

# Helhetssyn på tunnelns livscykel – med inriktning på personsäkerhet

– Delprojekt 3, bilaga till regeringsuppdrag  
Personsäkerhet i tunnlar

Boverket september 2005

Titel: Helhetssyn på tunnelns livscykel,  
Delprojekt 3, bilaga till regeringsuppdrag Personsäkerhet i tunnlar  
Utgivare: Boverket september 2005  
Upplaga: 1  
Antal ex: 500  
Tryck: Boverket internt  
ISBN: 91-7147-897-3  
Diarienummer: 10823-1233/2003

Publikationen kan beställas från:  
Boverket, Publikationsservice, Box 534, 371 23 Karlskrona  
Telefon: 0455-35 30 50  
Fax: 0455-819 27  
E-post: publikationsservice@boverket.se  
Webbplats: www.boverket.se

©Boverket 2005

## Förord

I beslut 2002-05-30 gav regeringen Statens Räddningsverk, Banverket, Vägverket och Boverket i uppdrag att gemensamt utarbeta allmänna råd som innefattar metoder för bedömning av personsäkerhet i tunnlar och för hur riskanalyser skall kunna utformas och tillämpas på ett tydligt och enhetligt sätt. Arbetet har bedrivits i ett antal delprojekt. Resultatet av arbetet från dessa delprojekt redovisas i fem fristående rapporter.

Delprojekt 1: Karlläggning av det legala ramverket

Delprojekt 2.1: Riskvärdering

Delprojekt 2.2: Riskanalysmetoder

Delprojekt 3: Helhetssyn på tunnelns livscykel – med inriktning på personsäkerhet

Delprojekt 4: Planeringsprocessen

Detta utgör bilaga 3 till redovisning av regeringsuppdrag 2005-09-30 och tillika slutrapport för delprojekt 3: Helhetssyn på tunnelns livscykel – med inriktning på personsäkerhet.

Delprojektet belyser hur livscykelaspekter kan inverka på en tunnels säkerhetsnivå.

Rapporten har skrivits av Bernt Freiholtz, Vägverket, Samhälle och Trafik, Borlänge och kompletterats av Olle Olofsson, Banverket, Bansystem, Borlänge.

## Innehållsförteckning:

Sammanfattning	5
Inledning	6
Övergripande om tunnelns livscykel	8
Trafiktunneln i samhället	9
Planeringsfasen	10
Transportsystemet	10
Tunneln	16
Projektering och byggande av en tunnel	18
Drift av en tunnel	19
Underhåll och uppgradering av en tunnel	20
Slutsatser	21
Referenser	22
Bilaga 1, Driftsäkerhet och tillgänglighet för Södra Länken	24
Förutsättningar	24
Tillgänglighetskrav för entreprenader	30
Sammanfattning av tillgänglighetskrav	38
Bilaga 2, Livscykelkostnader	39
Grunddata för LCC-värdering	39
Nedbrytningsmodeller	43
Verktyg	43
Bilaga 3, Praktiska livslängder för tunnelutrustning enligt regler för vägtunnlar i Storbritannien	45
Bilaga 4, Krav på funktionssäkerhet i norska vägtunnlar	47

## Sammanfattning

En tunnel är ofta ett komplext byggnadsverk och detta innebär att om man ser planering, byggande och drift av tunnlar som en process så är det många faktorer som kan påverka slutresultatet. Det slutresultat som har studerats i uppdrag *Personsäkerhet i tunnlar* är den faktiskt uppnådda säkerhetsnivån för personer som befinner sig i tunneln och med hänsyn tagen till de erforderliga uppoffringarna, främst i form av kostnader.

För delmomenten planering, projektering, byggande, drift och underhåll har kortfattat beskrivits ett antal förutsättningar och faktorer som har visat sig kunna påverka den slutliga säkerhetsnivån. Kritiska faktorer som är genomgående i hela processen är ansvarsöverlämnanden och dokumentation. Eftersom det är många personer som är inblandade i tunnelprocessen under dess livscykel är det viktigt att dokumenterad information överlämnas till den part som tar över. Om inte den mottagande parten förstår motiven till det valda säkerhetskonceptet finns det risk för att de ställda kravnivåerna inte kommer att effektueras. I delrapport *Planeringsprocessen* har föreslagits att dels förstärka redovisningskraven med en *Säkerhetsdokumentation* och dels att tydliggöra *Säkerhetssamordnarens* koordineringsuppgift.

Denna delrapport bör kunna användas som en handbok eller som en del av en checklista för att säkra resultatet av ”tunnelprocessen” så att säkerhetsmålet blir uppfyllt. Ett antal referenser har getts till dokument som på olika sätt belyser livslängdsaspekterna för tunnlar.

Det är nödvändigt att delta i det internationella arbetet om tunnelsäkerhet eftersom de nationella resurserna inte räcker till för att följa utvecklingen av samhällets krav. Dessa högre krav är ofta kopplade till de nya tekniska lösningar som tas fram som en del av tunnelarnas säkerhetskoncept. Arbetet inom Europeiska Unionen på såväl föreskrivande nivå som inom forskning och standardisering är då speciellt viktigt då det ger underlag för att kunna hantera de nya regler som införs.

## Inledning

### Bakgrund

Delprojekt 3 i regeringsuppdraget avser att svara på följande frågeställning;

att utifrån en helhetssyn på tunnelns livscykel beakta säkerhetsfrågorna vid

- arbetet med metoder för bedömning av säkerhetsnivåer i tunnelprojekt
- bedömningar om hur riskanalyser kan göras tydligare och mer användbara vid planläggning och i samband med bygglov, tillsyn och kontroll.

### Syfte

Delprojektets syfte är att visa dels på hur en tunnel påverkar samhällets kostnader långsiktigt och dels på hur valet av en tunnels olika tekniska lösningar, installationer och andra åtgärder påverkar den totala livscykelkostnaden.

Analysen ska även ta hänsyn till att tunnlar har lång nyttjandetid och att samhället förändras över tiden. Detta leder sannolikt till att tunnelns säkerhet behöver uppgraderas någon gång under tunnelns nyttjandetid och de säkerhetspåverkande lösningarna bör därför vara valda så att en uppgradering förenklas.

### Förutsättningar och avgränsningar

Delprojekt 3 har bedömts vara en mindre del av hela regeringsuppdraget. Arbetet i hela uppdraget har fokuserats på att komma fram till en nybyggnadsstandard som uppfyller godtagbara och höga personsäkerhetskrav. Därigenom säkras måluppfyllelsen för kommande samhällsinvesteringar och den vunna kunskapen kan sedan användas för att värdera säkerhetsnivån i befintliga tunnlar. Säkerhetshöjande åtgärder för befintliga tunnlar kan i vissa fall vara extremt dyra varför alternativlösningar måste kunna tillgripas. Kunskapen om effekterna av dessa är inte alltid tillräcklig. Således är det lättare att fastställa en godtagbar nybyggnadsstandard eftersom det finns ”fler alternativ i säkerhetsverktygslådan”.

Delprojekt 3 belyser översiktligt några principer och faktorer som har betydelse för att de valda säkerhetslösningarna skall bli hållbara över en längre tid.

Helhetssyn för det enskilda tunnelprojektet innebär att de valda tekniska lösningarna skall vara så genomtänkta att de även långsiktigt i stort sett visar sig vara de optimala. Kunskap om de olika tekniska lösningarnas funktion över lång tid fås genom att driftserfarenheter efterhand byggs upp inom de tunnelansvariga organisationerna. Sådana erfarenheter är mycket viktiga att föra tillbaka till planeringsprocessen för nya tunnlar och denna uppgift ligger främst inom trafikverkens ansvar.

Helhetssyn med avseende på hela samhällets behov innebär att den valda tunnellösningen säkerställer transportfunktionen utan att oskäligen kostnader läggs över på andra delar i samhället.

Analysen utförs så den täcker in personsäkerhetsaspekter allt från att ett tunnelprojekt initieras tills dess att tunneln inte längre används för sitt ändamål. Slutpunkten i denna analys är antingen att tunneln är riven eller igenfylld så att det inte

längre finns några risker för personer eller att tunneln ingår i annan verksamhet och som styrs av andra regler.

En viktig aspekt är att tunnelhållarens driftsansvar beaktas och att de planerade säkerhetsfunktionerna hela tiden kan upprätthållas.

Delrapporten lyfter fram exempel som i flera fall är beskrivna med koppling endera till vägar eller till järnvägar. Systematik och arbetssätt kan dock nästan alltid användas för båda trafikslagen.

## Övergripande om tunnelns livscykel

En tunnel är oftast den mest kostnadskrävande delen i en väg- eller järnvägsförbindelse och detta leder till att tunnellösningen vanligen realiserar enbart i mer komplexa projekt.

Planeringsfasen för en större tunnel kan vara mycket lång, från 5 till 20 å 30 år. Över en så lång tid förändras de yttre förutsättningarna och bl.a. säkerhetsredovisningarna i de olika skedena bör därför vara enkla att uppdatera och att successivt fördjupa. Detta underlättar även i hög grad dialogen med de inblandade parterna. Redan i planeringsfasen måste drifts- och underhållsaspekter tas med.

Projektering och byggande tar vanligen flera år i anspråk. I denna fas läses alla förutsättningar för tunnelns byggstruktur och de installationer som behövs för trafikerandet. I pågående projekt tvingas man ibland att modifiera de tidigare planerade lösningarna. Byggandeperioden är starkt tidspressad och kostnadspressad vilket ställer höga krav på beslutsfattandet så att de eventuella förändringarna inte leder till en oacceptabel säkerhetsnivå. I byggskedet griper arbetsmiljölagstiftningen in men denna analyseras inte i detta regeringsuppdrag.

I samband med trafiköppning kan samhällsnyttan börja tillgodogöras. Tunnelns livslängd förutsätts vara minst 100 år och för att funktionskraven skall vara uppfyllda krävs kontinuerliga drifts- och underhållsinsatser. Bl. a. säkerhetssystemen måste hela tiden fungera och för att detta ska vara möjligt måste tunnelns utformning vara anpassad för de nödvändiga driftsarbetena.

Det finns många delar i en tunnel som har kortare livslängd än de 100 år som krävs för den bärande strukturen. Med intervall om ca 20 år görs därför större underhållsinsatser för vägtunnlar varvid vissa installationer och konstruktionsdelar byts ut. I samband därmed sker ofta en uppgradering mot högre krav.

När tunneln inte längre behövs för sitt ändamål måste den åtgärdas och lämnas i sådant skick att den inte kan medföra några personrisker. Dessa åtgärder brukar vanligen inte kräva någon större insats i de inledande skedena.



## Trafiktunneln i samhället

Varför används tunnlar?

Vägar har tidigare gått från en ort till nästa. En ökning av trafikflödena har medfört allt större problem för miljö, trafiksäkerhet och tillgänglighet. Buller och luftföroreningar påverkar människor som bor eller verkar nära vägen, kulturminnen smutsas ned och fräts sönder av trafikens avgaser och stadsbilden förändras av stora genomfartsleder. Trafikolyckor är ett hälsoproblem som medför otrygghet och påverkar människors vardag. Biltrafiken skapar barriärer som tvingar gående och cyklande till omvägar eller väntan och på sikt förändrar stadens sociala mönster. För genomfartstrafiken råder ofta dålig framkomlighet och kapacitetsproblem.

För att komma tillrätta med problemen har det ofta byggts förbifarter runt tätorter eller nya vägar utanför tätorter i längre sammanhängande avsnitt. En annan princip att lösa problem med genomfartstrafik är miljöprioriterade genomfarter. Detta kan vara en lösning för mindre och medelstora tätorter. I större tätorter behöver emellertid vägen vara i nära anslutning till tätortens centrum och dessa fall är det ofta fördelaktigt att använda tunnlar.

