TRAFIKVERKET

RAPPORT

Värdering av kostnader och nytta av säkerhets-höjande åtgärder i järn-vägstunnlar

Fördjupad studie

Trafikverket
Postadress: 172 90 Sundbyberg

E-post: trafikverket@trafikverket.se
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 50 00

Konfidentialitetsnivå: 1

Dokumenttitel: Värdering av kostnader och nytta av säkerhetshöjande åtgärder i järnvägstunnlar

Författare: Olov Holmstedt Jönsson, Cecilia Nordenö

Dokumentdatum: 2024-02-27

Kontaktpersoner: Jan Malmtorp, Adam Gillman

Publikationsnummer: 2024:037

ISBN 978-91-8045-288-5

Sammanfattning

Personsäkerhet i järnvägstunnlar, ”tunnelsäkerhet”, har under lång tid varit föremål för särskild uppmärksamhet i kravsammanhang. Detta gäller bland annat mot bakgrund av de mycket allvarliga konsekvenser som en olycka i en tunnel kan medföra. Det finns ett väl inarbetat grundkrav som styr detta, och som klargör vad som utgör ”godtagbar samhällsrisk”. I tillägg finns det även krav på att ytterligare säkerhetshöjande åtgärder kan övervägas efter värdering av deras kostnader och tillförda nytta. Kraven är dock otydliga, samtidigt som det saknas praxis. Det finns därför anledning att föreslå förbättringar, varför målet med denna utredning är att föreslå detta. Särskilt fokus riktas mot persontågstrafik och följande krav:

- För risker som ligger inom "ALARP" ska ytterligare säkerhetshöjande åtgärder övervägas om de är praktiskt genomförbara och inte har orimligt stor kostnad i förhållande till riskreduktion. (K122329).
- För risker som ligger inom "Låg risk" ska ytterligare säkerhetshöjande åtgärder övervägas om de kan visas vara kostnadsnyttiga. (K122330).

Krav K122329 och K122330 bedöms öka utredningskostnaderna samtidigt som säkerhetsnyttan blir tveksam, varför en mer selektiv applicering förordas. Krav på utvärdering av ytterligare riskreducerande åtgärder, när beräknad risknivå ligger inom ALARP, föreslås enbart föreligga i situationer då:

- Den beräknade samhällsrisknivån för anläggningen ligger högt inom ALARP-området, nära gränsen till oacceptabel nivå, samt att,
- anläggningen producerar ett stort årligt trafikarbete (överstiger 100 000 tågkm per år).

Om dessa undantag inte är aktuella, kan risknivån betraktas som acceptabel utan ytterligare värdering. Krav K122330, gällande ”låg risk”, bedöms kunna utgå ur regelverket. Vidare förslås att följande förtydligande införs kopplat till krav K122329:

- Kalkylvärden i ASEK 7.0 avseende olycksvärdering för vägtrafikolyckor ska ligga till grund för uppskattningen av säkerhetshöjande åtgärders nytta i form av reducerad olycksrisk.
- Åtgärder som syftar till att reducera risker inom övre ALARP behöver inte vara strikt fördelaktiga ur ett samhällsekonomiskt perspektiv för att vidtas, d.v.s. åtgärder med NNV<0 kr kan accepteras.
- Vid övervägande av riskreducerande åtgärder ska åtminstone en kvalitativ redogörelse över åtgärdens påverkan på drift- och underhållsbehovet tas fram som en del av beslutsunderlaget.

Därutöver har en rad andra slutsatser dragits gällande utvärdering av kostnader och nytta av säkerhetshöjande åtgärder.

TMALL 0004 Rapport generell 5.0

Definitioner

ASEK-rapporter	Rapporter som beskriver analysmetoder och kalkylvärden vid samhällsekonomiska analyser inom transportsektorn.
ALARP	As Low As Reasonably Practicable (ALARP) är ett begrepp som utgår ifrån att risker ska reduceras så långt som är praktiskt och ekonomiskt rimligt.
CSM-RA	CSM-RA (Common Safety Methods for Risk evaluation and Assessment) är ett EU-gemensamt ramverk som beskriver hur riskvärdering och riskbedömning inom järnvägssektorn ska genomföras.
Nuvärde (NV)	Nuvärde, är det beräknande värdet av en investering vid kalkylens startår. Detta beräknas vanligtvis genom att diskontera framtida utbetalningar (exempelvis en årlig riskreduktion värderad i monetära termer) med en kalkylränta.
Nettonuvärde (NNV)	Nettonuvärde är skillnaden mellan nuvärdet och investeringskostnaden samt eventuella löpande kostnader över kalkylperioden. Om nettonuvärde av att införa en säkerhetshöjande åtgärd är större eller lika med 0 kronor kan åtgärden betraktas som lönsam ur ett samhällsekonomiskt perspektiv.
Nettonuvärdeskvot (NNK)	Nettonuvärdet av investeringen dividerat med investeringskostnaden samt eventuella löpande kostnader över kalkylperioden. En nettonuvärdeskvot större eller lika med 0 indikerar att investeringen är lönsam ur ett samhällsekonomiskt perspektiv.
PLL-tal	PLL-tal (Potential Loss of Life) är ett riskmått som anger förväntat antal omkomna per personkilometer alternativt per tidsenhet.
Riskaversion	Riskaversion innebär att samhället antas värdera en stor olycka, med många omkomna, som mer allvarlig jämfört med flera mindre olyckor, med få omkomna vid varje olyckstillfälle, även om det förväntade skadeutfallet över tid är detsamma. Begreppet kallas även katastrofaversion.
Samhällsrisk	Samhällsrisk inkluderar risker för alla personer som utsätts för en risk även om detta bara sker vid enstaka tillfällen.
TSD	Tekniska Specifikationer för Driftskompatibilitet
VSL	Värdet av ett statistiskt liv (VSL) är ett kalkylvärde framtaget med syfte att spegla samhällets betalningsvilja för en marginell reduktion av dödsrisken i olika kontexter.

TMALL 0004 Rapport generell 5.0

Innehåll

Sammanfattning 3

Definitioner 5

1 Inledning 9

1.1 Bakgrund 9

1.2 Syfte och mål 9

1.3 Omfattning och avgränsning 9

1.4 Fördjupad studie 10

2 Riskbaserade beslut 11

2.1 Generellt om riskhantering 11

2.2 Det europeiska regelverket 12

2.2.1 TSD Säkerhet i järnvägstunnlar 12

2.2.2 CSM RA 13

2.3 Det svenska tunnelregelverket 14

2.4 Harmoniserade säkerhetsmål för tunnlar 19

2.5 Lagen om skydd mot olyckor 21

3 Metoder för värdering i praktiken 22

3.1 Kostnads-nyttoanalyser 22

3.1.1 Arbetsgång enligt ASEK 22

3.1.2 Tillämpningar i infrastrukturprojekt 25

3.2 Kostnads-effektanalys 27

3.3 Multikriterieanalys 29

4 Värdet av ytterligare riskreduktion 31

4.1 Utvärderingskriterier och PLL-tal 31

4.2 Några beräkningsexempel 33

4.3 Tunnlar på det planerade höghastighetsnätet 38

4.3.1 Jämförelse mellan utvärderingskriterier 39

4.3.2 Värdet av riskreduktion per km tunnel 40

5 Diskussion och slutsatser 45

5.1 Studerad praxis 45

5.2 Trafikverkets kriterium 46
5.3 Ett samhällsperspektiv på kostnader och nytta 46
5.4 Alternativa angreppssätt 47
5.5 Osäkerheter 49
5.6 Slutsatser 51

6 Förslag på kravförbättringar 53

6.1 Vad utgör en ”orimligt stor kostnad”? 53
6.2 Tillämpning 54
6.3 Förslag 56

7 Referenser 57

Bilaga A. f/N-diagram och PLL-tal 59

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Det pågår en ständig förnyelse av kraven i Trafikverkets regelverk. Detta gäller även de krav som omfattar järnvägstunnlar, vilka redovisas i TRVINFRA-00233 Krav Tunnelbyggande. En del av kraven rör personsäkerhet i tunnlar, tunnelsäkerhet, vilka också har varit föremål för särskild uppmärksamhet under lång tid. Detta beror på de mycket allvarliga konsekvenser som en olycka i en tunnel kan medföra jämfört med markspår.

Det finns också ett väl inarbetat grundkrav avseende vilken nivå av ”samhällsrisk” som kan anses vara godtagbar. Detta ska vara uppfyllt innan en tunnel tillåts tas i drift. I tillägg till detta finns det krav som pekar på att det i vissa fall ska övervägas om ytterligare säkerhetshöjande åtgärder ska vidtas genom värdering av kostnader och nytta som ytterligare åtgärder kan bedömas medföra. Kravet är dock otydligt, samtidigt som det saknas praxis, varför det finns utrymme för förbättringar.

1.2 Syfte och mål

Det övergripande syftet med föreliggande utredning är att klarlägga nuvarande kravformuleringars ändamålsenlighet gällande säkerhetshöjande åtgärder i järnvägstunnlar. Särskilt uppmärksamhet riktas mot följande i TRVINFRA-00233:

- För risker som ligger inom "ALARP" ska ytterligare säkerhetshöjande åtgärder övervägas om de är praktiskt genomförbara och inte har orimligt stor kostnad i förhållande till riskreduktion. (K122329)
- För risker som ligger inom "Låg risk" ska ytterligare säkerhetshöjande åtgärder övervägas om de kan visas vara kostnadsnyttiga. (K122330)

Målet med utredningen är att föreslå kravförbättringar kopplat till befintliga krav avseende tillvägagångssätt vid utvärdering av säkerhetshöjande åtgärder.

1.3 Omfattning och avgränsning

Föreliggande studie omfattar främst åtgärder som kopplar till infrastruktur och teknik. Studien behandlar främst åtgärder kopplat till persontågstrafik.

Säkerhetsåtgärder av organisatorisk karaktär eller med koppling till MTO[1] -aspekter innefattas inte. Detta gäller även åtgärder för tunnlar med kombinerad gods- och persontrafik.

[1] MTO-Människa, Teknik, Organisation

1.4 Fördjupad studie

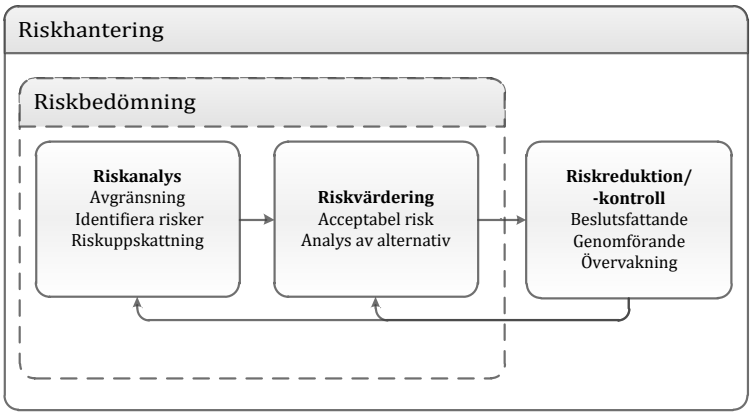
Innehållet i denna rapport har reviderats och utvecklats i jämförelse med tidigare utgåva (2022-09-05). I denna version lämnas mer uttryckliga rekommendationer på vilka kompletteringar och förtydligande av nuvarande krav som skulle kunna införas i regelverket för att öka ändamålsenligheten vid tillämpningen.

2 Riskbaserade beslut

2.1 Generellt om riskhantering

Begreppet risk avser kombinationen av sannolikheten för en händelse och dess konsekvenser. Sannolikheten anger hur troligt det är att en viss händelse kommer att inträffa och kan beräknas om frekvensen är känd, d.v.s. hur ofta något inträffar under en viss tidsperiod.

Riskanalys omfattar, i enlighet med internationella standarder om riskanalyser i tekniska system [1] [2], riskidentifiering och riskuppskattning, se Figur 1. För att tala om riskvärdering krävs det även en jämförelse, t.ex. mot ett kriterium och för att tala om riskbedömning, krävs både analys och värdering av riskerna. Riskhantering fordrar även beslut, genomförande och övervakning.



Figur 1. Riskhanteringsprocessen.

Riskidentifieringen är en inventering av händelseförlopp (scenarier) som kan medföra oönskade konsekvenser, medan riskuppskattningen omfattar en kvalitativ eller kvantitativ uppskattning av sannolikhet och konsekvens för respektive scenario.

Sannolikhet och frekvens används ofta synonymt, trots att det finns en skillnad mellan begreppen. Frekvensen uttrycker hur ofta något inträffar under en viss tidsperiod, t.ex. antalet bränder per år, och kan därigenom anta värden som är både större och mindre än 1. Sannolikheten anger istället hur troligt det är att en viss händelse kommer att inträffa och anges som ett värde mellan 0 och 1. Kopplingen mellan frekvens och sannolikhet utgörs av att den senare kan beräknas om den första är känd.

Efter att riskerna analyserats görs en riskvärdering för att avgöra om de kan accepteras eller ej. Som en del i detta kan det även ingå förslag till riskreducerande åtgärder och verifiering av olika alternativ. Det sista steget i en systematisk hantering av riskerna kallas riskreduktion/-kontroll. I det skedet fattas beslut mot bakgrund av den värdering som har gjorts av vilka riskreducerande åtgärder som ska vidtas.

Dessa risker hanteras vanligtvis genom den så kallade ALARP-principen vilken säger att risker ska reduceras så långt som är praktiskt och ekonomiskt rimligt. Vad som menas med ekonomiskt rimligt är inte tydligt, men begreppet inbegriper att det finns en gräns där ytterligare riskreduktion blir för kostsam. För att avgöra när den gränsen nås rekommenderas kostnads-nyttoanalyser där kostnaden för en åtgärd kan ställas i proportion till riskreduktionen som erhålls [3].

Riskhantering avser analys, värdering och kontroll. Riskbedömning avser enbart analys och värdering.

2.2 Det europeiska regelverket

2.2.1 TSD Säkerhet i järnvägstunnlar

TSD Tunnelsäkerhet, d.v.s. EU-förordning 1303/2014, syftar till att harmonisera säkerhetsnivån mellan medlemsstaterna genom att ange grundkrav för hur säkerheten i järnvägstunnlar ska utformas. I förordningen anges bland annat krav gällande största tillåtna avstånd mellan nödutgångar samt utformning av utrymningsvägar i järnvägstunnlar.

Grundkraven baseras till stor del på det förarbete till förordningen som en arbetsgrupp bestående av infrastrukturförvaltare från ett flertal olika medlemsländer utförde i början av 2000-talet. Arbetsgruppen utvärderade ett stort antal tänkbara säkerhetshöjande åtgärder i järnvägstunnlar utifrån deras riskreducerande effekt samt kostnadseffektivitet [4]. De åtgärder som bedömdes kostnadseffektiva infördes sedan som grundkrav i TSD ”*säkerhet i järnvägstunnlar*”.

Gemensamt regelverk för järnvägstunnlar inom EU har genom Transportstyrelsens föreskrifter införlivats i svensk lagstiftning. I TSD avsnitt Tekniskt tillämpnings-område anges att:

> *Medlemsstaterna kan föreskriva nya och strängare krav för specifika tunnlar (...) Sådana högre krav ska grundas på en riskanalys och motiveras med en särskild risksituation. De ska utarbetas i samråd med infrastrukturförvaltaren och berörda räddningsmyndigheter och de ska bedömas med avseende på kostnadseffektivitet. [5]*

Det är inte tydligt hur eller på vilket sätt som åtgärders kostnadseffektivitet bedöms i det fortlöpande utvecklingsarbetet av TSD Tunnelsäkerhet. Det framstår dock som ofrånkomligt att denna aspekt kommer upp till diskussion då förändringar övervägs. Det bör även understrykas att medlemsländer vars säkerhetsnivå översteg den obligatoriska (enligt förordningen) skulle bibehållas och kontinuerligt förbättras i den mån det ansågs rimligt genomförbart:

En del medlemsstater har redan infört säkerhetsbestämmelser som förutsätter en högre säkerhetsnivå än den som är obligatorisk enligt denna TSD. Enligt denna förordning bör medlemsstaterna ges möjlighet att bibehålla sådana bestämmelser endast i fråga om delsystemen för infrastruktur, energi och drift och trafikledning. Sådana befintliga bestämmelser ska anses utgöra nationella säkerhetsbestämmelser i enlighet med (...) direktiv 2004/49/EG. Enligt artikel 4 i detta direktiv ska medlemsstaterna också se till att järnvägssäkerheten upprätthålls generellt och att den, i mån detta är rimligen genomförbart, kontinuerligt förbättras med beaktande av utvecklingen av unionslagstiftningen och tekniska och vetenskapliga framsteg, och att förebyggande av allvarliga olyckor prioriteras. Inga ytterligare åtgärder bör dock föreskrivas för rullande materiel. [5]

Intentionen var således inte att eventuella befintliga nationella säkerhetsbestämmelser som innebar en högre säkerhetsnivå skulle revideras för att motsvara grundkraven i förordningen. Det framgår dock inte av förordningen om medlemsstater, med hänsyn till exempelvis kostnadseffektivitet, kan välja att avskaffa befintliga säkerhetskrav som överstiger grundkraven.

2.2.2 CSM RA

I Trafikverkets rutinbeskrivning för riskhantering vid ändringar som rör trafiksäkerhet på järnväg, TDOK 2020:0236, redovisas hur Trafikverket ska efterleva CSM RA-förordningen, EU-förordning 402/2013 Gemensam säkerhetsmetod för riskvärdering och riskbedömning. Där redovisas vad som gäller vid ändringar som innebär risk för personskada. Processen i förordningen är obligatorisk när så krävs enligt TSD eller nationell bestämmelse. I processen anges följande principer för riskacceptans:

- vedertagen praxis
- referenssystem
- uttrycklig riskuppskattning

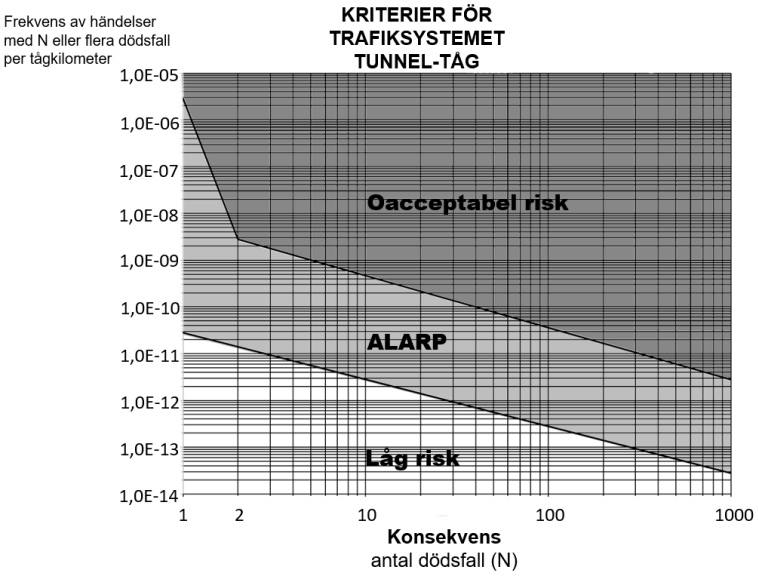
För riskkällor som inte kan kontrolleras till en tillräcklig nivå med stöd av vedertagen praxis eller referenssystem, ska en uttrycklig riskuppskattning och riskvärdering göras, med hänsyn till redan befintliga säkerhetsåtgärder. Om den uppskattade risken efter en första riskuppskattning och värdering därvid inte är acceptabel, ska ytterligare säkerhetsåtgärder identifieras och införas, så att risken minskas till en acceptabel nivå. I rutinbeskrivningen återges dock inga krav kopplade till hur värderingen av åtgärdernas kostnader och nyttoeffekter ska genomföras [6].

