

BILAGA 1. BERÄKNINGAR RISKNIVÅ TREDJE MAN

Inledning

I denna bilaga beräknas bidraget till risknivån från olycksrisker förknippade med spårvägstrafiken för tredje man inom områden utmed Kistagrenen. Följande olycksrisker hanteras:

- Urspårning
- Brand i spårvagn

I avsnitten nedan redovisas beräkningar av frekvenser för och konsekvenser av respektive olycksrisk. Utifrån dessa beräkningar sammanställs sedan risknivån för tredje man för områden utmed Kistagrenen.

Metodik

Beräkning av frekvens och konsekvenser: I den fördjupade utredningen kvantifieras frekvensen för, samt konsekvenserna av, respektive olycksrisk. Se avsnitt Urspårning respektive avsnitt Brand i spårvagn nedan.

Sammanvägning av risk: Påverkan på tredje man presenteras och värderas i form av **individrisk**. Individerisk är den risk som en enskild person utsätts för genom att vistas i närheten av en riskkälla. Individerisken redovisas som platsspecifik individrisk. Detta görs i form av individriskkonturer som visar frekvensen för att en fiktiv person på ett visst avstånd omkommer till följd av en exponering från den studerade riskkällan.

Individerisken beräknas inledningsvis för obebyggd mark där ingen hänsyn tas till eventuell konsekvensreducerande effekt av exempelvis nivåskillnader, framföriggande bebyggelse (varken befintlig eller planerad) och andra avskärmande barriärer. Med hänsyn till ovanstående parametrars inverkan på framförallt konsekvenserna av respektive olycksrisk bedöms dock denna risknivå inte ge en rättvis bild av aktuella förhållanden. Individerisken beräknas därför även med hänsyn till planerad bebyggelsestruktur, där det beaktas att den planerade bebyggelsen har en reducerande effekt på skadeavstånd och/eller sannolikheten att omkomma.

Som komplement till sammanvägningen av individrisken genomförs dessutom en kvalitativ bedömning av hur ovanstående olycksrisker påverkar **samhällsrisk** inom områdena utmed Tvärbanan. Samhällsrisk är det riskmått som en riskkälla utgör mot hela den omgivning som utsätts för risken. Frekvenser uttrycks i förväntat antal olyckor per år (år⁻¹) och konsekvenser i antal omkomna, då dessa enheter ger en uppfattning om vilken risk samhället utsätts för till följd av en riskkälla. Det utförs inte någon kvantifiering av samhällsrisk. Den kvalitativa bedömningen utgår istället från en jämförelse mellan beräknade olycksfrekvenser i förhållande till riskkriterier för acceptabel risknivå, se nedan.

Värdering av risk: För att avgöra om de beräknade risknivåerna är acceptabla eller inte så jämförs de mot angivna acceptanskriterier. Vilken risknivå som kan betraktas som acceptabel är inte entydigt specificerat eller uttryckt i någon idag gällande lagstiftning. I publikationen *Värdering av risk /1/* ges förslag på riskkriterier för individrisk och samhällsrisk vilka rekommenderas av Länsstyrelsen i Stockholms län och som därför används i denna analys, se tabell 1.

Tabell 1. Förslag på riskkriterier för individrisk och samhällsrisk /1/.

Riskkriterier	Individerisk	Samhällsrisk för en väg-/järnvägssträcka på 1 km
Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras	10 ⁻⁵	F=10 ⁻⁴ per år för N=1 med lutning på FN-kurva: -1
Övre gräns för områden där risker kan anses vara små	10 ⁻⁷	F=10 ⁻⁶ per år för N=1 med lutning på FN-kurva: -1

Enligt tabell 1 anges kriterierna i form av en övre och en undre gräns. Risker över den övre gränsen anses som oacceptabla medan risker under den nedre gränsen bedöms som acceptabla. Området mellan kriterierna benämns ALARP (As Low As Reasonably Practicable). Inom ALARP ska man sträva efter att med rimliga medel sänka riskerna, d.v.s. att kostnaderna för åtgärderna ska vara rimliga i förhållande till den riskreducerande effekt som erhålls. För att bedöma rimligheten i att vidta riskreducerande åtgärder bör man därför även beakta begreppet tolerabel risk:

- Till att börja med är det viktigt att beakta att omfattningen av riskreducerande åtgärder normalt är beroende av den planerade verksamheten, d.v.s. acceptansnivån varierar något mellan olika verksamheter. De undre av kriteriegränserna nyttjas vanligtvis för bebyggelse där påverkan från externa risker (t.ex. förknippade med transport av farligt gods etc.) ska vara låg. Detta gäller exempelvis för bostäder, hotell och svårutrymda lokaler (sjukhus, skolor och personintensiva lokaler etc.). Jämfört med bostäder bedöms ofta påverkan av externa risker vara något mer tolerabla för t.ex. kontors- och vissa typer av restaurang- och butiksverksamheter. Orsaken till detta är främst att dessa typer av verksamheter innebär att personer normalt är vakna, samt att verksamheterna huvudsakligen nyttjas dagtid. För bebyggelse och utrymmen som inte innebär stadigvarande vistelse, t.ex. parkeringsplatser samt gång- och cykelstråk, accepteras normalt en risknivå som överstiger angivna riskkriterier.
- Rimligheten i att vidta riskreducerande åtgärder beror även inom vilken del av ALARP som risknivån ligger. Risker inom övre delarna av ALARP bör enbart tolereras om det bedöms vara praktiskt omöjligt att vidta riskreducerande åtgärder. För risker i de lägre delarna av ALARP bör kraven på riskreduktion inte vara lika hårda, men möjliga åtgärder ska dock fortfarande beaktas. I de flesta fall anses risknivån vara acceptabel även om den hamnar inom ALARP-området, förutsatt att de åtgärder som bedöms vara rimliga ur ett kostnads-/nyttoperspektiv vidtas.

