

# RAPPORT Tunnelsäkerhet – Berg- och tunnelteknik

## Dörröppningsbredder för personutrymning i järnvägstunnlar

Trafikverket publ.nr: 2014:062



Dokumenttitel: Dörröppningsbredder för personutrymning i järnvägstunnlar  
Skapat av: Mikaela Warberg, Bo Wahlström - Faveo Projektledning AB  
Dokumentdatum: 2013-12-21  
Dokumenttyp: Rapport – Tunnelsäkerhet - Berg- och tunnelteknik  
Publikationsnummer: 2014:062  
ISBN: 978-91-7467-586-3  
Version: 1.0

Publiceringsdatum: 2014-03-07  
Utgivare: Trafikverket  
Kontaktperson: Per Vedin, Trafikverket, per.vedin@trafikverket  
Distributör: Trafikverket, telefon: 0771-921 921

# Innehåll

<b>1 Inledning</b>	<b>4</b>
1.1 Syfte	4
1.2 Omfattning	4
<b>2 Slutsatser</b>	<b>5</b>
<b>3 Krav på dörröppningar och dörrar</b>	<b>8</b>
3.1 Teknisk specifikation för driftskompatibilitet, säkerhet i järnvägstunnlar	8
3.2 Trafikverkets tekniska krav	8
<b>4 Jämförelse av funktion –     dörröppningsbredder för personutrymning</b>	<b>10</b>
4.1 Krav på öppningsbarhet	10
4.1.1 Säkerhet vid felfunktion	10
4.2 Förmåga till självstängning	11
4.3 Krav om förmåga att stå emot sug- och tryckkrafter	11
4.4 Krav om kapacitet för utrymning	11
4.4.1 Köbildning	12
4.4.2 Handberäkningar	12
4.4.3 Simulering av personutrymning	13
4.5 Krav om kapacitet för räddningsinsats	14
<b>5 Kompatibilitet</b>	<b>15</b>
<b>Referenser</b>	<b>16</b>
<b>Bilaga 1 Utrymningssimulering</b>	<b>17</b>

# 1 Inledning

I TSD Säkerhet i järnvägstunnlar anges att dörröppningar i nödutgångar ska vara 1,40 meter breda. Detta krav baseras på bland annat behovet av självräddning och utrymning av tågpassagerare och personal samt att underlätta en eventuell räddningstjänstinsats.

## 1.1 Syfte

Uppdrag går ut på att visa att tillfredsställande utrymning erhålls om flera dörröppningar med bredd mindre än 1,40 meter placeras bredvid varandra. Resultatet ska användas i kommande projekt för att göra det möjligt att frångå kravet på en 1,40 meter bred dörröppning enligt TSD Säkerhet i järnvägstunnlar.

De alternativa dörröppningsbredder som används som alternativ i utredningen avser två dörröppningar à 0,90, 1,0, 1,10 och 1,20 meter var i bredd, vilket ska jämföras med kravet i TSD Säkerhet i järnvägstunnlar på en dörröppning à 1,40 meter.

Följande frågeställningar kommer att utredas:

- Kan syftet med kraven i TSD på dörröppningar i nödutgångar uppfyllas med två dörröppningar smalare än 1,40 meter?
- Kan Trafikverkets krav på dörröppningar i nödutgångar uppfyllas med två dörröppningar smalare än 1,40 meter?
- Hur förändras funktionen för personsäkerhet i järnvägstunnlar om man ersätter en dörröppning à 1,40 meter i varje nödutgång med två dörröppningar smalare än 1,40 meter?

## 1.2 Omfattning

Denna utredning omfattar en kartläggning av gällande krav för järnvägstunnlar i Sverige. Fokus ligger enbart på jämförelsen av funktionen hos olika lösningar på dörröppningar i nödutgångar med följande egenskaper:

- En dörröppning à 1,40 meter i bredd.
- Två dörröppningar à 0,90 meter i bredd.
- Två dörröppningar à 1,0 meter i bredd.
- Två dörröppningar à 1,10 meter i bredd.
- Två dörröppningar à 1,20 meter i bredd.

Resultatet är en beskrivning av dörröppningsbreddernas olika effekter och omfattar de faktorer som regleras i kravtexterna. En bedömning har gjorts av vilka faktorer som kan komma att påverkas av val av dörröppningsbredd, och därmed har endast de faktorer som i betydande utsträckning påverkas tagits med i utredningen.

Begreppet nödutgångar som används i rapporten innebär dörröppningar i tvärtunnlar samt nödutgångar till markytan från järnvägstunnlar, vilka regleras i TSD Säkerhet i järnvägstunnlar.

## 2 Slutsatser

I denna rapport har de olika alternativen på dörröppningsbredder i nödutgångar jämförts med avseende på deras kapacitet att uppfylla gällande krav på personsäkerhet i järnvägstunnlar. Jämförelsen har visat att det finns flera fördelar med att välja två dörröppningar à minst 0,90 meter istället för en dörröppning à 1,40 meter. Nedan presenteras de slutsatser som har dragits grundat på denna utredning.

I tabellen nedan sammanställs för- och nackdelarna med de olika dörröppningsalternativen i utredningen. Gröna fält markerar det alternativ som ger bäst funktion i valda egenskaper.

	<b>En dörröppning à</b>	<b>Två dörröppningar à</b>			
	1,40 meter	1,20 meter	1,10 meter	1,0 meter	0,90 meter
<b>Öppningsbarhet</b>	Sämst öppningsbarhet. Högre konsekvens vid felfunktion.	Högre sannolikhet för felfunktion.			Bäst öppningsbarhet. Högre sannolikhet för felfunktion.
<b>Självstängningsförmåga</b>	Sämst självstängningsförmåga. Högre konsekvens vid felfunktion.	Högre sannolikhet för felfunktion.			Bäst självstängningsförmåga. Högre sannolikhet för felfunktion.
<b>Motstånd tryck- och sugkrafter</b>	Sämst motstånd mot tryck- och sugkrafter.				Bäst motstånd mot tryck- och sugkrafter.
<b>Personflöde</b>	Lägst personflöde.	Högst personflöde.			
<b>Räddningsinsats</b>	Dålig förmåga till motriktade flöden. Störst risk för köbildning.	Allmänt accepterad dörröppningsbredd. Bra förmåga till motriktade flöden. Minst risk för köbildning.	Bra förmåga till motriktade flöden. Oklart om lämplig för räddningsinsats.		