Notera att CSM RA-förordningen även ska tillämpas i de fall då infrastrukturförvaltaren gör ändringar i sitt säkerhetsstyrningssystem om dessa kan påverka risken för personskador [7]. Detta innebär att CSM RA-förordningen ska tillämpas

vid revideringar av kravtexter i TRVINFRA-00233 som berör personsäkerhet då dokumentet utgör en del av Trafikverkets säkerhetsstyrningssystem

2.3 Det svenska tunnelregelverket

De riskacceptanskriterier som reglerar vad som gäller avseende personsäkerhet i järnvägstunnlar anges i *Krav Tunnelbyggande, TRVINFRA-00233* [8]*, se* Figur 2.



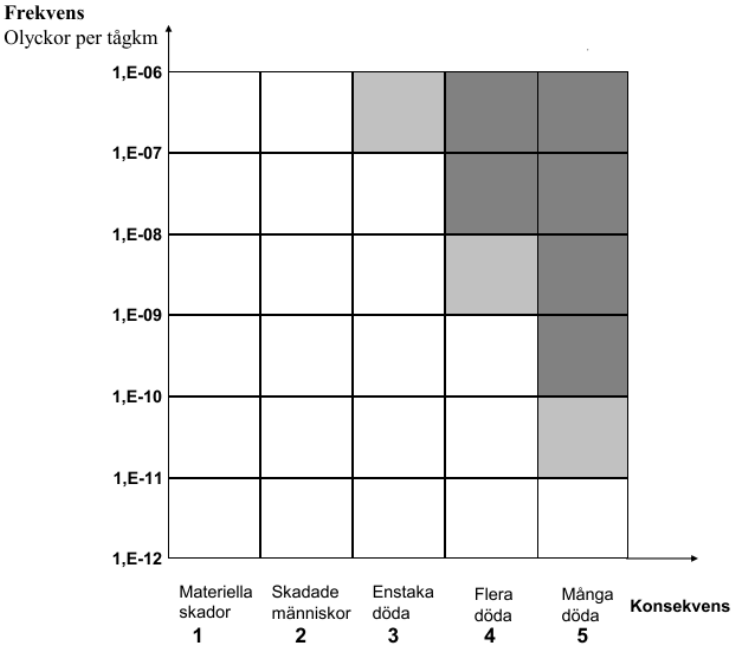
Figur 2. Trafikverkets ambitionsnivå: resenärers och tågpersonalens säkerhet i järnvägstunnlar omsatt till ett f/N-diagram enligt TRVINFRA-00233. [8]

Kraven i *Figur 2* anger att ”…samhällsrisken för personer som färdas med tåg i järnvägstunnel ska beräknas genom säkerhetsanalys och utvärderas mot angivet kriterium…”. Kraven klargör vidare att:

- Beräknad risk ska ligga inom områdena för "ALARP" eller "Låg risk" för att vara acceptabel.
- Beräknad risk får inte ligga inom området för "Oacceptabel risk", d.v.s. ovanför övre gränsen för "ALARP".
- För risker som ligger inom "ALARP" ska ytterligare säkerhetshöjande åtgärder övervägas om de är praktiskt genomförbara och inte har orimligt stor kostnad i förhållande till riskreduktion.
- För risker som ligger inom "Låg risk" ska ytterligare säkerhetshöjande åtgärder övervägas om de kan visas vara kostnadsnyttiga.
- Vid val av säkerhetshöjande åtgärder ska olycksförebyggande åtgärder väljas i första hand och konsekvensreducerande väljas i andra hand.
- Om den maximala konsekvensens storlek bedöms kunna överskrida 1 000 omkomna ska ett projektspecifikt säkerhetsmål för denna typ av olyckor bestämmas genom särskild utredning.

Området för "Oacceptabel risk" samt "ALARP" ("As Low as Reasonably Practicable") respektive "Låg risk" definieras av räta linjer i det log-log-diagram som uttrycker olika antal dödsfall (N) respektive olika frekvenser av händelser med N eller fler dödsfall per tågkilometer (f) som anges i Figur 2.

Det redovisas inga motiv eller lämnas några förklaringar till varför acceptanskriteriet ser ut som det gör i de nuvarande kraven. Emellertid finns det skäl till varför ALARP-området ligger där det ligger och ser ut som det gör. För att vinna förståelse om detta behöver vi dock blicka tillbaka till år 1997 och den första ansatsen till riskkriterium som lades fram. Den redovisades i Banverkets handbok BVH 585.30 *Säkerhet i järnvägstunnlar – Ambitionsnivå och värderingsmetodik* [9] och angavs med hjälp av en riskmatris i stället för ett f/N-diagram, se Figur 3.



Figur 3. Ambitionsnivå för trafiksystem Tunnel – Tåg i matrisform [9].

Som framgår består matrisen i *Figur 3* av ett antal vita, mellangrå och mörkgrå fält som representerar olika kombinationer av sannolikheter och konsekvenser. För dem gäller att den av analysen erhållna samhällsrisken ska utvärderas enligt följande:

- **Vitt**: ambitionsnivån är uppnådd. Säkerställ nivån genom kontinuerlig uppföljning av förändringar, incidenter och säkerhetsåtgärder.
- **Mellangrått**: risknivån ligger i nivå med markspår. Värdera säkerhetshöjande åtgärder mot ytterligare förbättrad säkerhet.
- **Mörkgrått**: ambitionsnivån är ej uppnådd. Omvärdera koncept och säkerhetshöjande åtgärder.

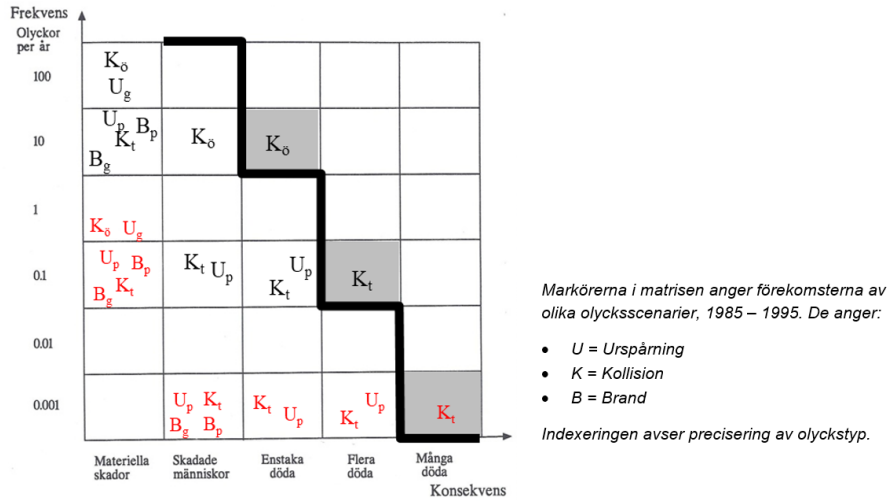
Det är således de mellangrå fälten som utgör ALARP-området i detta fall, samtidigt som det är de mörkgrå respektive vita områdena som utgör ”Oacceptabel risk”

respektive ”Låg risk”. Över tid har graderingen på matrisens x- och y-axlar preciserats, med början under 1990-talet och vidare under 2000-talet. I formell mening realiserades transformationen till f/N-diagram i samband med uppdateringen av den första handboken (2007). Den uppdaterade utgåvan redogör även för denna transformation.

Det kan inte uteslutas att det i dagens läge inte är allmänt känt att det ursprungliga ALARP-området baserades på en sammanställning av olycksutfallet på den svenska järnvägen mellan åren 1985 och 1995, se Figur 4. I samband med framtagandet av kriteriet konstaterades att:

- det hade förekommit ett tiotal olyckor under perioden med en värsta konsekvens av enstaka omkomna.
- det hade förekommit olyckor under perioden med flera års mellanrum och som medförde en värsta konsekvens av flera omkomna.
- det inte hade förekommit tunnelolyckor under perioden, samtidigt som de bedömdes kunna inträffa och medföra ett stort antal omkomna vid varje enskilt olyckstillfälle.

För att tillåta framtagningen av matrisen som beskrivs ovan, krävdes att några ansatser formulerades och applicerades på det statistiskt erhållna olycksutfallet. Vad detta närmre avsåg, visas i Figur 4.



Figur 4. *Grunden för den framlagda ambitionsnivån i den ursprungliga handboken. U_p = Urspårning persontåg, U_g = Urspårning godståg, K_t = Kollision tåg-tåg/rälsbundna fordon, $K_ö$ = Kollision övrigt, B_p = Brand persontåg, B_g = Brand godståg. Tunnelolyckor representeras med röd färg och järnvägsolyckor på markspår med svart färg.*

Matrisen i Figur 4 består av dubbla uppsättningar olycksscenarier. De som angetts med svart avser de som hämtats från olycksstatistiken. De som angetts med rött har ”konstruerats fram” för att synliggöra ett tänkbart olycksutfall som även omfattar

tunnelolyckor. Det avser således samma olyckor som i statistiken, men där analytiska resonemang förts för att sätta dem i en tunnelkontext. De ansatser som låg till grund för detta var:

- olycksfrekvensen i tunnlar kunde uppskattas vara högst 1 % av olycksfrekvensen utanför tunnlar eftersom högst 1 % av den svenska järnvägen var tunnelförlagd
- konsekvenserna av en olycka i en tunnel kunde uppskattas bli några gånger allvarligare än motsvarande olycka utanför en tunnel

Detta innebar att olycksutfallet i statistiken kunde ”översättas” till ett tunnelsammanhang genom att parallellförflytta detta utfall två rutor (”1%”) i frekvensled och en ruta (”några gånger allvarligare”) i konsekvensled, d.v.s. de markörer som visas tillsammans i Figur 4.

Ovanstående är väsentligt för förutsättningarna för att kunna vinna djupare förståelse av matrisens mellangrå ALARP-rutor. Följande resonemang återges i den ursprungliga handboken gällande lämplig placering av ALARP-området i matrisen:

- De olyckor som inträffade tiotalet gånger per år med enstaka omkomna som konsekvens, och som i huvudsak avsåg plankorsningsolyckor, accepterades inte av staten eller dåvarande Banverket. I stället togs en nationell plan fram med syfte att långsiktigt bygga bort en så stor andel av dem som möjligt.

  Aktuell mellangrå ruta klargjorde därmed gränsen för vad samhället uppfattade vara acceptabelt för aktuell kombination av frekvens och konsekvens.

- De olyckor som inträffade med flera års mellanrum men som medförde att flera personer omkom accepterades inte heller av staten eller dåvarande Banverket. I stället såg man till att inträffade olyckor undersöktes och att orsakerna åtgärdades för att förebygga framtida förekomster.

  Aktuell mellangrå ruta klargjorde därmed gränsen för vad samhället uppfattade vara acceptabelt för aktuell kombination av frekvens och konsekvens.

- Även om tunnelolyckor inte kunde påträffas i statistiken, bedömdes de kunna inträffa i tusenårsperspektivet och då resultera i många omkomna. Dåvarande Banverket förhöll sig till detta genom att inte acceptera denna kombination av frekvens och konsekvens samt åta sig att verka för att pressa ner den.

  Aktuell mellangrå ruta klargjorde därmed gränsen för vad samhället uppfattade vara acceptabelt för aktuell kombination av frekvens och konsekvens.

Logiken i valet av förhållningssätt till tunnelolyckor kan förstås utifrån insikten om att samtliga tre kombinationer av frekvenser och konsekvenser ligger på samma risknivå i matrisen givet en riskaversion[2] av 2. Det är dock värt att notera att:

[2] Riskaversion innebär att samhället antas värdera en stor olycka, med många omkomna, som mer allvarlig jämfört med flera mindre olyckor, med få omkomna vid varje olyckstillfälle, även om det förväntade skadeutfallet över tid är detsamma.

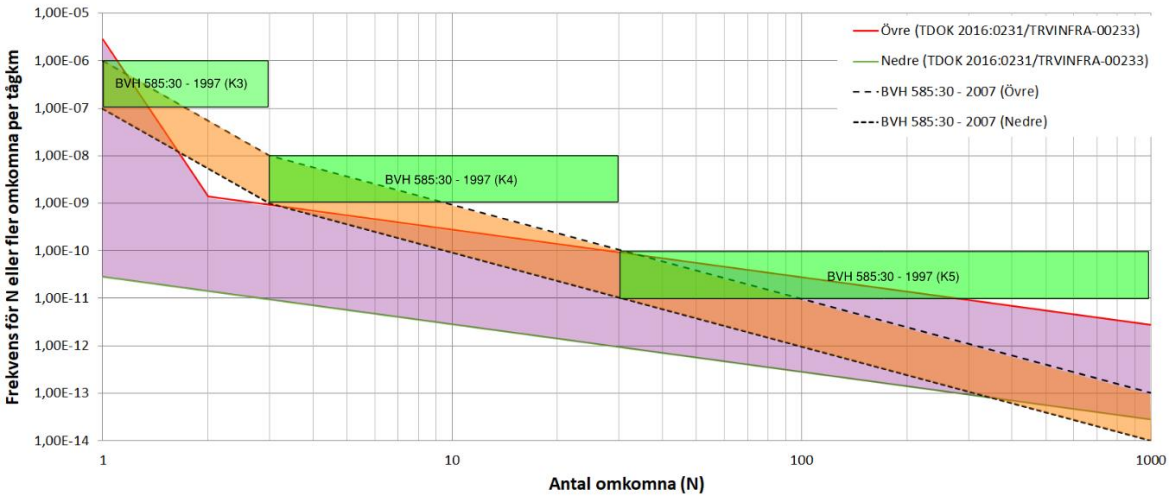
- De mellangrå ALARP-rutorna ger konkreta exempel på var gränsen för avvägningen mellan kostnader och nytta går, d.v.s. den ligger inbäddad i matrisen.
- Riskaversionen 2 är ett resultat av på vilken risknivå det faktiska säkerhetsarbetet bedrivs, d.v.s. det är en följdeffekt av ett konstaterat förhållande och inte något uttänkt eller konstruerat.
- De mellangrå ALARP-rutornas noggrannhet har begränsningar, bland annat till följd av osäkerheter i den olycksstatistik vilken de baseras på.
- Den övergripande intentionen med riskkriteriet var att: ”Järnvägstrafik per kilometer i tunnlar skall vara lika säker som järnvägstrafik per kilometer på markspår, exklusive plankorsningar.”

Den ytterligare vägledning som handboken ger i detta avseende uttrycks på följande sätt med utgångspunkt från de mellangrå ALARP-rutorna:

- ”Värderingen…underlättas av att både kostnadsökningar och säkerhetshöjande effekter kvantifieras numerärt (kostnader i kalkyl och säkerhetseffekter i matris).”

Den bakomliggande tanken med att uppmuntra till ständig, fortlöpande, prövning av kostnader och nytta i tillämpad form i byggprojekten var att skapa ett ständigt närvarande ”driv” så att säkerheten skulle utvecklas på längre sikt. Frågan om hur en sådan värdering som anges i handboken ska utföras, d.v.s. ”kostnader i kalkyl och säkerhetseffekter i matris” har dock aldrig undersökts närmare. I stället har den utveckling av metoder och tillvägagångssätt som vuxit fram till vad som kan uppfattas utgöra dagens praxis skett i tillämpad form, direkt i byggprojekten.

Notera att de nya och de äldre kriterierna skiljer sig något. Det nu gällande ALARP-området ligger t.ex. något lägre jämfört med det från 1997. Detta är en effekt av kvantifieringen av det ursprungliga kriteriet från matris till f/N-diagram sedan första utgåvan. Under denna process har det funnits en medvetenhet om att en revision kan komma att leda till att kraven på vad som ska anses utgöra acceptabel säkerhet oavsiktligt kan komma att utmanas. Kvantifieringen har därför realiserats försiktigt och i konservativ riktning. I Figur 5 redovisas en tolkning av hur det definierade ALARP-området i riskmatrisen i handboken från 1997 förhåller sig till senare versioner av värderingskriteriet.



Figur 5. Trafikverkets olika värderingskriterier för samhällsrisk i järnvägstunnlar under tidsperioden 1997–2021. K3 = Enstaka omkomma, K4 = Flera omkomna, K5 = Många omkomna. Orange markering = ALARP-område BVH 585:30 – 2007, lila markering = ALARP-område TDOK 2016:0231/TRVINFRA-00233.

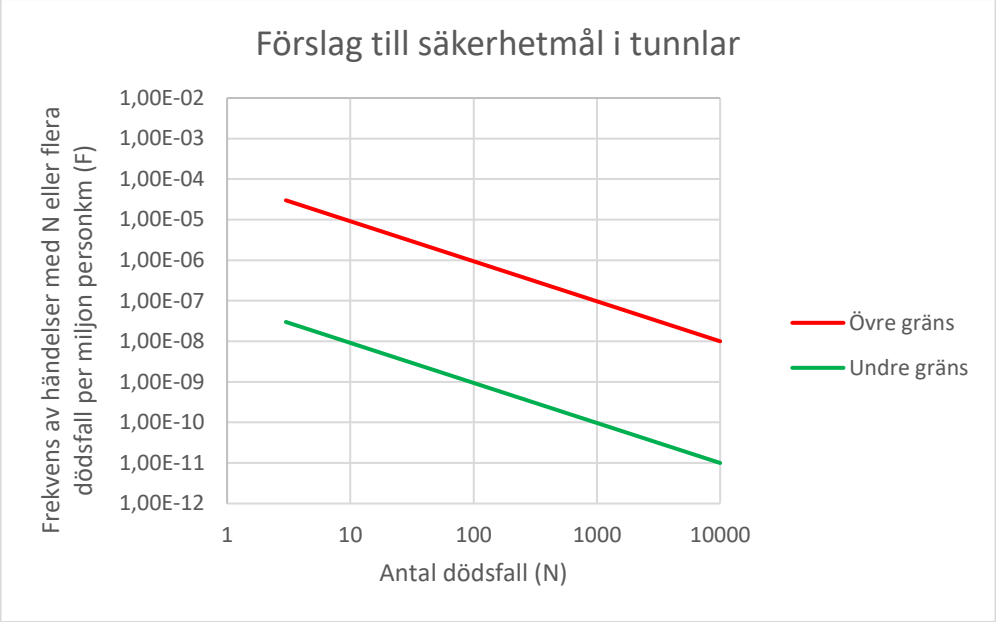
De successivt hårdare kraven i *Figur 5* kan tolkas som en spegling av effekterna av det fortlöpande säkerhetsarbetet och dagens högre säkerhetskrav. I tillägg kan det även nämnas att i den föregående versionen av Krav Tunnelbyggande, TDOK 2016:0231, angavs följande krav avseende värdering av kostnader och nyttor vid utvärdering av säkerhetshöjande åtgärder:

> *”Kostnader för åtgärder ska vara kostnadseffektiva i förhållande till uppnådd riskreduktion. För kostnads- och nyttobedömningar ska ”Beräkningsmetodik för samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn, ASEK 5.2” (Trafikverket) och nyttokostnadskvoten NK > 0 tillämpas.” [10]*

Denna precisering av kravet, med hänvisning till ASEK, styr arbetet mot att både värdera nyttor och kostnader i monetära termer (kostnads-nyttovärdering). Denna del av kravtexten har senare omarbetats och styrningen mot kostnads-nyttovärdering är inte lika uttalad i TRVINFRA-00233. Ordvalet i vissa av de nuvarande kravformuleringarna, exempelvis ”kostnadsnyttiga”, anspelar dock fortfarande på kostnads-nyttoanalys.