Det finns drygt 20 vägtunnlar i Sverige och de är koncentrerade till Stockholm, Göteborg och Västkusten. Merparten av de äldre tunnelarna är byggda för att vägen skall kunna gå genom eller under hinder i terrängen som berg eller vattendrag. I framtiden bedöms att tunnlar mer ofta kommer till utförande och detta gäller speciellt i storstäderna där tunnlar väljs för att skapa goda stads- och boendemiljöer.

Järnvägstrafik ställer högre krav på små lutningar och större kurvradiier än vägtrafik. Järnvägstrafik planeras för allt högre hastigheter vilket också innebär större krav på små lutningar och större kurvradiier. Detta medför att det i fler fall behövs tunnlar för passage av terränghinder för att spårförbindelsen ska bli snabb och effektiv.

Det finns ca 130 järnvägstunnlar i Sverige och de har en stor geografisk spridning. De äldsta tunnelarna är mer än 100 år och de uppgraderas kontinuerligt för att möta dagens krav på säkerhet. För att klara framtidens transportbehov på järnväg planeras och projekteras järnvägstunnlar med tillhörande underjordsstationer i Stockholm, Göteborg och Malmö.

Säkerhetsmålet är att trafiksystemet skall vara utformat så att inga människor dödas eller får invalidiserande skador. Det betyder för vägarna att bilarnas hastighet måste anpassas till vad människan tål av krockvåld. Denna förutsättning blir då avgörande för utformningen av hela systemet.

## Planeringsfasen

### Transportsystemet

När en brist uppstår i väg- eller järnvägstransportsystemen måste detta åtgärdas. Inom trafikverken används en metodik som benämns fyrstegsprincipen för att komma fram till den för samhället bästa lösningen för att kunna rätta till den konstaterade bristen.

Fyrstegsprincipen bör ses som ett allmänt förhållningssätt i åtgärdsanalyser för transportsystemen och inte som en strikt modell som skall tillämpas i något specifikt planeringsskede. Den lanserades ursprungligen för att hushålla med investeringsmedel, men har utvecklats till en allmän planeringsprincip förushållning av resurser och minskning av transportsystemens negativa effekter.

De fyra stegen, här beskrivna för vägtransportsystemet, innebär att åtgärder ska analyseras i följande ordning:

#### **Steg 1. Åtgärder som påverkar transportefterfrågan och val av transportsätt**

Omfattar planering, styrning, reglering, påverkan och information med bäring på såväl transportsystemet som samhället i övrigt för att minska transportefterfrågan eller föra över transporter till mindre utrymmeskrävande, säkrare eller miljövänligare färdmedel.

#### **Steg 2. Åtgärder som ger effektivare utnyttjande av befintligt vägnät**

Omfattar insatser inom styrning, reglering, påverkan och information riktade till vägtransportsystemets olika komponenter för att använda befintligt vägnät effektivare, säkrare och miljövänligare.

#### **Steg 3. Vägförbättringsåtgärder**

Omfattar förbättringsåtgärder och ombyggnader i befintligt sträckning till exempel trafiksäkerhetsåtgärder eller bärighetsåtgärder.

#### **Steg 4. Nyinvesteringar och större ombyggnadsåtgärder**

Omfattar om- och nybyggnadsåtgärder som ofta tar ny mark i anspråk, till exempel nya vägsträckningar.

Principen bygger på ett transportslagsövergripande synsätt, men hanterar i första hand brister och problem inom vägtransportsystemet. En grundtanke är att åtgärder utanför vägtransportsystemet kan minska behovet av vägtransporter och därmed behovet av åtgärder inom vägtransportsystemet. I ett första steg ska därför åtgärder utanför vägtransportsystemet prövas. Därefter handlar principen i stor utsträckning om analys av åtgärder inom vägtransportsystemet.

Vid tillämpning av fyrstegsprincipen i åtgärdsanalyser bör arbetssättet karaktäriseras av ett *förutsättningslöst angreppssätt* och en *stegvis prövning* av åtgärder. Allt arbete, även tidiga analyser, ska dokumenteras på ett relevant sätt.

#### **Förutsättningslöst angreppssätt**

Oavsett när och var åtgärdsanalyser görs måste såväl åtgärder utanför vägtransportsystemet som åtgärder inom vägtransportsystemet och alla dess delar

(användare, fordon, infrastruktur och regelsystem) beaktas. Vid diskussionerna om vilka tänkbara åtgärder som ska analyseras är det därför viktigt med ett förutsättningslöst angreppssätt. I arbetet bör följaktligen företrädare för olika intresseinriktningar medverka så att alla tänkbara åtgärder kommer fram och att alla frågeställningarna blir rätt belysta.

### **Stegvis prövning av åtgärder**

Fyrstegsprincipen innebär att man först prövar om man med åtgärder i *steg ett* helt eller delvis kan uppnå ett eller flera av målen. Därefter prövas åtgärder i *steg två* o s v. När alla stegen gått genom görs en sammanvägning och prioritering av åtgärder med olika tidsperspektiv och med beaktande av kostnadseffektivitet och långsiktig hållbarhet.

### **Värdering av samhällspåverkan**

I denna redovisning belyses först hela effektanalysen och därefter mer detaljerat om hur effekterna på säkerheten hanteras. Syftet med detta upplägg är att föra in säkerhetsresonemangen i helhetsperspektivet för att därigenom få en bättre livscykelanpassning.

För väg- och järnvägsprojekt sammanställs alla effekter och konsekvenser som är av betydelse, särskilt med avseende på tillgänglighet, transportkvalitet, säkerhet, miljö och regional utveckling, analyseras och bedöms. Dokumentation av analyserna sker i flera konsekvensbeskrivningar; miljökonsekvensbeskrivning, tillgänglighet och framkomlighet, funktionshindrade, trafiksäkerhet, ekonomi m.m. För att få överskådlighet bör dessa konsekvensbeskrivningar redovisas i olika delar och med en tydlig och logisk struktur så att konsekvenserna är sammanlaggningsbara. En samhälls-ekonomisk kalkyl skall också redovisas.

Struktureringen av konsekvensbeskrivningarna för ett vägprojekt kan göras enligt följande tabell:

<b>Väghållaren</b>	<b>Användaren av väganläggningen</b>	<b>Omgivning och de intressen som finns där</b>		
Väghållningskostnader	Trafik och trafikanter	Vägnätets funktion	Miljö	Mark-användning
Anläggningskostnader	Framkomlighet	Nationell, regional, resp.	Naturmiljö	Hushållning med natur-resurser
Driftkostnader	Trafiksäkerhet	lokal väg	Kulturmiljö	Kommunala planer
Förändrat väghållningsansvar	Komfort och kontinuitet		Rekreation/friluftsliv	Befolkning och tätortsstruktur
	Trafikant-upplevelser och trafikservice		Boendemiljö	Näringsliv och sysselsättning
	Fordonskostnad			Barriäreffekter
	Gång- och cykeltrafik			Markägo-förhållanden
	Kollektivtrafik			

Den samhällsekonomiska kalkylmodellen som används är en kostnadsnyttoanalys. Den är för Vägverkets del redovisad i *Vägverkets samhällsekonomiska kalkylmodell*, Vägverkets publikation 1997:130, *Effektsamband 2000* och i det datorstödda kalkylprogrammet *EVA*. Banverkets motsvarighet till Vägverkets kalkylprogram *EVA* utgörs av *Bansek* respektive *Samkalk*. Dessa finns beskrivna i BVH 706, *Beräkningshandledning*.

I modellerna uttrycks analysresultaten med värderingar som så långt det är möjligt utgår från de berörda individernas egna värderingar. De flesta konsekvenserna är värderade med ett marknadspris (anläggning, drift, fordonskostnader, tids- och olyckskostnader m.m.). Där sådana värderingar saknas klargörs med indirekta metoder de berörda värderingar som sedan formuleras i monetära termer motsvarande marknadspriser.

De grundvärden som används i kalkylmodellerna är gemensamma inom hela transportområdet och de är framtagna av den statliga myndigheten SIKÄ, Statens institut för kommunikationsanalys.

De huvudsakliga komponenterna i den samhällsekonomiska analysen för åtgärder i vägnätet visas nedan:

TRAFIKEKONOMISKA EFFEKTER	M	Investeringskostnader	Produktionsresurser
	E	Restid	Persontimmar per ärende och tontimmar, monetärt
	E	Trafiksäkerhet	Antalet olyckor och skadeföljd, monetärt
	(E)	Komfort	Timmar i kö, monetärt
	E	Fordonskostnader	Monetärt
	E	Vägunderhåll	Monetärt
MILJÖ- och LANDSKAPS- EFFEKTER	E	Luftföroreningar, emissioner	Emissioner, utsläpp ton, monetärt
	M	Luftföroreningar, imissioner	antalet störda
	M	Buller	Antalet störda, monetärt
	M	Barriäreffekter	
	R	Vattenskydd	Beskrivningar
	R	Rekreation	Beskrivningar
	R	Kultur	Beskrivningar
	R	Landskapsbild	Beskrivningar
REGIONALA EFFEKTER och UTVECKLINGS- EFFEKTER	S	Näringsliv	
	S	Turism	
	S	Andra regionala effekter	

Förklaring till tabellen:

E = effekter beräknade i EVA

M = manuellt beräknade effekter

R = i den strategiska miljökonsekvensanalysen

S = sällan beräknade effekter

(E) = inte implementerat i EVA

Till skillnad från Vägverkets kalkylmodell använder Banverket förutsättningen att efterfrågan är elastisk, innebärande att åtgärder som påverkar tågtrafiken (exempelvis kortare restid med tåg) även påverkar efterfrågan på tågresor/transporter. Detta får i sin tur effekter på såväl efterfrågan som kostnader även i andra transportslag. Exempelvis innebär ökad efterfrågan på tågresor att antalet resor inom vägtrafiken minskar vilket ger effekter i form av minskade olyckor, luftföroreningar och förbättrad framkomlighet i vägnätet. Alla samhällsekonomiska analyser av åtgärder inom järnvägssektorn har detta trafikslagsövergripande synsätt.

I tabellen nedan redovisas de huvudsakliga komponenterna i Banverkets samhälls-ekonomiska analyser. Många av komponenterna är naturligtvis gemensamma med Vägverkets enligt tabellen ovan. Vissa skillnader finns dock, dels till följd av tågtrafikens natur (tidtabellsbunden), dels till följd av förutsättningen om elastisk efterfrågan som nödvändiggör trafikslagsövergripande analyser.

Huvudgrupp	Effekt	Värdering	Transportslag
<b>INFRA- STRUKTUR- KOSTNADER</b>	Investeringskostnader	Monetär värdering	Järnväg
	Drift- och vidmakthållande	Monetär värdering	Alla
	Res/transporttider (åktid, väntetid, bytestid, förseningstid)	Monetär värdering	Alla
<b>EFFEKTER FÖR RESENÄRER OCH GODS- TRANSPORT- KÖPARE</b>	Komfort	Monetär värdering	Järnväg
	Transportkostnader	Monetär värdering	Alla
<b>EFFEKTER FÖR TRANSPORT- FÖRETAG</b>	Stationsutformning	Beskrivningar	Järnväg
	Biljettintäkter	Monetär värdering	Alla (ej personbil)
<b>BUDGET- EFFEKTER</b>	Fordonskostnader	Monetär värdering	Alla (ej personbil)
	Skatter och avgifter	Monetär värdering	Alla
<b>MILJÖ- OCH SÄKERHETS- EFFEKTER (TRANSPORT- BEROENDE)</b>	Luftföroreningar	Monetär värdering	Alla
	Koldioxid	Monetär värdering	Alla
	Olyckor	Monetär värdering	Alla
<b>MILJÖ- OCH LANDSKAPS- EFFEKTER REGIONALA UTVECKLINGS- EFFEKTER</b>	Buller	Monetär värdering	Alla
	Barriäreffekter	Beskrivningar	Järnväg
	Vattenskydd	Beskrivningar	Järnväg
	Kultur/landskapsbild	Beskrivningar	Järnväg
<b>REGIONALA UTVECKLINGS- EFFEKTER</b>	Markvibrationer	Beskrivningar	Järnväg
	Regionförstoring	Beskrivningar	Järnväg
	Arbetsmarknad	Beskrivningar	Järnväg

## Allmänna kalkylförutsättningar

Den kalkylränta som generellt används vid dessa kalkyler är för närvarande 4 %. Ekonomiska livslängder förutsätts för en ny väg på landsbygd vara max 60 år och i en tätort eller vid förbifart max 40 år. För ombyggnader förutsätts en ekonomisk livslängd av 15 år. För ny järnväg är den ekonomiska livslängden i huvudfallet 60 år.

