



Örnsberg – överdäckning av tunnelbanestation



Kv Pincetten, Stockholms kommun

Analytisk dimensionering av
brandgasventilation

2022-02-03



Briab Brand & Riskingenjörerna AB
Magnus Ladulåsgatan 65
118 27 Stockholm
Org nr 556630-7657

Projektinformation

Projektnamn: Örnberg – överdäckning av tunnelbanestation
Fastighet: Kv Pincetten
Kommun: Stockholms kommun
Ärende: Analytisk dimensionering av brandgasventilation
Uppdragsgivare: John Mattson Fastighetsföretagen AB

Kontaktperson: Martin Landerby, Chef Projekt
martin.landerby@johnmattson.se
Telefon: 073-279 83 50

Uppdragsansvarig: Robert Berg
robert.berg@briab.se
010-203 80 36

Handläggare: Magnus Nordgren
magnus.nordgren@briab.se
08-406 66 23

Datum	Typ av handling	Upprättad av	Kontrollerad av
2022-02-02	Analytisk dimensionering av brandgasventilation	Magnus Nordgren	Fredrik Nystedt



Sammanfattning

Denna handling redovisar översiktligt hur brandskyddet ska säkerställas vid överdäckning av Örsbergs tunnelbanestation. Stationen består idag av en stationsbyggnad samt plattform/perrong som delvis är försett med ett regn-/väderskydd.

Handlingen är inte att betrakta som fullvärdig brandskyddsbeskrivning utan behandlar i huvudsak de fysiska förutsättningarna för överdäckningen och hur utrymnings säkerheten kan lösas.

PM:et beskriver kravet på tillgång till utrymningsvägar och utformning av lämplig brandgasventilation för säkerställande att utrymning vid brand kan ske under godtagbar exponering av värmestrålning, temperatur och toxiska gaser.

Det dimensionerande personantalet är framtaget till 2400 personer i enlighet med Trafikförvaltningens anvisningar.

Utrymning från plattform sker dels via den befintliga stationsbyggnaden och dels med en ny 2,0 meter bred utrymningstrappa som startar på plattformen utanför överdäckningen och mynnar upp på överdäckningen. Från utrymningstrappans anslutning till överdäckningen ska utrymningsförloppet kunna fortsätta utan efterföljande flaskhalsar.

Anpassningar inom stationsbyggnaden för ökat personflöde behöver göras enligt följande:

- Dörrar i glasparti mellan stationsbyggnad och plattform ska breddas till totalt minst 2,5 meter.
- Ett automatiskt heltäckande brand- och utrymningslarm (enligt SBF 110:8) ska installeras.
- Barnvagnsramp i befintlig stationsbyggnad ska tas bort så att hela den fasta trappans bredd kan tillgodoräknas.
- Dörrar till det fria i övre biljetthallsnivå ska breddas till totalt minst 2,5 meter.
- Summan av utåtgående eller reversibla spärrar ska vara minst 5.

Utrymning av personer med nedsatt rörelse- och orienteringsförmåga möjliggörs enligt följande:

- Dörrar och hiss utformas för utrymning av personer med nedsatt rörelse- och orienteringsförmåga inom stationsbyggnaden för egen utrymning till det fria.
- Utrymningsplats på plattformen vid den nya utrymningstrappan.

Brandgasventilation av plattformsdel under överdäckning sker enligt följande:

- Mekanisk brandgasventilation (brandgasfläktar placerade med jämn fördelning i överdäckningen över plattform/spår) med ett totalt flöde på 60 m³/s, som aktiveras vid brand.
- Två kompletterande impulsfläktar som aktiveras i händelse av felfungerande brandgasventilation. Ansatt kapacitet per fläkt är att ge upphov till luftrörelser på 10 m/s bort från stationsbyggnaden.

Stationsbyggnaden utförs brandtekniskt avskild från plattformen. Avskiljningen utförs i lägst klass E 30, med dörrar i lägst klass E 30-C.



Innehåll

Sammanfattning	2
1 Inledning	5
1.1 Syfte	5
1.2 Regelverk och styrande dokument	5
1.3 Omfattning och avgränsningar	5
1.4 Kvalitetssystem	6
1.5 Revideringar	6
2 Allmänna förutsättningar	7
2.1 Underlag	7
2.2 Objektsbeskrivning	7
2.2.1 Överdäckningen	8
3 Brandtekniska förutsättningar	9
4 Brandcellsindelning	10
5 Möjlighet till utrymning	10
5.1 Utrymningsvägar	10
Utrymningskoncept	10
Frångänglighet och utrymningsplats	11
5.2 Utformning av utrymningsvägar	11
5.3 Dörrar	11
6 Bärande konstruktioner	12
7 Installationer och utrustning	12
7.1 Automatiskt brand- och utrymningslarm	12
7.2 Brandgasventilation	12
8 Möjlighet till räddningsinsats	13
8.1 Insatstid	13
8.2 Åtkomlighet	13
Referenser	14
Appendix A – Utrymningsanalys	15
Dimensionerande förutsättningar	15
Objektsbeskrivning	15
Utrymningsvägar	15
Dimensionerande personantal	16
Metod	19



Scenarioanalys	19
Säkerhetsmarginal	19
Acceptanskriterier	20
Brandgasfyllnadsberäkningar	20
Dimensionerande brandscenarion	20
Geometrisk modell	21
Indata brandgassimuleringar	22
Resultat brandgasfyllnad	22
Utrymning	23
Dimensionerande utrymningsscenarion	23
Utrymningssimuleringar	24
Utrymningsprocessen	24
Indata till utrymningssimuleringar	25
Resultat utrymningsberäkningar	26
Känslighetsanalys	27
Diskussion	28
Slutsatser från analytisk dimensionering	29
Appendix B – FDS och geometrisk modell	30
Fire Dynamics Simulator	30
Hydrodynamiska ekvationerna	30
Geometri	30
Randvillkor	30
Geometrisk modell	31
Appendix C – Pathfinder	32
Appendix D – Indata brandgasfyllnadsberäkningar	34
Appendix E – Grafer och utdata från brandgassimuleringar	35
Appendix F – Visualisering utrymningsverifiering	37



1 Inledning

1.1 Syfte

Denna handling redovisar hur brandskyddet ska säkerställas vid en delvis överdäckning av plattformen för Örsbergs tunnelbanestation.

Handlingen bygger på utredning och analys med avseende på personbelastning, tillgång till utrymningsvägar och brandgasventilation för att säkerställa en trygg och robust utrymningsstrategi.

1.2 Regelverk och styrande dokument

Den brandskyddstekniska dimensioneringen har i huvudsak skett mot följande lagar och regelverk:

- Plan- och bygglag (2010:900)
- Plan- och byggförordning (2011:338)
- Transportstyrelsens författningssamling, TSFS 2017:119, Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om personsäkerhet i tunnlar och plattformsrum för tunnelbana och spårväg
- Riktlinjer Brandskydd, SSÄ SÄB-0801 Brandsäkerhet Krav och rekommendationer för brandskydd i byggnad, anläggning och fordon, Trafikförvaltningen, 2020-03-06 [1].
- SSÄ SÄB-0802 Brandsäkerhet, Vägledning för analytisk dimensionering av brandskydd, Trafikförvaltningen, 2020-03-06 [2].
- SSÄ SÄB-0803 Brandsäkerhet, Utformning av brandskydd i byggnad och anläggning, Trafikförvaltningen, 2020-03-06 [3].

Eftersom det finns arbetsplatser inom anläggningen har brandskyddet även dimensionerats efter Arbetsmiljöverkets föreskrifter om arbetsplatsens utformning samt allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna (AFS 2020:1).

I referenser på sidan 12 listas övriga aktuella referenser som i huvudsak används till i detta PM utförda analytiska dimensioneringar.

1.3 Omfattning och avgränsningar

Denna handling omfattar brandskyddet vid planerad överdäckning av delar av Örsbergs tunnelbanestations plattform.

Plattformen ingår som helhet dvs. både del som blir under överdäckning och del som är befintligt utomhus.

Stationsdel i form av biljetthall mm omfattas av handlingen eftersom en stor andel utrymmande personer måste passera den för att nå säker plats.



Handlingen är inte att betrakta som fullvärdig brandskyddsbeskrivning utan behandlar i huvudsak de fysiska förutsättningarna för överdäckningen och hur utrymnings säkerheten bör lösas. Detta innebär i detta fall:

- tillgång till utrymningsvägar och
- utformning av lämplig brandgasventilation för säkerställande att utrymning kan ske under godtagbara förhållanden.

Övriga brandskyddsåtgärder som inte påverkar den fysiska utformningen såsom ytskikt, vägledande markering, belysning etc. specificeras inte i detta skede och förutsätts hanteras i senare mer detaljerad projektering.

Detaljnivån för detta PM brandskydd ska motsvara systemhandling för de delar som berörs enligt ovan.

1.4 Kvalitetssystem

Handlingen och dess underliggande utredningar omfattas av kontroll enligt anvisningarna i Briabs ledningssystem, vilket är certifierat enligt ISO 9001 och ISO 14001. Handläggaren, uppdragsansvarig samt särskild utsedd kontrollant inom Briab kontrollerar att relevanta krav och råd tillgodoses.

Analytisk dimensionering: verifiering av analytisk dimensionering i bilagor till denna rapport har kvalitetskontrollerats av Fredrik Nystedt, Briab.

1.5 Revideringar

Handlingen är en andra version och har status som ska motsvara systemhandling. Ändringar mot handlingens första version är uppkomna genom önskemål att utreda en ny lösning där naturlig brandgasventilation i form av ett vertikalt släpp närmast Örnsbergsvägen utgår.



2 Allmänna förutsättningar

Nedan beskrivs kortfattat de grundläggande förutsättningarna för brandskyddets utformning.

2.1 Underlag

Nedanstående tabell anger underlaget för handlingen:

Handling	Ritningsnummer	Datering	Upprättad av
Relationsritningar SL ¹	-	60-talet, 1986 och 1987	SL
Principiell situationsplan	A303	2020-09-14	Lindberg Stenberg Arkitekter
Situationsplan	A333	2021-06-03	Lindberg Stenberg Arkitekter
Förslagsskiss, utkast	10-301–10-303	2021-04-19	ELU
Utrymning från perrong	A344	2021-09-21	Lindberg Stenberg Arkitekter
	A-40-1-09 – A-40-1-19, A-40-2-01 – A-40-2-03	2021-11-09	Lindberg Stenberg Arkitekter

Platsbesök har genomförts i augusti 2021 av Magnus Nordgren, Briab.