Urspårning

En urspårning kan medföra att en eller flera spårvagnar hamnar en bit från spåret. Urspårningen kan leda till skador inom kringliggande område. Huruvida personer skadas eller ej beror på hur långt ifrån rälsen en vagn hamnar efter urspårning. Skadeavståndet är bl.a. beroende på spårvagnens hastighet vid urspårningstillfället samt omgivningens utformning.

Frekvensberäkningarna för urspårning utförs utifrån den metodik som redovisas i Structures built over railway lines – Construction requirements in the track zone /2/ avseende beräkning av följande faktorer:

Frekvensen för urspårning i anslutning till bebyggelse per år (F_1) beräknas med följande ekvation:

$$F_1 = e_r \times d \times Z_d \times 365 \times 10^{-3} \quad \text{där}$$

e_r = urspårningsfrekvens per tågkm

d = den längsta sträcka som den urspårade vagnen kan gå längs med spåret, vilket beräknas som $V^2/80$, där V är tågets hastighet (km/h) vid urspårningstillfället

Z_d = antal tåg per dygn

I /2/ redovisas urspårningsfrekvens för persontåg ($0,25 \cdot 10^{-8}$ per tågkm) respektive godståg ($2,5 \cdot 10^{-8}$ per tågkm). Dessa värden går inte att rakt av applicerbara på spårväg. Utifrån statistik från Trafikanalys över bantrafikskador /3/ respektive bantrafik /4/ under åren 2000-2014 så görs en grov bedömning av urspårningsfrekvensen för spårväg. Utifrån en jämförelse av antalet urspårningar samt det totala antalet tågkm för järnväg respektive spårväg så uppskattas urspårningsfrekvensen per tågkm för spårväg motsvara ca 40 % av den totala urspårningsfrekvensen per tågkm för järnväg (persontåg + godståg). Om hänsyn tas till ovanstående skillnad i urspårningsfrekvens mellan persontåg och godståg så uppskattas dock urspårningsfrekvensen per tågkm för spårväg vara 2 gånger större än för urspårningsfrekvensen för persontåg. I de fortsatta beräkningarna antas det konservativt att urspårningsfrekvensen för spårväg (e_r) är 10^{-8} per tågkm (d.v.s. 4 gånger större än för persontåg).

Trafiken på Kistagrenen börjar relativt glest utifrån befintligt resandeunderlag samt för att köra in den nya linjen. Turtätheten ökas successivt därefter. Körtiden från Alvik till Helenelund är beräknad till ca 24 min baserat på maximal turtäthet, 6-minuterstrafik (år 2030). Detta motsvarar 150 avgångar i varje riktning och medför således 300 spårvagnspassager per dygn år 2030.

Sannolikheten att urspåret tåg kolliderar med byggnad¹ (P_2) är beroende av tågets hastighet vid urspårningstillfället samt avståndet mellan järnvägsspår och byggnad. Sannolikheten beräknas med följande ekvation:

$$P_2 = \left(\frac{b-a}{b}\right)^2 \times 0,5 \times \frac{c}{d} \quad \text{där}$$

d = se ovan

b = det maximala vinkelräta avståndet (m) från spåret som vagnen kan hamna, vilket beräknas som $V^{0,55}$

a = vinkelrätt avstånd (m) mellan spårmitte och byggnad

c = det, längs spåret, parallella avståndet inom vilket byggnad löper risk att träffas av urspårad vagn på ett avstånd a, vilket beräknas med ekvationen:

$$c = \frac{d}{b} \times (b - a) \quad \text{om } b > a. \text{ Ä } b < a \text{ blir } c = 0.$$

Frekvensen för urspårning beräknas för 300 spårvagnar per dygn enligt förutsättningarna ovan. I tabell 2 nedan redovisas urspårningsfrekvens (F_1), maximalt vinkelrätt avstånd från spåret som vagnen kan hamna (b) samt sannolikhet (P_2) och frekvens (F_2) för att urspårad vagn kolliderar med byggnad eller annan verksamhet. Samtliga dessa faktorer är enligt ovan beroende av tågets hastighet vid urspårningstillfället. Hastighetsbegränsningen på Kistagrenen kommer att variera mellan 20 och 80 km/h.

¹ Eller annan verksamhet i anslutning till spåren.