2.4 Harmoniserade säkerhetsmål för tunnlar

Det har även tagits fram förslag till harmoniserade svenska riskkriterier för samhällsrisk i vägtunnlar, järnvägstunnlar, tunnelbanor och spårvägstunnlar. I Figur 6 redovisas de som föreslogs i *Säkerhetsmål i tunnlar* från år 2019 [11], en fortsättning av forskningsprojektet *Säkerhetsmål för trafikanter i vägtunnlar, järnvägstunnlar, spårvägstunnlar och tunnelbanor* som publiceras år 2016 [12].



Figur 6. Förslag till riskkriterier i tunnlar [11].

Så som visas i *Figur 6* föreslås följande krav i *Säkerhetsmål i tunnlar* [11] vid värdering av samhällsrisk:

- Om den beräknade risken är låg, under ALARP-området, krävs inga åtgärder.
- Om risken är inom ALARP-området, ska de åtgärder tillföras som kan bedömas kostnadsnyttiga.
- Om risken är högre än ALARP-området, ska åtgärder tillföras oavsett kostnad.

”Kostnadsnyttiga” innebär här att åtgärdernas nettonuvärde ska vara större än noll kronor utifrån kalkylvärdena i ASEK. Alla effekter går dock inte nödvändigtvis att prissätta varvid rapporten förespråkar att beslutet ska baseras en så kallad ”samlad effektbedömning”. D.v.s. en sammanvägning mellan den kvantitativa samhällsekonomiska värderingen och den kvalitativa värderingen av effekter som ej har kunnat prissättas. Vidare konstateras att utfallet av samhällsekonomiska kalkyler alltid är, om än i varierande grad, förenat med osäkerhet. Därav rekommenderas att känslighetsanalyser ska genomföras för att undersöka hur eventuella förändringar av ingångsvärden påverkar utfallet av kalkylen [11].

I *Säkerhetsmål för trafikanter i vägtunnlar, järnvägstunnlar, spårvägstunnlar och tunnelbanor* anges, precis som ovan, att säkerhetshöjande åtgärder generellt ska vara kostnadsnyttiga för att införas. Vid reduktion av risker som befinner sig inom övre ALARP-området, nära gränsen till oacceptabel nivå, kan dock åtgärder med negativ nyttokostnadskvot (NK<0) accepteras. Åtgärder med en nyttokostnadskvot som är betydligt mindre än noll (NK<<0) bör däremot undvikas [12]. D.v.s. även om det föreslagna förfarandet vad gäller utvärdering av risker inom ALARP-området i huvudsak är samstämmigt mellan de två rapporterna föreligger vissa skillnader.

Vad gäller exponeringsmåttet, d.v.s. enheten som risken är normerad mot, bör det noteras att kriteriet i Figur 6 är normerat mot miljoner personkilometer och inte tågkilometer som i Trafikverkets regelverk. Vidare kan kriterierna endast appliceras på olyckor som medför tre eller fler omkomna. Motivet till detta är bland annat att olyckor som endast medför ett fåtal omkomna redan anses vara hanterade via de basstandarder och regelverk som finns gällande utformningen av tunnlar [11]. Kriterierna har även till skillnad från Trafikverkets extrapolerats bortom N = 1 000. I den första versionen av säkerhetsmålet från år 2016 föreslogs att kriteriet (i form av ett riskmått i en f/N-kurva) inte skulle användas för att värdera olyckor med fler än 300–500 omkomna [12]. Det bör även nämnas att Transportstyrelsen i nuläget håller på att se över rekommendationen, d.v.s. extrapoleringen bortom 1 000 omkomna.

2.5 Lagen om skydd mot olyckor

Lagen om skydd mot olyckor (2003:778) föreskriver att ”Kommunens räddningstjänst skall kunna utföra en räddningsinsats vid en olycka om detta är motiverat med hänsyn till behovet av ett snabbt ingripande, det hotade intressets vikt, kostnaderna för insatsen och omständigheterna i övrigt.” Vidare kravställs att ”Ägare eller nyttjanderättshavare till byggnader eller andra anläggningar skall i skälig omfattning hålla utrustning för släckning av brand och för livräddning vid brand eller annan olycka och i övrigt vidta de åtgärder som behövs för att förebygga brand och för att hindra eller begränsa skador till följd av brand.”

Enligt TSD Säkerhet i järnvägstunnlar bör medlemsstaterna, här faller ansvaret på Trafikverket, ”planera tillträde för räddningsinsatser i samordning med räddningstjänsten.” Vidare anges att ”De åtgärder som anges för räddningsinsatser … grundas på förutsättningen att räddningstjänsten som ingriper vid en tunnelolycka prioriterar skydd av människoliv.”

För att en räddningsinsats vid brand eller annan olycka i tunnel skall kunna fungera effektivt så behöver den ses som en integrerad del av tunnelns säkerhetskoncept. Detta medför att den kommunala räddningstjänsten behöver medverka vid utformningen av säkerhetskonceptet. Detta sker ofta genom samråd och arbetsmöten mellan respektive Trafikverksprojekt och den lokala räddningstjänsten.

3 Metoder för värdering i praktiken

3.1 Kostnads-nyttoanalyser

Inom infrastrukturprojekt utgör kostnads-nyttoanalyser praxis för utvärdering av åtgärder. Det är ett prioriteringsverktyg som används för att analysera de samhällsekonomiska nyttor och kostnader som är kopplade till ett visst projekt eller en viss åtgärd. Metoden kan liknas med en ”våg” där en åtgärds nyttor, angett i monetära termer vägs mot dess negativa kostnader. Baserat på detta kan olika åtgärder jämföras och rangordnas baserat på deras samhällsekonomiska lönsamhet. [13]

3.1.1 Arbetsgång enligt ASEK

ASEK, Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn, har till huvuduppgift att föreslå metoder och kalkylvärden för samhällsekonomisk utvärdering av infrastrukturåtgärder. Sammanfattningsvis ska ASEK:

- Ge förslag på rekommendationer angående principer som bör följas och kalkylvärden som bör användas i samhällsekonomiska analyser av åtgärder inom transportområdet.
- Rekommendera vilka viktiga indata (kalkylvärden etcetera) som ska användas för samhällsekonomiska analyser och framtagning av trafikprognoser.
- Verka för initiering och samordning av forskning- och utvecklingsinsatser för frågor relaterade till principer för och kalkylvärden i transportsektorns samhällsekonomiska analyser.

Den övergripande metodiken för en kostnads-nyttoanalys, som presenteras i ASEK [13], visas i Figur 7 och respektive steg beskrivs därefter steg för steg (1 – 5).

Figur 7. Stegen i en samhällsekonomisk analys enligt ASEK.

1. *Definiera och avgränsa*

Det första steget i att utföra en samhällsekonomisk analys är att avgränsa projektet. Inledningsvis måste det eller de åtgärdsförslag som är aktuella definieras. Det behövs också ett referensalternativ som åtgärdsförslaget kan jämföras med. Referensalternativet utgörs ofta av det som kallas nollalternativet, vilket innebär att ingen åtgärd vidtas, så att effekterna av respektive föreslagen åtgärd kan jämföras med ett oförändrat tillstånd. I vissa fall kan det vara aktuellt att också inkludera kombinationer av åtgärder, exempelvis om en viss åtgärd är beroende av en annan.

2. *Identifiera prissatta och ej prissatta effekter*

I det andra steget ska alla relevanta kostnader och effekter till följd av åtgärdsförslaget identifieras. Kalkylen ska innehålla alla kostnader och nyttor som uppstår under åtgärdens ekonomiska livslängd. I projekt som rör infrastruktur är den ekonomiska livslängden, och därmed kalkylperioden, normalt 40–60 år. Även eventuella effekter som inte kan prissättas ska identifieras.

I detta steg blir referensalternativet väsentligt eftersom det är av stor vikt att skilja på kostnader och nyttor som hade förekommit även om ingen åtgärd vidtas och de som är direkt kopplade till det aktuella förslaget. Det är också viktigt att vara uppmärksam på identifierade effekter för att undvika att någon dubbelräknas eller förbises.

3. *Kvantifiera och värdera*

De flesta faktorer som ingår i en kostnads-nyttoanalys kan värderas genom marknadspriser, men det finns också effekter som inte kan prissättas. För vissa sådana effekter har ASEK tagit fram specifika kalkylvärden, men för andra så krävs alternativa metoder för kvantifiering. En sådan metod är att studera individers betalningsvilja för att få ta del av en nytta eller minsta kompensationskrav för att acceptera en uppoffring, och med den informationen uppskatta samhällets värdering av en viss effekt. I de fall det inte alls går att värdera en effekt i siffror bör denna istället beskrivas kvalitativt.

Vad gäller säkerhetshöjande åtgärder består nyttoeffekten i huvudsak av reducerad olycksrisk i anläggningen. Det kan vara genom minskad sannolikhet att olyckan inträffar, men oftare att åtgärden medför minskade konsekvenser om olyckan inträffar. I ASEK finns rekommenderade kalkylvärden för olyckskostnaden av dödsfall och olika grader av personskador i samband med vägtrafikolyckor. Olyckskostnaden för ett dödsfall baseras på *värdet av ett statistiskt liv* (VSL) vilket ska representera medborgarnas betalningsvilja för minskad dödsrisk. Olycks-kostnaden för personskador har beräknats med avseende på *kvalitetsjusterade levnadsår* (QALYs). Personskador delas in i svåra eller lindriga skador [13].

För att värdet av kostnader och nyttor ska vara jämförbara måste de anges i samma penningvärde, i så kallade reala priser. I ASEK 7.0 används basåret 2017 för detta.

4. Sammanställ kalkyl och tolka resultat

För att kostnader och nyttor som uppkommer längre fram i tiden ska bli jämförbara diskonteras dessa till kalkylperiodens startår. Med diskonteringsräntan tas kostnader och nyttors nuvärden fram. Nuvärdena kan sedan nyttjas för att beräkna ett nettonuvärde (NNV) vilken är ett mått på om åtgärden är lönsam eller ej. Nettonuvärdet beräknas genom att investeringskostnader och löpande kostnader subtraheras från värdet av nyttoeffekterna. Funktionen kan skrivas enligt följande:

$$NNV_i = \sum_{t=1}^{T} \frac{1}{(1+r)^t}(B_{it}) - \sum_{t=1}^{T} \frac{1}{(1+r)^t}(C_{it})$$

Där:

NNV_i = nettonuvärdet för åtgärdsalternativet i

B_{it} = nyttor (benefits) med att genomföra åtgärdsalternativet i som uppstår år t från kalkylens startår

C_{it} = kostnader (costs) för att genomföra åtgärdsalternativet i som uppstår år t från kalkylens startår

r = diskonteringsränta

T = tidshorisont angivet i antal år t

För att åtgärden ska anses lönsam ska NNV vara större än noll. När det finns betydande effekter som inte går att kvantifiera monetärt kan det dock vara problematiskt att enbart nyttja lönsamhetsmåttet NNV för att avgöra skäligheten. I dessa situationer förordas att beslutsunderlaget ska utgörs av en så kallad ”samlad effektbedömning” som beskriver åtgärdens effekter ur följande tre oviktade beslutsperspektiv [14]:

- Samhällsekonomisk analys: effekter som har kunnat värderas i monetära termer samt kvalitativa beskrivningarna av effekter som inte har kunnat prissättas.
- Transportpolitisk målanalys: Vilken påverkan har alternativen/åtgärden på uppfyllandet av de transportpolitiska målen.
- Fördelningsanalys: Hur fördelar sig nyttorna över de olika grupperna som kommer att beröras av beslutet.

5. Gör känslighetsanalyser

Eftersom de värden som ingår i kalkylen är baserade på prognoser, effektsamband och antaganden måste osäkerheter i resultaten beaktas. Genom att göra en känslighetsanalys kan man undersöka hur känsligt resultatet är för förändringar i indata och ge beslutsfattaren en uppfattning om hur robust resultatet är. Att genomföra känslighetsanalyser för all indata är dock inte resursmässigt rimligt så ett urval måste göras med mål att kunna presentera ett överskådligt resultat men samtidigt visa på vilka osäkerheter som finns. I ASEK finns rekommendationer för vilka känslighetsanalyser som är relevanta att utföra. För infrastrukturinvesteringar med en planerad anläggningskostnad över 200 Mkr ska känslighetsanalyser göras

baserat på tre antaganden; högre investeringskostnad (motsvarande 85%-nivån om successivmetoden, annars schablonuppräkning 30%), att trafiktillväxten är 0% och att trafiktillväxten är 50% högre än i huvudkalkylen.

3.1.2 Tillämpningar i infrastrukturprojekt

Med syfte att undersöka hur kostnads-nyttoanalyser genomförs i praktiken har fem rapporter med värderingar av riskreducerande åtgärder i infrastrukturprojekt studerats. De omfattar tillämpningar i följande projekt:

- Botniabanans tunnlar (2000)
- Norra länken (2005)
- Sundbybergstunneln (2018)
- Förbifart Stockholm (2019)
- Urspårningsskydd för en planerad höghastighetsjärnväg (2019)

Ovanstående fem utredningar har ansetts kunna representera ”praxis” vad gäller kostnads-nyttoanalyser och kostnads-effektanalyser avseende säkerhetshöjande åtgärder i infrastrukturprojekt. Även om det sannolikt finns fler exempel på tillämpningar av metodiken har det bedömts vara alltför tidskrävande ta fram ytterligare material inom ramen för denna utredning. De studerade utredningarna har bedömts ge en förhållandevis rättvisande bild då de avser projekt som kan anses vara stora och tongivande

I tre av de studerade analyserna omsätts alla parametrar till ett värde i pengar. I en analys omsätts nyttan till pengar men kostnaden beskrivs endast kvalitativt i förhållande till beräknad nytta. Slutligen är en av de studerade analyserna semi-kvantitativ där kostnads- och nyttointervall motsvarar en låg, medel eller hög kostnad respektive nytta. I majoriteten av exempelrapporterna görs kostnads-nyttoanalysen för en specifik riskreducerande åtgärd som bedöms kunna ha betydande påverkan på säkerhetsnivån i anläggningen. Undantaget är för Botniabanans tunnlar där ett flertal åtgärder studerades och jämfördes mot varandra för att hitta den mest kostnadseffektiva systemutformningen med avseende på riskreducerande åtgärder.

Ett genomgående mönster i samtliga exempelrapporter är att förenklingar görs när både kostnader och nyttor uppskattas. Vad gäller kostnaden baseras beräkningarna oftast enbart på investeringskostnaden, trots att den totala kostnaden enligt teorin ska representera åtgärdens kostnad under hela kalkylperioden och således även bör innefatta drift- och underhållskostnader[3]. Detta beror sannolikt på att riskbedömningen kommer in i ett tidigt skede och att det då saknas kunskap om kostnader under driftskedet. I de fall då drift- och underhållskostnaderna är mycket små i jämförelse med investeringskostnaden, exempelvis för en extra utrymningsväg

[3] Förbifart Stockholm (2019) och den kostnads-effektanalys som genomfördes avseende tunnelventilationen särskiljer sig något från övriga exempelrapporter. I denna utredning beaktas enbart elkostnader för drift av ventilationssystemet men inte installations- och underhållskostnader. Detta var dock en medveten avgränsning av analysen.

från tunneln, kan en känslighetsanalys visa att det inte får större effekt på nettonuvärdet om drift- och underhållskostnaderna försummas. I andra fall, där åtgärden är mer kostnadsdrivande under driftskedet, kan således kostnaderna under hela åtgärdens livslängd behöva uppskattas för att ge ett representativt nettonuvärde.

Kostnads-nyttometodiken förutsätter att i princip alla kostnader och nyttor som ingår i kalkylen kan uttryckas i pengar och att värdet av dessa kan bestämmas genom marknadspriser. När metodiken används för att värdera säkerhetshöjande åtgärder behöver således också kostnaden av olycksrisker skattas i monetära termer. Denna erhålls indirekt genom att mäta människors betalningsvilja för en liten reduktion av sannolikheten att omkomma i en specifik olycka. I ASEK presenteras ett värde av ett statistiskt liv (VSL) som är baserat på människors betalningsvilja för att minska risken att omkomma i en vägtrafikolycka, och det är främst detta värde som har använts i de studerade rapporterna. Det förs dock ingen diskussion kring huruvida det är lämpligt att mäta människoliv i pengar eller hur VSL, som är baserat på betalningsvilja, kan variera beroende på typ av risk. Nytta i form av undvikna personskador samt materiella kostnader inkluderas i två av fem analyser. ASEK ger schablonvärden för några av de olika konsekvenserna, exempelvis dödsfall och skadade individer, men för övriga konsekvenser, som nedstängning av anläggning eller återställningskostnader efter brand, finns inga schablonvärden. Detta medför att värdering av övriga konsekvenser blir ett resurskrävande arbete. I enstaka fall kommenteras dessa parametrar kvalitativt, men i de flesta av de studerade analyserna utelämnas konsekvenser utöver dödsfall.

En intressant aspekt att undersöka är hur osäkerheter har hanterats i de studerade analyserna. Skattningarna av både nyttorna och kostnaderna måste göras utan fullständig kunskap om de verkliga utfallen. I alla kvantitativa analyser har någon form av känslighetsanalys utförts där påverkan från variationer i ingående parametrar utreds. I de genomförda osäkerhets- och känslighetsanalyserna konstateras i vissa fall att variationer i indata kan få stor påverkan på resultatet. Utan att ha gjort någon närmare undersökning av frågan, är det författarnas intryck att det är relativt ovanligt att känslighetsanalyser medför direkta justeringar och/eller kompletteringar av riskbedömningars resultat. Däremot medför de inte sällan att frågor föreslås utredas vidare i det fortsatta arbetet.

I två av de studerade exemplen har en aversionsfaktor tillämpats. Riskaversion innebär att samhället antas värdera en stor olycka, med många omkomna, som mer allvarlig jämfört med flera mindre olyckor, med få omkomna vid varje olyckstillfälle, även om det förväntade skadeutfallet över tid är detsamma. I de båda fallen tillämpas riskaversion genom att olyckskostnaden multipliceras med en så kallad aversionsfaktor. I övriga rapporter omnämns inte riskaversion.

Resultatet av analyserna är alltid någon slags jämförelse mellan kostnaderna och nyttorna för den aktuella åtgärden, exempelvis uttryckt som nettonuvärde eller nettonuvärdeskvot. För nuvärdesberäkningar rekommenderar ASEK att en

diskonteringsränta används. Denna kan få relativt stor påverkan på resultatet när kostnader och nyttor infaller långt fram i tiden, och är därför en relevant parameter att undersöka i detta sammanhang eftersom infrastrukturinvesteringar generellt har en mycket lång livslängd. Tidshorisonten i de studerade analyserna varierar mellan 30 och 120 år beroende på typ av anläggning och åtgärd. I exemplen har samtliga kvantitativa analyser använt en diskonteringsränta på 3,5 % i enlighet med rekommendation i ASEK.