## Olycksvärderingar

Värderingar per faktiskt inträffat trafikolycksfall i kronor, prisnivå 1/1 2001 redovisas i tabellen nedan. Skattefaktor I (1,23) ingår i sjukvårdskostnader och nettoproduktionsbortfall. Dessa värderingar finns redovisade i SIKÄ PM 2005:16 *Kalkylvärden och kalkylmetoder (ASEK) Verkgruppens rekommendationer 2005*.

Olycksfall	Materiella kostnader	Riskvärdering	Totalt
<b>Dödsfall</b>	1 346 000	16 269 000	17 615 000
<b>Svårt skadad</b>	621 000	2 503 000	3 134 000
<b>Lätt skadad</b>	62 000	113 000	175 000
<b>Egendomsskadeolycka</b>	13 000		13 000

Värderingen av en olycksminskning ska avspegla samhällets nytta av minskningen. Denna nyttoeffekt mäts i dels materiella kostnader och dels i riskvärdering. De materiella kostnaderna omfattar kostnader för sjukvård, egendomsskador, administration och produktionsbortfall.

Riskvärderingen avser individens betalningsvilja för att minska risken att råka ut för en olycka med svåra konsekvenser. Värdet för ett dödsfall skall inte tolkas som vad ett människoliv är värt utan det är vad samhällets medborgare är beredda att betala för att förhindra att en människa förolyckas i trafiken.

Humanvärdena för dödsfall är framtagna med CV-metoden (contingent valuation) och denna metod är omdiskuterad eftersom frågeställningarna är hypotetiska. Det bedöms emellertid som att det idag inte finns någon bättre metod.

Värdena för icke-dödliga skador har skattats med hjälp av hälsoindex och även denna metod kan diskuteras på grund av samma skäl som nämnt ovan, den hypotetiska frågeställningen.

Skattning av sjukvårdskostnader och produktionsbortfall baseras på väl etablerade metoder, Cost of Illness (COI)-ansatsen,

Egendomsskadekostnader och produktionsbortfall är bedömda utifrån marknadspriser.

## Tunneln

Den ovannämnda analysmodellen tillämpas på länknivå vilket innebär att ingående parametrar är framtagna som medelvärden för ett typiskt vägavsnitt. Eftersom tunnlar är ovanliga i Sverige kan man konstatera att tunnelspecifika värden inte ingår i länkmodellen. En bedömning av resultatet från länkanalysen måste därför ske med en känslighetsanalys.

### Drifts- och underhållsaspekter i planeringsfasen

Det kan inte nog poängteras vikten av att dessa arbeten tas med redan som en planeringsförutsättning för tunneln. Personer med sådan kompetens och erfarenhet måste knytas till projektet. Bästa förhållanden fås om den framtida driftsorganisationen kan medverka. Tunnlar innehåller mycket utrustning och många installationssystem och kan liknas vid en processindustri. Det finns flera exempel från industrisidan som pekar på att det är svårt att få med drifts- och underhållsaspekterna i tidiga skeden.

Tunnelns karaktär gör att störningar i den normala driften är svårare att åtgärda än om motsvarande händelse uppstod ovan jord. De åtgärdskedjor som behövs vid olika typer av störningar måste därför i sin helhet tänkas igenom så att alla procedurer som behövs även är möjliga att genomföra. Det kan i planeringsfasen vara svårt att förstå hur trafikförhållandena kan vara några decennier senare på grund av trafikökning och att tunneln ofta utgör en kritisk punkt i trafiknätet. Detta leder till att möjligheterna att inskränka trafiken i tunneln för åtgärder kan vara mycket små.

Tunneln skall utformas så att drift och underhåll av alla ingående delar underlättas och så att dessa kan inspekteras. Det kan, speciellt för järnvägstunnlar och högtrafikerade vägtunnlar, behövas särskilda utrymmen och separata tillträdesvägar eftersom driftspersonal inte kan vara i trafikutrymmet under pågående trafik.

Planering skall ske så att stängning av tunneln kan göras. Detta behövs dels som en beredskap inför eventuella trafikstopp i tunneln och dels som en del i den planerade skötseln av anläggningen. Det skall eftersträvas att allt arbete med skötsel som kräver att personal är i tunneln skall ske under avstängd trafik. Skälet för detta är att arbete i väg- och spårtrafikmiljö är riskfullt och detta förstärks i en tunnelmiljö.

Det är också nödvändigt att planera för all medverkan av de parter som kan bli inblandade vid olyckor eller incidenter så att man säkerställer att de förutsatta principerna är genomförbara.

### Livscykel

Ett generellt livscykeltänkande för en produkt omfattar tidsperioden från framtagande av råmaterial för framställning av produkten till slutdeponering av de restmaterial som återstår när produkten har använts färdigt. I sitt största omfång omfattas beställarens och slutanvändarens (här: trafikanternas) kostnader över hela livscykeln samt produktens miljöpåverkan. När livscykelansvaret införs optimeras väg-/spårhållarens kostnader för byggande och skötsel med att även täcka in trafikkostnader och miljöpåverkan.



Analysen utförs traditionellt som LCC- eller LCA-analys. Livscykelkostnadsmodeller, LCC, ger ett sätt att beräkna den totala kostnaden för ett visst utförande för att kunna jämföra olika lösningar med varandra och för att kunna välja den för samhället mest optimala lösningen. Kostnaderna innefattar även de inskränkningar i nyttan som kan drabba olika parter i samhället. Vi kan tala om ägarkostnader, brukarkostnader och samhällskostnader.

LCC-analysen bör innefatta investeringskostnad, kostnader för inspektion och drift, kostnader för underhåll, reparation och utbyte av delar, trafikantkostnader i form av inskränkningar i trafikantnyttan under den tid som arbete pågår i tunneln och begränsar framkomligheten för trafikanterna och rivningskostnad. LCC-analysen ger en totalsumma av kostnader beräknade som diskonterade nuvärden. Närmare detaljer om livscykelkostnadsmodeller finns redovisade i bilaga 2.

En livscykelanalys, LCA, ger en bild av en produkts miljöpåverkan från "vaggan till graven". Faktorer som har betydelse för resursförbrukning och miljöpåverkan identifieras. För att kunna ge en samlad bild tar en livscykelanalys hänsyn till hela kedjan från utvinning av råvaror till användning av produkter och slutavveckling. Man vill också kvantifiera denna inverkan och uttrycka den i siffror. LCA-analysen har inte studerats i detta uppdrag.

Internationellt arbete med kunskapsuppbyggnad och standardisering pågår om hur drift- och livslängdsfrågor bör inarbetas i processen med bygnadsverk. Ett förslag till internationell standard är framtaget, ISO 15686, *Buildings and construction assets – Service life planning*. Denna består av fem delar; allmänna principer, livslängdsmodeller, funktionskontroller, krav på data och LCC-modeller. Värdefull information kan alltså hämtas genom att bevaka det internationella arbetet inom området.

## Projektering och byggande av en tunnel

Vid projekteringen används LCC-analyser för val av system. Flera olika installations-system är viktiga för säkerheten och sådana system upphandlas ofta som funktions-entreprenader. Detta innebär att utformningen av en tunnel och dess säkerhetssystem utförs under en lång tidsperiod och av olika parter och detta ställer krav på bland annat styrning och dokumentation av genomförandet.

En viktig förutsättning för att kunna genomföra LCC-analyser är att det finns kunskap om de olika delarnas livslängder, drift- och underhållsbehov och alla tillhörande kostnader. För små objekt görs oftast inte fullständiga analyser och man utgår då ifrån komponenternas livslängder. Livslängden hos olika delar av en väg/järnväg och en tunnel varierar från några år till över 100 år. Ofta åldras en konstruktion dessutom funktionellt före den tekniska livslängden är slut. Exempel på praktiska värden på livslängder för olika tunnelkonstruktioner finns i bilaga 3. Denna är hämtad från tunnelregler i Storbritannien. Liknande men inte så specificerade uppgifter finns i Vägverkets och Banverkets tunnelregler.

Tydliga krav på systemens driftssäkerhet måste anges. Kraven måste ställas i relation till kostnaderna eftersom höga krav på driftssäkerhet kan medföra stora kostnadsökningar. För att beräkna frekvenser av olika typer av fel och störningar kan FMEA (Feleffektanalys) genomföras på de antagna tekniska lösningarna. Vid genomförandet av FMEA används beräknade eller statistiskt relaterade data på driftssäkerhet för ingående komponenter. Genomförda beräkningar ska visa att man klarar uppsatta mål på tillgänglighet för systemet med de för komponenterna antagna värdena på felfrekvens och reparationstid. För att inte det verkliga systemet skall bli sämre än det beräknade, krävs att de komponenter man upphandlar har likvärdig driftssäkerhet som de antagna. En handling upprättas för att beskriva vilka krav avseende driftssäkerhet för komponenter respektive tillgänglighet för funktioner man rimligen bör sätta i samband med att dessa skall upphandlas.

Det finns också en stark koppling mellan systemens driftssäkerhet och underhållsorganisationen. För att de tekniska systemen skall kunna uppnå en hög tillgänglighet krävs ett väl fungerande underhållssystem i form av resurser och organisation. Totalt bör därför driftsäkerhetskraven för entreprenaderna omfatta krav på

- driftssäkerhet för komponenter (tid mellan fel och reparationstid)
- tillgänglighet för funktioner (maximalt antal otillgängliga timmar per år)
- underlag för underhållsanalys, dvs. beredning av underhållsresurser som reservdelar, verktyg, personal mm.

## Drift av en tunnel

Kontinuerlig övervakning och driftsinsatser behövs för att bland annat säkerhets-systemen hela tiden ska fungera. Viktiga system för detta består av

- styrning, övervakning och kommunikation
- belysning
- kraftförsörjning
- ventilation
- vatten och avlopp.

Strategier bör tas fram hur arbetet ska genomföras och i dessa ska ingå dokumenterade arbetsprocesser för förebyggande drift och underhåll respektive för avhjälpande drift och underhåll. Dessa processer kan se olika ut i olika tunnlar beroende på trafikmängd och aktuell organisation. Mer information kan fås i *Drift og vedlikehold av vegtunneler* och i *Good Practice for the Operation and Maintenance of Road Tunnels*.

För att kunna planera avhjälpande drift och underhåll, som utförs när ett fel har uppstått, behövs uppgifter om hur ofta felen inträffar, hur lång tid de normalt tar att åtgärda, vilken typ av reservdelar som behövs, nödvändiga verktyg, hjälpanordningar, kompetens etc. På samma sätt behövs för att kunna planera förebyggande drift och underhåll uppgifter för att kunna beräkna kostnader, personalbehov och övriga resurser.

Till driftsfasen hör även samverkan med andra aktörer t.ex. trafikledare, polis, sjukvård, räddningsstyrkor samt driftsentreprenörer. Rutiner för hantering och rapportering av incidenter och olyckor ska finnas.

Mindre drifts- och underhållsarbete som måste utföras i tunnelns trafikutrymme skall helst ske vid kortare trafikavstängningar under lågtrafiktid, t.ex. under helgnatt.

## Underhåll och uppgradering av en tunnel

Det finns många delar i en tunnel som har kortare livslängd än de 100 år som krävs för den bärande strukturen. Trafikavstängningar med längre varaktighet behöver därför göras med längre tidsintervall då mer omfattande förebyggande underhåll kan bli utfört.