Tabell 2. Beräknad urspårningsfrekvens (F_1), maximalt vinkelrätt avstånd från spåret som spårvagnen kan hamna (b) samt sannolikhet (P_2) och frekvens (F_2) för att urspårad vagn kolliderar med byggnad eller annan verksamhet beroende på hastighetsbegränsning.

			a	P ₂	F ₂
V = 20 km/h	F ₁ = 5,5E-06 per år	b = 5,2 m	1	26,3%	1,4E-06
			2	11,6%	6,4E-07
			3	3,8%	2,1E-07
			4	0,6%	3,3E-08
			5	0,003%	1,4E-10

			a	P ₂	F ₂
V = 30 km/h	F ₁ = 1,2E-05 per år	b = 6,5 m	1	30,3%	3,7E-06
			2	16,6%	2,0E-06
			3	7,8%	9,6E-07
			4	2,8%	3,5E-07
			5	0,6%	7,5E-08
			6	0,02%	2,7E-09

			a	P ₂	F ₂
V = 40 km/h	F ₁ = 2,2E-05 per år	b = 7,6 m	1	32,8%	7,2E-06
			2	20,0%	4,4E-06
			3	11,10%	2,4E-06
			4	5,33%	1,2E-06
			5	2,01%	4,4E-07
			6	0,47%	1,0E-07
			7	0,03%	5,5E-09

			a	P ₂	F ₂
V = 50 km/h	F ₁ = 3,4E-05 per år	b = 8,6 m	1	34,5%	1,2E-05
			2	22,6%	7,7E-06
			3	13,8%	4,7E-06
			4	7,6%	2,6E-06
			5	3,7%	1,3E-06
			6	1,4%	4,7E-07
			7	0,3%	1,1E-07
			8	0,0%	5,8E-09

			a	P ₂	F ₂
V = 70 km/h	F ₁ = 6,7E-05 per år	b = 10,6 m	1	36,9%	2,5E-05
			2	26,2%	1,8E-05
			3	17,9%	1,2E-05
			4	11,5%	7,7E-06
			5	6,9%	4,6E-06
			6	3,7%	2,5E-06
			7	1,7%	1,1E-06
			8	0,6%	3,9E-07
			9	0,1%	7,4E-08
			10	0,002%	1,3E-09

			a	P ₂	F ₂
V = 80 km/h	F ₁ = 8,8E-05 per år	b = 11,1 m	1	37,7%	3,3E-05
			2	27,6%	2,4E-05
			3	19,5%	1,7E-05
			4	13,2%	1,2E-05
			5	8,4%	7,3E-06
			6	4,9%	4,3E-06
			7	2,6%	2,2E-06
			8	1,1%	9,8E-07
			9	0,4%	3,1E-07
			10	0,1%	4,6E-08
			11	0,0001%	7,8E-11

Enligt tabell 2 är det potentiella konsekvensområdet vid en urspårning beroende av spårvagnens hastighet. Vid maximal hastighet 80 km/h kan urspårningen leda till konsekvenser inom maximalt 11 meter från spåret. Sannolikheten för att spårvagnen hamnar så långt från spåret är dock mycket låg, se tabell 2. Skadeavståndet minskar kraftigt med en minskad hastighet.

I /2/ redovisas även ekvation för beräkning av **Sannolikheten att byggnad kollapsar till följd av kollision**. Denna ekvation förutsätter att en urspårning endast riskerar att leda till byggnadskollaps om tåget har en hastighet som överstiger 60 km/h. Ekvationen är baserad på järnvägsvagnar med avseende på vikt m.m. och bedöms inte vara applicerbar på spårvagn (lättare konstruktioner). Troligtvis skulle det krävas en ännu högre hastighet för byggnadskollaps vid urspårning av spårvagn. Med hänsyn till spårvagnens vikt bedöms dock kollisionskraften vara så stor att lokala byggnadsskador kan inträffa inom det maximala skadeavståndet (b). För riskberäkningarna bedöms det därför vara tillräckligt att beräkna sannolikheten att en spårvagn kolliderar med byggnad.

Brand i spårvagn

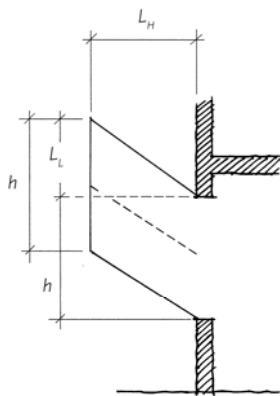
I underredet till en spårvagn sitter ett flertal olika komponenter och system som kan orsaka rökutveckling eller brand. Orsakerna till bränder är bland annat tekniska fel som t.ex. el-, motor- eller bromsfel. Bränder kan också starta inne i spårvagnen, till följd av t.ex. elfel. Inne i vagnen kan även anlagda bränder vara en möjlig brandorsak.

Med hänsyn till resenärernas säkerhet så följer utformningen av spårvagnar strikta regler för att reducera risken för omfattande bränder. Reglerna omfattar brandkrav som syftar till att förhindra både antändning och brandspridning i spårvagnen. Detta innebär att sannolikheten för en fullt utvecklad spårvagnsbrand är mycket låg. I tidigare utredningar avseende utbyggnaden av Tvärbanan bedöms en fullt utvecklad spårvagnsbrand kunna uppnå en maximal brandeffekt på ca 15 MW. Den maximala brandeffekten baseras på fullskaleförsöken från EUREKA. Detta motsvarar ungefär brand i en buss /5/.

Konsekvenserna för brand i spårvagn beräknas utifrån nedanstående metodik. Beräkningarna omfattar beräkning av den infallande värmestrålningen mot kringliggande områden och en bedömning av hur detta påverkar bebyggelse och personer.

1. Flamstorlek

Samtliga fönster i tåget antas gå sönder till följd av branden varför flammor ut genom fönstret har beräknats med formel för fönsterflamma (drag) enligt figur 1 nedan.



Figur 1. Flamma ut genom fönster vid drag.