Sammanfattningsvis uppvisar de studerade exemplen på både likheter och skillnader i tillämpningen. I samtliga kvantitativa analyser har kalkylvärden från ASEK tillämpats, men i olika stor utsträckning och motiverade i olika grad. De stora skillnaderna handlar framför allt om vilka parametrar som har beaktats, både vad gäller kostnader och nyttor, men även faktorer som exempelvis riskaversion. Genomgången indikerar på att det saknas ett gemensamt arbetssätt för hur metodiken ska appliceras vid utvärdering av säkerhetshöjande åtgärder

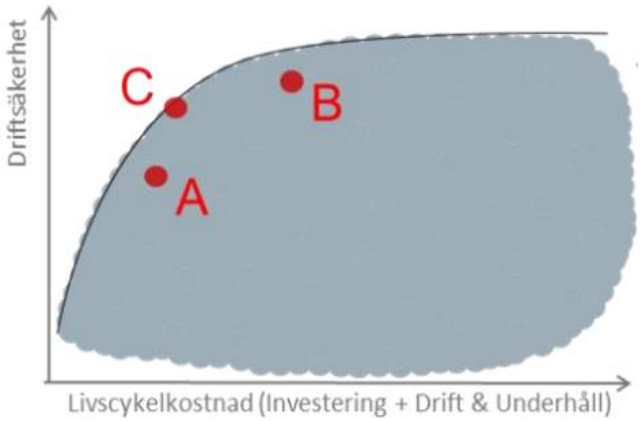
3.2 Kostnads-effektanalys

I en kostnads-effektanalys jämförs kostnaden med någon form av effekt. Detta skiljer sig från kostnads-nyttoanalyser såsom i den praxis som beskrivs ovan genom att nyttan som en viss investering förväntas generera inte nödvändigtvis måste uttryckas i pengar. Resultatet av en kostnads-effektanalys blir således ett förhållande mellan kostnaden för åtgärden och nyttan i form av en fysisk enhet som exempelvis antal räddade liv, undvikna olyckor eller reducerad tid som anläggningen måste hållas avstängd, vilket också är exempel på riskmått som en riskanalys kan resultera i. Resultatet av en kostnads-effektanalys säger dock inget om samhällsekonomisk lönsamhet utan behöver jämföras med ett referensvärde för att kunna avgöra om investeringen är lönsam.

Vid värdering av trafikering, punktlighet och livscykelkostnad är det de tänkbara händelser som kan påverka anläggningsdriften som står i centrum. Genom att identifiera dessa driftstörande händelser kan de analyseras och kostnaden för störningen i anläggningsdriften kan ställas mot kostnaderna för att förhindra dem eller minska deras påverkan. Kopplingen mellan kostnader och anläggningens funktion respektive icke-funktion innebär att kostnaderna knyts an till det som motiverar genomförandet av byggprojekt, nämligen den nytta de medför då de driftsätts (anläggningar som inte fungerar genererar inte någon trafiknytta eller bidrar till punktlighetsproblem).

Enkelt uttryckt omfattar arbetet att sammanställa och utvärdera en stor mängd data som klargör vilken driftsäkerhet och livscykelkostnad (LCC) som en viss lösning avseende teknik, utformning och underhåll kan uppskattas ha vid en viss, planerad, trafikering. Denna kan jämföras med andra alternativs motsvarande egenskaper vid samma trafikering. Därefter kan skillnaderna mellan alternativen jämföras inbördes och mot en målbild. Ambitionen över tid, i takt med allt fler nya anläggningar

utformas med stöd av denna metodik, samt driftsätts, är att en större transportnytta ska kunna erhållas till en allt lägre livscykelkostnad. Ett exempel på hur detta kan se ut illustreras i Figur 8.



Figur 8. Schematisk illustration av sambandet mellan driftsäkerhet och livscykelkostnad (LCC) vid en given driftprofil. Alternativ A, B och C representerar de driftprofiler som erhålls vid olika val av tekniska lösningar och underhållslösningar.

Den lodräta axeln i *Figur 8* visar grad av driftsäkerhet, d.v.s. den andel tid som systemet är tillgängligt i förhållande till total tid som systemet är i drift. Den vågräta axeln visar livscykelkostnaden, LCC, d.v.s. de totala kostnaderna för planering, projektering, byggnation samt drift och underhåll. Vid en beslutssituation, då två eller fler alternativ ska utvärderas är det svårt och tidsödande att redogöra för en faktisk, total, livscykelkostnad. Då är det effektivt att använda sig av LCC-analys. På hög nivå avser detta anskaffningskostnader och drifts- och underhållskostnader. Det är således inte den faktiska livslängdskostnaden som fångas vid LCC-analys, t.ex. för budgetändamål, utan det är snarare ett godhetsmått uttryckt i ekonomiska termer och där det viktigaste är att fånga skillnaderna mellan alternativ. Det är tillräckligt att belysa sådana skillnader som är:

- Signifikanta – Endast större kostnader som kan förväntas påverka beslutet behöver tas med i modellen.
- Särskiljande – Endast kostnader som skiljer sig åt mellan alternativen tas med i modellen. Övriga identiska kostnaderna kommer inte att påverka beslutet utan höjer bara den generella nivån.
- Framtida kostnaden – Endast kostnader som kommer i framtiden skall tas med, redan tagna kostnader skall inte tas med.

Vad gäller kalkylperiod är huvudregeln vid LCC-analyser att det bör vara den planerade nyttjandetiden som ska väljas, ofta 120 år [15]. Detta är särskilt viktigt vid övergripande analys där systemets huvudfunktion utvärderas, t.ex. övergripande driftsäkerhet eller transportnytta, eftersom kalkylperioden bör spegla hela den tid under vilken en anläggning förväntas generera nytta. Detta förfarande avviker från

ASEK som anger att kalkylperioden ska motsvaras av investeringens ekonomiska livslängd, se avsnitt 3.1.1. För nya järnvägsanläggningar rekommenderar ASEK en kalkylperiod på 60 år [16].

Metoden för kostnads-effektivitetsanalys som tillämpas inom driftsäkerhetsområdet [15] ifrågasätter även ASEK:s rekommenderade kalkylränta. Argumentet som framförs till att inte diskontera framtida kostnader och nyttor är att detta kan anses motverka ambitionen att åstadkomma mer transportnytta till lägre totalkostnad. Detta då användandet av kalkylränta kan premiera lösningar som innebär låg investering, men som på lång sikt har förhöjd risk att inte kunna prestera. Det rekommenderas därför att en känslighetsanalys utan diskontering utförs för att undersöka resultatens känslighet [15].

Ett hypotetiskt scenario där alternativ A, B och C jämförs ur ett driftsäkerhet- och LCC-perspektiv visas i Figur 8. Det grå fältet indikerar de tänkbara val avseende anläggningsutformning, tekniska system och komponenter samt underhåll som finns vid en given trafikering. Den svarta linjen utmed fältets vänstra/övre periferi anger gränsen för var det (inom fältet) finns eller inte (till vänster om/ovanför fältet) finns trovärdiga alternativ. De röda punkterna A, B och C visar positionerna för tre sådana alternativ, vart och ett med olika kombination av driftsäkerhets- och LCC-egenskaper. Följande kan sägas:

- Punkten A representerar ett alternativ som har låg driftsäkerhet och låg LCC.
- Punkten B representerar ett alternativ som har hög driftsäkerhet och hög LCC.
- Punkten C representerar ett alternativ som har hög driftsäkerhet och låg LCC.

I en beslutssituation, d.v.s. vid val mellan alternativ, kan det med ledning av jämförelsen ovan försvaras att alternativ C väljs; detta alternativ erbjuder den bästa kombinationen av driftsäkerhet och LCC. Det kan således uppfattas som mest kostnadseffektivt.

Arbetet med att analysera och jämföra alternativ bedrivs vanligen iterativt. Exempelvis kan det tänkas att alternativ A ovan var det första som analyserades och, då det t.ex. inte nådde upp till kravet på driftsäkerhet, omarbetades delar av innehållet (t.ex. annan anläggningsutformning eller högre funktionssäkerhet hos ett tekniskt system) varvid ett nytt alternativ uppstod, alternativ B. Därefter analyserades alternativ B. Emellertid förkastades även alternativ B då LCC uppfattades som alltför hög. Detta resulterade i att alternativ C togs fram, och senare valdes som det mest fördelaktiga alternativet. I det diagram som visas ovan har ingen krävd lägsta nivå av driftsäkerhet indikerats då texten i detta avsnitt endast syftar till att illustrera de resonemang som kan föras kring sambandet mellan driftsäkerhet och LCC.

3.3 Multikriterieanalys

Multikriterieanalys är ett verktyg som används för att jämföra olika alternativ och som bygger på att respektive alternativ bedöms utifrån gemensamma kriterier.

Bedömningen kan göras med olika metoder, t.ex. utifrån en skala, med kvantitativa eller kvalitativa termer. Metoden inleds med att kriterier tas fram för bedömning av alternativen. De bör i sin tur vara oberoende av varandra för att undvika upprepning. Därefter sker en inbördes viktning av kriterierna, t.ex. med SWING-metoden[4].

Nästa steg är att de olika alternativen listas varvid de tilldelas en poäng mellan 0–100 för respektive bedömningskriterium. Poängsumman, multiplicerat med respektive kriteriums vikt, är alternativets totalpoäng och kan användas för att rangordna alternativen. Rangordningen kan även ske utan att alternativens totalpoäng beräknas då summeringen i vissa fall kan vara direkt olämplig. Sammanvägningen och rangordningen kan även göras i kvalitativa termer. I Tabell 1 visas ett exempel på hur en multikriterieanalys för säkerhetsåtgärder kan se ut.

Tabell 1. Exempel på multikriterieanalys för riskreducerande åtgärder. Bedömningskriterierna i tabellen utgör endast förslag. De tomma rutorna fylls i med poäng (0–100) och därefter räknas summan för åtgärden ut genom att multiplicera respektive poäng med motsvarande kriteriums vikt (0-1) och summeras.

Bedömningskriterier	Investeringskostnad	Underhållskostnad	Reducerad olycksfrekvens	Reducerat antal omkomna & skadade	Reducerade materiella skador	Reducerad nertid på anläggningen	
Viktning	%	%	%	%	%	%	
Åtgärder							**Summa**
Åtgärd 1							
Åtgärd 2							
Åtgärd 3							

Den åtgärd som får högst summerad poäng bedöms som mest fördelaktig med avseende på alla kriterier. Resultatet kan således utgöra bedömningsgrund för vilken eller vilka åtgärder som bör prioriteras, men säger inget om samhällsekonomisk lönsamhet. För att kunna avgöra lönsamhet, krävs fortsatt ett referensvärde.

Det bör dock noteras att en multikriterieanalys ställer höga krav på beslutsfattaren eftersom antingen generella bedömningskriterier och viktning av dessa behöver tas fram inom tunnelsäkerhetsområdet eller så behöver specifika kriterier och viktningar tas fram för varje enskild analys. Om flera egenskaper hos olika åtgärder ska jämföras, kan det behöva användas flera matriser för jämförelsen, d.v.s. en matris för varje egenskap, varvid det inte är självklart att de kan läggas ihop till en enda.

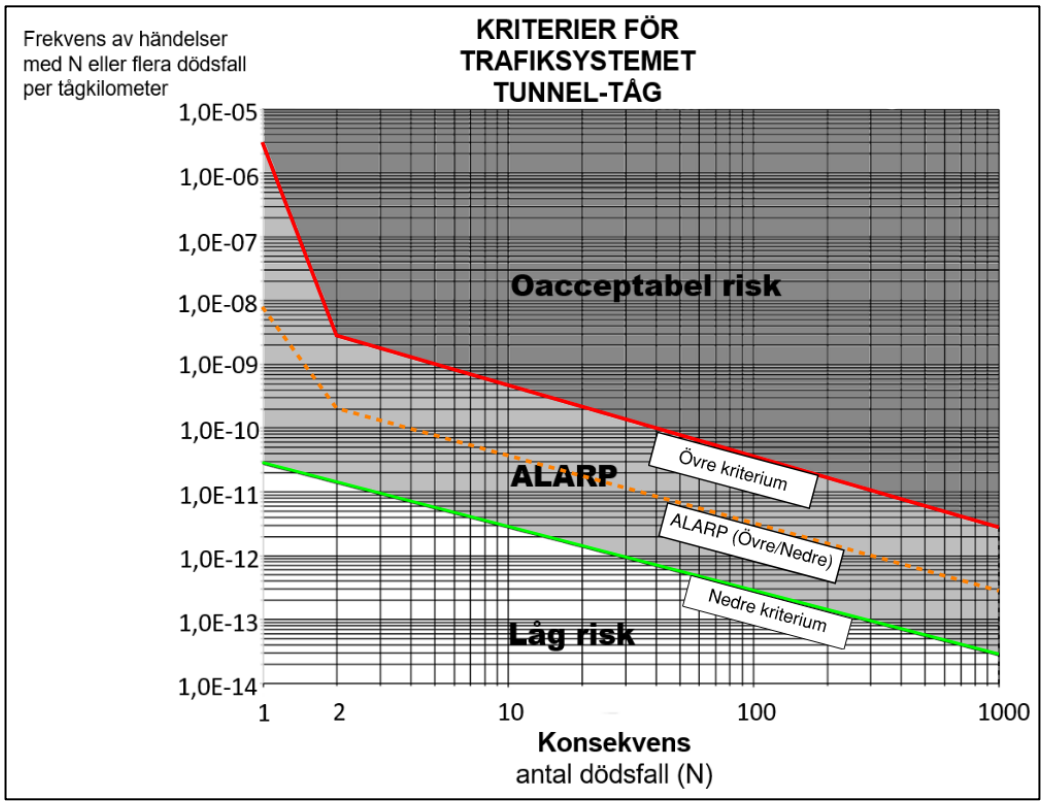
[4] SWING-metoden innebär att totalt 100 poäng fördelas mellan bedömningskriterierna. Ett kriterium som anses viktigt får en högre poäng, medan ett mindre viktigt kriterium får en lägre poäng. Resultatet av värderingen presenteras i % som representerar viktningen för respektive kriterium.

4 Värdet av ytterligare riskreduktion

4.1 Utvärderingskriterier och PLL-tal

PLL-tal (Potentiell Loss of Life) är ett riskmått som anger förväntat antal omkomna per personkilometer alternativt per tidsenhet. Detta kan även utryckas som att PLL-talet anger den förväntade konsekvensen för anläggningen per personkilometer eller tidsenhet. PLL-tal kan även anges per olyckskategori, exempelvis förväntat antal omkomna per år i tunneln till följd av brandhändelser eller urspårningsolyckor. Från en f/N-kurva beräknas PLL-talet genom att summera risken kopplad till respektive olycksscenario som är representerat i diagrammet.

Det finns ett samband mellan utvärderingskriterier för f/N-kurvor och PLL-tal som möjliggör att vissa generella slutsatser kan dras avseende det monetära värdet av ytterligare riskreduktion. Arean under den linje som definierar ett utvärderingskriterium motsvarar i princip det maximala PLL-tal en f/N-kurva kan motsvara utan att överstiga kriteriet.



Figur 9. Utvärderingskriterier för samhällsrisk i TRVINFRA-00233 i intervallet N ⊂ [1, 1 000]. Orange streckad linje illustrerar gränsen mellan övre och nedre ALARP-området i f/N-diagrammet. Det korresponderade PLL-talet för respektive kriterium erhålls genom att integrera funktionen som definierar kriterier över N ⊂ [1, 1 000]. Arean under respektive linje motsvarar således det maximala PLL-tal som en f/N-kurva kan anta utan att överskrida kriteriet.

Användandet av sambandet förutsätter att vi betraktar olycksfrekvenserna på y-axeln i f/N-diagrammet som sannolikheter vilket de i strikt mening inte är. De två begreppen är dock approximativt likvärdiga när frekvensen är lika med eller mindre än 0,1 per tidsenhet. D.v.s. den årliga sannolikheten för en olycka med en återkomsttid på 10 år ska inträffa är approximativt 0,1. Inledningsvis beräknas vilka PLL-tal som utvärderingskriterierna för samhällsrisk i TRVINFRA-00233 motsvarar i intervallet N ⊂ [1, 1 000] se Figur 9 ovan.

Arean under det övre kriteriet i TRVINFRA-00233 motsvarar det maximala PLL-tal en samhällsrisknivå kan anta utan att ligga inom området för oacceptabel risk i intervallet N ⊂ [1, 1 000]. Motsvarade samband gäller även för det undre kriteriet samt den linje i figuren som betecknas som ”ALARP”. Med ALARP avses en linje som ligger mitt emellan det övre och undre utvärderingskriteriet. Denna linje utgör således även gränsen mellan det kan benämnas som det övre respektive nedre ALARP-området. PLL-talet för respektive kriterium i Figur 9 erhålls genom integrering av funktionen som definierar kriteriet över 1 ≤ N ≤ 1 000.

I Tabell 2 redovisas PLL-talet för det övre och undre utvärderingskriteriet samt ”ALARP” i TRVINFRA-00233 för N ⊂ [1, 1 000] respektive N ⊂ [2, 1 000]. Notera att gränsen för oacceptabel risk ökar betydligt vid N=1 som är satt till $2{,}8 \cdot 10^{-6}$ per tågkm. Detta medför att en integration av det övre kriteriet över N ⊂ [2, 1 000] kommer att generera lägre konsekvens per tågkm (cirka 162 gånger lägre).

Tabell 2. Motsvarande maximal förväntad konsekvens (omkomna per tågkm) för utvärderingskriterierna i TRVINFRA-00233 i intervallet N ⊂ [1, 1 000] respektive N ⊂ [2, 1 000].

N ⊂ [1, 1 000]	**PLL-tal (omkomna per tågkm)**
Övre kriterium	$2{,}82 \cdot 10^{-6}$
ALARP	$9{,}54 \cdot 10^{-9}$
Undre kriterium	$1{,}93 \cdot 10^{-10}$
N ⊂ [2, 1 000]	**PLL-tal (omkomna per tågkm)**
Övre kriterium	$1{,}74 \cdot 10^{-8}$
ALARP	$1{,}74 \cdot 10^{-9}$
Undre kriterium	$1{,}74 \cdot 10^{-10}$

Motsvarande beräkningar har genomförts för de föreslagna utvärderingskriterierna i *Säkerhetsmål i tunnlar* [11] respektive *Säkerhetsmål för trafikanter i vägtunnlar, järnvägstunnlar och tunnelbana* [12]. Reslutatet redovisas i Bilaga A. Notera att PLL-talen för dessa utvärderingskriterier är normerade mot tunnelns trafikarbetet uttryckt i miljoner personkilometer istället för tågkm persontrafik.

4.2 Några beräkningsexempel

De beräknade PLL-talen i föregående avsnitt kan nyttjas för att ta fram uppskattningar av kostnaden av olycksrisken beroende på samhällsrisknivåns läge i förhållande till utvärderingskriterierna samt tunnelns trafikarbete. Förväntad kostnad av olycksrisken över kalkylperioden uppskattas från de kalkylvärden som anges i ASEK, se Tabell 3. Beräkningarna utgår från riskneutralitet, d.v.s. att olyckor anses vara likvärdiga om det förväntade skadeutfallet över tid är desamma

Tabell 3. Sammanställning över ingångsvärden för beräkningen av förväntad kostnad av olycksrisken över 60 år [13].

Parameter	Ingångsvärde
Kalkylränta	3,5 %
Real prisökning	1,5 %
Kalkylperiod (år)	60
VSL (MSEK)	44,02
Materiella kostnader dödsfall (MSEK)	6,23

Beräkningarna har förenklats i den mån att den förväntade kostnaden av olycksrisken under kalkylperioden enbart baseras på VSL samt materiella kostnader för dödsfall. Detta bedöms inte vara problematisk då det är just antalet dödsfall (kopplade till olika frekvenstal) som kriterierna syftar till att utvärdera. Den förväntade kostnaden av olycksrisken skulle dock öka om kostnader till följd av exempelvis materiella skador på anläggningen och trafikstörningar hade beaktats. Att inkludera detta har dock inte bedömts vara rimligt inom denna utredning. I Tabell 4 redovisas kostnaden av olycksrisken över en kalkylperiod på 60 år för utvärderingskriterierna i TRVINFRA-00233 beroende på tunnelns trafikarbete baserat på det VSL som anges i ASEK samt materiella kostnader för dödsfall.