Erfarenhetsmässigt utförs cirka var 25:e år större underhållsarbeten för vägtunnlar och vid dessa tillfällen byts vissa installationer och konstruktionsdelar ut. I samband därmed sker ofta en uppgradering mot högre krav eftersom såväl trafiken som samhällskraven vanligen då har förändrat förutsättningarna jämfört med de som gällde vid tunnelns byggande. I spårtunnlar och högtrafikerade vägtunnlar blir kostnaderna mycket stora vid längre avstängningar för underhållsarbeten.

## Slutsatser

En tunnel är ofta ett komplext byggnadsverk och detta innebär att om man ser planering, byggande och drift av tunnlar som en process så det är många faktorer som kan påverka slutresultatet. Det slutresultat som har studerats i uppdrag *Personsäkerhet i tunnlar* är den faktiskt uppnådda säkerhetsnivån för personer som befinner sig i tunneln och med hänsyn tagen till de erforderliga uppoffringarna, främst i form av kostnader.

Kortfattat har beskrivits ett antal förutsättningar och faktorer som har visat sig kunna påverka den slutliga säkerhetsnivån negativt. Kritiska faktorer som är genomgående i hela processen är ansvarsöverlämnanden och dokumentation. Eftersom det är många personer inblandade i tunnelprocessen under dess livscykel är det viktigt att dokumenterad information överlämnas till den part som tar över. Om inte den mottagande parten förstår motiven till det valda säkerhetskonceptet är det troligt att de ställda kravnivåerna inte kommer att effektueras.

I faserna planering och projektering är det viktigt att ha en allsidig och kompetent projektgrupp som kan noga analysera genomförbarheten för såväl byggandet som för drift- och underhållsaktiviteterna, att studera möjliga konsekvenser av kraven från den yttre miljön och att genomföra livskostnadsberäkningar.

Byggandefasen bör genomföras med en tydlig organisation så att ändringar, tillägg och arbetsmiljökrav hanteras öppet, konsekvent och att kontakter i förekommande fall sker med projektören.

Överlämnande till driftorganisation och idrifttagning bör ske med en noggrann genomgång av dokumentationen, som bör vara uppdelad i en förvaltningshandling respektive i en relationshandling. Förvaltningshandlingen är mindre omfattande och därmed mer lättanvänd än den kompletta relationshandlingen. Genomgången syftar både till att vara en erfarenhetsöverföring och till att vara en kontroll av att erforderliga handlingar finns.

Drift och underhåll skall utföras systematiskt med övervakning, dialog och övningar.

## Referenser

- Översyn av samhällsekonomiska kalkylprinciper och kalkylvärden på transportområdet*, ASEK. SIKa, Rapport 1999:6  
*Kalkylvärden och kalkylmetoder (ASEK) Verkgruppens rekommendationer 2005*, SIKa PM 2005:16
- Redovisning av Vägutredning – Handbok*, Vägverket, Publikation 1994:71  
*Redovisning av Arbetsplan – Handbok*, Vägverket, Publikation 1994:72  
*Redovisning av Bygghandling och Relationshandling – Handbok*, Vägverket, Publikation 1994:73  
*Miljökonsekvensbeskrivning inom vägsektorn – Handbok*, Vägverket, Publikationer 2002:40-43  
*Planering och projektering av vägar – Beslut och förankring*, Vägverket, Publikation 1996:22  
*Vägverkets samhällsekonomiska kalkylmodell. Ekonomisk teori och värderingar*, Vägverket, Publikation 1997:130  
*Redovisning av Förstudie – Handbok*, Vägverket, Publikation 1997:149  
*Effektsamband 2000*, Vägverket, katalogserie se [http://www.vv.se/templates/page3\\_\\_\\_\\_\\_3571.aspx](http://www.vv.se/templates/page3_____3571.aspx):
- *Gemensamma förutsättningar*, Rättelseblad, Publikation 2001:75
  - *Drift och underhåll – Effektkatalog*, Publikation 2001:76
  - *Nybyggnad och förbättring – Effektkatalog*, Rättelsesupplement Sep -02, Publikation 2001:78
  - *Nybyggnad och förbättring –Handledning*, Rättelsesupplement Sep -02, Publikation 2001:80,
  - *Sammanfattning*, Publikation 2001:84
- Vägverkets allmänna tekniska beskrivning för nybyggande och förbättring av tunnlar, Tunnel 2004*, Vägverket, Publikation 2004:124
- BV Tunnel*, Standard BVS 585.40, Banverket (2002)  
*Beräkningshandledning Hjälpmedel för samhällsekonomiska bedömningar inom järnvägsektorn*. BVH 706.00  
*LCC-Analys för järnvägstunnlar - Förstudie*, Banverket 1999-10-15  
*Förstudie - enligt lagen (1995:1649) om byggande av järnväg*, BVH 806.1  
*Järnvägsplan - enligt lag (1995:1649) om byggande av järnväg*, BVH 806.3  
*Järnvägsutredning - enligt lag (1995:1649) om byggande av järnväg*, BVH 806.2
- Driftsäkerhet och tillgänglighet för Södra Länken*, Vägverket, Region Stockholm, ANV 0167
- Optimala nya broar, delstudie LCC-analys*, TRITA-BKN. Teknisk Rapport 2001:10, KTH Brobyggnad  
*Buildings and construction assets – Service life planning*, ISO 15686
- Drift og vedlikehold av vegtunneler*, NVF, Rapport 7:1996  
*Drift og vedlikeholds innflytelse og påvirkning på tunnelns ulike faser*, Statens Vegvesen, Intern rapport 2144, (2000)

*Forhold som påvirker drift- og vedlikeholdskostnader*, Statens Vegvesen, Intern rapport 2223, (2001)

*Forslag til Krav til åpen tunnel - tilgjengelighet*, Statens Vegvesen, Intern rapport 2222, (2002)

*Vegtunneler*, Statens Vegvesen, Håndbok 021, (2002)

*Reduction of Operational Cost of Road Tunnels*, PIARC, Report 05.06B, (1999)

*Fire and Smoke Control in Road Tunnels*, PIARC, Report 05.05B, (1999)

*Good Practice for the Operation and Maintenance of Road Tunnels*, PIARC, Report 05.13B, (2005)

*Design Manual for Roads and Bridges*, Volume 2, Section 2, Part 9 BD 78/99, Highways Agency (1999)

## Bilaga 1

# DRIFTSÄKERHET OCH TILLGÄNGLIGHET FÖR SÖDRA LÄNKEN

Detta dokument är framtaget av Vägverket som projekteringsförutsättningar för Södra Länken tunneln. Syftet är att utifrån Vägverkets allmänna tekniska beskrivning för vägtunnlar skapa en mer detaljerad teknisk och ekonomisk kravspecifikation med avseende på investering och kommande drift och underhåll för den aktuella tunneln.

## FÖRUTSÄTTNINGAR

### Bakgrund

Under hösten 1993 påbörjades en funktionsanalys för ringengemensamma lösningar, sk typlösningar. I en del fall har systemhandlingar för Södra Länken använts för att kunna bedöma samverkande systemhandlingar.

För att beräkna frekvenser av olika typer av fel och störningar har inom ramen för funktionsanalyserna genomförts FMEA (Feleffektanalys) på typlösningarna. Vid genomförandet av FMEA användes beräknade eller statistiskt relaterade data på driftsäkerhet för ingående komponenter. Genomförda beräkningar visar att man klarar uppsatta mål på tillgänglighet för systemet med de för komponenterna antagna värdena på felfrekvens och reparationstid.

För att inte det verkliga systemet skall bli sämre än det beräknade, krävs att de komponenter man upphandlar har likvärdig driftsäkerhet som de antagna. Syftet med denna handling är att beskriva vilka krav avseende driftsäkerhet för komponenter respektive tillgänglighet för funktioner man rimligen bör sätta i samband med att dessa skall upphandlas.

Det finns också en stark koppling mellan driftsäkerhet på system och underhållsorganisation. För att de tekniska systemen skall kunna uppnå en hög tillgänglighet krävs ett väl fungerande underhållssystem i form av resurser och organisation. Totalt bör därför driftsäkerhetskraven för entreprenaderna omfatta krav på

- driftsäkerhet för komponenter (tid mellan fel och reparationstid)
- tillgänglighet för funktioner (maximalt antal otillgängliga timmar per år)
- underlag för underhållsanalys, dvs. beredning av underhållsresurser som reservdelar, verktyg, personal mm

Uppdragsgivare är Vägverket VST - projektgemensamma system och typlösningar. Uppdraget har genomförts av Funktionsanalysgruppen inom Södra Länken Konsulterna.



## Övergripande krav

I vissa av typlösningarna och systemhandlingarna finns uttalade krav på funktions-säkerhet. I vissa fall har funktionsanalyserna visat att de i typlösningarna ställda kraven inte är relevanta med hänsyn till funktionens eller komponentens betydelse. För vidare beredning av upphandlingsunderlag anser vi därför att man i huvudsak skall använda sig av nedanstående krav och i undantagsfall komplettera dessa med ytterligare angivna krav.

Värderingsmodellen för Ringen anger att det sammanlagda produktionsbortfallet för tekniska system maximalt får uppgå till 40 timmar per år. Dessa timmar är beräknade med hjälp av nyckeltal gällande acceptabel risk inom stora företag. Med de nedanstående angivna tillgänglighetskraven uppfylls kravet på maximalt produktionsbortfall med god marginal.

## Omfattning och begränsningar

Kraven är indelade så att de skall kunna användas både enligt Södra Länkens och Norra Länkens entreprenadindelning. Indelningen framgår av nedanstående tabell där generalentreprenad markeras med (GE) och totalentreprenad med (TE).

Typlösning	Norra Länken entreprenad (UE = Underentreprenad)	Södra Länken entreprenad (nr enligt entreprenad- indelning)	Kapitel i denna handling
Elkraft	Elkraftförsörjning (GE) UE Mottagningsstation UE Lokala nätstationer UE Distributionsnät	Elkraftförsörjning (50) (GE)	2.1 Elkraftförsörjning
Tunnelventilation Allmän ventilation	Luftbehandlingsanläggning. (GE) UE Impulsfläktar UE Huvudfläktar UE Ventilation övr. utr.	Impulsfläktar (40,41) (GE) Huvudfläktar TF/FF (42) (TE) VVS-installationer för sidoutrymmen (43) (GE)	2.2 Impulsfläktar 2.3 Huvudfläktar 2.4 VVS- installationer för sidoutrymmen
Lokalt styrsystem	Styr & Regler (TE)	Styr & Regler (55) (TE)	2.5 Styr och regler
Avlopp (VA- stationer, Pumpstationer, Infiltrations- anläggningar)	VA-stationer Rörtekniska anläggningar (GE)	Pump- och VA-stationer (45) (GE)	2.6 Pump- och VA- stationer
Hjälptelefonssystem Lokaltelefonssystem Radiokommunikation PA-system ITV-system Brandlarm, övervakning Accesssystem	Teletekniska anläggningar (TE)	Teletekniska anläggningar (56) (TE)	2.7 Teletekniska anläggningar
Generellt kommunikationsnät	Kommunikationstekniska anläggningar (TE)	Teletekniska anläggningar (56) (TE)	2.8 Kommunika- tionstekniska anläggningar

Belysning	Elanläggningar (GE) UE Tunnlar UE Sidoutrymmen	Elanläggn. i tunnlar (51) (GE) El för sidoutrymmen (44) (GE)	2.9 Elanläggningar - Tunnlar 2.10 El för sidoutrymmen
Sprinklersystem	Vattensprinkleranläggning(GE)	Sprinklersystem (46) (GE)	2.11 Sprinklersystem
Trafikanordningar	Trafikanordningar (GE)	Trafikanordningar (57,58) (GE)	2.12 Trafikanordningar

**Tabell 1.3:** Jämförelse mellan Norra Länken och Södra Länkens entreprenadindelning.

För de entreprenader som upphandlas genom generalentreprenad sätts i huvudsak krav på komponenter eller grupper av komponenter. För system upphandlade genom totalentreprenad ställs däremot krav på funktioner. Anledningen är att det för dessa entreprenader inte är fastlagt vilka komponenter som skall ingå i leveransen varför man inte heller kan sätta krav på komponenterna. Däremot är det ganska väl beskrivet vilka funktioner som ingår i totalentreprenaden.