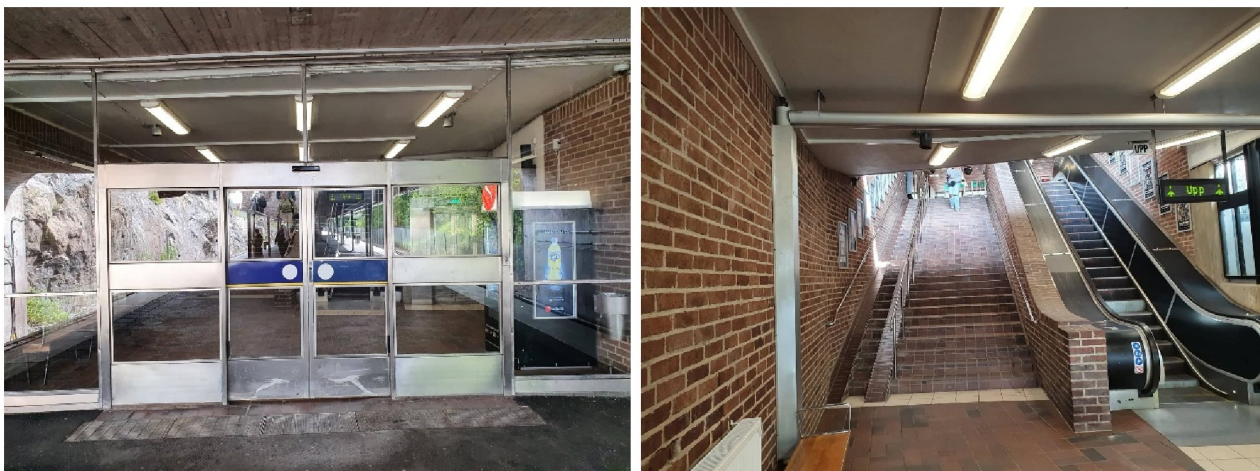
2.2 Objektsbeskrivning

Den befintliga stationsbyggnaden plattform mm är i huvudsak utfört med betong eller tegel.



Figur 1. Foton 1 och 2. Den befintliga plattformen med tak och yttre del utan tak, 2021-08.

¹ Omfattar ett 40-tal relationsritningar upprättade av SL AB Storstockholm Lokaltrafik på 60-talet samt 1986-1987.

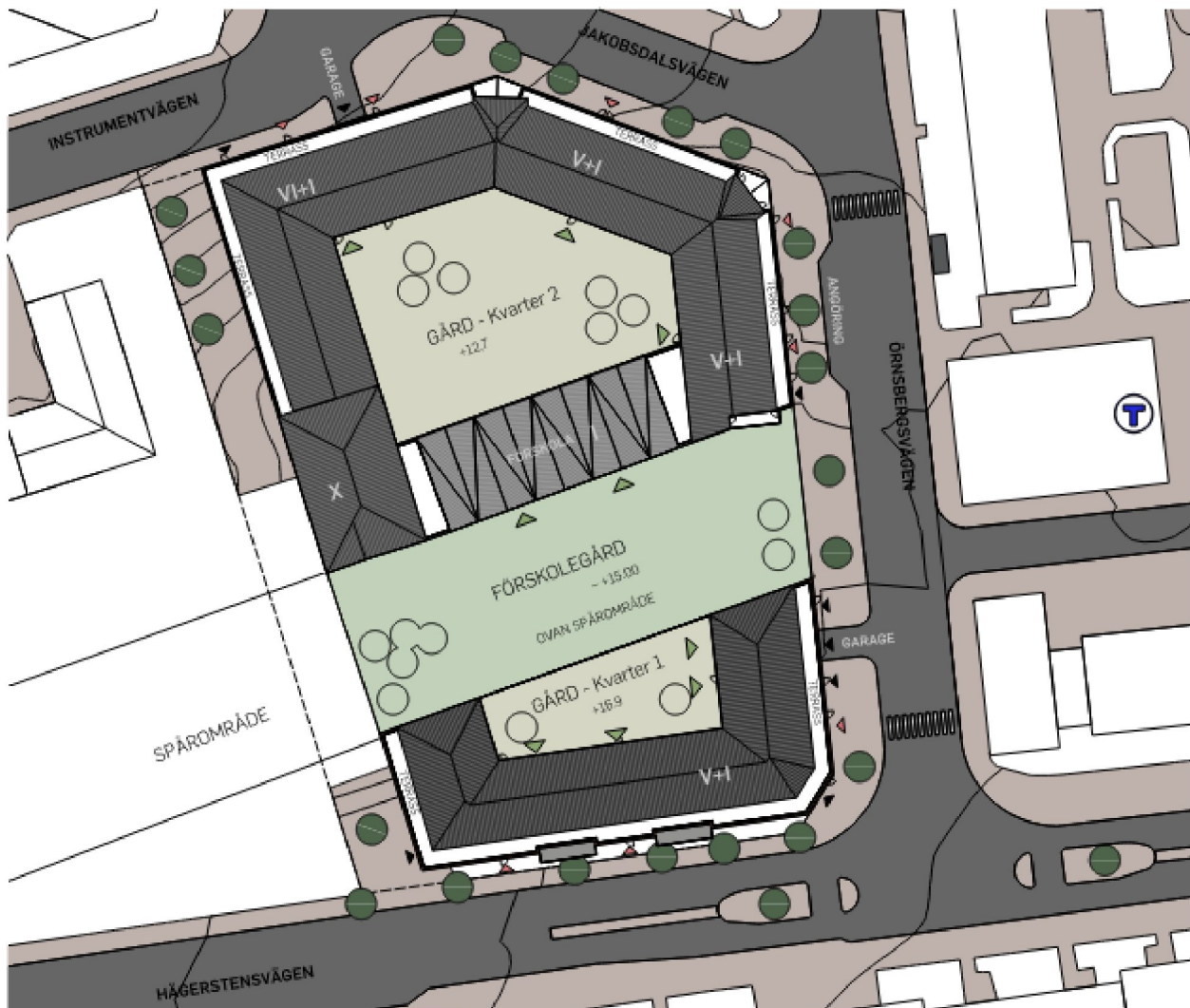


Figur 2. Den befintliga stationsbyggnaden, till vänster mot plattformen och till höger den befintliga stationsbyggnaden mot rulltrappa/trappa. Foton är tagna 2021-08.

2.2.1 Överdäckningen

Den planerade utformningen framgår av ritningar, A344, A333 Lindberg Stenberg Arkitekter 2021-09-21 resp. 2021-06-03, HEFAB, enligt ritning nedan och dels på ritningar 10-301, 10-302 och 10-302, ELU, 2021-04-19.

Nedan ses överdäckningens omfattning: med byggnader, gårdar, förskolegård och tunnelbaneuppgång till höger som leder till torget Örnsberg. Utdrag ur ritning A308, Lindberg Stenberg Arkitekter, HEFAB, 2020-09-14.



Figur 3. Utdrag ur ritning A308, Lindberg Stenberg Arkitekter.

3 Brandtekniska förutsättningar

Utrymmet på plattformen dimensioneras för verksamhet där det vistas fler än 150 personer som inte kan förväntas ha god lokalkännedom, som har förutsättningar att själva sätta sig i säkerhet och som kan förväntas vara vakna.

Brandskyddet är dimensionerat för ett personantal som understiger 2400 personer, i enlighet med Trafikförvaltningens anvisningar. Se även Appendix A, Dimensionerande personantal.

Anläggningen är stundtals personintensiv och är därmed bedömd att tillhöra skyddsnivå 2².

Brandskyddet har dimensionerats för en brandbelastning understigande 800 MJ/m² (golvarea).

² SSÄ SÄB-0801 Brandsäkerhet, Riktlinjer brandskydd, Trafikförvaltningen, 2020-03-06.



4 Brandcellsindelning

Följande brandtekniska avskiljningar och brandcellsindelning gäller; stationsbyggnaden utförs avskild från plattformen. Avskiljningen utförs i lägst klass E 30, med dörrar i lägst klass E 30-C (C=självtängande). Se även Figur 4 Appendix A.

Typgodkända lösningar för täta E 30-skjutdörrar finns i mycket begränsad omfattning på marknaden. Möjliga och funktionella lösningar för brandavskiljning stationsbyggnad-plattform ska därför beaktas i senare skede av projekteringen.

Vidare ska överdäckningen utföras brandavskiljande för att brandtekniskt skilja perrongen från förskolegård. Avskiljningen bedöms behöva utföras i klass REI 120, se även kapitel 6 *Bärande konstruktioner*. Exakt utformning fastställs i senare skede.

5 Möjlighet till utrymning

5.1 Utrymningsvägar

Grundläggande krav för utrymning är att det, från utrymme där personer vistas mer än tillfälligt, ska finnas minst två av varandra oberoende utrymningsvägar.

Utrymningsväg med ny trappa till gården på överdäckningen förutsätter att gården är öppen mot gatunätet. I annat fall kan det krävas servitut för att möjliggöra utrymning till säker plats; allmän plats utanför gården/överdäckningen.

Utrymningsvägar, se även figur 5 Appendix A.

Utrymningskoncept

Utrymning från plattform sker via:

- Stationsbyggnad. Anpassningar inom stationsbyggnaden för ökat personflöde behöver göras, se Appendix A, avsnitt *Slutsatser från analytisk dimensionering* på sidan 29.
- Ny utrymningstrappa som startar på plattformen utanför överdäckning och mynnar upp på överdäckning.

Dimensionering av utrymningen har i huvudsak skett med analytisk dimensionering, och verifieringen sker i detta fall med scenarioanalys. Val av scenarierna har utgått från riskidentifiering med hänsyn till att förutsättningarna och själva påfrestningen i sig kan variera.

De erforderade brandscenarierna är identifierade och motiverade så att de utgör en trolig värsta påfrestning. En känslighetsanalys för att identifiera variabler som har stor påverkan på säkerhetsnivån har utförts för att avgöra om den föreslagna brandskyddslösningen är tillfredsställande. I scenarioanalysen har säkerheten utvärderats direkt mot de kriterier för godtagbar exponering som anges i SSÄ SÄB-0802 Brandsäkerhet, *Vägledning för analytisk dimensionering av brandskydd* [2]. Utöver listade acceptanskriterier har i detta fall även siktbarheten analyserats för att säkerställa att utrymning kan genomföras på ett tryggt sätt.



Frångänglighet och utrymningsplats

Det ska säkerställas att det finns två ytor på 12 m² vardera sida av överdäckningen, där personer med funktionsnedsättning kan invänta assisterad utrymning. En framför hiss inom stationsbyggnad, och en vid den tillkommande trappan. Vid dessa utrymningsplatser ska det finnas möjlighet till tvåvägskommunikation. Vidare ska ytorna placeras och utformas på ett sätt som inte har negativ inverkan på övriga personflöden.

5.2 Utformning av utrymningsvägar

Utrymningsvägar ska generellt utföras med en minsta fri höjd om 2,00 meter. Vidare bör ett fritt mått om minst 2,25 meter eftersträvas inom räddningstjänstens angreppsvägar [1].

Den fria bredden på utrymningsvägar ska utföras enligt följande:

- Utrymning via stationsbyggnad
 - utförs med fri dörrbredd om minst 2,5 m
 - utförs med fri bredd i fast trappa om minst 3,1 m
 - utförs med existerande uppåtgående rulltrappa
 - utförs med hiss
 - samt 5 utåtriktade eller reversibla spärrar.
- Ny utrymningstrappa: trappans fria bredd ska vara minst 2,0 m

Mellan dörr och trappa eller ramp ska ett vilplan finnas. Avståndet mellan dörr och trappa eller ramp ska vara minst 0,80 meter.