Tabell 4. Förväntad kostnad av olycksrisk i MSEK under kalkylperioden (60 år) beroende på trafikarbete (tågkm per år) och risknivåns läge i relation till kriterierna i TRVINFRA-00233. Notera att uppskattningen enbart baseras på VSL samt materiella kostnader för dödsfall i ASEK avseende vägtrafikolyckor.

Trafikverket (TRVINFRA 00233)				
N ⊂ [1, 1 000]	**10 000**	**50 000**	**100 000**	**1 000 000**
Övre kriteriet	48,7	243	487	4 866
ALARP	0,17	0,82	1,65	16,5
Acceptabel	0,003	0,02	0,03	0,3
N ⊂ [2, 1 000]	**10 000**	**50 000**	**100 000**	**1 000 000**
Övre kriteriet	0,3	1,5	3,7	30
ALARP	0,03	0,15	0,37	3
Acceptabel	0,003	0,02	0,04	0,3

Innebörden av resultaten i Tabell 4 för utvärderingskriterierna i TRVINFRA-00233 kan illustreras med följande exempel:

<u>Tunnlar med ett lågt årligt trafikarbete – Värdet av ytterligare riskreduktion:</u>

En säkerhetsanalys genomförs för en tunnel som förväntas producera ett årligt trafikarbete på 10 000 tågkm. Samhällsrisknivån för tunneln utvärderas sedan mot kriterierna i TRVINFRA-00233. Analysen indikerar att samhällsrisknivån inom intervallet N ⊂ [2, 1 000] ligger högt inom ALARP-området nära gränsen till oacceptabel risk. Vad blir det monetära värdet av ytterligare riskreduktion inom intervallet N ⊂ [2, 1 000] i detta fall?

Resultaten i Tabell 4 indikerar att ett PLL-tal motsvarande det övre kriteriet över N ⊂ [2, 1 000] i TRVINFRA-00233, vid ett årligt trafikarbete på 10 000 tågkm, motsvarar en förväntad kostnad av olycksrisken över 60 år på 0,3 MSEK utifrån kalkylvärdena i ASEK. En utvärderad åtgärd som exempelvis kan reducera samhällsrisknivån för tunneln från högt inom ALARP-området till mitten av ALARP-området inom N ⊂ [2, 1 000], innebär därmed en förväntad kostnadsbesparing, med hänsyn till reducerade olycksrisk, på drygt 0,27 MSEK (0,3 – 0,03 MSEK) över 60 år. Den övervägda åtgärden behöver således, utöver att vara exceptionellt effektiv, ha en mycket låg investeringssamt driftskostnad om den ska kunna betraktas som ”kostnadsnyttig”. Det förefaller orimligt att en sådan åtgärd, om den faktiskt existerar, inte då redan skulle ingå i basstandarden.

Utifrån exemplet ovan görs följande observation:

- Reduktion av risker inom ALARP-området över N ⊂ [2, 1 000] för tunnlar med ett relativt lågt årligt trafikarbete är sannolikt aldrig lönsamt ur ett samhällsekonomiskt perspektiv givet nuvarande kalkylvärden i ASEK och riskneutralitet.

En naturlig följd av ovanstående är att undersöka om observationen även är giltig för tunnlar med ett betydligt större årligt trafikarbete:

<u>Tunnlar med ett stort årligt trafikarbete – Värdet av ytterligare riskreduktion:</u>

Det årliga trafikarbetet för exempelvis den planerade Sundbybergstunneln (Mälarbanan Huvudsta – Duvbo) förväntas vid driftsättningen uppgå till drygt 174 000 tågkm[5] vilket i princip motsvarar maxkapaciteten för anläggningen [17]. Sundbybergstunneln kommer att bli drygt 1,4 km lång och består av två dubbelspåriga tunnelrör. Sundbybergstunnelns trafikarbete

[5] Baserat på en vardagsmedeldygntrafikering (vmd) på 388 tåg multiplicerat med 320 trafikdagar och en tunnellängd på 1,4 km.

normerat mot tunnellängden (drygt 124 300 tågkm per km tunnel och år) borde givet förutsättningarna ligga relativt nära ett maxvärde för framtida järnvägstunnlar. D.v.s. eventuella framtida järnvägstunnlar med högre totalt trafikarbete mätt i tågkm behöver rimligtvis vara längre än Sundbybergstunneln. Resonemanget är relevant i sammanhanget då både investeringsoch underhållskostnaden för säkerhetshöjande åtgärder i de flesta fall kan antas vara proportionerlig mot tunnelängden.

Resultaten i Tabell 4 indikerar att ett PLL-tal motsvarande det övre kriteriet över N ⊂ [2, 1 000] i TRVINFRA-00233, vid ett årligt trafikarbete på 1 000 000 tågkm, motsvarar en förväntad kostnad av olycksrisken över 60 år på cirka 30 MSEK. Kostnaden kan vid en första anblick framstå som betydande. Notera dock att en tunnel med ett trafikarbete av denna storlek, baserat på resonmenaget i stycket ovan, rimligtvis kommer att vara flera kilometer lång.

En fyrspårstunnel med samma trafikförutsättningar som Sundbybergstunneln behöver vara cirka 8 km lång för att generera ett årligt trafikarbete på 1 000 000 tågkm. Värdet av ytterligare riskreduktion, från högt inom ALARP-området till mitten av ALARP-området, uppskattas i detta fall över 60 år kunna uppgå till drygt 3,4 MSEK per km tunnel[6].

Begrunda dock att en riskreduktion från högt inom ALARP-området till mitten av ALARP-området motsvarar att PLL-talet för tunneln minskar med en faktor 10. Denna faktor kan jämföras mot att förtätningen mellan utrymningsvägarna i Botniabanans tunnlar från 600 meter till 300 meter enbart uppskattades medföra en minskning av PLL-talet på 10 % [12].

Baserat på exemplet ovan kan vi konstatera att den tidigare observationen troligtvis även är giltig för tunnlar med ett stort trafikarbete:

- Även för tunnlar med ett väldigt stort årligt trafikarbete är det osannolikt att införandet av ytterligare säkerhetshöjande åtgärder för att reducera riskerna inom ALAPR-området över N ⊂ [2, 1 000] är kostnadsmässigt fördelaktigt.

Som tidigare har nämnts blir det resulterade PLL-talet (omkomna per tågkm) betydligt större när det övre kriteriet i TRVINFRA-00233 integreras över N ⊂ [1, 1 000]. Detta medför i sin tur att den förväntade kostnaden av olycksrisken ökar markant vilket syns i Tabell 4. PLL-talet motsvarande det övre kriteriet över N ⊂ [1, 1 000] i TRVINFRA-00233, vid ett årligt trafikarbete på 10 000 tågkm, skulle innebära en förväntad kostnad av olycksrisken över 60 år på totalt 48,7 MSEK. Notera att motsvarande kostnad då det övre kriteriet integrerades över N ⊂ [2, 1 000], vid samma årliga trafikarbete, endast uppgick till 0,3 MSEK.

[6] (30 MSEK – 3,0 MSEK) / 8 km tunnel

Den stora ökningen av förväntad kostnad av olycksrisken när kriteriet integreras över N ⊂ [1, 1000] beror enbart på bidraget som olyckor med högst en omkommen resenär medför. Detta då det övre kriteriet för F(N≥2) i TRVINFRA-00233 är 1 000 gånger lägre än F(N≥1). Resonemanget förutsätter att risknivån inom intervallet N ⊂ [2, 1 000] inte överskrider det övre kriteriet. Vidare har åtgärder som primärt reducerar risknivån i intervallet N ⊂ [2, 1 000] försumbar påverkan på den totala frekvensen för olyckor med 1 eller fler omkomna. Frågan är således om frekvensen för en eller fler omkomna också faktiskt kan närma sig den övre gränsen i ALARP på $2{,}8 \cdot 10^{-6}$ per tågkm utan att vara oacceptabelt hög inom intervallet N ⊂ [2, 1 000]:

<u>Säkerhetsanalys typtunnlar på det planerade Ostlänksprojektet – Frekvensen för en eller fler omkomna:</u>

I Tabell 5 nedan redovisas ingångsfrekvenserna för de olyckstyper som har beaktats vid säkerhetsanalyserna för typtunnlarna på den planerade Ostlänken [18]. Notera att den sammanlagda frekvensen för alla olyckstyperna uppgår till $6{,}6 \cdot 10^{-8}$ per tågkm. Om varje olycka konservativt alltid antas medföra minst ett döds-fall skulle F(N≥1) följaktligen också uppgå till $6{,}6 \cdot 10^{-8}$ per tågkm. Denna frekvens är drygt 40 gånger lägre än gränsen för det övre kriteriet vid N≥1.

I säkerhetsanalysen för en lång typtunnel (≥ 3 000 m) uppskattades frekvensen för F(N≥1) uppgå till drygt $1 \cdot 10^{-8}$ per tågkm [19]. Vilket i sin tur är 280 gånger lägre än gränsen för det övre kriteriet för N≥1. Notera även att en restrisk har ansatts för flera av olyckskategorierna säkerhetsanalysen [19]. Exempelvis antas alla brandhändelser med brandeffektkurvan mindre än 1 MW alltid medföra minst en omkommen resenär om tåget behöver utrymmas i tunneln [19]. Restrisken appliceras alltså även i de fall då utrymningsanalysen indikerade att alla resenärerna hann utrymma tunneln innan kritiska förhållanden inträffade. Rimligtvis kommer därmed en åtgärd, så som exempelvis ett kortare avstånd mellan utrymningsvägarna i tunneln, inte påverka restrisken. D.v.s. den andelen av F(N≥1) som utgörs av restrisk kan vi inte tillgodoräkna oss när vi indirekt uppskattar den mone-tära nytta som införandet av fler säkerhetshöjande åtgärder kan medföra.

Tabell 5. Ingångsfrekvenser för studerade olyckskategorier i säkerhets-analysen för den planerade Ostlänkens typtunnlar [18].

Olyckstyp	Ingångsfrekvens (per tågkm)
Brand samt stopp i tunnel (motorvagnståg)	$1{,}46 \cdot 10^{-9}$
Urspårning	$6{,}61 \cdot 10^{-9}$
Kollision med lätt föremål (vikt < personbil)	$3{,}72 \cdot 10^{-8}$
Kollision med tungt föremål (vikt > personbil	$2{,}07 \cdot 10^{-8}$
Summa	**$6{,}6 \cdot 10^{-8}$**

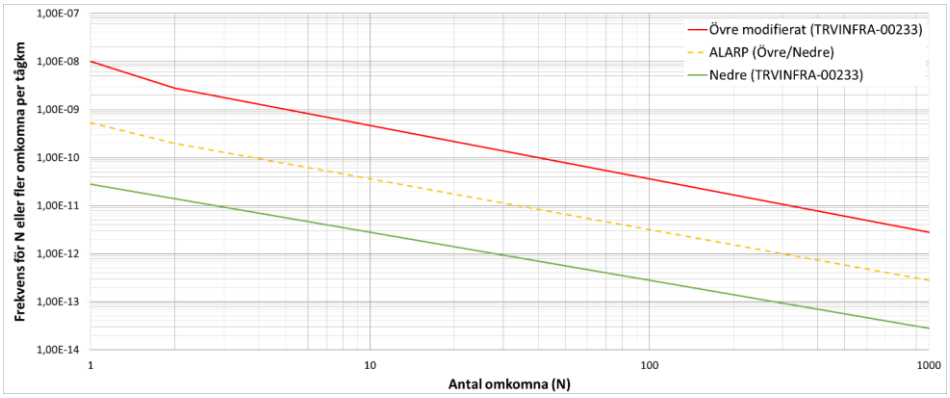
Exemplet indikerar att skattningen av F(N≥1), från den statistik som ligger till grund för de kvantitativa analyserna i nuläget, alltid blir tydligt lägre än $2{,}8 \cdot 10^{-6}$ per tågkm:

- F(N≥1) kommer i praktiken aldrig närma sig den övre gränsen av ALARP-området för N≥1. Skattningen av F(N≥1) kan förväntas vara omkring en faktor 280 gånger lägre än $2{,}8 \cdot 10^{-6}$ per tågkm.

Föregående innebär att kostnaderna i Tabell 4 när det övre kriteriet integreras över N ⊂ [1, 1 000] blir missvisande. I Tabell 6 redovisas förväntad kostnad av risken över 60 år beroende på trafikarbete när risknivån skär y-axel vid $1 \cdot 10^{-8}$ (och inte $2{,}8 \cdot 10^{-6}$) och därefter tangerar det övre kriteriet enligt TRVINFRA-00233. I Figur 10 redovisas hur kriterierna ser ut efter justering av det övre. Sänkningen syftar enbart till att göra beräkningen av olyckskostnaden mer representativ jämfört med den statistik som ligger till grund för dagens säkerhetsanalyser.

Tabell 6. Förväntad kostnad av olycksrisk i MSEK under kalkylperioden (60 år) beroende på tunnelns trafikarbete (tågkm per år) och risknivåns läge i förhållande till utvärderingskriterierna i TRVINFRA-00233. Notera att kostnadsuppskattningen enbart baseras på VSL samt materiella kostnader för dödsfall i ASEK.

Trafikverket (TRVINFRA 00233)				
N ⊂ [1, 1 000]	**10 000**	**50 000**	**100 000**	**1 000 000**
Övre kriteriet (modifierat, se fotnot[7])	0,47	2,4	4,7	47
ALARP	0,04	0,2	0,4	3,9
Acceptabel	0,003	0,02	0,03	0,3



Figur 10. Modifierade utvärderingskriterier för samhällsrisk i TRVINFRA-00233 i intervallet N ⊂ [1, 1 000]. Orange streckad linje visar gränsen mellan övre och nedre ALARP-område i f/N-diagrammet. Motsvarande PLL-tal för respektive kriterium erhålls genom att integrera funktionen som definierar kriterier över N ⊂ [1, 1 000]. Arean under respektive linje motsvarar således det maximala PLL-tal som f/N-kurva kan anta utan att överskrida kriteriet.

[7] Vid integrationen av det övre kriteriet i TRVINFRA-00233 har F(N≥1) satts till $1 \cdot 10^{-8}$ per tågkm istället $2{,}8 \cdot 10^{-6}$ per tågkm. Antagandet är att frekvensen för en eller fler omkomna per tågkm i tunnlar på den aktuella järnvägen inte kommer överstiga den för Ostlänkens typtunnel lång. I övrigt, d.v.s. för N ⊂ [2, 1 000], sker integrationen över det övre kriteriet som det är definierat i TRVINFRA-00233

Den förväntade kostnaden av olycksrisken över 60 år för en tunnel med ett årligt trafikarbete på 10 000 tågkm, vars risknivå vid F(N≥1) ansätts till 1·10–8 per tågkm och därefter antas tangerar det övre kriteriet, uppgår enbart till 0,47 MSEK. För en tunnel med ett årligt trafikarbete på 100 000 tågkm och motsvarande risknivå skulle den förväntade kostnaden av olycksrisken över 60 år uppgå till 4,7 MSEK. D.v.s. en riskreduktion på 10 % skulle efter 60 år enbart innebära en förväntad kostnadsbesparing på 0,47 MSEK med hänsyn till reducerad olycksrisk. Notera dock att värdet av riskreduktionen enbart baseras på VSL samt materiella kostnader för dödsfall. Eventuella merkostnader till följd av skador på infrastrukturen och trafikstörningar har inte kunnat inkluderas i de generaliserade beräkningarna. Baserat på resultaten i Tabell 9 kan följande, mer övergripande observation, göras gällande kostnadsnyttigheten av ytterligare riskreduktion inom det ALARP i TRVINFRA-00233:

- Reduktion av risker inom ALARP-området i TRVINFRA-00233 över N ⊂ [1, 1 000] är troligtvis aldrig lönsamt ur ett samhällsekonomiskt perspektiv givet nuvarande kalkylvärden i ASEK och riskneutralitet. Det centrala blir således hur skrivelsen i TRVINFRA-00233 avseende ”*orimligt stor kostnad i förhållande till riskreduktion*” ska tolkas.

Att vidare reduktion av risker inom nuvarande ALARP-område sannolikt inte kan anses vara motiverat ur ett samhällsekonomiskt perspektiv, är inte en ny upptäckt. På uppdrag av Trafikverket tog WSP år 2011 fram en rapport, *Personsäkerhet i järnvägstunnlar ur ett samhällsekonomiskt och planprocessmässigt perspektiv* [20], vilken kom fram till liknande slutsatser även om förfarandet skiljer sig något åt. I rapportens slutsatser anges bland annat:

> *Det råder samsyn hos MSB och Trafikverket om att investeringar i tunnelsäkerhet ska vara ekonomiskt försvarbara. Trots detta genomförs (nästan) aldrig kostnads-nyttoanalyser. Räkneexempel som har genomförts inom uppdraget visar dock att effekterna av en tillkommande säkerhetsinstallation behöver vara mycket stora för att kostnaderna ska kunna motiveras samhällsekonomiskt. Detta beror på att sannolikheten för en olycka redan är mycket låg. [20]*

4.3 Tunnlar på det planerade höghastighetsnätet

I detta avsnitt uppskattas hur stort det monetära värdet av riskreduktion inom ALARP-området blir per kilometer tunnel på den planerade höghastighetsjärnvägen utifrån befintliga (*TRVINFRA-00233*) samt föreslagna (*Säkerhetsmål i tunnlar)* värderingskriterier för samhällsrisk i järnvägstunnlar. Innan dess jämförs de båda utvärderingskriterierna med varandra för att se om och i så fall hur de skiljer sig åt.

Notera att de generella uppskattningarna av riskreduktionens monetära värde enbart baseras på VSL samt materiella kostnader kopplade till dödsfall. Merkostnader till följd av exempelvis materiella skador på infrastrukturen och trafikstörningar har inte kunnat inkluderas i de generaliserade beräkningarna.

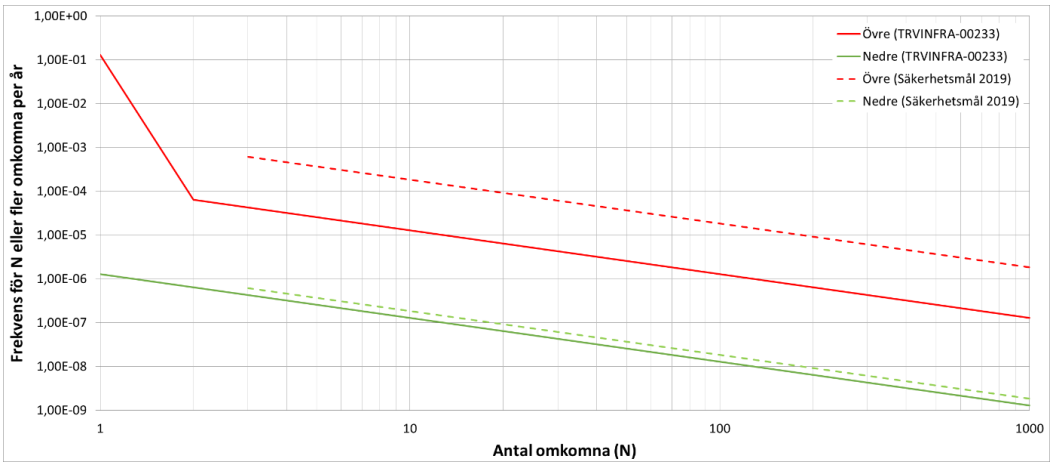
4.3.1 Jämförelse mellan utvärderingskriterier

Eftersom utvärderingskriterierna i Trafikverkets regelverk och *Säkerhetsmål i tunnlar* använder olika exponeringsmått går det inte att rakt av att jämföra kriterierna mot varandra. För att detta ska vara möjligt behöver först trafikarbetet för ett referenssystem uppskattas:

Trafikarbete på det planerade höghastighetsnät:

Det planerade höghastighetsnätet förväntas i snitt trafikeras av 144 tåg per dygn och km spår [21]. Persontrafiken antas bedrivas med Siemens ICE-3 tåg [21]. ICE-3 tåg har en kapacitet på 441 passagerare per tågset (8 passagerarvagnar). Under perioden med högtrafik kommer tågen troligtvis vara multipelkopplade och har då en kapacitet på 882 resenärer. Schablonmässigt antas personbelastningen i medeltal uppgå till 400 resenärer och antalet trafikdagar ansätts till 320 per år. Baserat på dessa ingångsvärden skulle varje km järnväg i snitt generera ett årligt trafikarbete på drygt 46 000 tågkm respektive 18,5 miljoner personkm.