När man kravsätter funktioner innebär det att entreprenören kan välja utformning av konstruktionen för att uppnå hög prestanda och driftsäkerhet.

## Definitioner

### Driftsäkerhet

Driftsäkerhet är ett sammanfattande begrepp som tillsammans med systemets tekniska prestanda avgör den nytta man kan få ur systemet. För Ringen gäller t.ex. att när driftsäkerheten går ned så minskar nyttan av systemet på samma sätt som om kapaciteten på trafiksystemet minskar. Driftsäkerhet mäts ofta i tillgänglighet (Se Funktionsanalys av Ringen - modeller och metoder, 93-12-21). Tillgänglighet definieras som:

$$\text{Tillgänglighet} = \frac{MTBF}{MTBF + MDT}$$

MTBF = Mean Time Between Failure (medeltid mellan fel)

MDT = Mean Down Time (medeltid ett system är ur funktion i händelse av fel)

MDT = MTTR + MTW<sub>personal</sub> + MTW<sub>reservdelar</sub>

MTTR = Mean Time To Repair (medeltid för aktiv reparation)

MTW<sub>personal</sub> = Mean Time Waiting personal (medelväntetid personal m.h.t. arbetstid, restid mm)

MTW<sub>reservdelar</sub> = Mean Time Waiting reservdelar (medelväntetid på reservdelar m.h.t. servicegrad och transporttider från förråd)

Med ledning av ovanstående formler inses att krav på komponenter skall ställas både på MTBF och MDT. För funktioner där man inte känner de ingående komponenterna får man lov att ställa kraven direkt på tillgängligheten för systemet. Begreppen förklaras närmare nedan.

## Förebyggande Underhåll (FU)

FU ingår inte i funktionsanalysernas beräkningar av frekvens för olika händelser. Man brukar inte heller ställa krav på FU i form av frekvens eller dylikt. Däremot skall man ställa krav på att data avseende FU skall lämnas i offerter för att kunna beräkna kostnader för FU och beräkna vilken personal och övriga resurser som åtgår för det förebyggande underhållet.

## Avhjälpande Underhåll (AU)

Med avhjälpande underhåll avses det underhåll som görs i samband med fel. Kraven på detta avser i huvudsak hur ofta det inträffar men också hur lång tid som felen normalt tar att åtgärda. Dessutom skall krav ställas på att data skall lämnas avseende vilken typ av reservdelar som behövs, nödvändiga verktyg, kompetens etc. De data som lämnas skall vara tillräckliga för att kunna göra beräkningar av driftsäkerhet och kostnader för systemen.

## Underhållsmässighet

Underhållsmässighet kan sägas vara ett mått på hur enkelt det tekniska systemet är att underhålla (reparera). Normalt mäts underhållsmässigheten i medelreparationstid (MTTR). Ju kortare tid desto bättre. I kraven på driftsäkerhet ställs därför normalt krav på MTTR. I flertalet av driftsäkerhetsanalyserna har förutsatts att de flesta komponenterna kan betraktas som utbytesenheter. Det innebär att vid fel på en enhet byts denna ut mot en reservenhet. Den utbytta enheten skickas till verkstad och blir efter reparation ny reservenhet.

MTTR kan påverkas av om det utrymmesmässigt finns några svårigheter att utföra bytet eller att lokalisera felaktig komponent.

## Underhållssäkerhet

Underhållssäkerheten kan sägas vara ett mått på hur snabbt underhållsorganisationen åtgärdar ett fel i det tekniska systemet. Normalt mäts underhållssäkerheten i medelväntetid (MTW = Mean Time Waiting). Ju kortare tid desto bättre. Väntetiden är summan av väntetid på personal och utrustning (reservdelar). Förutsättning i analyserna har varit att kvalificerad underhållspersonal finns tillgänglig 24 timmar om dygnet alla dagar i veckan. För en del system där funktionen kan övertas av annat system eller där inbyggda reserver eller överkapaciteter finns är det inte viktigt med snabb reparation. Den kan vänta tills lämpligt reparationstillfälle uppkommer. För fel i dessa komponenter accepteras en längre väntetid på personal och det innebär också att underhållet blir billigare genom att jourutryckningar undviks.

## Reservdelshållning och servicegrad

För tekniska system får man i allmänhet lov att acceptera att reservdelar inte alltid finns direkt tillgängliga i reservdelslagret. För reservdelslager använder man begreppen servicegrad och bristrisk (1-servicegrad). Servicegraden anger andelen reservdelsbehov som omedelbart kan tillfredsställas. Normalt accepterar man att servicegraden ligger kring 95 - 98 %. För komponenter som inte medför produktionsbortfall kan man dock acceptera en väsentligt lägre servicegrad. Servicegraden tillsammans med väntetiden vid brist på reservdelar används för att beräkna en medelväntetid. Denna används i sin tur för att beräkna tillgängligheten enligt

ovanstående formler.

För att göra en optimal investering i reservdelar krävs en del data om de reservdelar som ingår och en optimeringsmodell. De data som behövs är bl.a. styckepris på reservdelar, förväntad reparationstid etc. Dessa värden matas in i en matematisk modell tillsammans med föreslagen underhållsorganisation. Som resultat erhåller man en optimal policy för förstagångs- respektive och återanskaffning av reservdelar. De data som krävs för reservmaterielberäkningarna skall ingå i underlag för underhållsanalys.

## Data för underhållsanalys och beräkning av livscykelkostnad , LCC

Underhållsanalys kan sägas omfatta stegen

- Dimensionering av underhållsresurser (reservdelar, utrustning, personal etc)
- Minimering av kostnader

Ett viktigt verktyg i underhållsplaneringen är genomförandet av LCC-analys. Den hjälper oss att

- jämföra olika alternativ med avseende på livscykelkostnad
- optimera valt alternativ för att minimera kostnad

Normalt är att man i ett upphandlingsskede gör underhålls- och LCC-analys i samband med offertutvärdering och val av entreprenör. Man väljer då i allmänhet den entreprenör som uppfyller ställda krav till lägsta LCC.

För att kunna utföra analyserna behöver man en mängd data. En hel del av dessa data hämtas från offerter och måste därför finnas med redan i offertförfrågan. I avsnitt 3 finns en början till specifikation av de data som skall begäras in från entreprenörer.

## Uppställning av krav

Tillgänglighetskraven för entreprenaderna är utformade som

- tillgänglighetskrav för hela eller delar av en funktion
- tabeller över driftsäkerhetskrav per komponent

Tillgänglighetskravet är överordnat driftsäkerhetskraven. Det vill säga att om varje komponent i sig precis uppfyller driftsäkerhetskravet är det trots detta inte säkert att det totala tillgänglighetskravet uppnås. Det är i så fall möjligt att några komponenter måste dubbleras eller ersättas av bättre för att uppfylla tillgänglighetskravet.

Tillgänglighetskrav ställs endast på sådana system och funktioner där tillgängligheten är av hög betydelse för ringens produktionsförmåga. Kravet uttrycks i maximalt antal otillgängliga timmar per år enligt följande modell.

Funktion	Max antal otillgängliga timmar per år	Bivillkor
400 V eller 690 V skena i DU (utan hänsyn till eventuell tillgång till mobila elverk)	1,5	Inställelsetid vid reparation 2 h. Omsektionering antas ske omedelbart.

**Funktion** ingående i typlösning eller systemhandling

**Max antal otillgängliga timmar per år.** Värdet avser normalt varje funktion för sig. I ovanstående fall gäller således kravet för varje skena och det totala antalet otillgängliga timmar per år blir  $1,5 * \text{antal skenor inom Ringen}$ . Kravet måste sättas per system eftersom hela Ringen inte byggs samtidigt.

**Bivillkor** avser data kring förutsättningarna vilka entreprenörerna kan behöva vid beräkning av om deras lösning uppfyller tillgänglighetskravet eller inte.

Om det för ett system givits ett överordnat tillgänglighetskrav behöver man inte ställa MTBF-krav på de komponenter som omfattas av kravet. I nedanstående exempel omfattas transformatorbrytaren av det överordnade kravet emedan startapparatgrupperna inte gör det eftersom de ligger ”efter” skenan och inte påverkar tillgängligheten på denna.

Tabellerna över driftsäkerhetskrav per komponent är uppställda enligt följande modell.

Komponent	MTBF (år)	MTTR (h)	MTW rep (h)	Servicegrad reservdelar	Kommentar
Transformatorbrytare 0,69 kV	-	4	0	god	
Utgående startapparatgrupper för impulsfläktar	20	3	0	god	
Transformator 33kV / 22kV	-	24	0	låg	Ej i reserv

**Komponent** ingående i typlösning eller systemhandling

**MTBF** som anges avser inte varje individ för sig utan skall gälla som ett garanterat medelvärde för hela populationen av komponenten. MTBF avser slumpvisa fel. Detsamma gäller för övrigt MTTR och MTW. Om inte ett värde anges för MTBF finns inget utpekade krav utan entreprenören kan välja komponenter så att det överordnade tillgänglighetskravet uppfylls. Alla komponenter kommer inte att vara i kontinuerlig drift. Vid uppföljningen av inträffade fel och MTBF kommer därför i vissa fall en ekvivalent drifttid att beräknas.

**ekvivalent drifttid per komponent = drifttid + antal starter \* x timmar**

För övriga komponenter gäller att ekvivalent drifttid = kalendertid.

Uppföljd MTBF = totalt inträffade fel / total ekvivalent drifttid

**MTTR** avser aktiv reparationstid, dvs från att man är på plats med erforderlig utrustning tills systemet åter är i drift. I allmänhet vill man hålla de kravsatta reparationstiderna korta även i de fall konsekvenser vid fel på systemet är lindriga för att pressa entreprenören att tänka på underhållsaspekten vid konstruktionen.

**MTW** avser den inställetid komponenten eller funktionen kräver i medel för att den beräknade tillgängligheten skall uppnås. Med MTW rep = 0 menas att personal alltid med kort varsel skall finnas i beredskap för underhållsarbete på systemet. Med längre inställetider, t.ex. 12, 24 eller 168 timmar, menas att

reparation inte behöver starta omedelbart tack vare att den begränsade konsekvens som felet innebär.

**Servicegrad** avser en preliminär bedömning av vilken täckning som reservdelsansaffningen för komponenten eller funktionen bör ha. Med servicegrad god menas att reservdelar skall finnas för de flesta typer av fel, t.ex. genom att kompletta enheter finns i reserv. Med servicegrad låg menas att man kan acceptera att reservdelar finns i begränsad omfattning, t.ex. för den vanligaste typen av fel. Detta kan vara fallet om sannolikheten för fel är låg eller om konsekvensen vid fel är ringa.

De angivna servicegraderna är preliminära och vid genomförandet av reservdelsoptimering kommer man att få ett bättre underlag för att beräkna optimal anskaffning och resulterande servicegrad.

## TILLGÄNGLIGHETSKRAV FÖR ENTREPRENADER

### Elkraftförsörjning

Det överordnade tillgänglighetskravet för elkraftförsörjningen är satt på 400 V och 690 V skenorna inom varje driftutrymme. Härigenom täcker man in den största delen av alla komponenter och behöver inte sätta MTBF krav på alla.

Funktion	Max antal otillgängliga timmar per år	Bivillkor
400 V eller 690 V skena i DU (utan hänsyn till tillgång till mobila elverk)	1,5	Inställelsetid vid reparation 2 h. Omsektionering antas ske omedelbart.