5.3 Dörrar

Dörröppningar ska i aktuellt fall alltid ha en fri bredd på minst 1,20 meter och en fri höjd om minst 2,00 meter (2,25 m inom angreppsvägar [1]).

Slagdörrar för utrymning ska vara utåtgående i utrymningsriktningen, det vill säga upp mot den nya trappan respektive in mot stationsbyggnaden, sett från plattformen.

Detaljer om dörrar såsom beslagning med mera redovisas i senare skede av projekteringen.



6 Bärande konstruktioner

För överdäckning ska byggnadsdelar tillskrivas en brandsäkerhetsklass och brandteknisk klass.

Generellt gäller följande utdrag ur SSÄ SÄB-0801 Brandsäkerhet, *Riktlinjer brandskydd* [1].

Bärförmåga vid brand

- Bärverk och konstruktioner som utgör bärande huvudsystem för plattformsrummet ska uppfylla bärverkskravet R120.
- Övriga bärverk och konstruktioner som utgör bärande huvudsystem ska generellt uppfylla bärverkskravet R90. Möjlighet finns att i vidare utredning undersöka om lägre krav kan ställas för utrymmen och konstruktioner som inte påverkar plattformsrummet.

Detaljer om brandskydd på bärande konstruktioner redovisas i kommande brandskyddsbeskrivning.

7 Installationer och utrustning

Detaljer, utöver nedan, om installationer och utrustning såsom tex. vägledande markering, belysning mm redovisas i senare skede av projekteringen.

7.1 Automatiskt brand- och utrymningslarm

Brandlarm ska installeras ovan plattform under överdäckningen och i stationsbyggnaden som följd av den aktuella utrymningsstrategin, vilken kräver automatiskt aktiverat utrymningslarm i form av talat meddelande. Utrymningslarm med omfattning av yttre del av plattform (är belägen utanför överdäckningen) är en förutsättning för brandskyddet.

Komponenterna i det automatiska brandlarmet ska verifieras i enlighet med standardserien SS-EN 54 och komponenter utförda enligt SS-EN 54-21 ska utformas som typ 1.

Utrymningslarm ska utföras enligt SBF 110:8 och SBF 502:1 - Regler för utrymningslarm med talat meddelande.

7.2 Brandgasventilation

Brandgasventilation av plattformsdel under överdäckning sker enligt följande:

- Mekanisk brandgasventilation (brandgasfläktar placerade med jämn fördelning i överdäckningen över plattform/spår) med ett totalt flöde på 60 m³/s, som aktiveras vid brand.
- Två kompletterande impulsfläktar som aktiverar om brandgasventilationen felfungerar. Ansatt kapacitet per fläkt är att ge upphov till luftrörelser på 10 m/s.

Detaljer för utformning brandgasventilation framgår av; Appendix A – Utrymningsanalys och Appendix B – FDS och geometrisk modell.



8 Möjlighet till räddningsinsats

8.1 Insatstid

Insatstiden för räddningstjänsten bedöms understiga 10 min.

8.2 Åtkomlighet

Räddningstjänstens tillträde till plattformen utgörs av passage genom den befintliga stationsbyggnaden. Alternativ tillträdesväg till plattformen är via gården på överdäckningen och den nya utrymningstrappan.

Den nya utrymningstrappan utförs tillgänglig för räddningstjänsten via portik, eller motsvarande, i nya byggnader.

Stationsbyggnaden är tillgänglig från det ordinarie vägnätet och de nya byggnaderna *utförs* tillgängliga från det ordinarie vägnätet.

Räddningstjänsten åtkomlighet enligt ovan förutsätter att gården är öppen mot gatunätet. I annat fall kan det krävas servitut för att möjliggöra räddningsinsats.

Briab – The right side of risk

Robert Berg



Referenser

- [1] TF, "SSÄ SÄB-0801 Brandsäkerhet, Krav och rekommendationer för brandskydd i byggnad, anläggning och fordon," 2020.
- [2] TF, "SSÄ SÄB-0802 Brandsäkerhet - Vägledning för analytisk dimensionering av brandskydd," 2020. [Online].
- [3] TF, "SSÄ SÄB-0803 Brandsäkerhet, Utformning av brandskydd i byggnad och anläggning," 2020.
- [4] Stockholms Läns Landsting - Trafikförvaltningen, "Information om genomförd utredning av trängseln i kollektivtrafiken," 2015.
- [5] SLL, "RUFs," [Online]. Available: <https://www.sll.se/verksamhet/Regional-utveckling/strategier-och-planer-inom-regional-utveckling/rufs-2050/>. [Använd 2021].
- [6] NIST, "Fire Dynamics Simulator and Smokeview (FDS-SMV)," 2020. [Online]. Available: <http://www.fire.nist.gov/fds/>. [Använd 2020].
- [7] Thunderhead Engineering, "Pathfinder," 2020.
- [8] Thunderhead Engineering, "Pyrosim," 2021. [Online]. Available: <http://www.thunderheadeng.com/pyrosim/>.
- [9] J. Sime, "Movement toward the Familiar - Person and Place Affiliation in a Fire Entrapment Setting," i *Environment and Behavior*, 17(6), 1985, pp. 697-724.
- [10] J. Fruin, "Pedestrian and Planning Design. Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners.," 1971.
- [11] Society of Fire Protection Engineers, "The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Fourth Edition," SFPE NFPA, Massachusetts, 2008.
- [12] M. Knutmark, "Utrymningsprogram - program och användarens påverkan på utrymningstiden," Lunds Universitet, Lund, 2013.
- [13] Räddningsverket, "Tid för utrymning vid brand," 2001.



Appendix A – Utrymningsanalys

I följande bilagor till denna handling redovisas genomförd analys av utrymningssäkerheten för Örsbergs tunnelbanestation med avseende på tillkommande överdäckning. Verifiering av utrymningssäkerheten genomförs genom analytisk dimensionering i form av brandgasfyllnads- och utrymningssimuleringar. Syftet med utredningen är att utvärdera hur utrymningssäkerheten vid händelse av brand påverkas av tillkommande överdäckning, och målet är att tillhandahålla beslutsunderlag för de utformningsalternativ som bedöms uppfylla erforderlig utrymningssäkerhet.

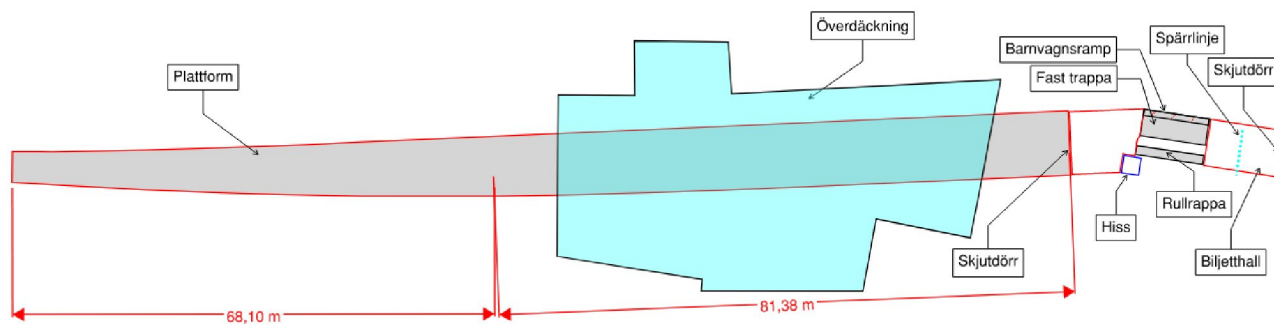
Använd metodik och indata följer de rekommendationer som presenteras i SSÄ SÄB-0802 Brandsäkerhet *Vägledning för analytisk dimensionering av brandskydd* [2]. Vidare har styrande dokument enligt avsnitt 1.2 beaktats.

Dimensionerande förutsättningar

I detta kapitel beskrivs stationens och överdäckningens (generella) utformning. Tillgång till utrymningsvägar samt övergripande brandskydd.

Objektsbeskrivning

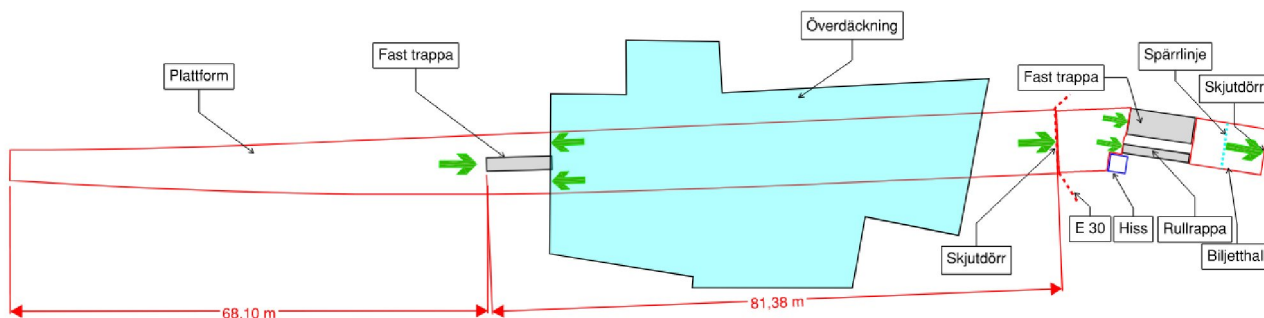
Nedan ges en översiktlig beskrivning av tunnelbanestationen. Den tilltänkta utformningen visas i Figur 4 och Figur 5 nedan.



Figur 4. Schematisk översiktsbild av överdäckning, plattform och stationsbyggnaden. Dörrarna mäter 1,6 m och den fasta trappan 2,1 m. Takhöjd uppgår till 3,4 m under överdäckningen.

Utrymningsvägar

Avstämd beställarambition (tillika lagkrav) för projektet har varit att säkerställa att förutsättningarna för säker utrymning inte ska försämrats av överdäckningen. Utvärderingskriterier för detta har valts utifrån *Vägledning för analytisk dimensionering av brandskydd* [2]. Med anledning av detta har analysen av stationens utrymningssäkerhet utförts under förutsättning av en tillkommande trappa från den del av plattformen som förblir i det fria upp till överdäckningen, se Figur 5.



Figur 5. Schematisk beskrivning av stationens utrymningsstrategi. Brandcellsgräns i glasparti mellan plattform och biljetthall.

Dimensionerande personantal

Enligt kravställning i SSÄ SÄB-0802 ska personantal analyseras utifrån tre perspektiv och ansättas till maximum av dessa:

- Trafikantprognoser
- Personantal motsvarande ett fullt tåg per spår – totalt 2400 personer, och
- Evenemangsscenario

Örnsbergs station ligger inte i nära anslutning till några större arenor, vilket medför att ett evenemangsscenario inte förväntas överstiga 2400 personer.

Trafikantprognos

Nedan genomförs en skattning av antalet resenärer vid Örnsbergs station år 2050.