Det uppskattade årliga trafikarbetet multipliceras med utvärderingskriterierna för samhällsrisk i TRVINFRA-00233 respektive Säkerhetsmål i tunnlar vilket möjliggör att kriterierna kan ritas upp i samma f/N-diagram, se **Fel! Hittar inte referenskälla.**.



Figur 11. Utvärderingskriterierna i TRVINFRA-00233 respektive Säkerhetsmål i tunnlar multiplicerade med det uppskattade årliga trafikarbetet för en km järnväg på det planerade höghastighetsnätet (46 000 tågkm/18,5 miljoner personkm).

Med ledning av beräkningsexemplet i **Fel! Hittar inte referenskälla.** görs följande observation:

- Kriterierna i *Säkerhetsmål i tunnlar* över N ⊂ [3, 1 000] innebär en högre tolerans för olyckor jämfört med kriterierna i TRVINFRA-00233.

För det studerade referenssystemet blir skillnaden mellan kriterierna att gränsen för oacceptabel risk förskjuts uppåt med drygt en tiopotens för olyckor med tre eller fler

omkomna. Detta medför att en samhällsrisknivå som betraktas som oacceptabel vid utvärdering mot kriterierna i TRVINFRA-00233 kan ligga högt inom ALARP-området vid utvärdering mot kriterierna i *Säkerhetsmål i tunnlar*. I det första fallet ska riskreducerande åtgärder införas i systemet oavsett kostnad. I det andra fallet ska riskreducerande åtgärder införas om de kan bedömas som kostandsnyttiga.

4.3.2 Värdet av riskreduktion per km tunnel

I detta avsnitt studeras vad effekterna skulle bli om de nuvarande (TRVINFRA-00233) eller föreslagna (*Säkerhetsmål i tunnlar*) kravformuleringarna avseende utvärdering av säkerhetshöjande åtgärder, utan vidare omarbetning eller preciseringar, appliceras i TSK NS. Vidare genomförs två känslighetsanalyser där tidigare antaganden gällande riskneutralitet och kalkylränta förändras.

I Tabell 7 redovisas den förväntade kostnaden av olycksrisken över 60 år per kilometer tunnel på det planerade höghastighetsnätet, beroende på risknivåns läge i förhållande till respektive utvärderingskriterium redovisas, givet nuvarande kalkylvärdena i ASEK samt riskneutralitet.

Tabell 7. Förväntad kostnad av olycksrisk i MSEK under kalkylperioden (60 år) per km tunnel beroende på risknivåns läge i förhållande till kriterierna vid ett årligt trafikarbete på 46 000 tågkm/18,5 miljoner personkm. Kalkylvärden enligt Tabell 3 samt att riskneutralitet antas råda.

Risknivåns läge	TRVINFRA-00233 N ⊂ [1, 1 000]	Säkerhetsmål i tunnlar, N ⊂ [3, 1 000]
Övre kriteriet (modifierat för TRVINFRA-00233, se fotnot[7])	2,2	18,5
ALARP	0,18	1,2
Acceptabel	0,02	0,02

Resultaten i Tabell 7 avseende kriterierna i TRVINFRA-00233 indikerar, i enlighet med tidigare observationer i avsnitt 4.2, följande:

- Det monetära värdet per kilometer tunnel av ytterligare riskreduktion inom ALARP-området i relativt mått är mycket lågt när beräkningarna utgår från kalkylvärdena i ASEK och riskneutralitet.
- Vid tillämpningen av kraven kommer därmed analyserna rimligtvis genomgående indikera att kostnaden för att införa åtgärder, är betydligt större än det monetära värdet av uppnådd riskreduktion för risker inom ALARP.

För att studera hur värdet av ytterligare riskreduktion inom ALARP-området påverkas vid förändrade ingångsvärden har ett antal känslighetsanalyser genomförts, se Tabell 8.

Först studeras hur nuvärdet av riskreduktionen påverkas om ingen kalkylränta används för att diskontera värdet av framtida riskreduktion. Vidare genomförs en känslighetsanalys där en aversionsfaktor appliceras för att vikta PLL-talet för olyckor med stora konsekvenser. Därefter genomförs en beräkning där båda dessa antaganden kombineras.

Tabell 8. Genomförda känslighetsanalyser avseende förväntad kostnad av olycksrisk i MSEK under kalkylperioden (60 år) per km tunnel beroende på risknivåns läge i förhållande till kriterierna i TRVINFRA-00233 vid ett årligt trafikarbete på 46 000 tågkm.

TRVINFRA-00233 – Känslighetsanalyser			
Risknivåns läge	**Ingen diskontering**	**Aversionsfaktor**	**Ingen diskontering + aversionsfaktor**
Övre kriteriet (modifierat, se fotnot[7])	3,8	8,9	15,5
ALARP	0,31	1,43	2,5
Acceptabel	0,03	0,08	0,14

Genom att inte använda diskonteringsränta (3,5 % i ASEK) skulle nuvärdet av riskreduktionen över 60 år per kilometer tunnel öka med en faktor 1,7. Den förväntade kostnaden av olycksrisken i Tabell 7 för det modifierade övre kriteriet i TRVINFRA-00233 skulle då öka från drygt 2,2 MSEK till cirka 3,8 MSEK per km tunnel. Det bedöms dock fortsatt osannolikt att denna om denna ökning är tillräckligt stor för att påverka utfallet av analyser:

<u>Värdet av riskreduktion per km tunnel – Ingen diskontering:</u>

Förtätningen mellan utrymningsvägarna i Botniabanans tunnlar från 600 meter till 300 meter uppskattades som tidigare nämnts medföra en minskning av PLL-talet på 10 % [12]. Anta att risknivån för en tunnel på det planerade höghastighetsnätet tangerar det modifierade övre kriteriet i TRVINFRA-00233 och att motsvarande riskreduktion, d.v.s. att PLL-talet minskar med 10 %, erhålls om avståndet mellan utrymningsvägarna i tunneln minskas. Värdet av riskreduktionen över 60 år skulle då endast uppgå till 0,22 MSEK med diskontering och 0,38 MSEK utan diskontering per km tunnel.

Exemplet ovan indikerar att slopandet av diskonteringsränta i de flesta fall troligtvis inte kommer att en betydande påverka utfallet av analyserna:

- Det monetära värdet per kilometer tunnel av ytterligare riskreduktion inom ALARP-området är i relativt mått fortfarande är mycket lågt även när ingen diskontering genomförs.

Nedan studeras i vilken omfattning inkluderingen av aversionfaktorer kan förväntas påverka nuvärdet av en reducerad olycksrisk:

<u>Värdet av riskreduktion per km tunnel – Inklusive aversionfaktor:</u>

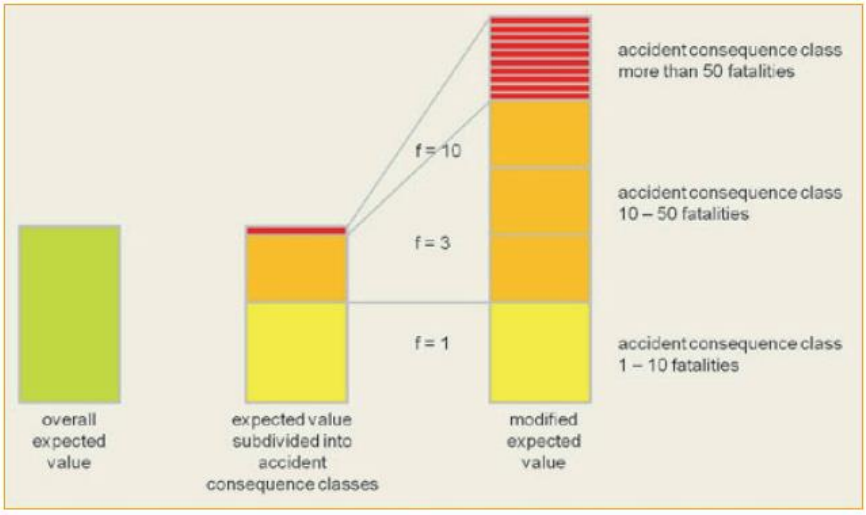
Den förväntade kostnaden av olycksrisken i Tabell 7 för det modifierade övre kriteriet i TRVINFRA-00233 skulle uppgå till 8,2 MSEK om beräkningarna utförs med aversionsfaktorerna enligt Figur 12. Värdet av en årlig risk-reduktion på 10 % skulle då uppgå till cirka 0,89 MSEK per km tunnel.

Notera dock att värdet av en riskreduktion på 10 %, när aversionsfaktorer inkluderas, blir större om reduktionen främst rör olyckor med stora konse-kvenser (N≥50) då dessa värderas högre. Det angivna värdet på 0,89 MSEK avser en symmetrisk minskning av risknivå över intervallet N ⊂ [1, 1 000].

Exemplet ovan indikerar att inkludera aversionfaktorer kan medföra att nuvärdet av riskreduktionen ökar signifikant i förhållande till grundberäkningen i Tabell 7. Effekten blir särskilt påtaglig för säkerhetshöjande åtgärder som primärt minskar risken för olyckor med ett stort antal omkomna.

Om beräkningarna utförs med aversionsfaktorer och utan diskonteringsränta skulle värdet av en riskreduktion på 10 %, d.v.s. en minskning av PLL-talet på 10 %, kunna uppgå till drygt 1,55 MSEK per km tunnel över 60 år.

Inkluderingen av aversionsfaktorer samt slopandet av kalkylränta medför att nu-värdet av riskreduktionen ökar. Det bedöms dock fortfarande vara tveksamt om nuvärdet av riskreduktionen överstiger investerings- och driftkostnaderna för flertalet av de tänkbara åtgärderna, t.ex. ett minskat avstånd mellan utrymnings-vägarna. Det centrala blir således fortsatt vad som utgör en ”orimligt stor kostnad i förhållande till riskreduktion” i sammanhanget. Kraven i *Säkerhetsmål i tunnlar* är tydligare då den anger att åtgärder ska tillföras för risker inom ALARP-området om de kan bedömas ”kostnadsnyttiga” [11]. Se exempel i Figur 12.



Figur 12. Exempel på hur aversion mot olyckor med stora konsekvenser skulle kunna modelleras. Angreppsättet innebär bl.a. att förväntad konsekvens (PLL-talet) för olyckor med mer än 50 omkomna multipliceras med en faktor 10 [22].

Som tidigare nämndes utökar även kriterierna i *Säkerhetsmål i tunnlar* spannet inom vilket kostnads-nyttometodiken kan appliceras. Resultaten i Tabell 7 indikerar att kostnaden av olycksrisken över 60 år om risknivån tangerar det övre kriteriet i *Säkerhetsmål i tunnlar* över N ⊂ [3, 1 000] skulle uppgå till drygt 18,5 MSEK per km tunnel på den planerade höghastighetsjärnvägen.

En minskning av PLL-talet på 10 % skulle i detta fall vara värt 1,85 MSEK över 60 år per km tunnel när analyserna utgår från kalkylvärdena i ASEK och riskneutralitet. Motsvarande riskreduktion skulle vara värd 3,2 MSEK per km tunnel över 60 år om ingen diskontering genomförs, se Tabell 9. Om beräkningarna utförs med aversions-faktorer ökar värdet av riskreduktionen till drygt 11,5 MSEK per km tunnel över 60 år. Om beräkningarna utförs med aversionsfaktorer och utan diskonteringsränta skulle värdet av en riskreduktion på 10 %, d.v.s. en minskning av PLL-talet på 10 %, kunna uppgå till drygt 20 MSEK per km tunnel över 60 år.

Tabell 9. Genomförda känslighetsanalyser avseende förväntad kostnad av olycksrisk i MSEK under kalkylperioden (60 år) per km tunnel beroende på risknivåns läge i förhållande till kriterierna i Säkerhetsmål i tunnlar vid ett årligt trafik-arbete på 18,5 miljoner personkm.

Säkerhetsmål i tunnlar – Känslighetsanalyser			
Risknivåns läge	**Ingen diskontering**	**Aversionfaktor**	**Ingen diskontering + aversionsfaktor**
Övre kriteriet	32	115	200
ALARP	2	6	10
Acceptabel	0,03	0,12	0,2

För båda de studerade utvärderingskriterierna bedöms det vara oskäligt att utvärdera ytterligare säkerhetshöjande åtgärder genom kostnads-nyttometodik om risknivån för tunneln ligger lågt inom den nedre halvan av respektive ALARP-område. Detta då både grundberäkningen och känslighetsanalyserna indikerar att värdet av ytterligare riskreduktion inom detta intervall, när beräkningarna utgår ifrån kalkylvärdena i ASEK, i båda fallen är mycket lågt. Kostnaden för att införa säkerhetshöjande åtgärder kommer inom denna del av respektive ALARP-område sannolikt vara mer än 10 gånger större än nuvärdet av riskreduktionen.

5 Diskussion och slutsatser

5.1 Studerad praxis

Olikheterna mellan de exempel som studerats i avsnitt 3.1 klargör att det inte finns något föreskrivet, entydigt och gemensamt angreppssätt vad gäller värdering av kostnader och nytta avseende säkerhetshöjande åtgärder i järnvägstunnlar. De har dock flera gemensamma drag också, säkerligen kopplat till att det tidigare har funnits krav på hur sådana utredningar ska göras. Följande angavs till exempel i TDOK 2016:0231 Krav tunnelbyggande:

> *För kostnads- och nyttobedömningar ska "Beräkningsmetodik för samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn, ASEK 5.2" och nyttokostnadskvoten NK >0 tillämpas.*

Att värdera nyttan av ökad säkerhet i monetära termer, vanligen kopplat till ASEK och VSL, är också i linje med huvudinriktningen i de kostnads-nyttoanalyser som har studerats. Transformationen av den egentliga frågeställningen om ökad säkerhet till en fråga om samhällsekonomisk lönsamhet är dock inte helt utan problem. Bland annat följande kan framhållas:

- Det kan vara tveksamt att hävda att ökad säkerhet kan mätas i pengar samtidigt som det finns en allmänt utbredd uppfattning om att människoliv är oersättliga.
- Det kan vara principiellt tveksamt att mäta en storhet och hävda att resultatet också är giltigt för en annan utan att samtidigt också lägga fram en detaljerad redogörelse av hur de mellanliggande sambanden är beskaffade.
- Det kan vara tveksamt från rättvisesynpunkt om den i ASEK föreskrivna kalkylräntan ska användas i beräkningarna. Detta innebär att säkerhetsvinster som ligger långt fram i tiden ges lägre vikt än säkerhetsvinster som ligger närmare i tiden, d.v.s. framtida generationers säkerhet tillmäts mindre betydelse än den säkerhet som rör dagens generation.

I flera av de analyser som har studerats har osäkerheternas betydelse undersökts i form av känslighetsanalys. I vissa fall har deras resultatpåverkan beaktats i rekommendationerna, i vissa fall inte. Det finns också en tendens att skjuta på uppkomna frågor eller oklarheter till framtiden och "kommande analyser". Inte sällan rör detta organisation och bemanning i driftskedet.

I de analyser som har studerats har också kostnaderna för att implementera åtgärder behandlats på lite olika sätt. I de flesta fall har kostnaden för grundinvesteringen tagits med, medan det är mer ovanligt att underhållskostnader också beaktas. Detta innebär att det inte ges en heltäckande bild av de kostnader en åtgärd är förenad med. Med tanke på att det även krävs underhåll för att en åtgärd ska kunna garanteras fungera den dag den behövs är detta problematiskt. Det skapar öppningar för

suboptimala beslut. Detta beror dock inte på kostnads-nyttometodiken i sig utan är snarare en brist vid tillämpningen av metoden.

5.2 Trafikverkets kriterium

Trafikverkets grundkrav för personsäkerhet i järnvägstunnlar har inte alltid sett ut så som det som läggs fram i nuvarande regelverk, d.v.s. i form av ett f/N-diagram med att väl avgränsat ALARP-område i mitten och tydliga graderingar av frekvens- som konsekvensaxlarna. Ursprungligen utgjordes kravet istället av en grovt graderad riskmatris och där till exempel frekvenserna skiljde på händelser med en noggrannhet av cirka en 10-potens och konsekvenserna i termer av ”Enstaka döda”, Flera döda” och ”Många döda”.

Sedan dess (1997) har det ursprungliga kravet setts över vid några tillfällen, i början genom att det gjordes en tolkning vilket antal personer som ”enstaka”, ”flera” och ”många” stod för. Flera år senare preciserades detta ytterligare, såväl i frekvensled som i konsekvensled, varvid resultatet så småningom blev det f/N-diagram som finns idag. Det är dock oklart om tanken bakom det ursprungliga kravet fortfarande är giltigt för det krav som gäller idag, d.v.s. att järnvägstrafik per km i tunnlar ska vara lika säker som järnvägstrafik per km på markspår, exklusive plankorsningar? Är ansatsen om att ca 1 % av trafikarbetet sker i tunnlar fortfarande giltig?

Det kan också framhållas att det i den ursprungliga tunnelsäkerhetshandboken avseende värdering av kostnader och nytta angavs att kostnader borde värderas i kalkyl och säkerhetshöjande effekter i matris. Det kan samtidigt konstateras att detta synsätt inte har fått fäste i den praxis som påträffats. Det kan också påpekas att ett eventuellt närmande till Transportstyrelsens föreslagna kriterium, bör föregås av en undersökning av vilka konsekvenser detta kan få för Trafikverkets fortsatta säkerhetsarbete. Detta beror på att Transportstyrelsens förslag tillåter risker som inte tillåts om Trafikverkets kriterium tillämpas. Det är också oklart vad bytet av exponeringsvariabel på frekvensaxeln betyder.

5.3 Ett samhällsperspektiv på kostnader och nytta

Det framstår som tydligt att det kan läggas ett samhällsperspektiv på frågan om kostnader och nytta av säkerhetshöjande åtgärder i järnvägstunnlar. Detta styrks även av de konstateranden som låg till grund för formulering av det allra första ALARP-områdets placering.

Dåtidens säkerhetsarbete sammanfattades i termer av tre nivåer av icke-acceptabla olycksfrekvenser, belägna på tre olika nivåer av olyckskonsekvenser, en ”gräns” som klargjorde vid vilka kombinationer av frekvenser och konsekvenser som det uppfattades kostnadseffektivt att implementera säkerhetshöjande åtgärder.