Öppningsbarheten ökar med en smalare dörröppning jämfört med en 1,40 meter bred dörröppning. På samma sätt fungerar också en smalare dörr bättre i fråga om självstängningsförmåga, och – i och med mindre dörryta – även förmågan att motstå tryck- och sugkrafter.

Det totala personflödet genom två dörröppningar à minst 1,0 meter visar sig bättre vid utrymning jämfört med en dörröppning à 1,40 meter. Två dörröppningar à 0,90 meter ger i stort sett samma utrymningskapacitet som en dörröppning à 1,40 meter. Det totala

personflödet visar sig allra störst i alternativet två dörröppningar à 1,20 meter. Skillnaden i utrymningskapacitet och risk för köbildning mellan det bästa (två dörröppningar à 1,20 meter) och sämsta (en dörröppning à 1,40 meter eller två à 0,90 meter) alternativet är påtaglig.

Gällande risk för köbildning är alternativen med två dörröppningar att föredra framför en dörröppning. Minst risk för köbildning uppnås med alternativet två dörröppningar à 1,20 meter. Möjligheten till motriktade flöden förbättras dessutom med två dörröppningar, det kan till och med vara möjligt att låta utrymning pågå under samtidig räddningsinsats via samma passage.

Då alternativen med två dörröppningar fördubblar antalet dörröppningar jämfört med en dörröppning fördubblas även sannolikheten för att det uppstår någon typ av felfunktion i någon dörr. Säkerheten vid felfunktion är däremot bättre i fallet med två dörröppningar då utrymning fortfarande är möjlig, jämfört med alternativet med en dörröppning där konsekvensen blir att utrymning inte kan genomföras via den aktuella förbindelsen.

Enligt förarbetet till TSD Säkerhet i järnvägstunnlar behövs inte bredare dörröppningar i utrymningsvägar än 1,20 meter för räddningstjänstinsatser. I Sverige har inga krav på mer än 1,20 meter breda dörröppningar för räddningsinsatser funnits tidigare, då dörröppningsbredden anses tillräcklig för räddningstjänstens utrustning vid insatser. Alternativet två dörröppningar à 1,20 meter kan därför anses fullt dugligt ur denna aspekt. Dörröppningsbredder smalare än 1,20 meter behöver däremot prövas mot räddningstjänstens utrymmesbehov.

Till frågeställningarna har följande svar framtagits:

- Kan syftet med kraven i TSD på dörröppningar i nödutgångar uppfyllas med två dörröppningar smalare än 1,40 meter?

Ja. Två dörröppningar på minst 0,90 meter gör det möjligt för självräddning och utrymning av tågpassagerare och personal. Alternativet underlättar räddningstjänstens arbete att undsätta människor. Dörröppningarna kommer kunna låta minst två personer att passera samtidigt vid utrymning och som typgodkänd dörr motstå påverkan från tryckskillnader i tunneln.

- Kan Trafikverkets krav på dörröppningar i nödutgångar uppfyllas med två dörröppningar smalare än 1,40 meter?

Ja. Dörröppningar smalare än 1,40 meter är bättre avseende krav på öppningsbarhet och självstängning, förmåga att motstå tryck- och sugkrafter. Dörröppningarna på minst 0,90 meter uppfyller erfordrad kapacitet för självräddning. Gällande hänsyn till framkomlighet för räddningsinsats föredras minst en dörr à 1,20 meter eller bredare.

- Hur förändras funktionen för personsäkerhet i järnvägstunnlar om man ersätter en dörröppning à 1,40 meter i varje nödutgång med två dörröppningar smalare än 1,40 meter?

I alternativet med två dörröppningar på minst 0,90 meter är förutsättningen för självutrymning och räddningsinsats bättre jämfört med en dörröppning à 1,40 meter. Alternativet med två smalare dörröppningar är bättre i fråga om öppningsbarhet och självstängningsförmåga, tryckskillnader och motriktade flöden. Det är också ett lika bra alternativ i fråga om säkerhet vid felfunktion,

jämfört med en dörröppning à 1,40 meter. Utrymningskapaciteten förändras påtagligt med två dörröppningar à 1,0–1,20 meter. Två dörröppningar à 1,20 meter ger exempelvis en förkortning av utrymningstiden med ca 8 minuter jämfört med en dörröppning à 1,40 meter om ett tåg med 1600 passagerare ska utrymmas. Se beräkningsexempel i Bilaga A.

Med stöd av de resultat som presenterats i detta avsnitt föreslås möjligheten till en alternativ dörröppningsbredd à 1,20 meter att kunna användas för två dörröppningar istället för en dörröppning à 1,40 meter. Alternativet har visats vara det optimala bland de utvalda alternativen i utredningen och har också gett förhållandevis bättre förutsättningar jämfört med gällande dörröppningsbredd enligt TSD Säkerhet i järnvägstunnlar. Två dörröppningar à 0,90–1,10 meter i bredd kan ersätta en dörröppning à 1,40 meter sett ur utrymningsperspektivet. Det bör dock alltid fastställas att bredden även är tillräcklig för den räddningsutrustning som kommer att användas vid räddningsinsats.

### 3 Krav på dörröppningar och dörrar

I detta avsnitt presenteras de krav som ställs på dörröppningar i nödutgångar utifrån både Trafikverkets krav och EU:s direktiv i TSD Säkerhet i järnvägstunnlar (2008) som är införlivad i Sverige lag.

#### 3.1 Teknisk specifikation för driftskompatibilitet, säkerhet i järnvägstunnlar

I TSD Säkerhet i järnvägstunnlar (2008) anges att dörröppningar i nödutgångar ska vara minst 2,0 meter höga och 1,40 meter breda. Kravet baseras på att det i en tunnel ska tas hänsyn till behovet av att tillhandahålla hjälpmedel och anordningar för självräddning och utrymning av tågpassagerare och personal samt för att underlätta räddningstjänstens arbete att undsätta människor i händelse av en olycka i tunneln. Inga krav ställs på fler än en dörröppning in till varje tvärtunnel eller nödutgång till markytan.