Antal förbipasserande

Som stöd i skattning av antalet personer som under maxkvarten befinner sig ombord på ett tunnelbanetåg vid Örnsbergs tunnelbanestation har utlåtandet *Information om genomförd utredning av trängseln i kollektivtrafiken*, som presenterar resultat utifrån upplevd trängsel, använts [4]. Fyllnadsgraden inom en tunnelbanevagn har i rapporten kategoriserats enligt sex intervall som sträcker sig från under 50 % till 329 %, och där 100 % innebär att samtliga sittplatser nyttjas, men att ingen behöver stå. Från rapporten använda uppgifter återges i Figur 6, Figur 7 och Tabell 2 nedan. För att säkerställa konservativa antaganden används maximum av varje intervall hellre än dess medelvärde.

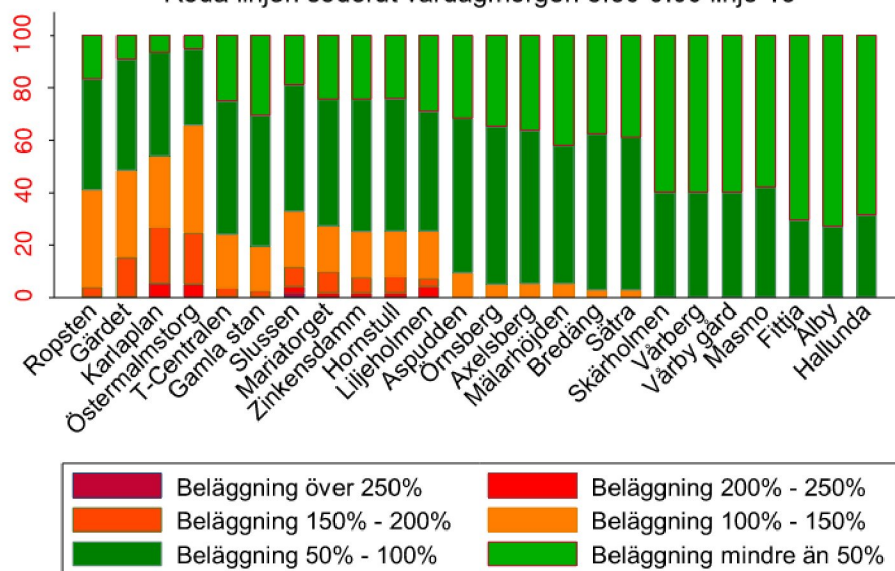


Tabell 1. Exempel på olika nivåer av trängsel och hur dessa relaterar till total belägningsgrad.

Kategori	Antal resenärer	Belägningsgrad	Andel ståplats
Maxkapacitet	1242	329 %	100 %
Praktisk kapacitet	720	190 %	40 %
Mål i trafikstrategin	810	214 %	50 %
God standard (Riplan)	<551	<146 %	<20 %
Låg standard (Riplan)	>724	>192 %	>40 %

Andelen av resenärerna som upplever olika grad av trängsel

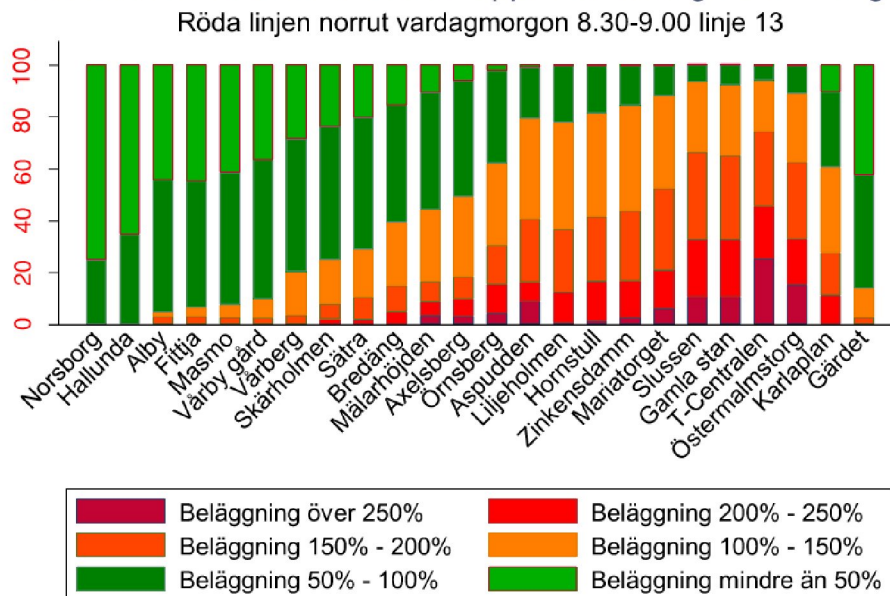
Röda linjen söderut vardagmorgon 8.30-9.00 linje 13



Figur 6. Använda intervall från trängselutredningen [4]. Södergående tåg.



Andelen av resenärerna som upplever olika grad av trängsel



Figur 7. Använda intervall från trängselutredningen [4]. Norrgående tåg.

Tabell 2. Redovisad trängsel inom norrgående tåg vid Örnsbergs station. Summa=591.

Procent	Andel	Produkt	Personer
50%	2,23%	0,01	4
100%	35,8%	0,36	136
150%	31,5%	0,47	179
200%	15,0%	0,30	113
250%	11,2%	0,28	106
329%	4,25%	0,14	53

Tabell 3. Redovisad trängsel inom södergående tåg vid Örnsbergs station. Summa=322.

Procent	Andel	Produkt	Personer
50%	34,9 %	0,17	66
100%	60,3 %	0,60	228
150%	4,92 %	0,07	28
200%	0 %	0	0
250%	0 %	0	0
329%	0 %	0	0

I Stockholms översiktsplan, RUF5, för år 2050 anges en befolkningstillväxt på över 50 % relativt dagens invånarantal [5]. Framtida beteendemönster och antalet tillkommande kommunikationsmedel är okända, så för att i bästa möjliga mån säkerställa ett konservativt antagande om antalet resenärer görs en uppräkningsmetod med 60 % av ovanstående värden. Detta ger ett personantal på 1460 inom södergående plus norrgående tåg år 2050.



Personantal påstigande

Antalet påstigande vid Örsberg baseras på *Fakta om SL och Länet 2018*. Eftersom antalet avstigande redan är inkluderade i ovanstående personantal avgränsas beräkningen för plattformen till antalet påstigande. Antalet påstigande angavs vara 950 påstigande under maxtimman. Med fyraminuterstrafik innebär detta cirka 65 personer i genomsnitt, vilket motsvarar 100 år 2050. För att ta höjd för snedfördelningar under maxkvarten antas 140 nya resenärer befinna sig på plattformen vid dimensionerande scenario.

Personantal – konklusion

Utifrån ovanstående analys ansätts personantal till 2400 personer.

Metod

I detta avsnitt sammanfattas utredningens scenariobeskrivning. Analysen omfattar brandgasfyllnadsberäkningar genomförda med CFD-programmet FDS version 6.7.6 [6] samt utrymningsberäkningar via programvaran Pathfinder 4.6.0 [7].

Scenarioanalys

Analysen följer den metod som anges i SSÄ SÄB-0802 Brandsäkerhet *Vägledning för analytisk dimensionering av brandskydd* [2]. Det innebär att utrymning ska kunna ske tillfredställande när stationen utsätts för ett allvarligt brandförlopp med antagandet att installerade skyddssystem fungerar som avsett, men även vid mindre påfrestande brandförlopp då ett brandtekniskt system fallerar.

Möjligheten till utrymning vid brand utgår från en jämförelse mellan krävd tid för utrymning och tillgänglig tid (i termer av godtagbar exponering). Vid analys av utrymningssäkerheten ska den tillgängliga tiden för utrymning vara längre än utrymningstiden för samtliga aktuella scenarion.

Olika scenarion kan inträffa beroende på var på stationen branden inträffar samt om de tekniska systemen som finns installerade fungerar som avsett eller ej. De scenarion som identifierats som mest kritiska för utrymningssäkerheten redovisas i avsnitt *Dimensionerande utrymningsscenarion* och *Appendix F – Visualisering utrymningsverifiering*.

Säkerhetsmarginal

En scenarioanalys har utförts där tillgänglig tid jämförts med tid för utrymning. I analysen beräknas en säkerhetsmarginal. Säkerhetsmarginalen beskrivs matematiskt enligt:

$$G = t_{kritisk} - t_{utrymning}$$

där:

G = säkerhetsmarginal

$t_{kritisk}$ = tid till ej godtagbar exponering, beräknad med brandgasfyllnadsberäkningar

$t_{utrymning}$ = total utrymningstid, beräknad med utrymningssimuleringsprogram



Säkerhetsmarginalen ska vara positiv för samtliga scenarion, det vill säga samtliga personer ska hinna utrymma innan ej godtagbar exponering på grund av brand uppstår.

Acceptanskriterier

Tillgänglig tid för utrymning utvärderas utifrån nedanstående värden:

Tabell 4. Godtagbar exponering vid analys av utrymningssäkerheten [2].

Kriterium	Nivå
Temperatur	Max 80°C
Värmestrålning	Max 2,5 kW/m ²
Toxicitet 2,0 m ovan golv	Kolmonoxidkoncentration, CO < 2000 ppm Koldioxidkoncentration, CO ₂ < 5 % Syrigaskoncentration, O ₂ > 15 %

Utöver ovanstående acceptanskriterier från *Vägledning för analytisk dimensionering av brandskydd*, kontrollerats även siktbarhet för att säkerställa att personer inte riskerar att falla ner på spåren på grund av dåliga siktförhållanden. Gränsvärdet har ansatts till 5 m siktbarhet.

Vidare bör kötider, för personer som påverkas av brand och brandgaser, begränsas till maximalt 8 minuter för samtliga utrymningsscenarion för att minimera risken för tryck- och klämskador med hänsyn till det stora personantalet. Ej godtagbara nivåer av värmestrålning har bedömts infalla senare i förloppet än övriga parametrar, och därför inte underkastats detaljerad analys.

Brandgasfyllnadsberäkningar

För att bestämma tid till ej godtagbar exponering har simuleringar gjorts via CFD-programmet FDS, version 6.7.6 [6]. CFD (Computational Fluid Dynamics) är ett samlingsnamn för datorbaserade metoder för beräkning av flöden i icke solida ämnen. Källkoden Fire Dynamics Simulator (FDS) är speciellt utvecklad för simulering av brand- och brandgasspridning [6].

Dimensionerande brandscenarion

Valet av maximal dimensionerande effektutveckling har gjorts med utgångspunkt i SSÄ SÄB-0802 Brandsäkerhet [2]. Då stationen förses med heltäckande brand- och utrymningslarm påbjuds det att tre olika brandscenarion undersöks.