Kravet gäller som ett medelvärde över alla nätstationer (1 per driftutrymme). För att kravet skall uppfyllas måste leveransen innehålla förutsättningar för att reparation kan utföras, dvs att erforderliga underhållsresurser finns tillgängliga. Elkraftförsörjningen upphandlas som en GE och följaktligen ställs också driftsäkerhetskrav på omponenter. För de komponenter som inte omfattas av det övergripande tillgänglighetskravet ställs krav på MTBF. För övriga komponenter behöver inte specifika MTBF-krav anges eftersom de ingår i det överordnade kravet.

#### Utrustningar i mottagningstationer

Komponent	MTBF (år)	MTTR (h)	MTW rep (h)	Servicegrad reservdelar	Kommentar
Linjebrytare 33kV	-	24	0	god	
Transformator 33kV / 22kV	-	24	0	låg	Ej i reserv
Effektfrånskiljare 22kV	-	6	0	god	
Samlingsskena 22kV	-	10	0	god	
Sektioneringsbrytare 22kV	-	6	0	hög	Komplett reserv

Komponent	MTBF (år)	MTTR (h)	MTW rep (h)	Servicegrad reservdelar	Kommentar
Mobila reservkraftaggregat		6	0	god	Funktions sannolikhet start + drift 5 h >= 95%

Med servicegrad låg menas att reservtransformator (troligen) inte skall lagerhållas. Dock under förutsättning att man vid haveri på transformatorn kan reparera denna eller anskaffa ersättningstransformator inom ca 2 månader.

För sektioneringsbrytare gäller att man vid fel på dessa slår ut en eller två länkar. Därför är det av vikt att ha kompletta sektioneringsbrytare i reserv för att säkerställa att reparation kan ske snabbt.

Utrustning för distribution 22 kV mellan mottagningsstation och nätstationer och mellan nätstationer

Komponent	MTBF (år)	MTTR (h)	MTW rep (h)	Servicegrad reservdelar	Kommentar
22kV Pex kabel (eller motsvarande) per del sträcka	-	24	0	hög	Kabelmateriel och reparationsmateriel för kablar skall hållas i reserv

Utrustning i nätstationer

Komponent	MTBF (år)	MTTR (h)	MTW rep (h)	Servicegrad reservdelar	Kommentar
Lastfrånskiljare 22kV ingående till nätstation	-	6	0	god	
Samlingsskena 22kV	-	10	0	god	
Transformatorbrytare 22kV	-	6	0	god	
Transformator 22 kV / 0,72 kV	-	6	0	god	
Samlingsskena 0,69 kV	-	10	0	god	
Lågspänningsbrytare 0,69 kV (trafo nersida)	-	4	0	god	
Lågspänningsbrytare (MCCB) 0,69 kV motorgrupper	-	3	0	god	
Transformatorbrytare 0,69 kV	-	4	0	god	
Utgående startapparatgrupper för impulsfläktar	20	3	0	god	
Apparatskåp impulsfläktar	20	2	0	hög	
Utgående apparatgrupper för TF/FF, pumpar	20	3	0	god	
Utrustning för inkoppling av mobilt reservkraftaggregat	20	3	0	god	
Transformator 0,69kV / 0,42kV	-	6	0	god	

Komponent	MTBF (år)	MTTR (h)	MTW rep (h)	Servicegrad reservdelar	Kommentar
Lågspänningsbrytare 0,4 kV (trafo. nedsida)	-	4	0	god	
Samlingskena 0,4 kV	-	4	0	god	
UPS 0,4 kV Reservbelysning	20	3	0	god	MTBF m.h.t. förbikoppling
UPS 0,4 kV Övrig säkerhetsrelaterad utrustning 60 min	20	3	0	god	MTBF m.h.t. förbikoppling
Lågspänningsbrytare (MCCB) 0,4 kV grupper	-	3	0	god	
Utgående apparatgrupper	20	3	0	god	

## Impulsfläktar

Upphandlas som en GE och följaktligen ställs driftsäkerhetskrav på komponentnivå.

Komponent	MTBF (år)	MTTR (h)	MTW rep (h)	Servicegrad reservdelar	Kommentar
Impulsfläkt mm. enligt leveransomfattning	4	2	12	god	Flera kompletta impulsfläktar bör finnas i lager

Impulsfläktarna kommer inte att vara i kontinuerlig drift. Vid uppföljningen av inträffade fel och beräkning av MTBF kommer därför en ekvivalent drifttid att beräknas som

**ekvivalent drifttid per fläkt = drifttid + antal fläktstarter \* 1h**

Om inte automatisk uppföljning av fläktarnas drifttid och antal starter sker så beräknas dessa. Den vid uppföljningen använda ekvivalenta drifttiden under en månad för en fläkt kan exempelvis bli 25 timmar + 50 starter = 75 ekvivalenta drifttimmar

## Huvudfläktar

Upphandlas inom Norra länken som en underentreprenad till generalentreprenaden luftbehandlingsanläggning. Inom Södra länken är den dock en egen totalentreprenad. Driftsäkerhetskraven för huvudfläktarna behandlas därför på sätt för Södra respektive Norra länken.

För Norra länken (UE) ställs driftsäkerhetskrav på komponentnivå enligt följande.

Komponent	MTBF (år)	MTTR (h)	MTW rep (h)	Servicegrad reservdelar	Kommentar
Tilluft/Frånluftfläkt	4	24	0	god	ekv. drifttid
Utrustning för flödesreglering	4	24	0	god	ekv. drifttid
Apparatskåp och övriga styr- och reglerinstallatiner	6	2	0	hög	
Spjäll till TF/FF	10	2	12	hög	



Vid uppföljning av MTBF beräknas för vissa komponenter en ekvivalent drifttid.

**ekvivalent drifttid per komponent = drifttid + antal fläktstarter \* 1h**

För övriga komponenter gäller kalendertid. För Södra länken gäller att huvudfläktarna upphandlas som en totalentreprenad och följaktligen ställs ett funktionellt krav på denna entreprenad.

Funktion	Max antal timmar per år	Bivillkor
Bortfall av 50% kapacitet på frånluftfläktfunktion	20 per fläktrum	Inställelsetid vid reparation 12 h.
Bortfall av 100% kapacitet på frånluftfläktfunktion	0,5 per fläktrum	Inställelsetid vid reparation 12 h.
Bortfall av tilluftfläktfunktion	10 per fläktrum	Inställelsetid vid reparation 12 h.

### VVS-installationer för sidoutrymmen

Upphandlas som en GE och följaktligen ställs driftsäkerhetskrav på komponentnivå.

Komponent	MTBF (år)	MTTR (h)	MTW rep (h)	Servicegrad reservdelar	Kommentar
TF/FF allmän ventilation	8	4	24	god	
Luftkylare/Värmare	8	4	24	god	
Styr och regleranläggning	4	4	24	god	

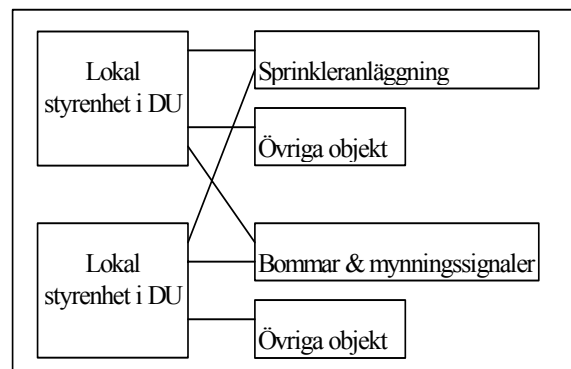
### Styr och regler

Upphandlas som en totalentreprenad och följaktligen ställs driftsäkerhetskrav på funktioner i stället för på komponenter.

Funktion	Max antal otillgängliga timmar per år	Bivillkor
Någon väsentlig funktion inom LLU	0,2 per länk	LLU troligen dubblerad
DU styrning av sprinkleranl.	0,1 per DU	Troligen dubblerad I/O
DU styrning av bommar och mynningssignaler	0,1 per DU	Troligen dubblerad I/O
DU styrning och övervakning av övriga objekt	1 per DU	

Kraven gäller per LLU respektive objekt inom ett DU. Ett processorfel i en styrenhet ger bortfall av flera objekt och otillgänglighet då för varje objekt. Ett bortfall av en I/O räknas bara för aktuellt objekt.

För det lokala styrsystemet gäller att funktioner som vid incidenter måste aktiveras, och inte kan inta säkra lägen, är mer kritiska än andra och bör få dubblerad styrning. För övriga objekt räcker en enkel anslutning.



För givare anslutna till det lokala styrsystemet gäller komponentkrav enligt följande

Komponent	MTBF (år)	MTTR (h)	MTW rep (h)	Servicegrad reservdelar	Kommentar
Mätutrustning NO <sub>x</sub> givare	1,5	2	12	god	
Mätutrustning CO givare	1,5	2	12	god	
Mätutrustning luftflödesgivare	1,5	2	12	god	
Mätutrustning siktgivare	1,5	2	12	god	
Mätutrustning tempgivare	1,5	2	12	god	
Mätutrustning fuktighetsgivare	1,5	2	12	god	

## Pump- och VA-stationer

Upphandlas som en GE och följaktligen ställs driftsäkerhetskrav på komponentnivå.

För pumpstationer och infiltrationsanläggningar gäller följande

Komponent	MTBF (år)	MTTR (h)	MTW rep (h)	Servicegrad reservdelar	Kommentar
Pump (våt uppställning)	4	2	168	god	ekvivalent drifttid
Nivåvakt	10	2	168	god	
Apparatskåp för pumpar	10	2	0	god	
	6	2	0	god	

Vid uppföljning av MTBF beräknas för vissa komponenter en ekvivalent drifttid.

**ekvivalent drifttid per komponent = drifttid + antal starter \* 1h**

För VA-stationer gäller följande

Komponent	MTBF (år)	MTTR (h)	MTW rep (h)	Servicegrad reservdelar	Kommentar
Pump (våt uppställning)	4	2	168	god	ekvivalent drifttid
Nivåvakt	10	2	168	god	
Rensaggregat	4	4	24	god	
Trumsil	4	4	24	god	
Apparatskåp för pumpar	10	2	0	god	
Ultrafilter	2	4	24	god	

## Teletekniska anläggningar

Upphandlas som en totalentreprenad och följaktligen ställs driftsäkerhetskrav på funktioner i stället för på komponenter.

Kraven gäller per DU. Dvs ju fler DU man har totalt i systemet desto fler otillgängliga timmar kan man förvänta sig.

Funktion	Max antal otillgängliga timmar per år	Bivillkor
Hjälptelefon (flera telefoner inom DU ur funktion samtidigt)	24	Inga konsekvenser varannan telefon kopplad till nästa DU
Lokaltelefoner inom DU (flera telefoner ur funktion samtidigt)	24	Inga konsekvenser
Radiokommunikation inom DU	24	Inga konsekvenser
PA system inom DU (flera högtalare ur funktion samtidigt)	5	
ITV inom DU (flera kameror ur funktion samtidigt)	5	
Brandlarm inom DU (en eller flera detektorer ur funktion)	5	
Accesssystem inom DU (flera kortläsare eller larmar ur funktion samtidigt)	24	Inga konsekvenser

## Kommunikationstekniska anläggningar

Upphandlas som en totalentreprenad och följaktligen ställs driftsäkerhetskrav på funktioner i stället för på komponenter. Kraven gäller per DU. Det vill säga ju fler DU man har totalt i systemet desto fler otillgängliga timmar kan man förvänta sig.

Funktionsgrupp	Max antal otillgängliga timmar per år	Bivillkor
Kommunikation med DU (DU kan inte kommunicera)	0,5	
Kommunikation hel länk (flera DU har inte kontakt med något LLU)	0,2	
Kommunikation med VTC (VTC saknar kontakt med länk)	0,1	

## Elanläggningar - Tunnlar

Belysningsystemet upphandlas som en GE och följaktligen ställs driftsäkerhetskrav på komponentnivå. För livlängd på lampor, lysrör och armaturer ställs inte driftsäkerhetskrav i detta dokument. Val av kvalitet på dessa avgörs på annat ställe, dessa komponenter påverkar inte heller driftsäkerheten på belysningsystemet eftersom bortfall av enstaka eller flera ljuspunkter kan kompenseras.