I förarbetet till TSD Säkerhet i järnvägstunnlar motiveras dörröppningsbredden 1,40 meter med att detta ger utrymme för två personer att passera i bredd. Även en minsta konstruktionsparameter på 1,20 meter breda dörröppningar bestämdes för att möjliggöra att räddningstjänsten med sin utrustning ska kunna använda passagen, vilket uppfylls med viss marginal med de krav som TSD Säkerhet i järnvägstunnlar ställer på dörröppningsbredder. Dörrar ska även vara utformade för att motstå påverkan från tryckskillnader som uppstår på grund av tågrörelser och underhåll i tunneln. (European Association for Railway Interoperability, 2006)

#### 3.2 Trafikverkets tekniska krav

Trafikverkets krav på dörröppningar i nödutgångar anges i TRVK Tunnel 11 (Trafikverket, 2011) och BVS 1585.45 (Trafikverket, 2009). De krav som är relevanta med hänsyn till dörröppningarnas bredd inbegriper följande faktorer:

- **Dörrars öppningsbarhet.**  
”Samtliga dörrar som används vid utrymning ska vara lätta att öppna med panikregel i utrymningsriktningen.” (TRVK Tunnel 11)
- **Förmåga till självstängning.**  
”Samtliga dörrar som används vid utrymning ska vara självstängande samt lätta att öppna med panikregel i utrymningsriktningen.” (BVS 1585:45)

Kommentar: TRVK tunnel 11 anger att ”En öppning mellan ett trafikutrymme och ett utrymme som ingår i en nödutgång, utrymningsväg eller angreppsväg ska förses med en eller flera dörrar som tillsammans uppfyller kraven för klass EI-C90”. Brandklassen som anges för nödutgången EI-C90, ställer krav på dörrstängare i någon av klasserna C1-C5 d.v.s. lägst C1 .

- **Förmåga att motstå tryck- och sugkrafter.**  
”Vid installation av säkerhetsutrustning ska hänsyn tas till aerodynamisk påverkan från förbipasserande tåg.” (TRVK Tunnel 11)<sup>1</sup>
- **Kapacitet för utrymning (personflöde)**  
Vid utrymning av tåg i en tunnel efter en olycka förutsätts i de allra flesta

<sup>1</sup> Kravet i TRVK Tunnel 11 är en hänvisning från TSD Säkerhet i Järnvägstunnlar.



scenarier att de utrymmande själva skall förflytta sig till säker plats utan annan hjälp än anvisningar från tågpersonalen, dvs. självutrymning. I BVH 585.30 (Trafikverket, 2007) anges att principen om självutrymning bedöms vara uppfylld för ett olycksscenario om sätta gränsvärden för tid och siktbarhet, toxiska gaser och värmestrålning tillämpas. Kraven i TSD Säkerhet i järnvägstunnlar och TRVK Tunnel 11 bygger i stor omfattning på denna princip (benämns självräddning). Det förutsätts således att dörröppningar i nödutgångar är framkomliga för det personflöde som krävs för självräddning.

- **Kapacitet för räddningsinsats.**

”Vid konstruktion av en tunnel ska hänsyn tas till behovet av att tillhandahålla hjälpmedel och anordningar för självräddning och utrymning av tågpassagerare och personal och för att föra det möjligt för räddningstjänsten att rädda människor i händelse av en olycka i tunneln.” (TRVK Tunnel 11)<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Kravet i TRVK Tunnel 11 är en hänvisning från TSD Säkerhet i Järnvägstunnlar.

## 4 Jämförelse av funktion – dörröppningsbredder för personutrymning

Nedan kommenteras och förklaras funktionen av två dörröppningar à 0,90, 1,0, 1,10 och 1,20 meter i nödutgångar med avseende på de angivna kraven i TSD Säkerhet i järnvägstunnlar och Trafikverkets krav. Detta jämförs också med en dörröppning à 1,40 meter.

### 4.1 Krav på öppningsbarhet

*"Samtliga dörrar som används vid utrymning ska vara lätta att öppna med panikregel i utrymningsriktningen"* (TRVK Tunnel 11). Enligt det allmänna rådet i BBR (Boverket, 2011) bör högst 150N krävas för öppning av dörr som används för utrymning. Till själva öppningsfunktionen bör maximalt 220N erfordras. Detta krav uppfylls med typgodkända dörrar.

Dörrarnas bredd står i direkt koppling till den kraft som behövs för att öppna dörren. En bredare dörr kräver större kraft för att öppnas. En 1,40 meter bred dörröppning är sämre än en smalare dörröppning då den kräver mer i fråga om öppningskraft. Det kan vara svårt att klara de maximala öppningskrafterna i en 1,40 meter bred dörröppning på grund av bland annat dörrstängningsanordningen och dörrrens tyngd.

I de fall där dörröppningar förses med dubbelbladiga dörrar minskar dörrarnas bredd. Fördelen med dubbelbladiga dörrar är att dörrytan minskar vilket i teorin ökar öppningsbarheten. Lösningen medför dock nackdelar som till exempel ökad risk för otäthet i och med ökad sannolikhet för felfunktion. I praktiska exempel som järnvägstunneln Store Baelt har de dubbelbladiga dörrarna gjorts tyngre för att minska risken för otätheter, detta har i sin tur minskat öppningsbarheten. Slutledningsvis kan utredning behövas då val av utformning av dörröppningar innefattar dubbelbladiga dörrar.

#### 4.1.1 Säkerhet vid felfunktion

Sannolikhet för felfunktion "ej öppningsbar dörr" berör inte själva dörröppningsbredden utan rör valet av antalet dörröppningar. Två dörröppningar har en dubbelt så stor sannolikhet för felfunktion som en dörröppning på grund av det dubbla antalet.

Konsekvensen att en (läs 1) dörr inte går att öppna är mindre i fallet med två dörröppningar än med en dörröppning, då hela utrymningsvägen blockeras. I fallet med två dörröppningar blir konsekvensen vid felfunktion att endast den ena dörröppningen kan användas för utrymning. Utrymning till säker plats eller till det fria är fortfarande möjligt via passagen vid felfunktionen "ej öppningsbar dörr" då den andra av de två dörröppningarna kan användas. Personflödet halveras däremot jämfört med full kapacitet och möjligheten till motriktade flöden försvåras.

I alternativet med två dörröppningar är sannolikheten att hela utrymningsmöjligheten blockeras, det vill säga att båda dörrarna inte fungerar samtidigt, mycket mindre än alternativet med en dörröppning. Konsekvensen blir – i båda fallen – att de utrymmande får utrymma via nästa nödutgång. Avståndet till nästa utrymningsväg varierar normalt mellan 500 meter och 1000 meter beroende på bland annat risknivå, trafiktäthet, personbelastning, och tunneltyp.

## 4.2 Förmåga till självstängning

*"Samtliga dörrar som används vid utrymning ska vara självstängande samt lätta att öppna med panikregel i utrymningsriktningen."* (BVS 1585:45). Utöver detta anges i TRVK Tunnel 11 att en öppning mellan ett trafikutrymme och ett utrymme som ingår i en nödutgång, utrymningsväg eller angreppsväg ska förses med en eller flera dörrar som tillsammans uppfyller kraven för klass EI-C90. Detta är ett indirekt krav på självstängningsförmåga då markeringen C innebär förmågan hos branddörrar att automatiskt stängas. (Kravspecifikation för dörrars självstängande förmåga ges i standarden SS-EN 14600:2005).

