari, J. och Heliövaara, S. (2008). Application of RFID and Video Imaging on Evacuation Observations in Offices and Public Buildings, in *The Ninth International Symposium on Fire Safety Science*.
27. Brown, R., Galea, E., Deere, S. och Filippidis, L. (2015). Using Infra-Red Technology to Track People Moving in the Built Environment - Accuracy of Automatically Measuring Walking Speed and Crowd Congestion, in *The 6th International Symposium on Human Behaviour in Fire*, Cambridge.
28. An, W., Hu, M., Gao, J., Xie, Y. och Yu, S. (2022). Experiment on Evacuation Behavior in Full-Scale Tunnel with Different Guiding Pattern. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 20(3), pp 793–804.
29. Kumm, M., Wirström, N., Nilsson, M., Ingason, H. och Vylund, L. (2016). Safety positioning for first responders to fires in underground constructions: AA pre-study of demands and possibilities, SP Technical Research Institute of Sweden, Borås.
30. Duckworth, R och Cyganski, D. (2010). WPI Precision Personnel Location and Tracking System for First Responders. I *Interflam*, Nottingham.
31. Li, N. och Becerik-Gerber, B. (2012). An Infrastructure-Free Indoor Localization Framework to Support Building Emergency Response Operations. I *19th EG-ICE International Workshop on Intelligent Computing in Engineering 2012 (ICE12)*.
32. Arbetsmiljöverket. (2014). Rök- och kemdykning: Arbetsmiljöverkets föreskrifter om rök- och kemdykning samt allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna (Ändringar införda t.o.m. den 25 mars 2014), Arbetsmiljöverket, Stockholm.
33. Ahn, J. och Han, R. (2012). An indoor augmented-reality evacuation system for the Smartphone using personalized Pedometry. *Human-Centric Computing and Information Sciences*, vol. 2, nr 18.
34. Frantzich, H., Nilsson, D. och Rød, K. (2016). Utrymning och tekniska installationer i vägtunnlar med dubbelriktad trafik, Lunds universitet, Lund.
35. Galea, E.R., Xie, H., Deere, S., Cooney, D. och Filippidis, L. (2016). An international survey and full-scale evacuation trial demonstrating the effectiveness of the active dynamic signage system concept. *Fire Mater.* 2017; 41:493–513.
36. Internetstiftelsen (2018). *Svenskarna och internet - 2018*, Internetstiftelsen i Sverige, Stockholm.
37. Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2016/679 av den 27 april 2016 om skydd för fysiska personer med avseende på behandling av personuppgifter och om det fria flödet av sådana uppgifter och om upphävande av direktiv 95/46/EG.
38. Lag (2003:460) om etikprövning av forskning som avser människor.
39. Golestanian, M., Siva, J. och Poellabauer, C. (2017). Radio Frequency-Based Indoor Localization in Ad-Hoc Networks. In *Ad Hoc Networks*, Ed. Hamilton Ortiz, J. and Pachon de la Cruz, A. DOI: 10.5772/66523, Intech.
40. Goodfellow, I., Bengio, Y. och Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press, Cambridge Md.

Bilaga 1: Forskningspersoninformation



LUNDS
UNIVERSITET

Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Håkan Frantzič, Universitetslektor

2021-10-13

Information om utrymningsförsök i vägtunnel (2021-10-27)

Natten mellan den 27 och 28 oktober ska en enklare utrymningsövning genomföras i en tunnel i Södra Länken i Stockholm. Försökets syfte är att undersöka möjligheten att i framtiden positionera personer i en tunnel med hjälp av personens mobiltelefon. Telefonen kan i olika grad koppla upp sig mot ett befintligt wifi-nät i en tunnel och då kan positionen bestämmas med några olika former av teknik. I försöket kommer apparater som motsvarar en mobiltelefon att användas, försökspersonernas egna telefoner används inte under försöket. Försöket genomförs av avdelningen för Brandteknik vid Lunds universitet.

Du får denna information eftersom att du anmält ditt intresse av att delta i försöket. I avsnitten nedan hittar du information om försöket.

1. BAKGRUND OCH SYFTE

Från inträffade olyckor med bränder i tunnlar har det framkommit att personer som utrymmer från vägtunnlar kan behöva gå långa sträckor innan de hittar ut. Lokaliseringen av dessa är ett bekymmer för räddningstjänsten, speciellt om tunnlar är långa och om de samtidigt är rökfyllda. Att kunna lokalisera dessa på ett enkelt sätt innebär minskade risker för räddningspersonalen samtidigt som risken för den enskilde också minskar om en snabbare räddning kan förutses. Lokalisering av personer kan även vara av intresse för den som driver en tunnel för att kunna informera räddningstjänst om det finns instängda personer innan räddningstjänsten kommit till platsen för en olycka. Det finns således ett intresse att undersöka olika tekniker för att lokalisera personer som är instängda i en tunnel vid brand.

Syftet med denna studie är att öka kunskapen knuten till positionering av individer vid en utrymning av en tunnel. Målet är att genomföra försök i en vägtunnel för att utvärdera wifiteknikens möjlighet att positionera personer och jämföra dessa positioner med personens verkliga position i tunneln.