Nedanstående formler har använts i beräkningarna /6/:

Flamhöjd (m):
$$L_L = 1,366 \times \left(\frac{1}{u}\right)^{0,43} \times \left(\frac{\dot{Q}}{\sqrt{A_v}}\right) - h$$

Flammans horisontella projektion (m):
$$L_H = 0,605 \times \left(\frac{u^2}{h}\right)^{0,22} \times (L_L + h)$$

Flammans bredd (m):
$$w_f = w + 0,4 \times L_H$$

där

BRANDSKYDDSLAGET

- \dot{Q} = utvecklad effekt (MW), max 15 MW enligt ovan.
 u = vindhastighet (m/s), antas till 1 m/s, vilket ger en konservativ flamhöjd
 A_v = Tågets totala fönsteröppningsarea (m²), sammanlagt 15 m² för spårvagn (en sida).
 h = fönstrets höjd (m), ca 1 m
 w = fönstrets bredd (m), ca 1 m per fönster, sammanlagt ca 15 m per spårvagnssida

Med ovanstående förutsättningar så erhålls följande värden:

$L_L = 4,3 \text{ m}$ mätt från undersida fönster blir höjden på den totala strålande ytan ca 5 m.

$L_H = 3,2 \text{ m}$

$w_f = 2,3 \text{ m}$ per fönster, totalt per spårvagnssida blir $w_f = 16,3 \text{ m}$

2. Flamtemperatur

Medelflamtemperaturen T_f antas vara 800°C (1073 K). Detta utgår från uppmätta temperaturer vid fullskaleförsök. Bakgrundsstrålning från tåget har också beaktats.

3. Värmestrålning

Den utfallande värmestrålningen, E , (kW/m²) är beroende av flamtemperatur och den brinnande massans emissionstal. Emissionstalet, det vill säga materialets förmåga att avge värmeenergi, är beroende av materialets temperatur och egenskaper, särskilt vid ytan.

Värmestrålningen beräknas enligt följande ekvation:

$$E = \varepsilon \times \sigma \times T_F^4 \quad \text{där:}$$

ε = Emissionstal [-], ansätts konservativt till 1,0

σ = Stefan-Boltzmanns konstant = $5.67 \times 10^{-11} \text{ kW/m}^2 \text{K}^4$

T_f = Flammans temperatur [K], 1073 K enligt ovan.

Med ovanstående förutsättningar så erhålls följande värde:

$$E = 75 \text{ kW/m}^2$$

Den infallande strålningen, E_p utgår från flammans emitterade strålning samt synfaktorn och beräknas genom:

$$E_p = F \times E \quad \text{där}$$

F = Synfaktorn (-), som anger hur stor andel av den emitterade strålningen som når den mottagande punkten eller ytan (se figur 2).

Vid beräkningen av synfaktorn antas att branden är rektangulär så att flammans diameter är lika stor i toppen som i botten. Detta är ett konservativt antagande då flammen i själva verket normalt smalnar av väsentligt upptill. Synfaktorn mellan flammen och den mottagande punkten är en geometrisk konstruktion som beräknas enligt:

$$F_{1,2} = F_{A1,2} + F_{B1,2} + F_{C1,2} + F_{D1,2}$$

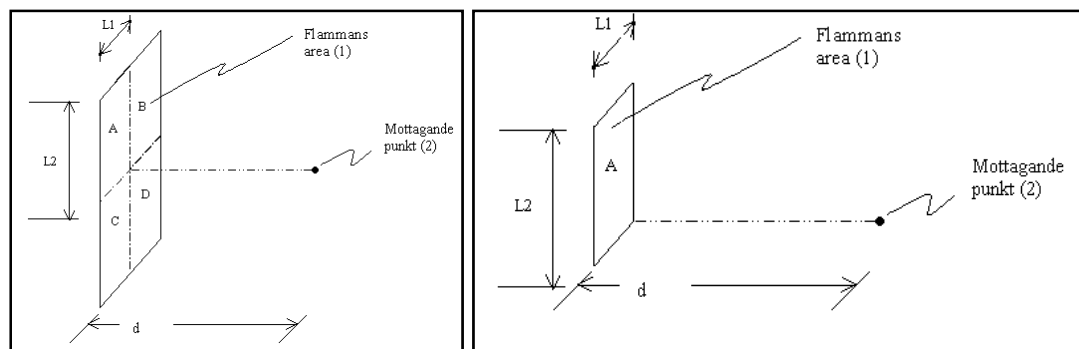
där $F_{A1,2}$ beräknas enligt följande ekvation:

$$F_{A1,2} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \tan^{-1} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \tan^{-1} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right)$$

där:

$$X = \frac{L_1}{d} \quad \text{och} \quad Y = \frac{L_2}{d} \quad \text{enligt figur 2.}$$

$F_{B1,2}$, $F_{C1,2}$ och $F_{D1,2}$ beräknas på samma sätt för dess mått.



Figur 2. Synfaktorer.