På samma sätt som det krävs större kraft att öppna en bredare dörr så krävs det även större kraft att stänga densamma. Dörrar i tunnlar måste vara typgodkända vilket betyder att de uppfyller de funktionskrav som ställs. I och med en större erfordrad dörrstängningskraft ställer en dörröppning på 1,40 meter större krav på dörrstängningsanordningen för typgodkännande än en smalare dörröppning. Samtidigt, vid användande av två dörröppningar istället för en, ökar sannolikheten för att en (läs 1) av dörrarna inte fungerar.

Konsekvensen av en delvis öppen dörr blir att brandgaser sprids förbi den felande dörren. Normalt finns dock en brandsluss i utrymningsvägen, med ytterligare dörrpartier, vilken minskar risken för spridning av brandgaser vidare i utrymningsvägen.

Dubbelbladiga dörrar är ett alternativ för att öka stängningsbarheten då dörrarnas yta minskar. Men i och med att sannolikheten för felfunktion fördubblas med dubbelbladiga dörrar kan det finnas behov av att även göra dörrbladen tyngre och därigenom minska risken för otätheter. Detta minskar i sin tur öppningsbarheten. Utredning kan behövas om val av utformning av dörröppningar innefattar dubbelbladiga dörrar.

## 4.3 Krav om förmåga att stå emot sug- och tryckkrafter

*"Vid installation av säkerhetsutrustning ska hänsyn tas till aerodynamisk påverkan från förbipasserande tåg."* (TRVK Tunnel 11). Krafterna ställer krav på tunnelns installationer och i dörrar utsätts bland annat karminfästningar, gångjärn, låskolvar och dörrblad för påfrestningar. Avståndet mellan fästningar behöver dimensioneras med hänsyn till dessa tryck- och sugkrafter, för stor påverkan på byggnadsdelar förkortar delarnas livslängd och funktionsduglighet. En bredare dörr utsätts för större påverkan än en smalare och därmed krävs mer i fråga om dörrens konstruktion och utförande för att kunna motstå tryck- och sugkrafter.

## 4.4 Krav om kapacitet för utrymning

Dörröppningarna behöver ge möjlighet till tillräckligt personflöde för att principen om självutrymning ska kunna uppfyllas (Trafikverket, 2007).

Personflöden genom dörröppningar anges bero på om det är en känd eller okänd dörröppning. Med känd dörröppning menas att de utrymmande personerna vet vad som finns bakom den. Det antas att personflödet i okända dörröppningar är 0,75 pers/sm och 1,1 pers/sm för kända dörröppningar (Boverket, 2006). Detta innebär följande för personflödet genom en dörröppning à 1,40 meter samt två dörröppningar à 0,90–1,20 meter:

	<b>Känd dörröppning</b>	<b>Okänd dörröppning</b>
<b>En dörröppning à 1,40 m</b>	1,5 pers/s	1,1 pers/s
<b>Två dörröppningar à 1,20 m</b>	2,6 pers/s	1,8 pers/s
<b>Två dörröppningar à 1,1 m</b>	2,4 pers/s	1,6 pers/s
<b>Två dörröppningar à 1,0 m</b>	2,2 pers/s	1,5 pers/s
<b>Två dörröppningar à 0,9 m</b>	2,0 pers/s	1,3 pers/s

I båda fallen av okänd eller känd dörröppning genererar två dörröppningar à 1,20 meter högst personflöde. Då personflödet för en dörröppning à 1,40 meter motsvarar gällande regler genererar även två dörröppningar à 0,90–1,20 meter ett fullgott personflöde för principen om självutrymning.

#### **4.4.1 Köbildning**

Håkan Frantzich (Frantzich, 1993) resonerar att färre breda dörröppningar är att föredra framför fler smala dörröppningar – om dörröppningarnas gemensamma bredd är densamma. Detta beror på att personflödet minskar med minskande dörröppningsbredd och risk för köbildning uppstår. Två dörröppningar med samma totalbredd som en dörröppning är alltså sämre ur utrymnings synpunkt. Detta medför att en dörröppning à 1,40 meter föredras framför två dörröppningar à 0,70 meter (totalbredd 1,40 meter).

Utifrån detta resonemang dras slutsatsen att i jämförelse med en dörröppning à 1,40 meter ger två dörröppningar à 0,70 meter en ökad risk för köbildning. I denna utredning är således två dörröppningar à 0,9-1,20 meter bättre i frågan om köbildningsrisken jämfört med en dörröppning à 1,40 meter.

Boverkets Byggregler BBR (Boverket, 2011) anger att passagemåtten i en utrymningsdörr som betjänar minst 150 personer ska utformas med en minimibredd på 1,20 meter för att undvika köbildning. Slutledningsvis kan det alltså påstås att av de alternativ som presenteras i denna utredning innebär två dörröppningar à 1,20 meter minst risk för köbildning vid utrymning.

Beroende på hur förhållandena är inne i tunneln påverkar det hur utrymningen genomförs. För en utrymning som drar ut på tiden med samtidig försämring av tunnelförhållandena, på grund av exempelvis en brand, finns en stor risk för att människor drabbas av panik och starka olustkänslor. Detta kan frammana ologiskt agerande vilket försvårar utrymningen. Dörröppningsbredden spelar stor roll i händelse av panik hos en utrymnande folkmassa då risken för proppbildning är mindre ju bredare dörröppningen är. Ett ökat antal dörröppningar innebär också en stor förbättring; ju fler dörröppningar desto mindre risk för proppbildning. Samtidigt blockeras inte heller hela utrymningsvägen om en av dörröppningarna mot förmodan skulle blockeras.

#### **4.4.2 Handberäkningar**

Beräkningar för utrymning används ofta för att underbygga antagna personflöden och tider för utrymning av ett utrymme. De matematiska formlerna kan variera beroende på underlag och bakomliggande teorier. Som ett exempel används formler av Köpenhamns

Brandväsen och Tryg i Danmark (2000). Formlerna och resultatet av de olika dörröppningarnas personflöde enligt dessa redovisas i tabellen nedan.