Komponent	MTBF (år)	MTTR (h)	MTW rep (h)	Servicegrad reservdelar	Kommentar
Gruppledning	15	2	12	hög	
Gruppsäkring	15	2	12	hög	
Kontaktor i belysningscentral	15	2	0	hög	
Samlingsskena belysningscentral	15	2	0	hög	

## El för sidoutrymmen

Upphandlas som en GE och följaktligen ställs driftsäkerhetskrav på komponentnivå. Komponenterna är dock inte väsentliga för den totala driftsäkerheten varför inget MTBF-krav ställs.

Komponent	MTBF (år)	MTTR (h)	MTW rep (h)	Servicegrad reservdelar	Kommentar
Elvärmeinstallationer	-	1	168	låg	Ej i funk. analys
Belysningsarmaturer	-	1	168	låg	Ej i funk. analys

## Sprinklersystem

Sprinklersystemet ingår inte i funktionsanalysen. Ett tillgänglighetskrav bör sättas med tanke funktionssannolikhet vid årligt funktionsprov i stället för som ett bestämt MTBF värde.

Upphandlas som en GE men m.h.t. verifierbarhet sätts kravet på funktionen.

Komponent	MTBF (år)	MTTR (h)	MTW rep (h)	Servicegrad reservdelar	Kommentar
Sprinklercentral inkl rörsystem och sprinklerhuvuden	se komm.	4	0	god	Fullskaleprov efter installation. Därefter årlig funktionstest av central. Krav = full funktion i 99% av fallen

## Trafikanordningar

För Trafikanordningar har inte någon funktionsanalys genomförts ännu. Innan konsekvenserna vid fel till fullo har analyserats är det svårt att sätta driftsäkerhetskrav. Med hänsyn till tillgänglighet på systemet bör kraven liksom för belysning sättas på komponenter som i händelse av fel slår ut väsentliga delar av trafikanordningarna. De delar av trafikanordningarna som bedöms som väsentliga är bommar och mynningssignaler. För övriga funktioner finns redundanser i form av t.ex. upprepade körfältssignaler.

Upphandlas som en GE och följaktligen ställs driftsäkerhetskrav på komponentnivå.

Komponent	MTBF (år)	MTTR (h)	MTW rep (h)	Servicegrad reservdelar	Kommentar
Mynningssignaler	5	2	0	god	
Bommar	Se komm.	2	0	god	Regelbunden funktionstest. Krav = full funktion i 99% av fallen

## SAMMANFATTNING AV TILLGÄNGLIGHETSKRAV

Kapitel i denna handling	System del	Tillgänglighetskrav. Maximalt tillåten årlig otillgänglighet eller MTBF krav
2.1 Elkraftförsörjning	400 V eller 690 V skena i DU:  Övriga komponenter:	1,5 h per DU  MTBF krav på komponenter
2.2 Impulsfläktar	Impulsfläkt mm. enligt leveransomfattning	MTBF-krav på impulsfläktar MTBF $\geq$ 4 år
2.3 Huvudfläktar	Norra länken (GE)  Södra länken (TE)	NL: Huvudfläktar TF/FF MTBF $\geq$ 4 år  SL: Tillg krav bortfall 50% FF max 20h/rum bortfall 100% FF max 0,5h/rum
2.4 VVS-installationer för sidoutrymmen		Inga tillgänglighetskrav på VVS för sidoutrymmen
2.5 Styr och regler	Någon väsentlig funktion inom LLU: Styrning av bommar och mynningssignaler: Styrning av sprinkler: Styrning av övriga objekt:	0,2 h per länk  0,1 h per DU  0,1 h per DU 1 h per DU
2.6 Pump- och VA-stationer		MTBF krav på komponenter
2.7 Teletekniska anläggningar	Hjälptelefon: Lokaltelefoner: Radiokommunikation: PA system: ITV: Brandlarm: Accesssystem:	24 h per DU 24 h per DU 24 h per DU 5 h per DU 5 h per DU 5 h per DU 24 h per DU
2.8 Kommunikationstekniska anläggningar	Kommunikation med DU: Kommunikation hel länk: Kommunikation med VTC:	0,5 h per DU 0,2 h per länk 0,1 h
2.9 Elanläggningar - Tunnlar		MTBF krav på komponenter
2.10 El för sidoutrymmen		MTBF krav på komponenter
2.11 Sprinklersystem	Sprinklercentral inkl detektorer:	Funktionssannolikhet 99 %
2.12 Trafikanordningar	Bommar:	Funktionssannolikhet 99 %

## Bilaga 2

### Livscykelkostnader

Detta dokument är en sammanfattande beskrivning av metoder och hjälpmedel för att ta fram livscykelkostnader för broar. Eftersom vi ännu inte har sådana metoder utvecklade för tunnlar beskrivs här ett tillvägagångssätt som i princip även kan tillämpas för tunnlar. För mer detaljer hänvisas till rapporten; *Optimala nya broar, delstudie LCC-analyser*. Rapporten innehåller även en fyllig litteraturlista.

## GRUNDDATA FÖR LCC-VÄRDERING

### Bakgrund och förutsättningar för beräkning av livscykelkostnader

En bro eller annan struktur som ingår i infrastrukturen byggs till nytta för samhället. Nyttan av bron bör naturligtvis vara större än de kostnader som är associerade med denna. I föreliggande rapport kommer inte beräkningen av nyttan att behandlas utan framställningen koncentreras på kostnaderna även om vissa typer av kostnader egentligen lika väl skulle kunna hänföras till inskränkningar i nyttan. Vi förutsätter därför att ”nyttan” avser en produkt som fungerar perfekt under sin tilltänkta livstid.

Kostnaderna som enligt denna definition även inkluderar inskränkningar i nyttan drabbar olika parter i samhället. Vi kan tala om

ägarkostnader,

brukarkostnader och

samhällskostnader.

Hur dessa kostnader fördelas kan variera från land till land, beroende på trafikslag och andra omständigheter. Ägarkostnader är de direkta utlägg som t.ex. Vägverket har för att bygga, underhålla och reparera bron. Direkta kostnader för rivning av bron återfinns inte direkt i utläggen eftersom dessa kostnader ligger så långt fram i tiden. Naturligt bör dock emellertid rivnings- och återställningskostnader medtas i en livscykelanalys. Måste en bro repareras eller underhållas så att det uppstår störningar uppstår kostnader inte bara för ägaren utan även för trafikanterna och samhället. Sådana kostnader kan handla om tidsförluster, avskrivningskostnader för fordon, ökade risker för olyckor m.m. Dessa senare typer av kostnader drabbar både trafikanterna direkt och samhället i form sjukvårdskostnader, minskade skatteinkomster m.m.

En annan typ av kostnader är sådana som kan tänkas uppkomma vid ett haveri av bron. Även om sannolikheten för haveri är liten kan kostnaderna associerade med ett haveri vara gigantiska. Haverikostnaden bör därför tas med i en komplett LCC-kalkyl. Kostnader av den typ som ovan diskuterats måste av praktiska skäl behandlas separat. Trafikantkostnader kan uppgå till mycket höga belopp, ofta mycket högre än t.ex. reparationskostnaderna. Ägaren, t.ex. Vägverket, behöver dock inte lägga ut medlen för detta och statens budget för vägarna förändras inte heller. Normalt sätt är det

mycket svårare och mer osäkert att bedöma samhälls- och användarkostnader än t.ex. kostnader av fysiska reparationer. Samhälls- och brukarkostnader bör således betraktas separat, men det kan vara lämpligt att genomföra LCC-kalkyler såväl med som utan dessa typer av kostnader.

## Förenklad LCC-analys

För att kunna göra en LCC-värdering av en bro med hänsyn till det förenklade synsätt som beskrivits ovan, behövs kunskap om ett antal parametrar. I första hand behöver man känna till

- investeringskostnader,
- drifts- och underhållskostnader
- rivningskostnader
- kostnader förbundna med ett eventuellt haveri
- trafikantkostnader samt
- modeller och verktyg för att värdera ovanstående kostnader.

I första hand studerar vi de totala kostnaderna och gör ingen principiell uppdelning i vilka som drabbas av de olika kostnaderna. Däremot görs av praktiska skäl en uppdelning i ”hårda” kostnader” d.v.s. sådana där ekonomiska transaktioner måste komma till stånd och ”mjuka” kostnader d.v.s. sådana som inte syns direkt, men kan drabba alla parter ägare, brukare och samhälle. Utöver de kostnader och intäkter som diskuterats ovan, kan man tänka sig andra ”mjuka” kostnader t.ex. förlust av goodwill vid ett eventuellt haveri av en bro.

## Investeringskostnader och allmänna basdata

Först måste vi ha kunskap om investeringskostnader. Dessa data är de som man har bäst kunskap om. Vägverket har en metod för att beskriva de olika delar som ingår i en bro. Till att börja med har vi huvuddelarna *grundläggning*, *underbyggnad* och *överbyggnad*. Brons huvuddelar indelas därefter i konstruktionsdelar som i sin tur indelas i element och dess olika delar elementdelar. Som exempel tas en del som ingår i ett landfäste som är en del av underbyggnaden, konstruktionsdel ”stöd”, element ”frontmur” som t.ex. kan innehålla elementdelarna gjutfog, infästningsdetalj, vot o.s.v.

För de olika delarna måste anges relevanta mängder i form av m, m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>, kg o.s.v. Ska en jämförelse göras mellan olika möjliga broar kan det vara lämpligt att sätta ihop investeringskalkylen i huvudsak enbart baserat på dessa mängder. I en mer sofistikerad analys måste också en lång rad andra relevanta faktorer såsom byggmetoder, tidsaspekter, tillgång på material och personella resurser o.s.v., inarbetas i kalkylen.

## Drift- och underhållskostnader

Varje konstruktion måste naturligtvis skötas om och underhållas. I ett första steg antas det finnas underlag för kostnadsvärdering av dessa åtgärder. Som exempel på *drifts-* och *underhålls*åtgärder av denna typ kan nämnas årlig rengöring, inspektion av brons

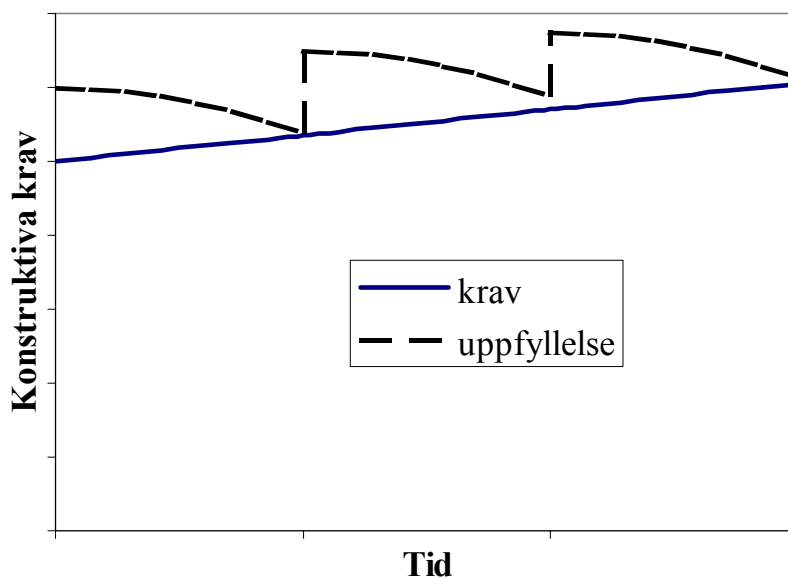


tillstånd, underhåll och byte av elektriska och andra installationer o.s.v. Det är troligt att det finns underlag för värdering av denna typ av kostnader för olika brotyper. Här erfordras dock en fördjupad studie och sammanställning.