4. Bedömningskriterier

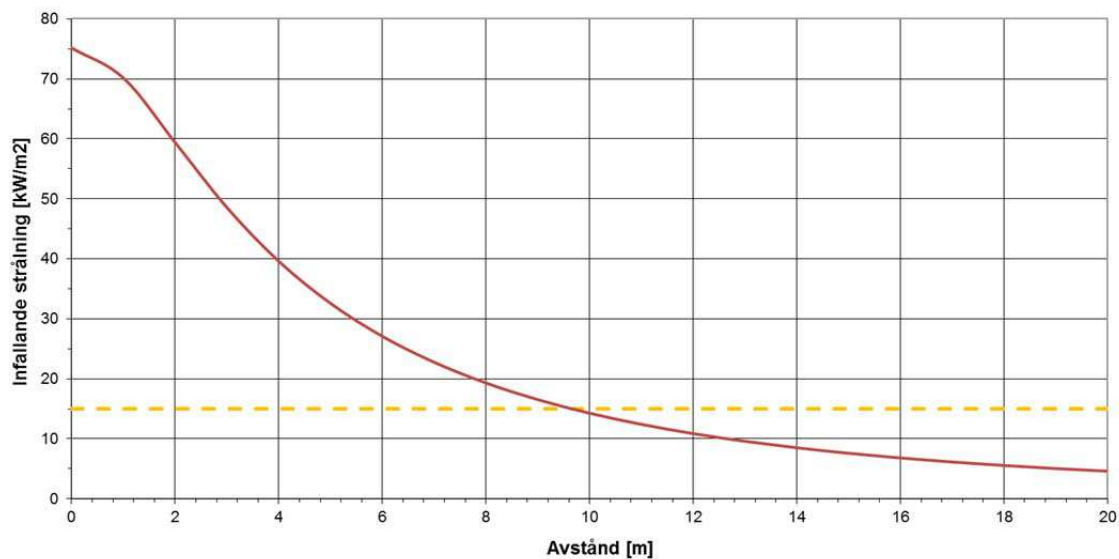
Hur hög värmestrålning en person klarar utan att erhålla skador beror bl.a. på dess varaktighet. Detsamma gäller med avseende på hur hög strålning som krävs för att antända olika byggnadsmaterial. Ju längre strålningspåverkan, ju högre sannolikhet för skada.

En person som befinner sig oskyddad utomhus och upptäcker en större brand försöker med stor sannolikhet sätta sig i säkerhet. Tiden för varseblivning samt beslut och reaktion innebär dock att personen kan utsättas för värmestrålning under en kortare stund innan hen reagerar. Det krävs en mycket hög strålningsnivå ($> 40 \text{ kW/m}^2$) för att skadorna ska bli så akuta att personen inte har någon möjlighet att ens försöka sätta sig i säkerhet. Outhärdlig smärta uppnås redan vid 20 kW/m^2 vid kortvarig bestrålning. För att denna strålningsnivå ska leda till omfattande brännskador (2:a graden) så krävs dock längre varaktighet. Vid strålning under 15 kW/m^2 bedöms sannolikheten för personskador vara relativt låg /6, 7/.

För att branden ska spridas till intilliggande bebyggelse krävs ett långvarigt brandförlopp med en relativt hög infallande värmestrålning mot byggnaderna. Kritisk strålningsnivå för brandspridning till byggnader ansätts enligt riktlinjer från Boverket /8/ till 15 kW/m^2 om inga byggnadstekniska åtgärder beaktas.

Beräkningarna av den infallande strålningen redovisas i figur 3. I figuren redovisas även nivån för kritisk värmestrålning.

Brand i spårvagn (15 MW)



Figur 3. Infallande strålning som funktion av avståndet från brand i spårvagn (15 MW).

Enligt figur 3 kan en brand i spårvagn (maximal brandeffekt) innebära brandspridning till kringliggande bebyggelse inom ca 10 meter från spårvägen. Inom detta avstånd riskerar även personer som vistas oskyddade utomhus skadas allvarligt.

Sannolikheten för en omfattande brand i spårvagn bedöms vara mycket låg. Det har inte identifierats någon statistik över spårvagnsbränder i Sverige. Frekvensen för brand kommer därför att uppskattas grovt utifrån statistik för brand i järnvägsfordon. Enligt statistik från Trafikverket under åren 1997-2006 /9/ avseende olyckskvoten för tågbrand respektive urspårning så bedöms olyckskvoten för tågbrand vara i genomsnitt ca 90 % av olyckskvoten för urspårning. Enligt tidigare antaganden skulle detta innebära ca $0,9 \cdot 10^{-8}$ per tågkm.

För en 1 km lång sträcka av Kistagrenen skulle dessa värden innebära $9,9 \cdot 10^{-4}$ tågbrand per år.

Det är dock en mycket begränsad andel av bränderna som blir så omfattande att de påverkar kringliggande områden. Statistiken i /9/ bygger på alla anmälda tågbränder, vilket även inkluderar rökutveckling. Givet "brand" enligt dessa förutsättningar bedöms sannolikheten för en utvecklad brand som sprids inom vagnen vara låg. Sannolikheten för att förhållandena är sådana att branden leder till en fullt utvecklad brand som motsvarar det dimensionerande brandscenariot enligt ovan bedöms vara mycket låg, uppskattningsvis < 5 % av alla bränder i spårvagn.

För en 1 km lång sträcka av Kistagrenen så uppskattas frekvensen för en fullt utvecklad brand i spårvagn till $4,9 \cdot 10^{-5}$ per år.

Riskberäkningar/-bedömningar

Beräkning av individrisk

För kringliggande områden utmed Tvärbanan presenteras risken i form av riskmättet **individrisk**. Detta görs i form av individriskprofiler som anger den avståndsberoende frekvensen för att en fiktiv person ska omkomma till följd av en negativ exponering från den studerade riskkällan. Individrisken beräknas som den kumulativa frekvensen för att omkomma på ett specifikt avstånd från riskkällan. Detta innebär att på en punkt t.ex. 10 meter från riskkällan så är individrisken densamma som frekvensen för alla skadescenarier med ett skadeområde > 10 meter.