Brandscenarierna utgör grunden för exponering för utrymningsanalyser. Brandposition har valts under överdäckningen i nära anslutning till uppgången till stationsbyggnaden för att utgöra en värsta troliga placering. Två scenariogrupper ingår i analysen:

Scenariogrupp 1. Scenariogrupp 1 kännetecknas av ett allvarligt brandförlopp med medelsnabb utveckling och hög brandeffekt, ett troligt värsta fall. Installerade tekniska skyddssystem kan antas fungera som avsett och effekten av dessa kan tillgodoräknas. Brandförloppets avgivna värmeeffekt kan antas följa sambandet:

$$HRR = \alpha t^2$$



För verifiering av möjlighet till utrymning används brandförloppsegenskaper enligt Tabell 5.

Scenariogrupp 2. Scenariogrupp 2 kännetecknas av ett brandförlopp som kan ses som en mindre påfrestning på stationens brandskydd, men som utvecklas samtidigt som enskilda tekniska system inte fungerar som avsett³. De tekniska system som var och ett för sig bör göras otillgängliga i brandscenariogrupp 2 är följande:

- Automatiskt brand- och utrymningslarm.
- Brandgasventilation.

Brandförloppets avgivna värmeeffekt kan antas följa $HRR = \alpha t^2$ och i övrigt ha brandförloppsegenskaper enligt Tabell 5.

Tabell 5. Brandscenarion för utrymning [2].

Grupp	Beskrivning	Brandtillväxt	Specificerande parametrar
1	Anlagd brand i ett fullsatt tåg på 2 MW som efter 15 minuter fortsätter till 15 MW	Medium [0,012 kW/s ²]	Förbränningsvärme: 20 MJ/kg Sotproduktion: 0,09 g/g CO-produktion: 0,1 g/g CO ₂ -produktion: 2,5 g/g
1*	Brand på plattform eller biljetthall på 1 MW	Medium [0,012 kW/s ²]	
2	Anlagd brand i förarhytt som når 15 MW	Långsam [0,003 kW/s ²]	

Grupp 1 bedöms utgöra en större påfrestning för stationen än grupp 1*, varför den senare utgår i denna analys.

Bränslet i simuleringarna har antagits bestå av 60 molprocent trä och 40 molprocent plast (polyuretan) i samtliga scenarion. Sammanvägning görs genom att vikta ihop varje grundämne med den molandel bränslet utgör. Dessa antaganden bedöms återspegla brandegenskaper hos de material som normalt förekommer i denna typ av fordon.

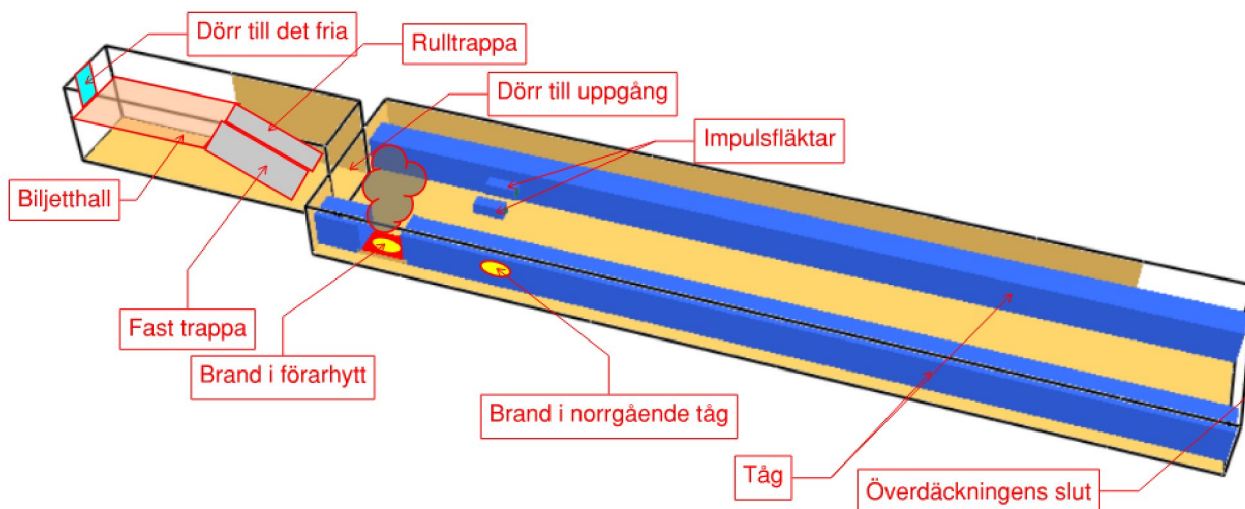
Effektutvecklingen återges i Appendix E – Grafer och utdata från brandgassimuleringar, nedan.

Geometrisk modell

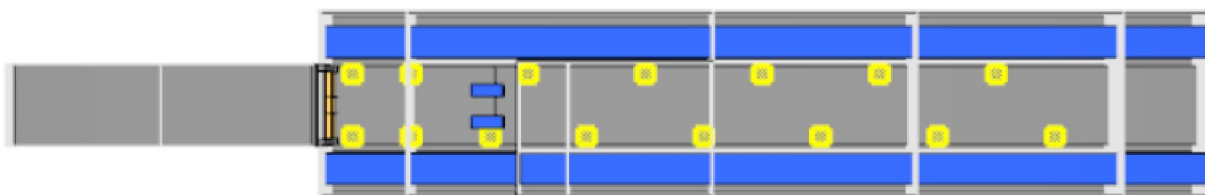
För att konstruera modellen har programmet Pyrosim 2021.4.1201 nyttjats [8].

Den tredimensionella modell som används i brandgasfyllnadsberäkningarna illustreras löpande då jämförelser görs mellan acceptanskriterier, siktförhållanden och utrymningsförloppet, se vidare avsnitt *Appendix B – FDS och geometrisk modell*. Brandpositioner har valts inom tågagn i nära anslutning till glaspartiet vid uppgången, se Figur 8.

³ Det ska säkerställas att säkerhetstekniska system såsom kraftmatning och styrsystem är utförda med sådant brandskydd och redundans att flera system inte slås ut av en och samma händelse.



Figur 8. Bild av modellen för brandgasfyllnadssimuleringar.



Figur 9. Placering av brandgasfläktar i genomförda simuleringar, gulmarkerade i bild.

Indata brandgassimuleringar

De värden som nyttjats i analysen redovisas i *Appendix D – Indata brandgasfyllnadsberäkningar*.

Resultat brandgasfyllnad

Ej godtagbara förhållanden uppstår inte under samma tidpunkt i hela plattformsrummet. Följande resultat redovisar tid till ej godtagbar exponering vid den första utrymningsvägen. Detta innebär inte per automatik att utrymningssäkerheten påverkas då personer redan kan ha utrymt från denna del av stationen. I Tabell 8 där säkerhetsmarginalen redovisas kan resultat kopplat till utrymningssäkerheten utläsas.

Det ska beaktas att det, enligt allmän praxis i ASET/RSET-beräkningar, inte har utförts någon analys av förhållandena i brandens direkta närhet, där ej godtagbara förhållanden uppstår relativt snabbt på grund av strålning och temperatur. Det förutsätts således att personer förflyttar sig från platsen innan nivåer uppstår som kan orsaka personskada.



Tabell 6. Tid till kritiska förhållanden. Presenterade tider är mätta vid utrymningsväg och på 2 meters höjd.

Scenario	Godtagbar exponering, Kolmonoxid [s]	Godtagbar exponering, Koldioxid [s]	Godtagbar exponering, Syre [s]	Godtagbar exponering, Temperatur [s]	Sikt ⁴ [s]
ScA2Es1 (BGV* 60)	>1200	>1200	>1200	>1200	>1200
ScCEs3a (ingen BGV)	>1200	>1200	>1200	>1200	>660
ScCEs3b (inget utrymningslarm)	>1200	>1200	>1200	>1200	>1200

* BGV = brandgasventilation. BGV 60 innebär att brandgasventilationen har 60 m³/s i kapacitet.

För scenario ScA2Es1, ScCEs3a och ScCEs3b presenteras grafer och bildmaterial över effektutveckling och siktförhållanden i *Appendix E – Grafer och utdata från brandgassimuleringar* och *Appendix F – Visualisering utrymningsverifiering*. Utifrån genomförda simuleringar tar det över 20 minuter innan människor riskerar att exponeras för icke godtagbara nivåer. Siktförhållanden vid utrymningsväg understiger 5 m i tiden 12 minuter under scenariot med fallerande brandgasventilation.

Ytterligare resultat från genomförda beräkningar redovisas på begäran.

Utrymning

Utrymningsberäkningarna genomförs med datorprogrammet Pathfinder [7], för information om programmet se Appendix C – Pathfinder. Programmet beräknar total utrymningstid.

Dimensionerande utrymningsscenarion

Studerade scenarion har valts utifrån brandsimuleringar ScA2Es1, ScCEs3a och ScCEs3b ovan, samt genom resonemang kring vilka sannolika störningar i utrymningssäkerheten som kan tänkas uppstå. Motsvarande scenarion har även studerats utifrån nuvarande stationsutformning, som referensfall. Referensfallet inkluderas för att studera om överdäckningen leder till förbättringar relativt dagens utformning i termer av främst utrymningssäkerhet, men också kö- och tömningstid av stationen (se vidare avsnitt Diskussion).

Tabell 7. Beskrivning av scenarion för utrymningsberäkningar.

Utrymningsscenario	Personantal	Blockerade utrymningsvägar	Kommentar
Referensscenarion	2400	Inga	Nuvarande utformning
ScA2Es1 (BGV 60)	2400	Inga	Allt fungerar
ScCEs3a (ingen BGV)	2400	Inga	Brandgasventilation fallerar

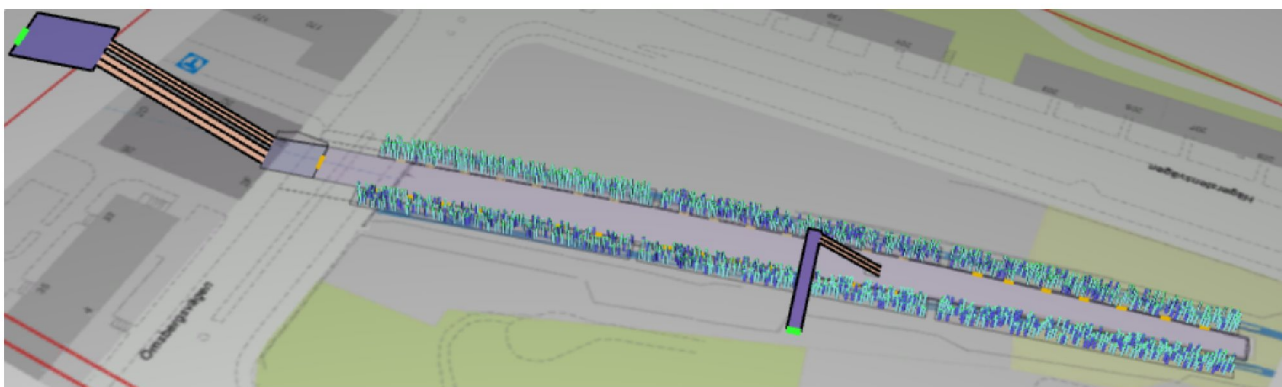
⁴Med två tåg ståendes längsmed plattformen uppstår områden under överdäckningen där siktsträckan efter hand understiger 5 meter, men detta infaller så sent i förloppet att det inte bedöms påverka personers möjlighet att köa vid utrymningsväg eller nå kön.