2. FÖRFRÅGAN OM DELTAGANDE

Du har blivit kontaktad eftersom att du anmält intresse av att delta. I detta dokument hittar du mer detaljerad information om själva försöket. Efter att ha läst informationen kan du fatta ett beslut om att delta. Försöket är helt frivilligt, och du deltar naturligtvis bara om du själv vill.

3. HUR GÅR STUDIEN TILL?

I försöket kommer du att gå en sträcka ett flertal gånger (maximalt ca 100 meter per tillfälle) i en avstängd vägtunnel. Tunneln är Sicklatunneln, en del av Södra Länken i Stockholm. Försöket innebär i praktiken att du går en anvisad sträcka, enskilt eller i grupp med andra, vid ett upprepat antal tillfällen. Det kommer inte att finnas någon rök eller annat som kan vara hindrande under försöket och hela försöket sker i en upplyst tunnel. Försöket genomförs natten mellan den 27 och 28 oktober 2021.



LUNDS
UNIVERSITET

Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Håkan Frantzič, Universitetslektor

På försöksdagen tar du dig samlingsplatsen som är Trafikverkets depå i Sickla, Uddvägen 6, se bilaga A. Det finns ett begränsat antal parkeringsplatser på det inhägnade området så det är bra om flera kan samåka.

Framme vid Sickladepån kommer du att få en mer detaljerad information om försökets praktiska genomförande. Du kommer också att få skriva under att du samtycker till att delta i försöket efter du fått information om genomförandet samt att fylla i en enkel enkät. Alla försökspersoner ska vara försedda med varselväst eller varseljacka och hjälm. Har du detta är det bra om du kan ha det med dig, i annat fall kommer det att finnas några hjälmar och varselvästar på samlingsplatsen. Skyddsskor är inte nödvändiga. Klädsel bör i övrigt vara oöm och tänk på att det kan vara kallt i tunneln.

Du kommer också att utrustas med en apparat som ska simulera en mobiltelefon. Denna kommer du att få bära med dig under hela försökets genomförande. Från samlingsplatsen kommer du att ledas in till Sicklatunneln via en arbetstunnel som löper mellan depån och Sicklatunneln.

Efter försöket i Sicklatunneln är avslutat kommer du att ledas upp till depån igen. Där kan du återlämna väst och hjälm som du lånat. Därefter är försöket avslutat.

4. VILKA ÄR RISKERNA

Tunneln är avstängd för trafik. Trots detta finns en liten risk att en bilist ändå kan komma in i tunneln under försökets genomförande trots nedfällna bommar. Detta är dock högst osannolikt. Största risken är annars att falla i tunneln men risken är inte större än den är på en trottoar. Första-hjälpen-utrustning kommer att finnas tillgänglig på försöksplatsen för hantering av mindre åkommor. Eftersom försöket genomförs under tiden Trafikverket utför underhållsarbeten är platsen att betrakta som en arbetsplats vilket ställer krav på varselväst och hjälm.

Den tunnelmiljö som används kan upplevas som skrämmande och du kan känna obehag. Om du vill avbryta försöket kan du därför när som helst avbryta ditt deltagande. Detta meddelar du till någon av funktionärerna.

5. FINNS DET NÅGRA FÖRDELAR?

Den viktigaste fördelen är att du får möjlighet att besöka en vägtunnel som fotgängare och kunna se befintliga skyddsåtgärder på nära håll. På det viset kommer du att få en erfarenhet av tunnelmiljön så du kan vara bättre förberedd om du någon gång råkar ut för en verklig incident eller olycka.

6. HANTERING AV DATA

I tunneln kommer du att filmas med videokameror. På inspelningen kommer det att vara möjligt att identifiera dig som person. Filmerna kommer att användas i analysen av försöket. När de inte används förvaras de inlåsta på avdelningen Brandteknik vid Lunds universitet. Filmerna kommer bara att analyseras av forskare på avdelningen, men ett urval av filmerna kan komma att visas i undervisningssyfte. De filmer som väljs ut för visning i undervisningssyfte kommer att behandlas så att det inte går att identifiera dig.



LUNDS
UNIVERSITET

Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Håkan Frantzich, Universitetslektor

Den data som presenteras i rapporter och artiklar kommer att vara kodad och det kommer inte att vara möjligt att identifiera dig. Dina kontaktuppgifter sparas i maximalt 6 månader, men de kommer aldrig att kopplas till insamlade data. Kontaktuppgifterna sparas för att vi ska kunna hantera utbetalningen av ersättningen.

7. HUR FÅR JAG INFORMATION OM STUDIENS RESULTAT?

Studiens resultat kommer att publiceras på hemsidan www.brand.lth.se. Planen är att resultaten ska vara publicerade senast i januari 2022. Resultaten kommer där att vara tillgängliga i form av en kortfattad populärvetenskaplig artikel.