Riskbidraget från skadescenariot *Brand i spårvagn* är oberoende av hastighetsbegränsningen och är därmed lika högt utmed hela den studerade spårvagnssträckan. Riskbidraget från scenariot *Urspåring* är dock beroende av hastighetsbegränsningen eftersom hastigheten påverkar både skadeavstånd samt olycksfrekvens.

Vid redovisning av individrisken är det ett par faktorer som behöver beaktas, dels var en olycka antas inträffa och dels skadeområdets utbredning:

- I beräkningarna som redovisas ovan beskrivs endast det potentiella skadeområdet för respektive skadescenario. I beräkningarna tas dock ingen hänsyn till sannolikheten för en person som befinner sig inom skadeområdet att omkomma. För exempelvis *brand i spårvagn* redovisas skadeområdet för brandspridning till intilliggande bebyggelse. Dock bedöms det inte vara troligt att samtliga personer som befinner sig i en byggnad inom detta skadeområde omkommer till följd av att en utvärdig brand sprids in i byggnaden. På motsvarande sätt bedöms det inte vara troligt att samtliga personer som befinner sig oskyddade utomhus omkommer inom det kritiska skadeområdet. För att ta hänsyn till detta vid sammanvägning av individrisken kommer de beräknade olycksfrekvenserna att reduceras enligt följande:

Urspåring:

- Utomhus: Det antas mycket grovt att personer omkommer om de vistas inom det avstånd från spåret som den urspårade vagnen hamnar, d.v.s. ingen reduktion av beräknad olycksfrekvens.
- Inomhus: Sannolikheten för att omkomma till följd av byggnadskollaps eller att av byggnadsdelar rasar bedöms vara beroende av byggnadens våningsantal. Desto lägre våningsantal desto lägre sannolikhet att omkomma. För personer som vistas i byggnad inom beräknat skadeavstånd uppskattas sannolikheten att omkomma vara maximalt 50 %.

Brand i spårvagn:

- Utomhus: Enligt /7/ är sannolikheten att omkomma vid 2:a gradens brännskador ca 15 %. Inom det beräknade skadeområdet uppskattas det grovt att sannolikheten att omkomma är maximalt 50 %. Med hänsyn till den förväntade brandtillväxten för det dimensionerande brandscenariot, d.v.s. hur lång tid det uppskattas ta för branden att växa till sig så bedöms detta vara ett konservativt antagande. Personer inom det beräknade skadeområdet bedöms ha relativt goda möjligheter att i ett tidigt skede uppmärksamma olyckan och sätta sig i säkerhet.
 - Inomhus: Mycket grovt uppskattas det att maximalt 5 % av de personer som befinner sig inomhus inom det beräknade skadeområdet omkommer. Uppskattningen baseras på den förväntade brandtillväxten för det dimensionerande brandscenariot, d.v.s. hur lång tid det uppskattas ta för branden att växa till sig. Med hänsyn till detta bedöms sannolikheten för att skadescenariot ska leda till att personer omkommer inom kringliggande bebyggelse vara mycket låg.
- Frekvensen för skadescenariot *Brand i spårvagn* beräknas för en 1 km lång sträcka av Tvärbanan. Det beräknade skadeområdet för scenariot skiljer sig dock markant i förhållande till den studerade järnvägsträckan. Detta innebär att det inte är givet att en person som befinner sig inom kritiskt område från Tvärbanan omkommer oavsett var på sträckan som olycka inträffar. För att ta hänsyn till detta reduceras frekvensen (frekvensen har enligt tidigare beräknats för en sträcka på 1 000 m) i förhållande till skadeområdets utbredning. Grovt antas att ett scenario kan påverka en så stor andel av den studerade sträckan som scenariots skadeområde i båda riktningar utgör.

Det dimensionerande brandscenariot för *Brand i spårvagn* uppskattas konservaktivt kunna omfatta en hel spårvagn, d.v.s. sammanlagt 30 meter. Med hänsyn till detta så multipliceras frekvensen för en 1 km lång järnvägssträcka med 0,030 (30 / 1000 m). (Observera att de beräknade frekvenserna för skadescenariot *Urspåring* som redovisas i tabell 1 redan tar hänsyn till en reducerande faktor kopplat till spårvagnens hastighet. Därför görs inte motsvarande reducering för detta skadescenario.)

I tabell 3 nedan redovisas den avståndsberoende individrisken utomhus respektive inomhus inom kringliggande områden utmed Tvärbanan beroende på hastighetsbegränsningen. För sträcka med hastighetsbegränsning 20 km/h redovisas individrisken på avstånden 4 meter (urspåring ≥ 4 m skadeområde + brand i spårvagn) respektive 10 m (brand i spårvagn). För övriga sträckor med hastighet över 20 km/h redovisas individrisken på avstånden 5 meter (urspåring ≥ 5 m skadeområde + brand i spårvagn) respektive 10 m (brand i spårvagn). Dessutom redovisas individrisken på avstånden motsvarande maximala skadeavstånd för urspåring beroende på hastigheten. Avgränsningen utgår från bedömningen att inom 4-5 meter från Tvärbanan så uppskattas det finnas ett flertal andra faktorer som kan påverka risknivån. Det maximala skadeavståndet för de studerade skadescenarierna är 11 meter (maximalt skadeavstånd vid urspåring i 80 km/h).

Tabell 3. Beräknad individrisk som funktion av avståndet från Tvärbanan med hänsyn till olycksriskerna Urspåring samt Brand i Spårvagn. Individrisken redovisas för oskyddad person utomhus samt för person inomhus.