Formel känd dörröppning	Gäller för dörröppnings- bredd [m]	Dörröppningsbredd (Två dörröppningar)				Dörröppningsbredd (En dörröppning)
		0,90 m	1,0 m	1,10 m	1,20 m	1,40 m
$P = 3,2 D - 2,2$	$0,75 \leq D < 1,0$	1,4 p/s				
$P = 1,67 D - 0,67$	$1,0 \leq D < 1,20$		2 p/s	2,3 p/s		
$P = 1,15 D - 0,05$	$1,20 \leq D < 2,50$				2,7 p/s	1,6 p/s
Formel okänd dörröppning	Gäller för dörröppnings- bredd [m]					
$P = 2,0 D - 1,3$	$0,75 \leq D < 0,90$	1 p/s				
$P = 1,11 D - 0,5$	$0,90 \leq D < 1,20$		1,2 p/s	1,4 p/s		
$P = 0,77 D - 0,09$	$1,20 \leq D < 2,50$				1,7 p/s	1 p/s

Personflödet i beräkningarna beror dels på dörröppningarnas fria bredd och dels av kännedom om dörröppningen. I båda fallen av okänd eller känd dörröppning genererar två dörröppningar à 1,20 meter högst personflöde. Då personflödet för en dörröppning à 1,40 meter motsvarar gällande regler genererar även två dörröppningar à 1,0–1,20 meter ett fullgott personflöde för principen om självutrymning. Två dörröppningar à 0,90 meter ger ett likvärdigt, om något sämre, personflöde jämfört med gällande regler.

#### 4.4.3 Simulering av personutrymning

Vid utrymningsdimensionering används ofta simuleringsprogram för att illustrera utrymning av ett utrymme. Simuleringarna baseras på matematiska formler för utrymning som bygger på flertalet olika faktorer. Utrymning har simulerats i programmet STEPS för att visa på vilken kapacitet som kan erhållas samt i vilken utsträckning köbildning uppstår. Samtliga dörröppningsbredder har använts i olika simuleringar och resultaten presenteras i tabellen nedan. I Bilaga 1 presenteras de bakomliggande faktorerna för simuleringarna samt en mer utförlig presentation av resultaten.

	Totalt personflöde	Total utrymningstid <sup>3</sup>
<b>En dörröppning à 1,40 m</b>	1,3 p/s	1300 sekunder
<b>Två dörröppningar à 1,20 m</b>	2,2 p/s	800 sekunder
<b>Två dörröppningar à 1,1 m</b>	1,9 p/s	900 sekunder
<b>Två dörröppningar à 1,0 m</b>	1,6 p/s	1040 sekunder
<b>Två dörröppningar à 0,9 m</b>	1,2 p/s	1370 sekunder

<sup>3</sup> Total utrymningstid är exklusive tid till påbörjad utrymning.

Resultaten visar att två dörröppningar à 1,0–1,20 meter ger bättre utrymningskapacitet jämfört med en dörröppning à 1,40 meter. Två dörröppningar à 0,90 meter ger en någorlunda likvärdig utrymningskapacitet som en dörröppning à 1,40 meter.

Vid en utrymning av ett tåg med 1600 passagerare är minimikravet enligt TSD på en dörr à 1,40 meter inte tillräckligt för att ge en säker utrymning. Simulering visar att kötiden vid dörren blir så lång att oönskade, irrationella beteenden kan uppstå. En kötid på 15 minuter uppstår, medan kötider över 6-8 minuter kan ge dessa effekter. Vid utrymning genom två dörrar à 1,20 meter minskas kötiden till mer rimliga värden. Kapacitetsbehov på utrymningsvägar bör alltid studeras i förhållande till förväntade maximala personantal på de tågtyper som trafikerar tunneln.

#### **4.5 Krav om kapacitet för räddningsinsats**

*"Vid konstruktion av en tunnel ska hänsyn tas till behovet av att tillhandahålla hjälpmedel och anordningar för självräddning och utrymning av tågpassagerare och personal och för att föra det möjligt för räddningstjänsten att rädda människor i händelse av en olycka i tunneln."* (TRVK Tunnel 11) Under en räddningsinsats i järnvägstunnel kan nödutgångar komma att användas som en av räddningstjänstens angreppsvägar. Genom dörröppningarna behöver räddningsmanskaper kunna få igenom arbetsredskap och få ut skadade människor. Ett dimensionerande exempel är att bära ut skadade på bår.

Till skillnad från smalare dörröppningar ger en dörröppning som är 1,40 meter bred räddningstjänsten möjlighet att använda utrustning och liknande som är upp till 1,40 meter bred. En minsta konstruktionsparameter på 1,20 meter breda dörröppningar anges i förarbetet till TSD Säkerhet i järnvägstunneln för att möjliggöra att räddningstjänsten med sin utrustning ska kunna använda passagen. Med två dörröppningar à 1,20 meter uppfylls således räddningstjänstens behov av dörröppningsbredd. En dörröppningsbredd à 1,40 meter kan anses ha viss överkapacitet. Övriga dörröppningsbredder uppfyller inte förarbetenas intentioner om räddningstjänstens möjlighet till insats. Därför är det väsentligt att om smalare dörröppningar än 1,20 meter planeras så behöver en förankring ske med räddningstjänsten. Räddningsutrustning som man avser att använda vid en olyckshändelse i tunneln ska lätt kunna transporteras genom dörröppningarna.

Utrymning kan i vissa fall fortfarande pågå då räddningstjänsten påbörjar sin insats, därför är det en fördel att motriktade flöden genom dörröppningarna möjliggörs. Kravet om dörröppningsbredd i nödutgångar på 1,40 meter möjliggör motriktade personflöden. Två dörröppningar ger dock en bättre möjlighet för räddningstjänstens insats och utrymmande att pågå samtidigt då de motriktade flödena kan separeras till varsin dörröppning. En dörröppning ger därför jämförelsevis sämre möjligheter till motriktade flöden än två dörröppningar.

## 5 Kompatibilitet

Bredden på dörröppningar i nödutgångar kan i olika utsträckning ha inverkan på bland annat dörrarnas öppnings- och stängningsfunktion, förmåga att motstå tryck- och sugkrafter, kapacitet för personflöde och räddningsinsats samt framkomlighet.

Oavsett vilken dörröppningsbredd som väljs i tvärtunnlar och nödutgångar till markytan kommer driftskompatibiliteten inte att påverkas. Räddningsinsatsen via tvärtunnlar och nödutgångar till markytan är en lokal/nationell företeelse som inte heller påverkas av tågets härkomst.

## Referenser

Trafikverket<sup>1</sup>. (2007). BVH 585:30 Personssäkerhet i järnvägstunnlar - Handbok för analys och värdering av personssäkerhet i järnvägstunnlar.