Det föreskrevs också att, även om ALARP-kriteriet kunde styrkas vara uppfyllt, skulle ytterligare säkerhetsåtgärder utvärderas genom kostnads-effektanalys. Detta för att säkerställa en långsiktig säkerhetsutveckling utan att konkurrenskraften urholkades, t.ex. i jämförelse med den mer olycksdrabbade vägtrafiken. Som masstransportmedel har dock järnvägen en större inbyggd potential för stora olyckor jämfört med vägtrafiken. Detta indikerar att det förebyggande arbetet bör ges stor vikt och att olycksförlopp helst inte bör tillåtas ta sin början.

Den ”gräns” som ett empiriskt baserat ALARP-område utgör, exempelvis som det ursprungliga ALARP-området enligt ovan, ger också en indikation på hur ofta en räddningstjänst kan behöva rycka ut till följd av olyckor. ALARP-områdets placering i ett tänkt f/N-diagram kan därför uppfattas som ett styrinstrument för hur samhället fördelar sina resurser mellan förebyggande och skadebegränsande åtgärder, om än ett grovt sådant.

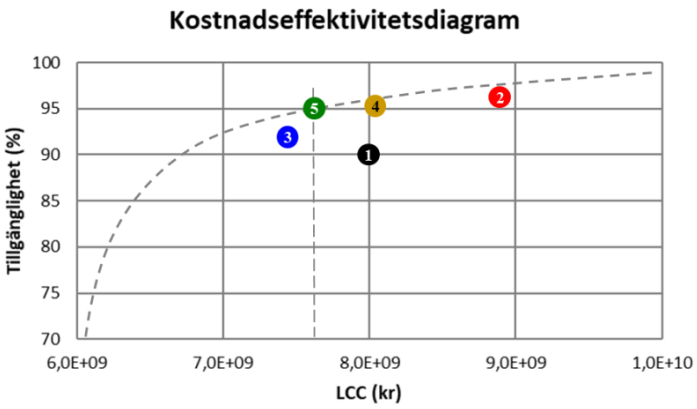
Åsikterna om vad som kunde tänkas utgöra en skälig säkerhetsnivå i järnvägstunnlar var under många år efter 1997 en omdebatterad fråga mellan dåvarande Banverket, de lokala räddningstjänsterna och dåvarande Räddningsverket (nuvarande MSB). Räddningstjänsterna hade t.ex. under många år mandat att påverka valet av åtgärder när nya tunnlar uppfördes. Enligt Banverket innebar detta dock att de försågs med åtgärder som inte alltid var skäliga från ett kostnadsperspektiv. Det har dock inte påträffats några utredningar av detta. Det kan t.ex. inte uteslutas att byggprojektledningar har godtagit räddningstjänsternas krav på åtgärder för att säkerställa att bygglovet beviljades, och därmed att projektets framdrift kunde säkerställas. Maktbalansen förändrades dock under åren 2007 – 2010 när TSD *Säkerhet i järnvägstunnlar* införlivades i svensk lag och *Plan- och Bygglagen* förändrades. Planprocessen är dock fortsatt en kommunal angelägenhet, vilket medför samråd med bland annat räddningstjänsten vid tunnelprojekt.

5.4 Alternativa angreppssätt

Det finns alternativa beslutsverktyg som inte förutsätter att nyttoeffekter värderas i monetära termer, exempelvis kostnads-effektanalys och multikriterieanalys. Ett möjligt alternativ till dagens praxis skulle kunna vara att tillämpa en kostnads-effektmetodik, liknande den som nyttjas för att ta fram kravställningar avseende driftsäkerhet och livscykelkostnader (LCC) för tidigare planerade Nya stambanor [9]. När säkerhetseffekterna inte kvantifieras i en monetär enhet undviks många av de eventuella etiska betänkenheterna som finns kring att värdera säkerhet i pengar.

Den metod som används för att utvärdera driftsäkerhet och LCC innebär att transportnytta utryckt i termer av tillgänglighet mäts som funktion av investerings-, drifts- och underhållskostnad under hela livscykeln. Att på detta sätt utöka perspektivet till livscykeln innebär till exempel att det förebyggs att investeringsmässigt fördelaktiga alternativ väljs utan att det beaktas att de kan driva underhållskostnader.

I Figur 13 illustreras ett hypotetiskt scenario där fem olika utformningsalternativ analyseras med avseende på tillgänglighet i relation till LCC. Notera att alternativ som inte uppfyller detta målvärde/effektmål, i detta fall 95 %, kan förkastas. Även om själva utvärderingen av alternativ kanske mera undantagsvis görs i ett så kallat kostnads-effektivitetsdiagram är detta ändå ett ändamålsenligt sätt att illustrera förhållningssättet till diagramytans båda huvudfrågor.

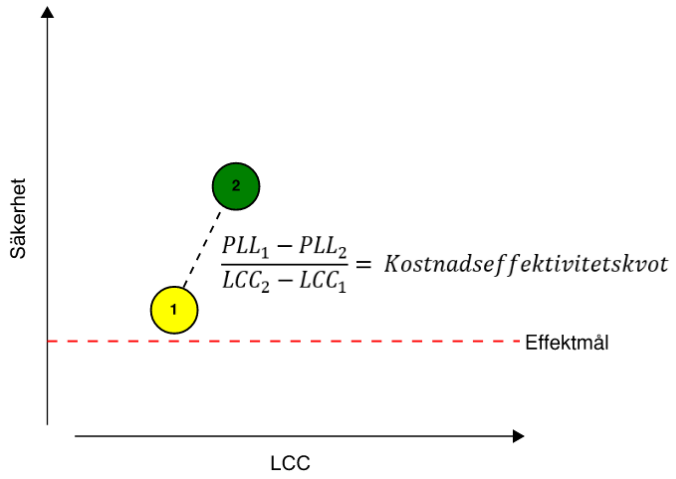


Figur 13. Hypotetiskt scenario med olika alternativ som värderas utifrån tillgänglighet och LCC.

Om denna metodik skulle appliceras för att avgöra om ytterligare riskreducerande åtgärder ska vidtas för att höja säkerheten i en tunnel skulle måttet tillgänglighet behöva ersättas med ett riskmått, exempelvis PLL-tal. Ett effektmål för personsäkerhet skulle exempelvis kunna anges som ett maximalt förväntat antal omkomna per tågkm som kan accepteras i anläggningen. En fördel med en värdering av kostnadseffektivitet på detta sätt är att större fokus hamnar på sambandet mellan kostnad och säkerhet snarare än en kostnads-nyttokvot eller nettonuvärde.

En nackdel med att värdera nyttan i PLL-tal (och inte i monetära termer) är att sammanvägningen av andra potentiella nyttoeffekter som åtgärden och/eller systemutformningen kan tänkas medföra, exempelvis ökad tillgänglighet, blir mer komplicerad.

En begränsning med kostnads-effektmetodiken i sig är att optimeringen enbart görs mot det på förhand fastställda effektmålet. Den mest kostnadseffektiva systemutformningen blir i denna kontext således den som uppfyller effektmålet till lägst LCC. Eventuella andra systemutformningar som medför en lägre risknivå till en marginell ökning av LCC faller därmed bort. D.v.s. vid en renodlad kostnads-effektanalys avseende personsäkerhet kommer effektmålet ange nivån för ”tillräcklig/skälig” säkerhet och förbättringar bortom det givna effektmålet tillskrivs inget mervärde.



Figur 14. Hypotetiskt scenario med två alternativa systemutformningar som värderas utifrån säkerhet och LCC.

I Figur 14 redovisas ett hypotetiskt kostnads-effektdiagram för personsäkerhet där två olika systemutformningar har utvärderats. I detta exempel uppfyller båda systemutformningar effektmålet och intention är nu att utröna vilket alternativ som är mest fördelaktigt. Vid en renodlad kostnads-effektanalys ska systemutformningen som motsvaras av gul markör väljas då detta alternativ uppfyller effektmålet till lägst LCC. Systemutformningen som representeras med den gröna markören förefaller dock medföra en betydligt högre säkerhetsnivå till enbart en mindre ökning av LCC. Borde inte detta alternativt kunna vara mer fördelaktigt trots kostnadsökningen?

Ett tänkbart förfarande skulle vara att ställa upp och beräkna en kostnads-effektivitetskvot mellan de två alternativen. D.v.s. en kvot som beskriver vunnen säkerhet i relation till ökad LCC och därefter definiera vad som utgör en acceptabel kostnadsökning i förhållande till erhållen riskreduktion. Rent principiellt uttrycks nyttan fortfarande i termer av vunnen säkerhet och inte pengar. Detta är dock endast skenbart. Att definiera en acceptabel kvot för kostnadsökningen i förhållande till erhållen riskreduktion innebär indirekt att värdet av liv uttrycks i monetära termer. Kontentan är att de moraliska betänkligheter kring värdering av säkerhet i monetära termer som diskuteras i avsnitt 5.1 endast kan undvikas vid renodlad kostnads-effektanalys. Begränsningen med metodiken blir då som tidigare nämnts att optimeringen görs mot ett givet effektmål som ska uppnås till så låg LCC som möjligt. Att formulera ett entydigt och väl underbyggt effektmål för personsäkerhet kommer i sin tur bli en utmanande, men inte omöjlig, uppgift.

5.5 Osäkerheter

Frånsett att det beräkningsmässiga arbetet vid kvantitativ riskbedömning ofta innehåller många beräkningsrelaterade utmaningar, finns det även en annan sorts utmaning inbäddad i metoden. I detta fall avser det att de till synes exakta siffrorna i

riskanalysen kan antyda att resultaten är exakta, trots att de inte kan vara mer precisa än de data som ligger till grund för analysen. Indata, antaganden och modeller är alltid behäftade med osäkerheter, och de kommer med automatik att fortplanta sig genom beräkningarna och färga slutresultatet, utan att detta nödvändigtvis tydligt framgår. Det matematiska svaret kan således förefalla vara väldigt exakt, och uttryckas med många decimaler, trots att en sådan noggrannhet är orimlig för de fysikaliska fenomen som siffrorna ger uttryck för. Det är upp till utredaren att förstå vilka dessa osäkerheter är och avgöra vad de säger respektive inte säger om det som analyseras. Osäkerheternas storlek och möjliga resultatpåverkan behöver därför bestämmas och hanteras. Därefter kan de ligga till grund för att peka ut säkerhetshöjande åtgärder, exempelvis i samband med värdering av kostnader och nytta. Det finns flera dimensioner av detta problem eftersom:

- Det finns ett kriterium, för vad som ur risksynpunkt är godtagbart och inte, som bygger på begränsade statiska uppgifter från en begränsad tidsperiod. Acceptanskriteriet i TRVINFRA-00233 som sådant är således belagt med osäkerheter.
- De indata som ligger till grund för enskilda riskbedömningar bygger på begränsade statiska uppgifter från en begränsad tidsperiod. Dessa data är behäftade med osäkerheter

Sammantaget kan det hävdas att detta innebär att ett osäkert analysresultat jämförs med ett osäkert kriterium vars nuvarande innebörd är oklar. Utifrån detta resonemang kan värdet av att analysera kostnader och nyttor på detaljnivå i enskilda projekt ifrågasättas.

Det finns metodstöd för att värdera osäkerheters storlek. Det finns också praxis vad gäller hur de kan hanteras varav tillämpning av tumregeln ”ta höjd för osäkerheterna” kan vara tillräckligt. Vidare är känslighetsanalyser ett beprövat sätt att uppskatta hur parametervariation kan påverka ett slutresultat samtidigt som kunskap om vilka paramaterar som kan vara lämpliga att studera erhålls från analysarbetet. Samtidigt är det inte säkert att detta synliggör modellosäkerheterna fullt ut, även om det ger vägledning om hur slutresultaten kan eller bör tolkas. Känslighetsanalyser kan för detta ändamål vara lämpliga att strukturera utifrån osäkerhetens härkomst, d.v.s. (i) osäkerheter i indata, (ii) osäkerheter i analysmetodik och/eller modeller samt (iii) osäkerheter som rör tolkning av resultaten.

Hur stor kan då osäkerheten i tekniska riskanalyser av komplexa system förväntas vara? Enligt *Värdering risk* kan även en väl genomförd analys ofta anses ha en osäkerhet på en faktor 10 upp eller ner [23]. Detta stöds även av andra studier [24]. Om nu resultatet av tekniska riskanalyser är så osäkert, varför läggs det då så mycket tid och resurser på att ta fram dem? Riskanalysen existensberättigande grundar sig dels på den systematik och transparens som metodiken kan tillföra till beslutsprocessen:

”Användningen av riskanalysmetoder (...) innebär att befintlig kunskap insamlas/struktureras/sammanställs på ett systematiskt sätt och att kunskapsluckor kan identifieras. Detta medför in sin tur att analysens förutsättningar kan prövas/ifrågasättas/korrigeras av oberoende analytiker/forskare/experter och att angelägna forskningsområden kan formuleras. Systematiskt genomförda och väl dokumenterade riskanalyser bäddar således för kunskapstillväxt” [25]

Metodikens fördelar ligger således mer i själva ramverket än i analysernas förmåga, eller snarare oförmåga, att göra precisa beskrivningar och modelleringar av en komplex verklighet.

5.6 Slutsatser

Följande huvudsakliga slutsatser med koppling till värdering av kostnader och nyttor kan dras med ledning av den utförda utredningen:

- Praxis att värdera nyttan av ökad säkerhet genom att omsätta människoliv i monetära termer baserat på betalningsvilja för riskreduktion har både fördelar och nackdelar. Det möjliggör värdering av samhällsekonomisk rimlighet av ytterligare riskreduktion. Samtidigt kan det öppna för diskontering av människoliv, d.v.s. kommande generationer kan komma att förfördelas.

- Det är inte ovanligt att de kostnader som tas med vid värdering av kostnader och nytta i byggprojekt endast omfattar investeringskostnaden, d.v.s. det görs ingen värdering av LCC. Detta gör att det finns onödiga öppningar för suboptimala beslut.

- Utförda beräkningar indikerar att det utifrån nuvarande kalkylvärden (ASEK) inte är samhällsekonomiskt lönsamt med ytterligare reduktion av risker inom ALARP (TRVINFRA-00233). Denna observation tyder på att nuvarande riskkriterier kan vara för lågt satta alternativt att ALARP-området i sin nuvarande form bör avskaffas.

- Kravformuleringen i TRVINFRA-00233 behöver förtydligas. Det framgår bland annat inte vad som utgör en ”orimligt stor kostnad i förhållande till riskreduktion” eller vad som inte ska anses vara ”praktiskt genomförbart”.

- En tänkbar alternativ metod till dagens angreppssätt är kostnads-effektanalys. En nackdel är dock att sammanvägningen av olika nyttoeffekter blir mer komplicerad. En annan begränsning är att optimeringen enbart görs mot ett på förhand fastställt effektmål. Den mest kostnadseffektiva systemutformningen blir således den som uppfyller effektmålet till lägst LCC. Eventuella andra systemutformningar som medför en lägre risknivå till en marginell ökning av LCC faller därmed bort.

I flera av de utvärderingar av kostnader och nytta som studerats har även osäkerheternas betydelse studerats i form av känslighetsanalys. I vissa fall har känslighetens resultatpåverkan beaktats i rekommendationerna, i vissa fall inte. Detta kan tyda på

att det finns behov av förtydliganden kopplat om och när hänsyn ska tas till utfallet av analysen. Ett alternativt sätt att hantera osäkerheter, utöver att ta allmän ”höjd” för dem, kan vara att väga samman flera olika värderingar till en samlad bedömning, t.ex. kvantitativ riskbedömning i f/N-diagram, determinism och ingenjörsmässiga bedömningar.

Det är oklart om dagens ALARP-område kan anses motsvara intentionerna bakom det ursprungligt upprättade ALARP-området, d.v.s. att järnvägstrafik per km i tunnlar ska vara lika säker som järnvägstrafik per km på markspår, exklusive plankorsningar. Det är också oklart om den ursprungliga ansatsen om att ca 1 % av trafikarbetet sker i tunnlar fortfarande är giltig.

Om Trafikverket överväger ett närmande till Transportstyrelsens föreslagna kriterium bör det noteras att det är oklart vad detta betyder med tanke på att kriteriet medför en höjning av gräsen för oacceptabel risk relativt Trafikverket nuvarande kriterium. Vidare är det osäkert vilka effekter bytet av exponeringsvariabel på frekvensaxeln innebär jämfört med vad som tillämpas idag.

6 Förslag på kravförbättringar

6.1 Vad utgör en ”orimligt stor kostnad”?

Dagens krav *”För risker som ligger inom "ALARP" ska ytterligare säkerhetshöjande åtgärder övervägas om de är praktiskt genomförbara och inte har orimligt stor kostnad i förhållande till riskreduktion.”* väcker frågan om som är ”orimligt”. Det konstateras även i kapitel 4 att detta är centralt då det är osannolikt att ytterligare åtgärder är ”kostnadsnyttiga” (NNV>0) med dagens ALARP-område.

Begreppet ”orimligt stor kostnad” relaterar till engelskan ”disproportionate cost” - disproportionerlig kostnad. Begreppet förekommer exempelvis i artikel 4.4 och 4.5 i EU:s vattendirektiv (2000/60/EC). I kommissionens vägledning gällande implementeringen av direktivet ges bland annat följande riktlinjer för hur disproportionerlig kostnad bör tolkas vid värdering av åtgärder för skydd av vattenresurser [26]:

- Disproportionalitet borde inte uppstå vid den brytpunkt då de beräknande kostnaderna enbart överstiger de kvantifierbara nyttorna.
- Värderingen av kostnader och nyttor behöver inkludera både kvalitativa och kvantifierbara kostnader och nyttor.
- Marginalen med vilken kostnaderna överstiger nyttorna bör vara uppskattningsbar och ha en hög konfidensgrad.

I andra länder utanför unionen förekommer även mer detaljerade riktlinjer som stöd i frågan om vad som utgör en disproportionerlig kostnad i säkerhetssammanhang. I bland annat Storbritannien och Australien används så kallade disproportionalitetsfaktorer (DF) i C/B-analyser inom säkerhetsområdet. Riktlinjen anger att kostnaden är orimligt stor i förhållande till nyttan om:

$$\frac{C_i}{B_i} > 1 * DF$$

C_i = Total nyttoeffekt (värderat i pengar) av att införa åtgärd.
B_i = Sammanlagda kostnader för att införa åtgärd ”i”.

Hur stor disproportionalitetsfaktorn ska vara finns det olika tumregler för. Faktorn har oftast ett värde mellan 1 och 10 och beror bland annat på hur allvarliga konsekvenser risken kan få, hur stor komplexitet och osäkerhet som är kopplad till risken eller om de exponerade har ”valt risken” eller ej. De tumregler som tillämpas i Storbritannien av bland andra Health and Safety Executive (HSE) är:

DF = 2 för små risker för samhällsinvånare
DF = 3 för arbetsrelaterade risker
DF = 10 för allvarliga risker

I Australien ska DF tillämpas enligt Rail Safety National Law. I *Safety related cost benefit analysis* [27] beskrivs hur DF ska ansättas med avseende på olika faktorer:

DF = 3 för risker med enstaka exponerade personer
DF = 6 för komplexa, katastrofala risker
DF = 10 för komplexa, katastrofala risker präglade av stora osäkerheter

Tillämpning av disproportionalitetsfaktorer kan innebära att utfallet av en analys ändras markant. Genom att exempelvis tillämpa faktorn 10 för komplexa risker med potentiellt katastrofala konsekvenser, skulle införandet av en åtgärd för att reducera risken kunna anses skälig, även om kostnaden är upp till 10 gånger större än värdet av riskreduktionen. Huruvida tillämpning av disproportionalitetsfaktorer skulle vara rimligt vid utvärdering av skälig av säkerhetsnivå i svenska järnvägstunnlar lämnas osagt. Det förefaller dock rimligt att åtgärder som syftar till att reducera risker inom ALARP inte behöver vara strikt ”kostnadsnyttiga” för att kunna vidtas, d.v.s. åtgärder med NNV<0 kr bör kunna accepteras.