8. FÖRSÄKRING OCH ERSÄTTNING

I samband med försöket är du försäkrad i en s.k. särskilt personskadeskyddsförsäkring som tecknats av Lunds universitet via statliga Kammarkollegiet. Försäkringen är en olycksfallsförsäkring som täcker alla delar av försöket samt resa till och från försöksplatsen. Du kommer att erhålla 500 kronor i form av ett s.k. GoGift presentkort. Detta kan användas i ett flertal butiker, fysiska och på nätet. Presentkortet skickas till dig efter avslutet försök.

9. FRIVILLIGHET

Deltagande i försöket är frivilligt. Du kan när som helst välja att avbryta din medverkan i försöket. Om du väljer att avbryta under pågående försök ska du meddela detta till en funktionär. Du kommer att erhålla ersättningen på 500 kronor även om du väljer att avbryta din medverkan under pågående försök.

10. ANSVARIGA

Försöken genomförs av forskare på avdelningen Brandteknik vid Lunds universitet. Huvudansvarig forskare är Håkan Frantzich. Du kan nå Håkan via mejl (hakan.frantzich@brand.lth.se) eller telefon (046-222 95 91).

Du är välkommen att kontakta mig om du har frågor om studien. Detta gäller även efter eventuellt genomfört försök om du i efterhand känner tendenser till obehag.

Vänliga hälsningar

Håkan Frantzich
Universitetslektor LTH

Tel: 046-222 95 91
E-post: hakan.frantzich@brand.lth.se



LUNDS
UNIVERSITET

Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Håkan Frantzich, Universitetslektor

Denna blankett får du nu för kännedom. Vid försöket kommer du att få fylla i en likadan blankett. Du behöver inte ta med detta exemplar av blanketten.

Samtycke – Utrymningsförsök i vägtunnel

Jag har tagit del av ovanstående information om försöket i vägtunneln i Södra Länken som genomförs den 27 oktober 2021. Dessutom har jag fått möjlighet att ställa frågor och fått svar på de frågor jag har. Jag samtycker även till att filmningen med videokamera av mitt deltagande kan komma att användas i utbildningssyfte men att de då inte får vara möjligt att identifiera mig som person. Jag är därför insatt i vad försöken innebär och samtycker härmed till att delta i studien.

Signatur

Ort och datum

Namnförtydligande



LUNDS
UNIVERSITET

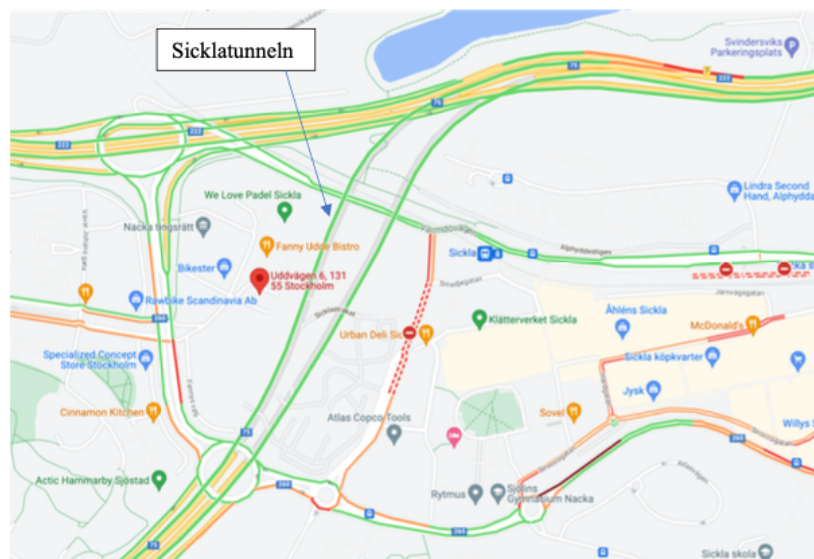
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Håkan Frantzich, Universitetslektor

Bilaga A - Praktisk information inför försöket i Sicklatunneln 27 oktober

Tid och plats: Samling sker mellan 22:00 och 22:30 den 27 oktober vid Trafikverkets depå i Sickla, Uddvägen 6, se kartan nedan. Du tar dig dit på egen hand men försök att samåka om det går. Det finns ett begränsat antal parkeringsplatser innanför staketet på Sickladepån. Cykel är annars ett bra alternativ och möjligen även kollektivtrafik. Med lite tur kommer försöket att kunna avslutas ca 01:30 på morgonen.

Utrustning: Klädseln bör vara sådan att du kan hålla dig varm, det kan vara kallt i tunneln. Om du har tillgång till egen varselväst eller varseljacka och hjälm är det bra om du har med detta. Annars får du låna detta men jag har bara ett visst antal hjälmar. Du måste också kunna legitimera dig vid ankomsten, vilket är ett krav vi har från Trafikverket.

Övrigt: Du bör notera att toalett inte finns tillgänglig i tunneln. Däremot kommer det att finnas vatten, godis, frukt mm på platsen. Du kan ha med din mobiltelefon men du kommer att behöva ha den i 'flight mode' under försöket för att inte störa den övriga wifi-mätningen. Du får inte fotografera eller filma i tunneln.





LUND
UNIVERSITY

Lunds universitet, Lunds tekniska högskola, Institutionen för bygg- och miljöteknologi,
Avdelningen för brandteknik.