Trafikverket<sup>1</sup>. (2009). BVS 1585:45 Standard - Personssäkerhet i järnvägstunnlar.

Boverket. (2006). Utrymningsdimensionering.

Boverket. (2011). Regelsamling för byggande, BBR 2012.

European Association for Railway Interoperability. (2006). Technical Specification for Interoperability, Safety in Railway Tunnels (SRT), Presentation Report. AEIF.

EU direktiv . TSD Säkerhet i järnvägstunnlar ( 2008).

Frantzich, H. (1993). Utrymningsvägars fysiska kapacitet - Sammanställning och utvärdering av kunskapsläget . Lunds Universitet.

Köpenhamns Brandväsen och Tryk i Danmark. (2000). Brand og brandsikkerhed i forsamlingslokaler - et faelles ansvar. Köpenhamn.

Trafikverket. (2011). TRVK Tunnel 11 - Trafikverkets tekniska krav Tunnel. TRV publ nr 2011:087.

<sup>1</sup> Angiven standard och handbok är utgivna av Banverket och är gällande i Trafikverket som sedan år 2010 innefattar verksamheten vid tidigare Banverket.



# Bilaga 1 Utrymningssimulering

Här presenteras all indata som använts i utrymningssimuleringarna i programmet STEPS.

## 1 Metod

Simuleringen i STEPS är utförd med en tunnelutformning hämtad från ett av de dimensionerande scenarierna i Södertunneln. De olika dörröppningsbredderna varierar i de olika simuleringarna och därmed förändras även kapaciteten hos utrymningvägarna från tunneln enligt de personflöden som angivits. Resultatet visas i ögonblicksbilder och utvalda hålltider som tagits under simuleringens gång.

## 2 Utrymningskapacitet

I simuleringsprogrammet STEPS för utrymning antas ett flöde genom dörröppningar av användaren. Flödet har beräknats enligt formlerna från Köpenhamns Brandväsen och Tryg i Danmark (2000). Formlerna presenteras nedan:

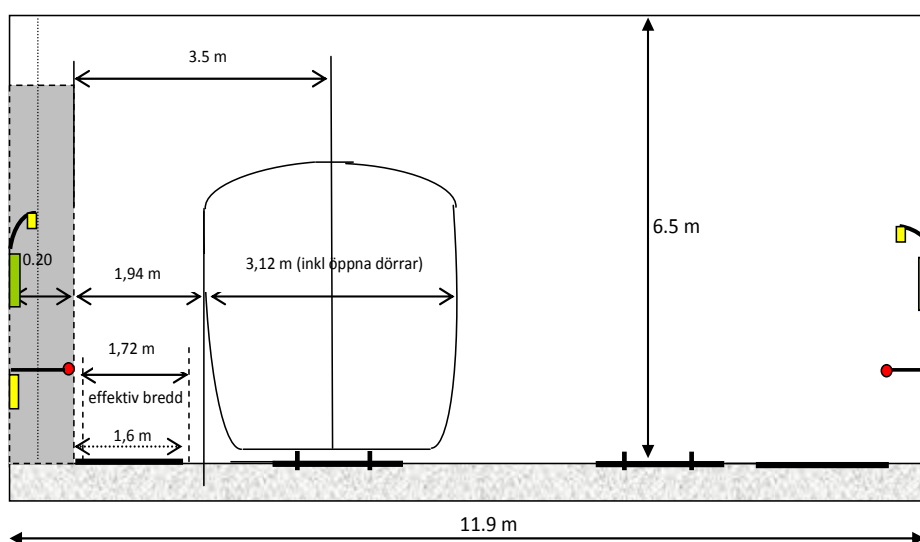
<b>Formel känd dörröppning</b>	<b>Gäller för dörröppningsbredd [m]</b>
$P = 3,2 D - 2,2$	$0,75 \leq D < 1,0$
$P = 1,67 D - 0,67$	$1,0 \leq D < 1,2$
$P = 1,15 D - 0,05$	$1,2 \leq D < 2,5$
<b>Formel okänd dörröppning</b>	<b>Gäller för dörröppningsbredd [m]</b>
$P = 2,0 D - 1,3$	$0,75 \leq D < 0,9$
$P = 1,11 D - 0,5$	$0,9 \leq D < 1,2$
$P = 0,77 D - 0,09$	$1,2 \leq D < 2,5$

Personflödet antas vara 50% okänd dörröppning och 50% känd dörröppning då det antas att personflödet ökar något allteftersom fler personer utrymmer och det blir alltmer uppenbart för de kvarvarande utrymmande vart de ska ta vägen. Tabellen nedan presenterar det totala flödet som angavs för de olika dörröppningsbredderna.

	<b>Total kapacitet</b>
<b>En dörröppning à 1,40 m</b>	1,3 pers/s
<b>Två dörröppningar à 1,20 m</b>	2,2 pers/s
<b>Två dörröppningar à 1,1 m</b>	1,9 pers/s
<b>Två dörröppningar à 1,0 m</b>	1,6 pers/s
<b>Två dörröppningar à 0,9 m</b>	1,2 pers/s

### 3 Scenario utformning

Bredd från tågets sida till tunnelvägg är 2,14 meter. En handledare sticker ut från väggen och bredden mellan tåget och handledaren är ca 1,94 meter vilket ger en effektiv bredd på 1,72 meter. Hårdgjord gångbana förutsätts vara minst 1,6 meter bred. Se Figur 1.



Figur 1 - Utrymningsmått i simulerad dubbelspårstunnel.

I det tåg som använts i simuleringarna förutsätts att det finns 1600 passagerare vilket är fullt tåg med sittande och stående jämnt fördelade på fyra stycken tågsätt. Ett tågsätt är cirka 80 meter långt, har tre vagnar och fyra utgångar åt vardera hållet, således är tåget 320 meter långt och det finns totalt 32 utgångar.

Det är 300 meter mellan utrymningsvägarna i simuleringen och tåget stannar så att det finns en utrymningsväg i vardera ände. I scenariot antas en brand i den främsta vagnen varför utrymningsvägen i den änden av tåget endast används av de passagerare som befinner sig i den branddrabbade vagnen och stiger av i den änden tåget. I simuleringarna kan de utrymmande inte förflytta sig mellan de olika tågsätten.