ScCEs3b (inget utrymningslarm)	2400	Inga	Utrymningslarmet fallerar
Södergående1	2400	Trappan till överdäckningen	Brand i plattformens västra ände

Utrymningssimuleringar

Modellen som används vid simuleringarna av utrymningsförloppet baseras på underlaget i Figur 4 och Figur 5. Lokalen modelleras som ett tvådimensionellt plan, där inredning och väggar representeras av blockeringar eller hål i golvytan. Dessa har samma placering och breddmått som i projekteringsunderlaget. Personerna i simuleringen kan endast befinna sig på icke blockerade ytor, se Figur 10.



Figur 10. Pathfindermodellen efter vidtagna åtgärder. Trappan upp till överdäckningen har simulerat med en utgång i slutet av en korridor. Dörrens personflödeskapacitet ska inte understiga trappans.

Utrymningsprocessen

Utrymningsprocessen består av tre huvudsakliga delar, vilka tillsammans utgör den tid som krävs för att utrymma. Dessa benämns varseblivningstid, förberedelsetid samt förflyttningstid [2].

$$t_{utrymning} = t_{varseblivning} + t_{förberedelse} + t_{förflyttning}$$

Varseblivningstid

Varseblivningstiden är den tid som förlöper mellan att branden uppstår och att individen blir medveten om att det brinner. Personer kan förväntas bli varse en brand då ett utrymningslarm initieras eller att information ges på annat sätt. I de fall anläggningen saknar utrymningslarm kan varseblivningstiden bedömas utifrån när branden blir synlig eller när brandgaser blir synliga för aktuell person.

Förberedelsetid

Förberedelsetiden består av tiden som går åt för att personen ska förbereda sig, det vill säga: lyssna på utrymningslarm; hjälpa andra att utrymma; försöka bekämpa branden med mera. Förberedelsetiden bör beakta att personer kan behöva hjälp med att inleda sin utrymning. Förberedelsetiden kan förväntas vara längre för personer längre bort från branden där underlaget för eget beslutsfattande är sämre. Social påverkan mellan personer bör beaktas vid valet av förberedelsetid. Förberedelsetiden kan förutsättas bero på sättet som personer informeras om



branden. Om utrymningslarm saknas kan varseblivningstiden och förberedelsetiden kombineras till en sammanlagd fördröjningstid för utrymning.

Förflyttningstid

Förflyttningstiden är den tid det tar för personer att förflytta sig.

I händelse av brand rör sig personer i stor utsträckning mot platser som är kända för dem sedan tidigare [9]. Detta innebär att de dörrar och vägar som normalt används sannolikt kommer att vara förstavalet i en utrymningssituation, även om det finns andra utrymningsvägar som är belägna närmre. Det antas å andra sidan också föreligga en ovilja att korsa branden eller områden med nedsatt sikt i brandens närhet, vilket medför att även brandpositionen har inverkan på valet av utrymningsväg. Utformning och placering av utrymningsvägarna är av avgörande betydelse för i vilken utsträckning de kommer att användas. I merparten av de utförda simuleringarna antas personer välja den utrymningsväg de står närmast, vilket med hänsyn till brandposition bedöms leda till troliga fördelningar eftersom det bara finns en ordinarie entré ner till plattformen.

Grundprincipen har varit att efterlikna ett utrymningsbeteende där högst cirka 30 % känner till bakre utrymningsvägar. Undantag utgörs av fall där rökutvecklingen bedöms fungera som en barriär och få personer att omvärdera sitt val, samt där tidig köbildning bedöms leda till nya val.

Förutsättningar

Verifiering av möjlighet till utrymning vid brand bör baseras på följande förutsättningar:

- En av spärrarna i utrymningsriktningen ska anses vara blockerad och får inte medräknas vid utrymning.
- Rulltrappan ska anses vara blockerad och får inte medräknas i utrymningskapaciteten.
- Del av trappa eller rulltrappa ska inte anses vara samtidigt blockerade då trappa och rulltrappa finns i samma lyft.

Indata till utrymningssimuleringar

Gånghastigheten vid obehindrad förflyttning ansätts till 1,5 m/s, och vid hög persontäthet används $\leq 0,6$ m/s. Barn eller personer med nedsatt rörelse- eller orienteringsförmåga kan förutsättas förflytta sig med 1,0 m/s vid obehindrad förflyttning och $\leq 0,6$ m/s vid hög persontäthet (vilket inträffar i och nära en kö).

Antalet personer som antas ha nedsatt rörelse- eller orienteringsförmåga är 24 (motsvarande 1 % av 2400 personer).

Personflöde genom dörr, vilken har en minsta bredd på 0,90 m, utåtgående slagriktning, är uppmärksatta med vägledande markering och enkelt kan öppnas med nödbeslag utan nyckel eller verktyg, kan antas vara 66 personer/minut och breddmeter. Personflöde genom spärr, vars bredd är minst 0,60 m, kan antas vara 60 personer/minut. Personflöde för en fast trappa med lyfthöjd understigandes 15 meter är 45 personer/minut per effektiv breddmeter [2].



Utrymning antas ske enligt följande händelsekedja:

- **Brand- och utrymningslarm fungerar:** Vid tiden $t_0 = 0 \text{ min}$ antas en brand uppstå i ett tåg 1. Tåget når Örnsberg inom 2 minuter, och vid denna tidpunkt bedöms majoriteten av personerna i den branddrabbade tågagnen ha blivit varse om branden. Vid brand meddelar tågförare trafikledningscentral (TLC), som meddelar andra tågförare och så kan TLC ropa ut på plattform att det brinner. I $t_3 = 3 \text{ min}$ utrymmer samtliga inom den branddrabbade tågagnen. I tiden $t_4 \leq 4 \text{ min}$ anländer tåg 2 till stationen. 50 % av övriga personer i tåg 1 påbörjar utrymning. I tiden $t_5 = 5 \text{ min}$ utrymmer kvarvarande personer inom brandutsatt tåg. 50 % av personerna inom det inkommande tåget antas påbörja utrymning eftersom larm ljuder från brandutsatt tåg och på perrong av trafikledningscentralen. I tiden $t_6 = 6 \text{ min}$ utrymmer återstoden av tåg 2.
- **Brand- och utrymningslarm fungerar inte som avsett:** Hålltider för brandförloppet enligt ovan, men med skillnaden att personer inom tåg 2 i stället påbörjar utrymning som en konsekvens av rökspridning över plattformen och på sociala signaler. Utifrån simulerad brandgasspridning bedöms den mest stationsnära vagnen i tåg 2 påbörja utrymning inom 2 minuter. Analyserad utrymningssäkerhet bedöms vara nästan oberoende av när övriga personer inom tåg 2 påbörjar utrymning, men för att utgöra ett konservativt antagande ansätts en sammanlagd tid på varseblivnings- och förberedelsetid till 5 minuter.

Resultat utrymningsberäkningar

Grundscenarion ScA2Es1, ScBEs3 och ScCEs3b etablerar att köer vid utgångar uppstår relativt tidigt, och att en högre flödeskapacitet i och genom biljetthallen kan ha stor inverkan på utrymningstider.

För att avgöra om utrymningssäkerheten är tillfredställande eller inte utförs en visuell kontroll av genomförda simuleringar. Resultaten presenteras i följande tabell.

Tabell 8. Resultat utrymningsanalys relativt genomförda brandgassimuleringar.

Scenario	Tid till säker plats [s]	Säkerhetsmarginal [s]	Kötid ⁵
Referensfallet	-	-	Cirka 27 minuter
ScA2Es1 (BGV 60)	800	>100	<400 s
ScCEs3a (ingen BGV)	800	>100	<400 s
ScCEs3b (inget utrymningslarm)	800	>100	<300 s
Södergående1	-	-	Cirka 16 minuter

Samtliga dimensionerande scenarion uppvisar en positiv säkerhetsmarginal.

⁵ Kötid utvärderas enbart mot stationsbyggnaden, och bedöms inte behöva understiga 8 minuter inom de områden där personer köar på en säker plats.



Känslighetsanalys

I detta avsnitt undersöks hur olika osäkerheter påverkar analysresultaten. Utifrån genomförd skattning av dimensionerande personantal bedöms använt värde för denna faktor ha valts konservativt. Nedan redovisas två scenarion som studeras:

1. Val av utrymningsväg – hur ser utrymningsförloppet ut om personer primärt antas flytta sig i riktning bort från branden?
2. I känslighetsanalys 2 har personer antagits förflytta sig enligt en normalfördelning med medelvärde 1,35 m/s och standardavvikelse 0,255 avgränsat till intervallet [0,65;2,05], vilket grundar sig på iakttagelser av Fruin [10]. Studeras utifrån brandscenario ScAEs1.

Tabell 9. Resultat känslighetsanalys.

Scenario	Tid till säker plats [s]	Säkerhetsmarginal [s]	Kötid
Känslighetsscenario 1	500	>400	<100 s*
Känslighetsscenario 2	780	>100	420 s

*Eftersom kötid enbart utvärderas vid stationsuppgången konstateras att en reducerad tid vid denna resulterar i längre kötid vid den tillkommande utrymningstrappan.

Av genomförda simuleringar kan vidare utläsas att kortare varseblivning- och förberedelsetid leder till längre kötider, och om utrymning initieras en minut snabbare växer kötiden med nästan exakt en minut. Detta medför att det inte går att minska på den fasta trappans fria bredd i uppgången inom stationsbyggnaden.



Diskussion

Beräkningsdomänen för brandgasfyllnadssimuleringen har i vissa delar förenklats i modelleringen. Där geometrin ej kunnat modularas i detalj har åtgärder gjorts vilket, konservativt, bidrar till en mindre rumsvolym som kompensation, varpå brandgasfyllnaden av volymen sker snabbare. Det invärtes tunnelsystemet kan även ha en påverkan på flödesdynamiken på brandgasventilationen, speciellt den naturliga brandgasventilationen och pistongeffekter, av utrymmet varpå beräkningsdomänen är stängd mot tunnelsystemet. Kombinationen av vindtryck mot domänens öppningar och att tunnelsystemet är stängt bedöms bidra till ökad ansamling av brandgaser vid uppgången till stationsbyggnaden, vilket medför att utrymningssäkerheten troligen är än bättre än vad som kunnat simuleras med dessa antaganden. Den detaljeringsgrad som används i beräkningarna bedöms dock tillräcklig för att kunna dra övergripande slutsatser rörande godtagbara nivåer för utrymmande personer. I ett mer detaljerat skede bör tunnelns dynamiska luftflöden tas hänsyn till i verifieringarna.