6.2 Tillämpning

Målet med utredningen har varit att föreslå kravförbättringar till befintliga krav i TRVINFRA-00233. Detta avser följande:

- För risker som ligger inom "ALARP" ska ytterligare säkerhetshöjande åtgärder övervägas om de är praktiskt genomförbara och inte har orimligt stor kostnad i förhållande till riskreduktion. (K122329)
- För risker som ligger inom "Låg risk" ska ytterligare säkerhetshöjande åtgärder övervägas om de kan visas vara kostnadsnyttiga. (K122330)

Krav K122329 anger att ytterligare säkerhetshöjande åtgärder ska utvärderas om systemutformningen medför en samhällsrisknivå inom det definierade ALARP-området. Principen i sig bedöms vara rimlig, risker inom ALARP är sådana att vi på förhand inte direkt kan säga att de är acceptabelt låga, vart denna gränsdragning ska gå är såklart fortfarande föremål för diskussion. Det potentiella problemet med kravet bedöms utifrån beräkningarna i kapitel 4 främst vara kopplat till själva gränsdragningen snarare än den princip som kravet ger uttryckt för.

Värdet av vidare reduktion av risker inom nuvarande ALARP-område förefaller vara så pass lågt att införandet av ytterligare åtgärder sannolikt inte är motiverat ur ett samhällsekonomiskt perspektiv. I nuläget har vi således ett krav som föreskriver att ytterligare säkerhetshöjande åtgärder ska utvärderas. Samtidigt har vi på förhand goda anledningar att tro att metodiken som i nuläget nyttjas för att studera rimligheten i detta, d.v.s. kostnads-nyttoanalys utifrån kalkylvärdena ASEK, genomgående kommer att indikera på att införandet av dessa åtgärder sannolikt inte är skäligt ur ett samhällsekonomiskt perspektiv.

Detta kan tolkas som att nuvarande kriterier är för lågt satta och att en höjning av gränsen för oacceptabel nivå därmed skulle vara befogad. En alternativ tolkning är att nuvarande övre acceptanskriterium i TRVINFRA-00233 är rimligt, men att krav på ytterligare riskreduktion bör tillämpas mer selektivt än vad som är fallet i nuläget. Förutsatt att nuvarande övre acceptanskriterium i TRVINFRA-00233 lämnas oförändrat bedöms genomförandet av kostnads-nyttoanalyser för utvärdering av säkerhetshöjande åtgärder i de enskilda byggprojekten endast vara meningsfullt under följande förutsättningar:

- Den beräknade samhällsrisknivån ligger högt inom ALARP-området, nära gränsen till oacceptabel nivå, samt att,
- anläggningen producerar ett stort årligt trafikarbete (överstiger 100 000 tågkm per år)

I övriga fall bedöms värdet av att genomföra kostnads-nyttoanalyser inte stå i proportion med de ökade utredningskostnader som kravet medför. För anläggningar med ett relativt lågt trafikarbete innebär detta att en risknivå inom nuvarande ALARP-område bör betraktas som acceptabel, utan krav på värdering av ytterligare säkerhetshöjande åtgärder. Därigenom bedöms även krav K122330, gällande värdering av ytterligare åtgärder inom området med ”låg risk”, i sin helhet kunna utgå från regelverket. Utförliga känslighetsanalyser bör dock fortsatt genomföras för att säkerställa att små förändringar av säkerhetsanalysens ingångsvärden inte medför en oacceptabel risknivå.

Vad gäller krav K122329 skulle vissa förtydliganden vara önskvärda. Nuvarande krav i TRVINFRA-00233 ger exempelvis ingen vägledning kring vilken metodik som kan användas vid värdering av åtgärdernas kostnader och nyttor. Exempel på hjälpsamma förtydligande skulle vara:

- Kalkylvärdena i ASEK 7.0 avseende olycksvärdering för vägtrafikolyckor ska ligga till grund för uppskattningen av säkerhetshöjande åtgärders nytta i form av reducerad olycksrisk.
- Åtgärder som syftar till att reducera risker inom övre ALARP behöver inte vara strikt fördelaktiga ur ett samhällsekonomiskt perspektiv för att vidtas, d.v.s. åtgärder med NNV<0 kr kan accepteras.

TRVINFRA-00233 innehåller för närvarande inga uttryckliga hänvisningar till ASEK vilket kan skapa ett onödigt tolkningsutrymme kring hur nyttoeffekter ska uppskattas. Att förtydliga att gränsen för ”orimligt stor kostnad” inte uppnås så fort den uppskattade kostnaden för att införa åtgärden överstiger nyttoeffekten skulle öka tydligheten. Det kommer dock fortsatt föreligga en osäkerhet kring när den övre smärtgränsen för kostnads(o)nyttighet faktiskt inträffar i denna kontext.

Hur de identifierade bristerna är kopplade till uppskattningen av kostnaderna för att införa ytterligare säkerhetshöjande åtgärder ska adresseras är inte självklart. Ett

tillkortakommande i nuläget är, som tidigare konstaterats, att analyserna enbart tenderar att beakta investeringskostnaden och att drift- och underhållskostnader utelämnas. Att inkludera dessa kostnader i analyserna skulle ge ett mer fullständigt beslutsunderlag. Detta bedöms dock bli en svår och tidskrävande uppgift för de enskilda byggprojekten. Ett mer pragmatiskt förhållningssätt skulle kunna vara att regelverket tydliggör att beslutsunderlaget minst behöver innehålla en kvalitativ redogörelse över åtgärdens påverkan på drift- och underhållsbehovet. Därav skulle följande förtydligande kunna införas i regelverket:

- Vid övervägande av riskreducerande åtgärder ska åtminstone en kvalitativ redogörelse över åtgärdens påverkan på drift- och underhållsbehovet tas fram som en del av beslutsunderlaget.

6.3 Förslag

Krav K122329 och K122330 i TRVINFRA-00233 bedöms i sin nuvarande form medföra ökade utredningskostnader till ett begränsat mervärde varvid en mer selektiv applicering av kraven förordas. Krav på utvärdering av ytterligare riskreducerande åtgärder, när den beräknade risknivån ligger inom ALARP-området, föreslås enbart föreligga i situationer då:

- Den beräknade samhällsrisknivån för anläggningen ligger högt inom ALARP-området, nära gränsen till oacceptabel nivå, samt att,
- anläggningen producerar ett stort årligt trafikarbete (överstiger 100 000 tågkm per år).

Om dessa förutsättningar ej föreligger bör risknivån kunna betraktas som acceptabel utan krav på värdering av ytterligare säkerhetshöjande åtgärder. Därigenom bedöms krav K122330, gällande värdering av ytterligare åtgärder inom området med ”låg risk”, kunna utgå från regelverket. Notera att föreliggande förslag utarbetats för banor med endast persontågstrafik. Vidare förslås att följande förtydligande gällande hur krav K122329 ska tillämpas införs i regelverket:

- Kalkylvärden i ASEK 7.0 avseende olycksvärdering för vägtrafikolyckor ska ligga till grund för uppskattningen av säkerhetshöjande åtgärders nytta i form av reducerad olycksrisk.
- Åtgärder som syftar till att reducera risker inom övre ALARP behöver inte vara strikt fördelaktiga ur ett samhällsekonomiskt perspektiv för att vidtas, d.v.s. åtgärder med NNV<0 kr kan accepteras.
- Vid övervägande av riskreducerande åtgärder ska åtminstone en kvalitativ redogörelse över åtgärdens påverkan på drift- och underhållsbehovet tas fram som en del av beslutsunderlaget.

7 Referenser

[1] IEC, *International Standard 60300-3-9,* Geneve: International Electrotechnical Comission, 1995.

[2] ISO, *Risk management - Vocabulary,* Geneva: International Organization for Standardization, 2002.

[3] M. Jones-Lee och T. Aven, ”ALARP – What does it really mean?,” *Reliability Engineering and Systems Safety,* vol. 96, nr 8, pp. 877-882, 2011.

[4] UIC-Codex, *779-9: Safety in Railway Tunnels (Draft 4),* 2002.

[5] EU kommissionen, ”Kommisionens förordning nr 1303/2014,” *Europeiska unionens officiella tidning,* pp. 394-420, 2014.

[6] Trafikverket, *Metod för riskhantering vid ändringar gällande trafiksäkerhet järnväg (CSM RA), TDOK 2020:0236,* Trafikverket, 2020.

[7] EU kommissionen, *Förordning 402/2013,* Bryssel: Europeiska unionens officiella tidning, 2013.

[8] Trafikverket, ”Krav Tunnelbyggande TRVINFRA-00233,” Trafikverket, 2020.

[9] Banverket, ”BVH 585.30 Säkerhet i järnvägstunnlar – Ambitionsnivå och värderingsmetodik,” Banverket, 1997.

[10] Trafikverket, ”Krav Tunnelbyggande (TDOK 2016:0231),” Trafikverket, 2016.

[11] Risktec Projektledning och COWI, ”Säkerhetsmål i tunnlar,” Risktec Projektledning, Stockholm, 2019.

[12] Transportstyrelsen, *Säkerhetsmål för trafikanter i vägtunnlar, järnvägstunnlar och tunnelbana (TSG 2016-1621),* Transportstyrelsen, 2016.

[13] Trafikverket, ”Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 7.0,” Trafikverket, 2021.

[14] Trafikverket, *Metod för samlad effektbedömning: https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Metod-for-samlad-effektbedomning/,* Trafikverket, 2022.

[15] E. Lindé, J. Malmtorp, M. Rauma, P. Alfredsson och E. Kirilmaz, ”Driftsäkerhet och LCC för Nya stambanor – Ambitionsnivå och värderingsmetodik,” Trafikverket, 2022-01-27.

[16] Trafikverket, *ASEK 7.0: Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn,* Trafikverket, 2021.

[17] WSP, *Säkerhetsvärdering Sunbybergstunneln (9921-00-025_R09),* Trafikverket, 2019.

[18] COWI, *Kvantitativ Riskanalys - Typtunnlar, Ostlänken, Järna - Linköping (OLP3-01-025-30-0 0-0204),* Trafikverket, 2018.

[19] COWI, *OLP3-01-025-30-0_0-0204 Kvantitativ Riskanalys_Typtunnlar, Ostlänken, Järna – Linköping,* Trafikverket, 2018.

[20] WSP, *Personsäkerhet i järnvägstunnlar ur ett samhällsekonomiskt och planprocessmässigt perspektiv - FUD id 80 TRV 2010/63841,* Trafikverket, 2011.

[21] Trafikverket, *ÖPK_NGJ 4.1 Bilaga 2 Referenstrafik (TRV 2017/56006),* Trafikverket, 2017.

[22] World Road Association (PIARC), *Current Practice for Risk Evaluation for Road Tunnels,* PIARC, 2012.

[23] G. Davidsson, M. Lindgren och L. Mett, *Värdering av risk,* Statens Räddningsverk, 1997.

[24] M. Abrahamsson, *Uncertainty in quantitative risk analysis - Characterisation and methods of treatment (doktorsavhandling),* Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2002.

[25] E. Lindberg och B. Morén, *Riskanalysmetod för transporter av farligt gods på väg och järnväg (VTI rapport nr 387:1),* Väg- och transportforskningsinstitutet, 1994.

[26] EU kommissionen, *Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC) - Guidance document No. 20,* Europeiska kommissionen, 2009.

[27] D. Quinlivan, ”Safety related cost benefit analysis,” Metro Trains, 2019.

[28] Norges offentlige utredninger, *Samfunnsøkonomiske analyser,* Oslo: Departementenes servicesenter, 2012.

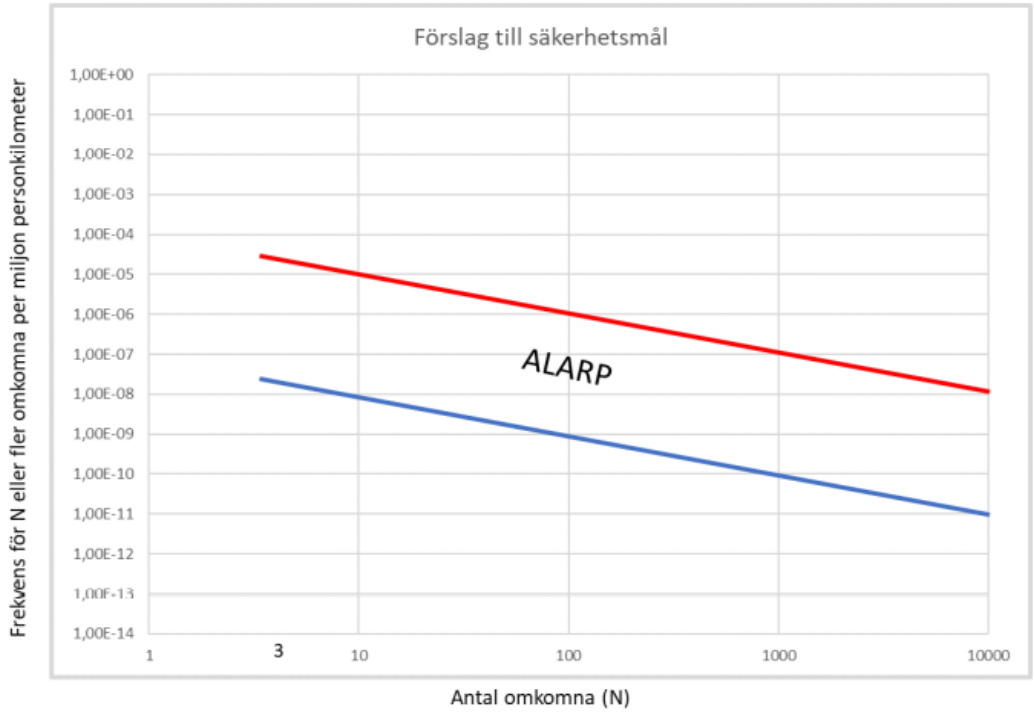
Bilaga A. f/N-diagram och PLL-tal

I denna Bilaga redovisas de beräknade PLL-talen som de föreslagna utvärderingskriterierna i *Säkerhets mål i tunnlar* respektive *Säkerhetsmål för trafikanter i vägtunnlar, järnvägstunnlar och tunnelbana* motsvarar, se Tabell 10 och

Tabell *11*. I Tabell 12 redovisas kostnaden av olycksrisken över en kalkylperiod på 60 år för de aktuella utvärderingskriterierna beroende på tunnelns trafikarbete mätt i miljoner personkilometer. Beräkningarna i Tabell 12 baseras på de kalkylvärden som anges i Tabell 3.

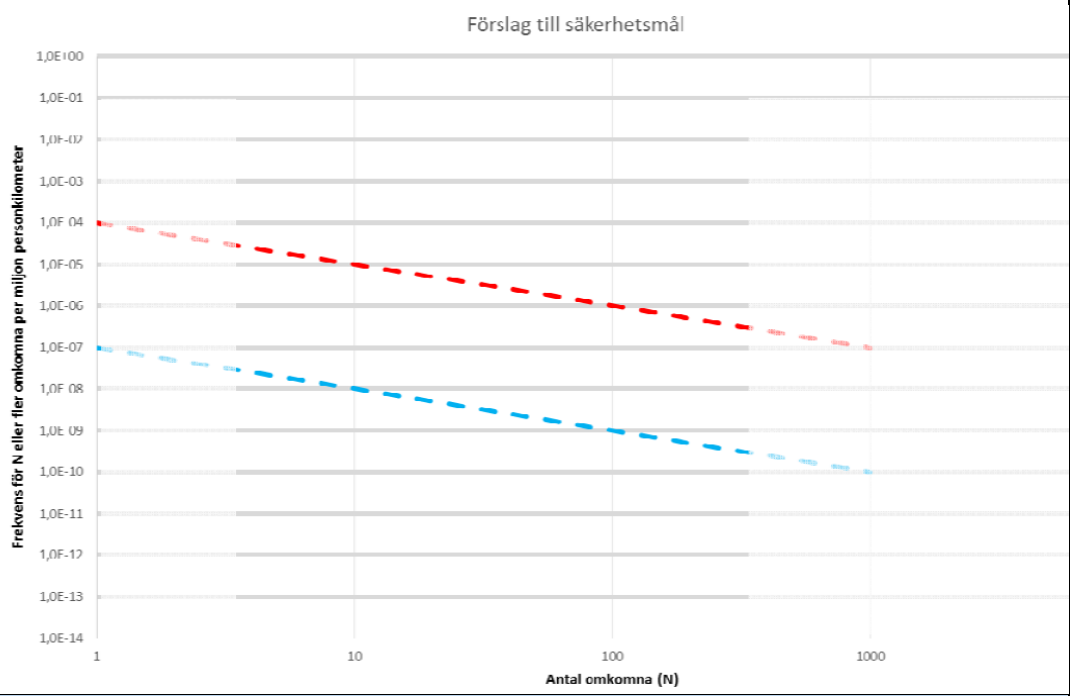
Tabell 10. Föreslagna acceptanskriterier för utvärdering av grupprisk och korrespondерade PLL-tal i rapporten – Säkerhetsmål i tunnlar (COWI, RISKTEC) [11]

COWI, RISKTEC - Säkerhetsmål i tunnlar



PLL-tal [N =3, = 10 000] (omkomna per miljon personkilometer)	
Övre kriteriet	8,10E-04
ALARP	5,27E-05
Acceptabel	8,10E-07
PLL-tal [N =3, = 1 000] (omkomna per miljon personkilometer)	
Övre kriteriet	5,80E-04
ALARP	3,78E-05
Acceptabel	5,80E-07

Tabell 11. Föreslagna acceptanskriterier för utvärdering av grupprisk och korrespon-derade PLL-tal i Transportstyrelsens rapport – Säkerhetsmål för trafikanter i vägtunnlar, järnvägstunnlar och tunnelbana [12]

Transportstyrelsen - Säkerhetsmål för trafikanter i vägtunnlar, järnvägstunnlar och tunnelbana	
	
PLL-tal [N =3, = 500] (omkomna per miljon personkilometer)	
Övre kriteriet	5,10E-04
ALARP	3,33E-05
Acceptabel	5,10E-07

Tabell 12. Förväntad kostnad av olycksrisk i MSEK under kalkylperioden (60 år) beroende på utvärderingskriterier (exponeringsvariabel), trafikarbete och risknivåns läge. Notera att kostnadsuppskattningen enbart baseras på VSL samt materiella kostnader för dödsfall i ASEK avseende vägtrafikolyckor.

Säkerhetsmål i tunnlar (2019)				
[N = 3, N = 10 000]	**1**	**10**	**100**	**1 000**
Övre kriteriet	1,4	14	140	1399
ALARP	0,09	0,9	9,1	91
Acceptabel	0,001	0,01	0,14	1,4
[N = 3, N = 1 000]	**1**	**10**	**100**	**1 000**
Övre kriteriet	1	10	100	1002
ALARP	0,07	0,7	6,5	65,3
Acceptabel	0,001	0,01	0,1	1
Säkerhetsmål för trafikanter i vägtunnlar, järnvägstunnlar och tunnelbana (2016)				
[N = 3, N = 500]	**1**	**10**	**100**	**1 000**
Övre kriteriet	0,9	8,8	88	881
ALARP	0,06	0,6	5,8	58
Acceptabel	0,001	0,01	0,1	0,9

Trafikverket, 781 89 Borlänge. Besöksadress: Röda vägen 1
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 50 00
trafikverket.se