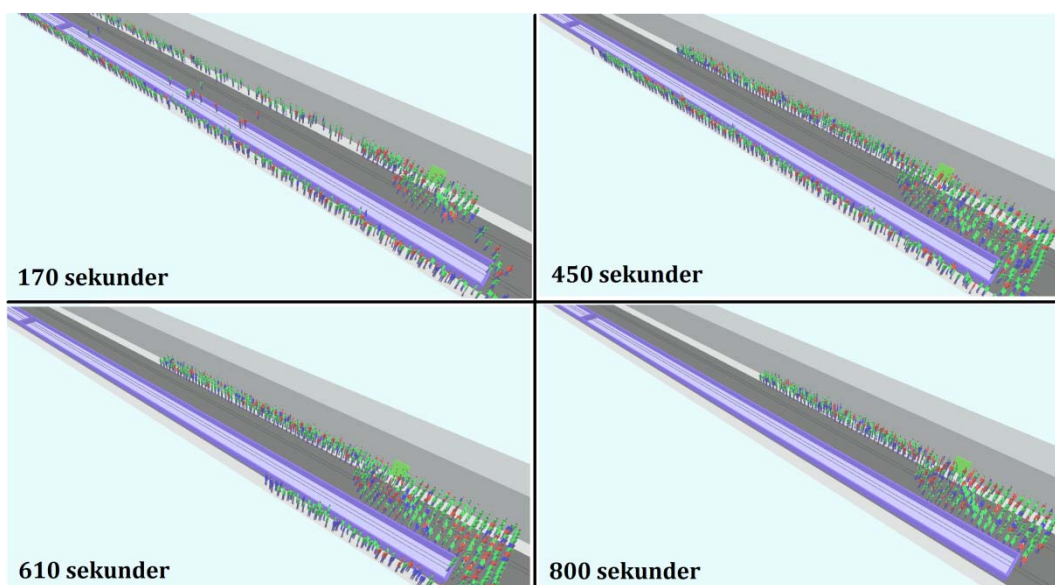
### 4 Resultat

Simuleringarna visar hur personer utrymmer från tåget ut i tunneln och vidare ut genom nödutgången vars dörröppningsbredd varierar från 0,90–1,40 meter. Hur förhållandena ser ut under utrymningen omfattas inte i simuleringarna, alltså jämförs exempelvis inte utrymningstiderna med tid till att sätta gränsvärden för tid och siktbarhet, toxiska gaser och värmestrålning uppnås och gånghastigheten i simuleringarna har inte påverkats av till exempel rök.

Tiden till då tåget är helt utrymt är 170 sekunder och densamma i samtliga simuleringar. Tiden till då tunneln är helt utrymd varierar på grund av de olika dörröppningsbredderna, resultatet redovisas i tabellen nedan.

	<b>Total utrymningstid<sup>4</sup></b>
<b>En dörröppning à 1,40 m</b>	1300 sekunder
<b>Två dörröppningar à 1,20 m</b>	800 sekunder
<b>Två dörröppningar à 1,1 m</b>	900 sekunder
<b>Två dörröppningar à 1,0 m</b>	1040 sekunder
<b>Två dörröppningar à 0,9 m</b>	1370 sekunder

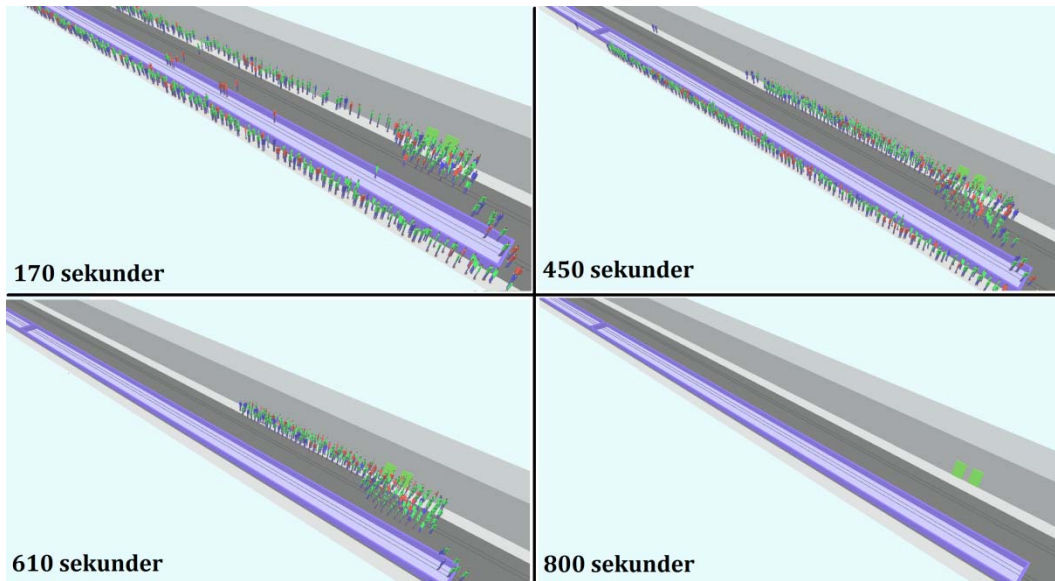
Nedan presenteras ögonblicksbilder från de olika simuleringarna som visar hur personer utrymmer tåget och tunneln samt var och i vilken utsträckning köer bildas.



*Figur 2 - Ögonblicksbilder från simulering av utrymning från tåg i tunnel via en dörröppning à 1,40 meter.*

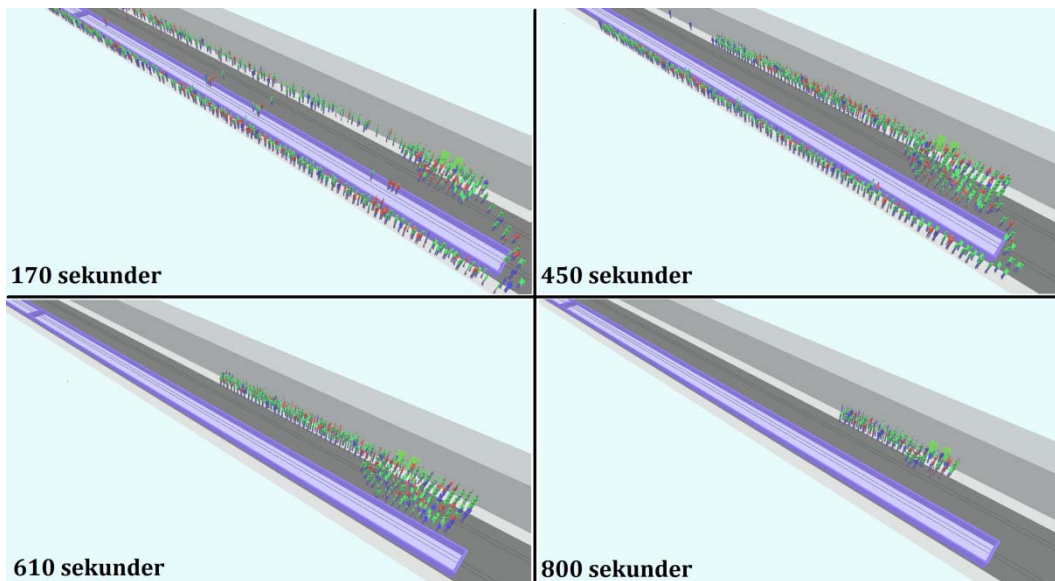
Köerna vid utrymning med en dörröppning à 1,40 meter blir mycket långa, hela utrymningsförloppet tar nästan hela 22 minuter. Efter ca 13 minuter är det fortfarande mycket kö i tunneln.