Analyserade scenarion har modellerats med *medium* respektive *långsam* brandtillväxt. Dock börjar merparten av bränder med en så kallad förbrinntid. Innan antändning måste bränslet värmas upp vilket sker under rökutveckling. I många fall kan en brand upptäckas innan branden börjar växa, antingen genom att personer känner rökluft eller att en rökdetektor aktiveras. I detta stadium är det ofta lätt att släcka branden om det finns personer i närheten. I analysen har ingen hänsyn tagits till förbrinntiden utan branden startar vid tiden $t = 0$, vilket i sig utgör ett konservativt antagande.

Vidare har brandgassimuleringar genomförts under antagande om vindbelastning i form av ett tryck vid överdäckningens slut (för att säkerställa att effekten av den termiska brandgasventilationen inte överskattas). Invärtes flödesmekanismer ifrån tunnelsystemet så som pistong- eller stackeffekter har ej beaktats, och beräkningsdomänen är stängd mot resterande tunnelsystem i detta skede av projektering.

Genomförd analys har visat att säkerhetsmarginalen är positiv för de undersökta scenariona. Då konservativa val har gjorts är det exakta värdet av säkerhetsmarginalen av mindre vikt då den är minst 30 sekunder med konservativa antaganden.

Ett högre personantal (än det konservativa antagandet om 2400 personer, i denna rapport) kräver dock kompletterande analys för att verifiera tillfredställande utrymningssäkerhet.

Andra säkerhetshöjande åtgärder (såsom bafflar/skärmar längs med plattformen, ökad takhöjd och övertryckssättning av uppgång) analyseras på begäran.

Icke godtagbar exponering behöver inte nödvändigtvis innebära personskador eller förluster i människoliv utan betyder att utrymning ej längre kan ske under vedertaget acceptabla förhållanden.

Jämförelser med referensfallet visar på förbättringar i form av kortare total utrymningstid vid brand i det fria, samt förkortad kö- och tömningstid generellt. Detta bedöms minska risken för tryck och klämskador vid utrymning av höga personantal, samt underlätta vid tömning med avseende på totalt strömbortfall och andra ordningsstörningar.



Slutsatser från analytisk dimensionering

Det bedöms finnas åtgärder som medför att utrymningssäkerheten inte försämras av att stationen överdäckas. Dessa återges nedan:

- Barnvagnsramp i befintlig stationsbyggnad ska tas bort så att hela den fasta trappans bredd kan tillgodoräknas.
- Dörrar i glasparti mellan stationsbyggnad och plattform ska breddas till totalt minst 2,5 meter. Detta kan åstadkommas genom att komplettera existerande skjutdörr med en slagdörr. Glasparti utförs i klass E 30, med dörrar i klass E 30-C (C=självstängande).
- Dörrar till det fria i övre biljetthallsnivå ska breddas till totalt minst 2,5 meter.
- Plattformen ska kompletteras med en minst 2,0 m bred utrymningstrappa som ansluter till överdäckningen från västlig riktning.
 - Från överdäckningen ska detta ansluta till en dörr, karusellgrind eller liknande med personflödeskapacitet motsvarande den fasta trappan.
 - Vid båda sidor av den fasta trappan ska det finnas fria gångstråk motsvarande minst 1,2 m innanför de taktila stödlinjerna närmast plattformskanten.
- Brandgasventilation ska installeras över plattformen med en kapacitet motsvarande 60 m³/s. Placering av brandgasfläktar bestäms i kommande detaljprojektering.
- Två impulsfläktar ska installeras. Fläktarna ska enbart aktivera i händelse av felfungerande brandgasventilation. Ansatt kapacitet per fläkt är att ge upphov till luftrörelser på 10 m/s bort från stationsbyggnaden.
- Ett automatiskt heltäckande brand- och utrymningslarm (enligt SBF 110:8) ska installeras.

Givet införandet av ovanstående åtgärder förbättras utrymningssituationen i följande avseenden: kortare total utrymningstid, kortare kötider mot stationsbyggnad och det skapas en möjlighet att utrymma i händelse av brand i stationsbyggnad.

Övertrycksättning av stationsbyggnadens uppgång kan vid behov, i den fortsatta detaljprojekteringen, utgöra ett sätt att ytterligare förbättra förhållandena för passagen för utrymmande genom stationsbyggnaden.



Appendix B – FDS och geometrisk modell

Fire Dynamics Simulator

Källkoden Fire Dynamics Simulator (FDS) version FDS 6.7.6 har använts för beräkningarna [6].

Stationens geometri delas in i kontrollvolym och i varje kontrollvolym kommer kontinuitetsekvationer i varje tidssteg beräkna balansen av den in- och utgående gasens massa, rörelse och energi. Från dessa ekvationer kan lokala värden på temperatur, gashastighet, sikt mm erhållas i den studerade delen av stationen.

Beräkningarna är baserade på Large Eddy Simulation modellering. Detta innebär att uppblandning mellan brandgasplymen/brandgaslagret och omgivande luft via storskaliga virvlar beräknas explicit, vilket representerar merparten av den blandning som sker mellan brandgaser och luft. Uppblandning via virvlar som är mindre än den underliggande kontrollvolymen modelleras empiriskt.

Hydrodynamiska ekvationerna

Beräkningsmodellen är baserad på fyra differentialekvationer som löses med finita volymmetoden. Denna metod innebär att lokalens volym delas upp i ett antal finita volymer samt att de termodynamiska och kemiska jämvikterna löses för varje finit volym.

De fyra grundläggande differentialekvationerna med avseende på bevarande av massa, moment, energi samt kemisk balans löses för varje volym i varje tidssteg.

Geometri

Domäner som omger den geometriska modellen delas in i en finit volymindelning. Den globala beräkningsdomänen är uppbyggd enligt ett multidomänsystem. Detta innebär att ett antal subdomäner är sammanlänkade med varandra för att skapa den totala gemensamma beräkningsdomänen. På så sätt kan de känsliga delarna nära branden få en finare volymindelning medan de mindre känsliga delarna kan ges en grövre indelning. Nackdelen är introduktion av övergångsfel mellan domänerna, något som totalt sett är underordnat behovet av finare indelning nära branden med tillgänglig datorkapacitet.

Randvillkor

Randvillkor definieras som de ytor och volymer som kan påverka eller skapa flöde. Exempel på sådana ytor är brandflöde, öppningar mot det fria, eller väggar.

Brandflöde

Branden utgör ett randvillkor och definieras som ett flöde av brännbar gas. Detta flöde ansätts i beräkningarna till effekt per kvadratmeter. Förbränningsmodellen antar förbränning vid gasblandning inom brännbarhetsgränserna vilket ger energiavgivningen. Brandspridning till



omgivande föremål har ej modellerats vid simuleringarna utan det är endast den initiala brandkällan som genererar energi.

Vindpåverkan

Atmosfärisk vindpåverkan mot överdäckningens öppningar utgör randvillkor och definieras som ett dynamiskt tryck mot öppningarna. Med detta menas att ett övertryck ansätts mot öppningarna i modellen, vilket baseras på antagen vindhastighet.

Väggar, golv och tak

I beräkningarna har ytor simulerats som betong, stål eller inerta. Detta för att inte överskatta temperaturen inom stationen och beakta värmetransport via omgivande konstruktioner vid beräkningarna.

Geometrisk modell

Den tredimensionella modellen som används beskriver den för brandgaserna mest väsentliga volymen och visualiseras i *Appendix F – Visualisering utrymningsverifiering*.

För att konstruera modellen har programmet Pyrosim 2021.4.1201, använts [8].

På höjden 2 meter ovan golvnivå i anslutning till varje utrymningsväg har mätpunkt för ämneskoncentrationer, temperatur och sikt inkluderats i modellen. Varje mätpunkt har fått ett specifikt ID i form av våning som mätpunkten finns i och ett löpnummer. Över branden har även mätpunkter för temperatur och hastighet inkluderats med ett inbördes avstånd av 0,5 meter. Över brandgasluckor mäts dessutom volymflödet. Genom impulsfläktarna mäts vidare lufthastigheten.



Appendix C – Pathfinder

Programmet Pathfinder har tagits fram av Thunderhead Engineering. Modellen illustrerar grafiskt i tre dimensioner de utrymmande personers förflyttning på stationen. Modellen beräknar främst personers rörelse men tar även hänsyn till vissa beteenden. Beteenden kan implicit anges med fördelningar av förberedelsetiden och unika personens egenskaper.

Beräkningsmodellen i Pathfinder utgörs av partikelmodell, vilket innebär att personer kan förflytta sig utan ett nätverk eller rutnät. Eftersom personerna kan förflytta sig fritt på plattformen kan persontätheten uppskattas med stor noggrannhet vilket kan användas för reducering av gånghastigheten vid förflyttning. I Pathfinder kan personflöden beräknas med två olika modeller, antingen Steering-mode eller SFPE-mode. I SFPE-mode påverkas personers hastighet och flöden av persontätheten. Beräkningarna som utförs i Pathfinders SFPE-mode grundar sig i *Handbook of Fire Protection Engineering* [11]. Steering-mode innebär att användaren själv specificerar flöden i dörrar och trappor. Modellen bygger på improvisatoriska och verklighetstroga beteenden hos personerna där förflyttning sker genom att personerna reagerar på intryck från varandra och den omkringliggande miljön. Grundstommen i modellen är att beräkna den totala "ansträngningen" en förflyttning medför och utifrån det prioritera olika vägval. Till skillnad från SFPE-mode använder inte Steering-mode relationen mellan gånghastigheten och persontätheten av personer för beräkning av förflyttningstiden. I stället använder Steering-mode begränsningsavstånd till andra personer och objekt. Styrsystemet för varje enskild person utgår från ett minsta tillåtna avstånd till en annan person eller objekt vilket innebär att en person inte kan komma närmare in på en annan person eller ett objekt än vad detta tillåtna avstånd är.

Programmet förutspår snabbaste vägvalet till en utgång, som utgörs av exit, och basprincipen för rörelse är individens önskan om att röra sig med sin fria gånghastighet utan att kollidera med andra individer. Avstånd mellan personer beräknas i programmet av att varje individ omges av en 360 graders "bubbla" vilket kräver att de har ett minimalt avstånd till andra personer, hinder och komponenter i omgivningen. Individerna söker efter den mest fördelaktiga utgången på det plan där de befinner sig.

Vid simulering av utrymning används Steering-mode och grunddata såsom fri gånghastighet, flöden i dörrar och minsta avståndet mellan personer definieras av användaren. Personer i modellen kan även delas upp i olika grupper, vilket möjliggör hänsyn till aspekter såsom ålder, och personer med funktionsnedsättning. I programmet definieras även varseblivnings- och förberedelsetid genom att en fördröjning innan initierad utrymning kan ansättas.

Modelleringen ger information om förflyttelsetid samt var flaskhalsar och längre köbildningar uppstår. De utrymmande personerna väljer utgång utifrån uppskattad utrymningstid där olika faktorer värderas så som; avstånd till utgången, köbildning och personens otålighet vid en kö. Detta innebär att personerna kan ändra sitt vägval under simuleringen om köer uppstår och en mer fördelaktig alternativ utrymningsväg finns i närheten.