Avstånd (m)	Individrisk (per år)	
	Utomhus	Inomhus
20 km/h		
≥ 4 *	7,7E-07	9,1E-08
5 **	7,4E-07	7,4E-08
10 ***	7,4E-07	7,4E-08
30 km/h		
≥ 5 *	8,2E-07	1,1E-07
6 **	7,4E-07	7,5E-08
10 ***	7,4E-07	7,4E-08
40 km/h		
≥ 5 *	1,3E-06	3,5E-07
7 **	7,4E-07	7,7E-08
10 ***	7,4E-07	7,4E-08
50 km/h		
≥ 5 *	2,6E-06	1,0E-06
8 **	7,4E-07	7,7E-08
10 ***	7,4E-07	7,4E-08
70 km/h		
≥ 5 *	9,5E-06	4,4E-06
10 **	7,4E-07	7,5E-08
10 ***	7,4E-07	7,4E-08
80 km/h		
≥ 5 *	1,6E-05	7,7E-06
10 ****	7,4E-07	7,4E-08
11 *****	7,8E-11	3,9E-11

* Kumulerad frekvens för samtliga urspåringsscenarioer med skadeavstånd ≥ 5 m + brand i spårvagn.

** Kumulerad frekvens för maximalt skadeavstånd vid urspåring (beroende av hastighet) + brand i spårvagn.

*** Frekvens för maximalt skadeavstånd vid brand i spårvagn.

**** Kumulerad frekvens för skadeavstånd vid brand i spårvagn + maximalt skadeavstånd vid urspåring.

***** Frekvens för maximalt skadeavstånd vid urspåring i 80 km/h.

Individrisken värderas enligt tidigare utifrån de kriterier för acceptans av risk som redovisas i *Värdering av risk /1/*, se tabell 1.

Olycksrisker förknippade med Tvärbanan innebär inte att individrisken hamnar ovanför det övre acceptanskriteriet för tredje man på avstånd större än 5 meter från spåret.

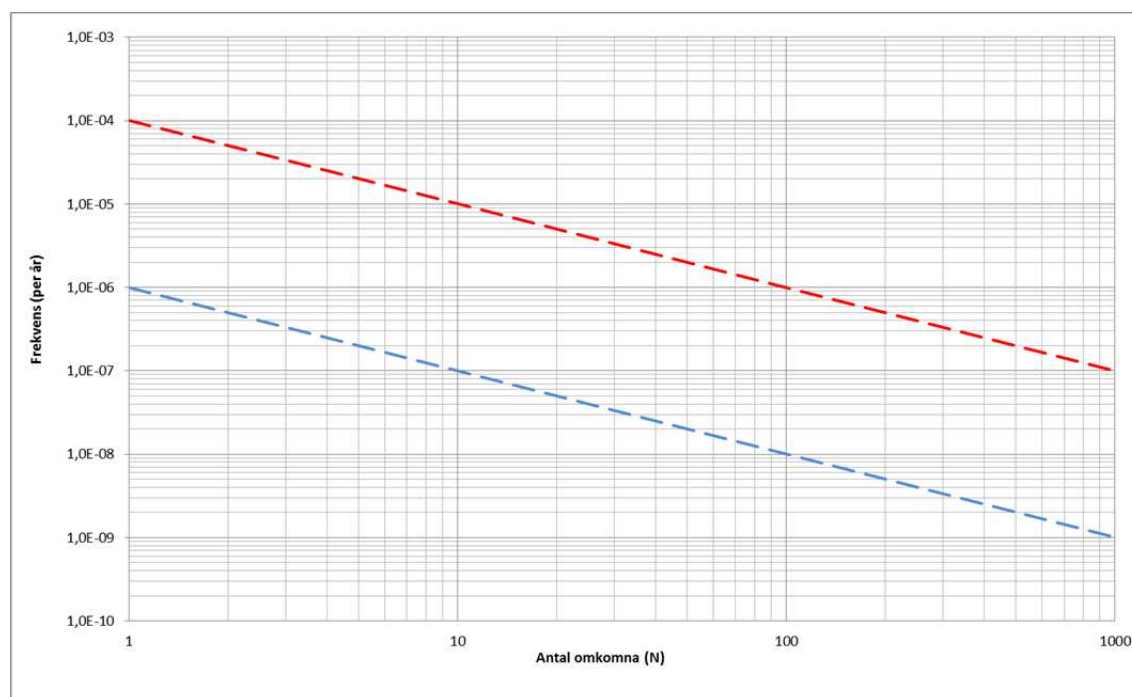
Med avseende på individrisk bedöms riskbidraget för oskyddad person **utomhus** (tredje man) från olycksrisker förknippade med Tvärbanan hamna inom den nedre halvan av ALARP inom 10 meter från spåret, se tabell 3. Individrisken utomhus kan hamna inom den övre halvan av ALARP inom ca 5-10 meter från spåret om hastighetsbegränsningen är högre än 30 km/h.

För tredje person som befinner sig **inomhus** hamnar individrisken strax under ALARP inom 10 meter från spåret. Om hastighetsbegränsningen är 50 km/h eller högre hamnar individrisken dock i ALARP inom ca 5-10 meter från spåret. Vid hastighetsbegränsning under 50 km/h så hamnar individrisken i ALARP enbart inom ca 5-7 meter från spåret. Vid hastighetsbegränsning 20 km/h hamnar individrisken under ALARP på avstånd > 4 meter från spåret.