<sup>4</sup> Total utrymningstid är exklusive tid till påbörjad utrymning.



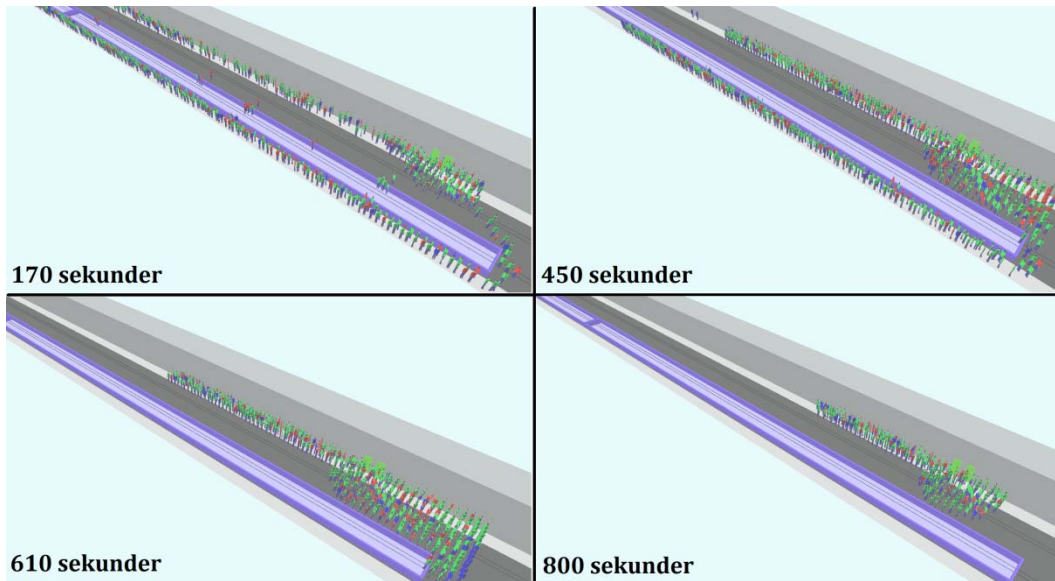
*Figur 3 - Ögonblicksbilder från simulering av utrymning från tåg i tunnel via två dörröppningar à 1,20 meter.*

Köerna vid utrymning med två dörröppningar à 1,20 meter blir inte så långvariga, hela utrymningsförloppet tar drygt 13 minuter.



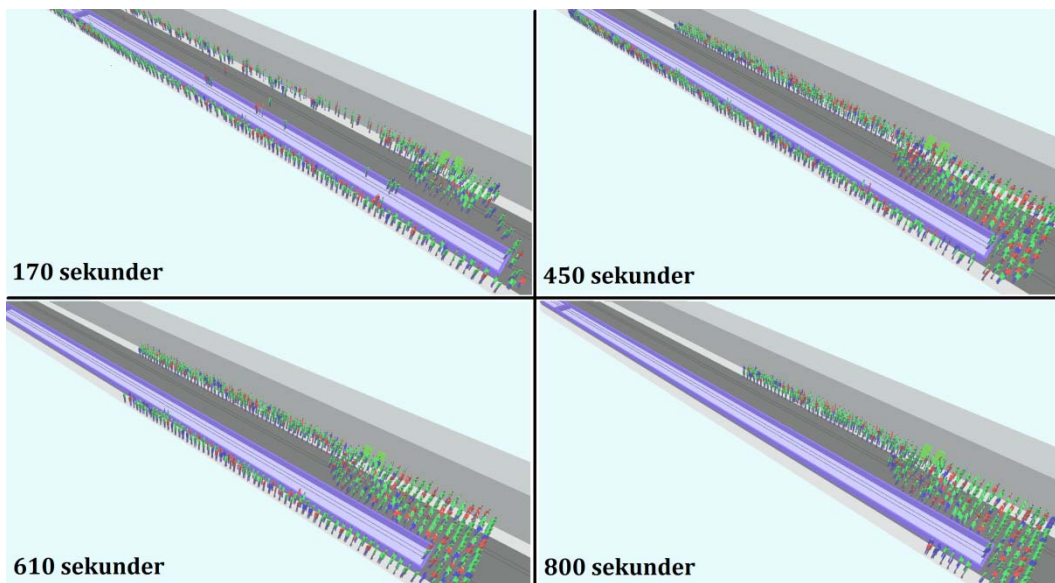
*Figur 4 - Ögonblicksbilder från simulering av utrymning från tåg i tunnel via två dörröppningar à 1,10 meter.*

Köerna vid utrymning med två dörröppningar à 1,10 meter blir något längre än för två dörröppningar à 1,20 meter. Hela utrymningsförloppet tar 15 minuter. Efter ca 13 minuter är det endast en relativt liten kö i tunneln.



*Figur 5 - Ögonblicksbilder från simulering av utrymning från tåg i tunnel via två dörröppningar à 1,0 meter.*

Köerna vid utrymning med två dörröppningar à 1,0 meter blir något längre än för två dörröppningar à 1,10 meter. Hela utrymningsförloppet tar drygt 17 minuter. Efter ca 13 minuter är det fortfarande kö i tunneln.



*Figur 6 - Ögonblicksbilder från simulering av utrymning från tåg i tunnel via två dörröppningar à 0,90 meter.*

Köerna vid utrymning med två dörröppningar à 0,90 meter blir mycket långa, hela utrymningsförloppet tar nästan hela 23 minuter. Efter ca 13 minuter är det fortfarande mycket kö i tunneln.



Trafikverket, Luleå. Besöksadress: Sundsbacken 4  
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 0243- 750 90

[www.trafikverket.se](http://www.trafikverket.se)