Verifiering och validering av programmet har skett med tre huvudsakliga metoder: verifieringstester (verification tests) som genomförs för att säkerställa att programvaran fungerar på det sätt som anges i *Pathfinder's Technical Reference Guide*, valideringstester (validation tests)



som genomförs för att hur väl programvaran upptar verkliga beteenden [12] samt jämförelser mot andra programvaror för beräkning av tid för utrymning (comparison) [7]. Pathfinder ger generellt ett konservativt resultat.



Appendix D – Indata brandgasfyllnadsberäkningar

Indata till brandgasfyllnadsberäkningarna anges i Tabell 10.

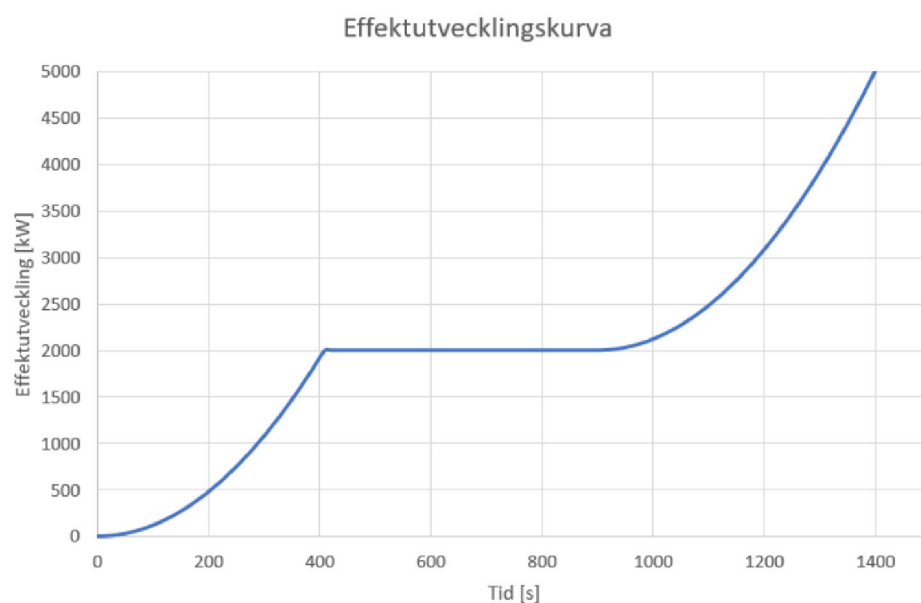
Tabell 10. Indata till brandgasfyllnadssimuleringar.

Indata	Storlek
Omgivande temperaturer	20°C
Glaspartier Väggar, tak och golv Tåg och impulsfläktar	Inerta Betong Stål
Vindtryck	Dynamiskt tryck om 2,4 Pa (motsvarande 2,0 m/s)
Förbränningsvärme	20 MJ/kg
Brandens effektutveckling	15 MW
Effekt per ytenhet	1000 kW/m ²
Tillväxthastighet	Medium = 0,012 kW/s ² Långsam = 0,003 kW/s ²
Bränsle	60 % trä och 40 % Polyuretan kemisk sammansättning: C=4.56, H=6.56, O=2.34, N=0.4
Andel strålningsvärme	35 % av den frigjorda energin från branden
Sotproduktion	0,09 g/g
CO-produktion	0,1 g/g
CO ₂ -produktion	2,5 g/g
Storlek på kontrollvolym	0,001 m ³ (0,1 m x 0,1 m x 0,1 m) nära branden 0,008 m ³ (0,2 m x 0,2 m x 0,2 m) i övrigt
Öppningar i modellen	Öppning vid överdäckningens slut Dörrar inom markplan med öppningsarea 5 m ² Brandgasventilation 15x4 m ³ /s
Aktiveringsfunktioner	Dörrar mot stationsbyggnad öppnar t = 180 s
Simuleringstid	20 minuter
Utdata	Temperatur (slices och mätpunkter) Koncentrationer av kolmonoxid, koldioxid och syre (utvärderade på 2,0 meters höjd) Sikt (slices, mätpunkter och mätvolymer) Flöde (slices och mätytor över luckor och dörröppningar)

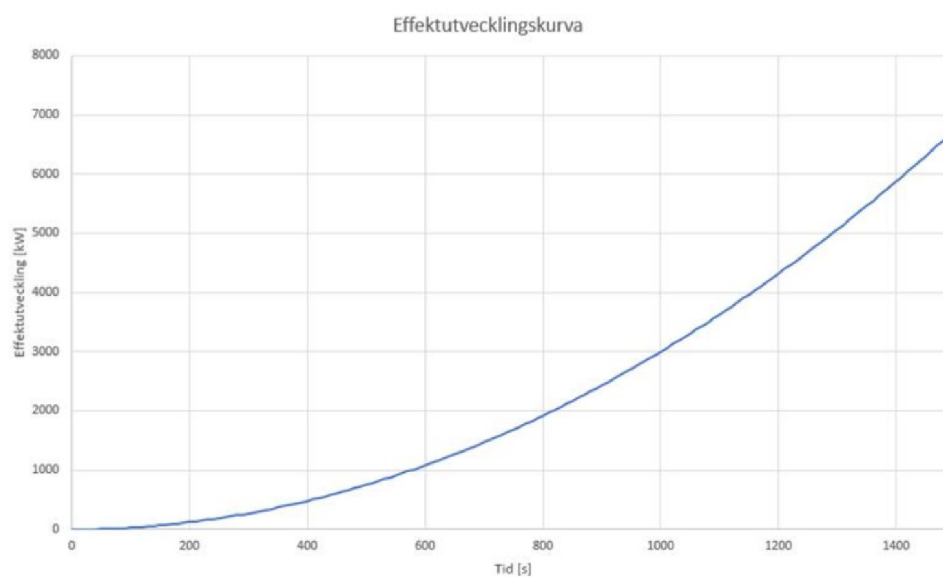


Appendix E – Grafer och utdata från brandgassimuleringar

I Figur 11–Figur 12 redovisas grafer över effektutveckling för scenario ScAEs1 (BGV60) och ScCEs3-1 (ingen BGV). Ytterligare grafer och resultat från brandgasfyllnadsberäkningarna presenteras på begäran.



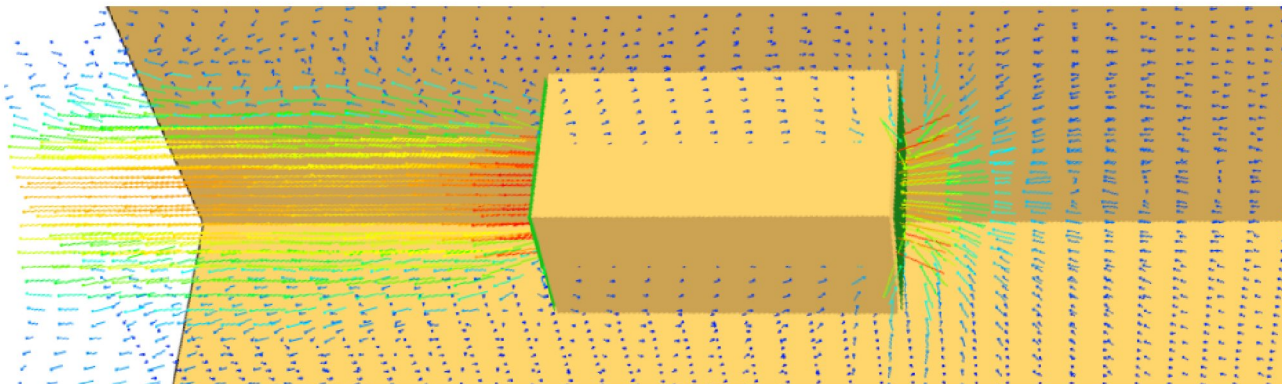
Figur 11. Indata, effektutveckling i scenario ScAEs1 (bgv60) [2].



Figur 12. Indata, effektutveckling i scenario ScCEs3-1 (ingen BGV) [2].



I Figur 13 nedan visas effekten av impulsfläktarna.



Figur 13. Vektoriellt åskådliggörande av luft rörelser vid impulsfläktarnas närhet.



Appendix F – Visualisering utrymningsverifiering

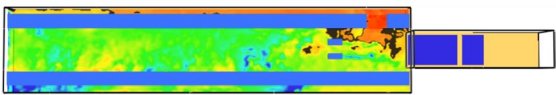
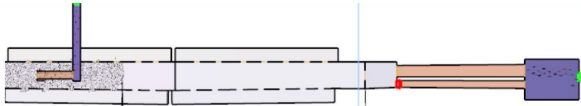
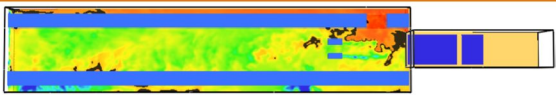
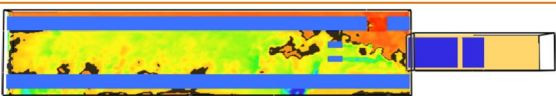
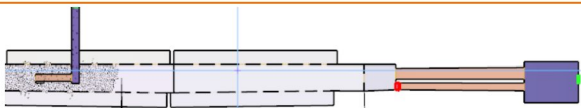
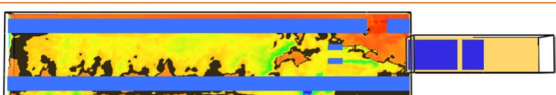
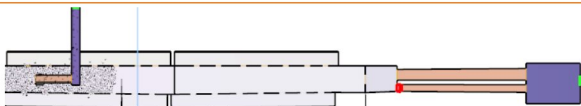
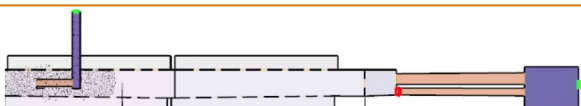
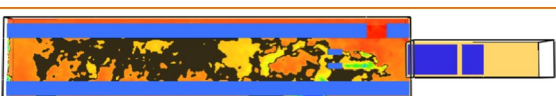
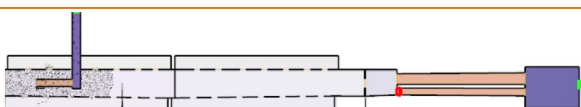
I detta appendix redovisas en jämförelse mellan sikten på 2 meters höjd inom den överdäckade delen av stationen uträknad med brandgasfyllnads- samt utrymningssimuleringar. ScCEs3a (ingen BGV) har valts för visualiseringen. Skalan för siktbarhet illustreras i Figur 14 nedan.



Figur 14. Siktbarhet 0 till 30 meter, med en svart markering för att åskådliggöra värdet 5 meter. Notera att 5 m sikt inte utgör acceptanskriterium.

Tid	Brandgassimulering	Utrymningssimulering
180 s		
240 s		
300 s		
360 s		
420 s		
		De sista personerna ställer sig i kö.
480 s		
540 s		



		Personer når säker plats inom uppgången till stationsbyggnaden, eller kör i det fria.
600 s		
660 s		
720 s		
780 s		
840 s		
900 s		
1200 s		