Bedömning av påverkan på samhällsrisk

Det utförs inte någon kvantifiering av samhällsrisk för de aktuella områdena utmed området utmed Tvärbanan. För att ändå få en vägvisning om vilken påverkan som ny bebyggelse kan komma att ha på områdets samhällsrisknivå har det istället utförts grova bedömningar hur olycksrisker förknippade med trafiken på Tvärbanan påverkar samhällsrisk inom kringliggande områden. Denna bedömning utgår från en jämförelse mellan beräknade frekvenser för respektive skadescenario i förhållande till acceptanskriterierna för samhällsrisk.

Samhällsrisk värderas enligt tidigare utifrån de kriterier för acceptans av risk som redovisas i *Värdering av risk /1/*, se tabell 1. Riskkriterierna illustreras dessutom i figur 4.



Figur 4. FN-diagram med föreslagna riskkriterier enligt DNV /1/.

I tabell 4 redovisas den kumulativa frekvensen för de studerade skadescenarierna jämförts med kriterierna för att på så sätt bedöma hur stort antal personer som behöver omkomma för att risknivå ska hamna inom ALARP respektive över oacceptabel risknivå. Eftersom riskkriterierna avser en 1 km lång sträcka så utgår bedömningen av olycksfrekvensen för en 1 km lång sträcka.

Tabell 4. Sammanställning skadescenarier ordnade utifrån uppskattat största konsekvenser med kritiskt antal omkomna för respektive kumulerad frekvensnivå. Grov bedömning av samhällsrisknivån i aktuellt projekt.

Scenario	Kumulerad frekvens (per år)	Kritiskt antal omkomna	
		Undre gräns	Övre gräns
20 km/h			
Ursparning ≥ 5 m *	4,9E-05	< 1	2
Ursparning max avstånd **	4,9E-05	< 1	2
Brand i spårvagn ***	4,9E-05	< 1	2
30 km/h			
Ursparning ≥ 5 m *	4,9E-05	< 1	2
Ursparning max avstånd **	4,9E-05	< 1	2
Brand i spårvagn ***	4,9E-05	< 1	2
40 km/h			
Ursparning ≥ 5 m *	5,0E-05	< 1	2
Ursparning max avstånd **	4,9E-05	< 1	2
Brand i spårvagn ***	4,9E-05	< 1	2
50 km/h			
Ursparning ≥ 5 m *	5,1E-05	< 1	2
Ursparning max avstånd **	4,9E-05	< 1	2
Brand i spårvagn ***	4,9E-05	< 1	2
70 km/h			
Ursparning ≥ 5 m *	5,8E-05	< 1	1-2
Ursparning max avstånd **	4,9E-05	< 1	2
Brand i spårvagn ***	4,9E-05	< 1	2
80 km/h			
Ursparning ≥ 5 m *	6,4E-05	< 1	1-2
Ursparning max avstånd **	4,9E-05	< 1	2
Brand i spårvagn ***	4,9E-05	< 1	2

* Kumulerad frekvens för samtliga ursparningsscenarier med skadeavstånd ≥ 5 m + brand i spårvagn.

** Kumulerad frekvens för maximalt skadeavstånd vid ursparning (beroende av hastighet) + brand i spårvagn.

*** Frekvens för brand i spårvagn.

Hantering av osäkerheter

Som indata i bedömningar och beräkningar erfordras värden på eller information om bl.a. olycksstatistik. Underlaget har i vissa fall varit bristfälligt, framförallt avseende olyckskvoter för ursparning och brand för spårvagn. Antaganden har därför varit nödvändiga för att kunna genomföra analysen. För att ta hänsyn till de osäkerheter som förenklingar och antaganden innebär används överlag konservativa uppskattningar.

Frekvensberäkningarna har utförts med schablonmetoder utifrån olyckskvoter för ursparning och brand i spårvagn. Med hänsyn till bristfälligt underlag avseende olyckskvoter för aktuellt trafikslag har dessa uppskattats utifrån statistik som jämförts mot vanlig tågtrafik. Med hänsyn till osäkerheter i underlag så har uppskattningen av olyckskvoter utförts mycket konservativt.

Val av dimensionerande skadescenarier har utgått från statistik samt brandprover. Avseende ursparning så utförs konservativa antaganden avseende skadepåverkan både avseende oskyddade personer utomhus och personer som vistas inomhus i kringliggande bebyggelse.

Sammantaget kan sägas att de uppskattningar och förenklingar som görs vid beräkning av risken med stor sannolikhet ger en överskattning av risknivån. Utförda antaganden innebär att hänsyn tas till ingående osäkerheter i analysen.

Referenser

- /1/ Värdering av risk, Statens räddningsverk, Det Norske Veritas, 1997
- /2/ Structures built over railway lines – Construction requirements in the track zone (UIC Code 777-2 R), International Union of Railways, 2nd edition September 2002
- /3/ Bantrafikskador 2014 (Statistikrapport 2015:15), Trafikanalys
- /4/ Bantrafik 2014 (Statistikrapport 2015:13), Trafikanalys
- /5/ Fire and Smoke Control in Road Tunnels, PIARC Committee of Road Tunnels, 1999
- /6/ Brandskyddshandboken, Rapport 3134, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2005
- /7/ Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor – metoder för bedömning av risker, FOA, September 1997
- /8/ BBRAD 3 – Boverkets ändring av verkets allmänna råd (2011:27) om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, BFS 2013:12; Boverket 2013
- /9/ Statistik över olyckor på statens spåranläggningar år 2006, Banverket 2006