## Reparationskostnader

Med *reparation* avses åtgärder för att återställa, en på något sätt degraderad konstruktion, till dess tänkta egenskaper. Vi bestämmer oss för att med reparation avses att återställa till den egenskap som konstruktionen hade i samband med slutbesiktningen om denna var helt godkänd. Reparation till en bättre kvalitet än den ursprungligen tänkta, benämner vi *förstärkning* eller *uppklassning*.

Normalt får man i de sammanhang då man ska jämföra olika tekniska lösningar förutsätta konstanta förhållanden d.v.s. att de krav som gäller vid investeringstillfället gäller under konstruktionens hela livslängd. Detta är en kraftig förenkling för konstruktioner såsom broar som byggs för mycket långa livslängder. I verkligheten har man troligen med tiden ökade krav på de funktioner som bron är till för att lösa. Det kan handla om krav på ökad lastkapacitet, ökade mått, ökad trafiksäkerhet, bättre estetik o.s.v. Vi har troligen ett förlopp enligt **Figur 1**.



**Figur 1** *Kraven på en konstruktionsdel som ingår i en konstbyggnad ökar ofta med tiden, t.ex. beroende på ökade krav på laster och liknande. När den först konstrueras ges den därför ofta en viss överstyrka. Miljö- och funktionsbetingad nedbrytning minskar delens förmåga att uppfylla krav varför den repareras. Vid reparationen ges den ofta en större styrka än ursprungligt (förbättring) för att den ska kunna möta nya krav på motståndskraft mot laster och miljönedbrytning.*

Naturligtvis kan man, om de ökade kraven kan bedömas anpassa LCC-kalkylen efter detta. Normalt vet man för lite om framtiden för att kunna göra relevanta bedömningar, varför vi i detta skede utgår från kalkyler vid konstanta förhållanden.

I ett senare skede kan en utveckling ske mot LCC-kalkyler där framtida krav bedöms. För vissa fakta som t.ex. lastkraven finns historiska data som kanske kan extrapoleras. Här behövs ökad kunskap och sammanställningar. Det finns en nära koppling mellan denna typ av funderingar med idéer om värde av och möjligheter till *flexibla lösningar*. Till denna typ av frågor får återkommas i senare utredningar.

Om det handlar om LCC-analyser i samband med funktionsentreprenader och PPP-lösningar är tidshorisonterna inte så långa, typiskt inom intervallet 10 à 45 år, för vilka antaganden om konstanta funktionskrav verkar rimliga, se vidare avsnitt 2.8 nedan.

## Haveri

Det finns en risk för att en bro havererar. Även om risken är liten bör kostnaderna bedömas. Det blir en ganska intrikat beräkning där interaktionen mellan haveririskerna och åtgärder för inspektion, underhåll och reparation interagerar, se *Bailey (1998)*, *Radojićić' (2001)*.

## Rivning

Kostnader för brons rivning och eventuella restvärden måste inkluderas i kalkylen och kommer lämpligen in i kalkylen på samma sätt som reparationskostnaderna. Handlar det om värdering av LCC för funktionsentreprenader eller PPP-entreprenaden, får rivningskostnader ersättas med värdering av restvärde vid sluttidpunkten för entreprenaden.

## Tid

För att kunna göra en LCC-kalkyl behövs kännedom om tidsfunktioner. För underhållsåtgärder behövs kännedom om tidsintervall mellan olika reparationsåtgärder. Vi har redan talat om årlig rengöring av bron och för inspektioner finns vissa bestämda tidsintervall. För bedömning av tidsintervall för reparationsåtgärder måste vi ha kunskap om nedbrytningens tidsförlopp. I *Racutanu (2000)* finns utvärderat olika skademekanismers tidsförlopp och mätt i någon form av skadeklass.

## Tillståndsklasser

För att kunna arbeta med ekonomisk värdering av nedbrytning av konstruktioner behövs någon form av klassning. Vi arbetar i det följande med Vägverkets klassningsnomenklatur där begreppet tillståndsklass bestäms enligt **Tabell 1** nedan. För att komplettera och kunna använda systemet matematiskt har en högre tillståndsklass 4 tillförts.

För att kunna arbeta med analytiska metoder måste man kunna förutsätta att det rent principiellt finns tillståndsklasser ”med decimal”, t.ex. tillståndsklass 3,5. Vi antar vidare att tillståndsklasserna i någon mån ökar linjärt i allvarlighetsgrad. Det torde i det följande vara nödvändigt att närmare analysera metoder för klassning av tillstånd och skapa mer stringenta definitioner.

Tillståndsklass (TK)	Bedömning
0	Bristfällig funktion bortom 10 år
1	Bristfällig funktion inom 10 år
2	Bristfällig funktion inom 3 år
3	Bristfällig funktion vid inspektionstillfället
4	Tillståndsklass som erfordras för att kunna analysera nedbrytningen analytiskt

**Tabell 1** *Bedömning av tillståndsklass för konstruktionsdel enligt Vägverkets nomenklatur, men med tillägg av en än högre allvarligare klass.*

## Nedbrytningsmodeller

Det mest komplicerade när det gäller den ekonomiska LCC-kalkylen är att bestämma tidsintervall mellan olika nödvändiga reparationsåtgärder. I första hand görs därför livslängdsprognoser utgående från erfarenhetsvärden. Internationell statistik är i detta sammanhang ett värdefullt stöd.

## Verktyg

För den slutliga LCC-analysen behövs någon form av hjälpmedel<sup>1</sup> eller verktyg. Dessa kan utgöras av olika system såsom handböcker, diagram eller liknade, men ett datorhjälpmedel som utvecklas så att det kan kompletteras och byggas ut blir mer flexibelt än andra system. Ett välutvecklat expertsystem skulle kunna ses som ett slutresultat av ett arbete för att ta fram ett praktiskt användbart hjälpmedel för LCC-analyser.

## Allmänt

Det system för LCC-analyser som blir resultat av det planerade blir någon form av verktyg. Detta föreslås bestå av ett generellt sammanhållande system, troligtvis någon form av databassystem eller ett mer utvecklat expertsystem, samt ett antal modeller och verktyg, delvis beskrivna i ovanstående text.

Vi delar preliminärt in möjliga system i

- dels *linjära LCC-system* där man matar in data och får ett färdigt resultat. Vid givna indata blir resultatet alltid detsamma.

dels *expertsystem* som ”lära” och återför kunskap vartefter systemet används och interaktivt ger råd till åtgärder. Vid givna indata kommer resultaten att bli olika vartefter systemet ”lära” och bygger upp ny kunskap. Denna uppbyggnad av kunskap kan inte

<sup>1</sup> Vi använder här begreppet ”verktyg” för att beskriva ett kraftfullt system som kan ta hand om hela LCC-analysen, medan begreppet ”hjälpmedel” här förstås för enklare system.

ske helt automatiskt utan måste hela tiden baseras på interferens med de experter som använder och successivt tillför kunskap.

Det finns naturligtvis hybrider och varianter av dessa olika möjligheter. Klart är att det är väsentligt enklare att bygga upp linjära system, men också att sådana kan byggas ut vidare mot expertsystem.

## Metodval

Föreliggande rapport utgör en del i ett projekt som avser att skapa underlag för metoder att ta fram optimala nya broar. Vad som skulle kunna anses som optimalt, har kort diskuterats i avsnitt 1. Vi har dock brist på kunskaper, modeller och verktyg för ett mer allmänt studium av vad som är optimalt. I brist på erforderliga kunskaper får man använda sig av metoder som i något avseende beskriver det man önskar få fram. LCC-kalkyler baserade på enkla ekonomiska metoder och antagna modeller för nedbrytning m.m.

## Ekonomiska analyser

För jämförelse av olika ingredienser i en LCC-kalkyl behövs någon gemensam parameter och i brist på bättre förslås användning av ekonomi som en sådan parameter. Som diskuterats ovan är detta inte självklart men får duga tills vidare. Den ekonomiska analysen kan lämpligen baseras på den s.k. nuvärdesmetoden där inverkan av olika parametrar jämförs genom att deras ekonomiska inverkan nuvärdesberäknas fram till en gemensam tidpunkt, vanligtvis starttidpunkten för investeringen. Nuvärdesmetoden beskrivs i avsnitt 7. Appendix.

## Modeller

Vi har ovan beskrivit vad som behövs för den slutliga kalkylen. Sammanfattningsvis behövs

- mängder för de olika delar som ingår i en bro
  - för investeringskalkylen behövs alla mängder,
  - för reparations- och underhållskalkylen behövs mängder för de speciellt underhållsbehövande delarna,
- modeller för nedbrytning,
- modeller för beräkning av kostnader för underhåll,
- kännedom om trafikmängd och dess fördelning på olika typer av fordon,
- modeller för trafikantkostnader samt
- prognoser för den framtida utvecklingen av trafikmängd.

## Bilaga 3

### Praktiska livslängder för tunnelutrustning enligt regler för vägtunnlar i Storbritannien. Volume 2 Section 2, Part 9 BD 78/99, August 1999, appendix G

#### Mechanical Plant

##### *Ventilation*

Jet Fans	18 years
Axial Fans	30 years
Electrostatic filters	10 years (estimated)

##### *Drainage*

Pumps	15 years
Water level detectors	10 years

##### *Fire Fighting*

Hand Extinguishers	7 years
Hydrants	28 years
Hose reels	20 years
Fire main pipework	30 years
Sprinkler Systems	20 years
Fire detectors (Services Building)	10 years
Automatic Gas Discharge Systems	20 years

#### Electrical Equipment

##### *Power Supply and Distribution*

Switchgear	20 years
Transformers	30 years
Cables HV	50 years
Cables LV, comms	40 years

##### *Standby Supplies*

Diesel generators	20 years
UPS sets	15 years

##### Batteries:

- valve regulated lead acid	5 years
- vented nickel cadmium	20 years

##### *Lighting*

Luminaires	18 years
------------	----------

##### Ballasts and control gear:

- conventional	20 years
- electronic	10 years

##### Lamps

Guide lighting (emergency)

	10 years
--	----------

##### *Control Systems*

CO, NO <sub>2</sub> sensors	13 years
Visibility Monitors	15 years
Anemometers	20 years
Photometers	15 years
Computer and PLC systems	18 years (but may be obsolescent earlier)

**CCTV Systems**

Cameras	15 years (but may be obsolescent earlier)
Monitors	10 years (but may be obsolescent earlier)
Control equipment	20 years (but may be obsolescent earlier)
Cables	20 years

**Traffic Monitoring and Control Systems**

Inductive loop systems	13 years
Signs and signals	14 years (but may be obsolescent earlier)
Control equipment	15 years (but may be obsolescent earlier)
Closure gates	15 years (13 years if automatic type)
Height detector	15 years

**Communications**

Telephones	15 years
Telephone cabinet	20 years
Switch equipment	20 years (but may be obsolescent earlier)
Radio antenna cables	15 years
Transmitter/receiver equipment	15 years (but may be obsolescent earlier)

**Fire Alarm and Detection systems**

Detectors:	
- in tunnel	5 years
- elsewhere	20 years
Control Equipment	20 years

**Tunnel Panels**

Enclosure cabinets (stainless steel)	35 years
Distribution Boards	20 years
Fire fighting equipment	See above

**Fixings and support systems**

Stainless steel	100 years
Hot-dip galvanised steel	15 years

## Bilaga 4

### Krav på funktionssikkerhet i norske vøgtunnlar

Føljande krav finns och dessa är uppdelade på tre olika fall

- Trafikolyckor eller incidenter
- Planerade drift- eller underhållsåtgärder
- Funktionsstörningar

#### 3.2.3 Ikke planlagte hendelser- Ulykker

Ikke planlagte hendelser- Ulykker			
TUNNELKLASSE A – F			
Hendelser	Årsak	Krav	Tiltak
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Kollisjoner</li> <li>➤ Påkjørsel</li> <li>➤ Brann</li> <li>➤ Eksplosjon</li> <li>➤ Utforkjøring</li> <li>➤ Arbeidsulykke</li> <li>➤ Terrorisme/ hærverk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Dårlig sikt</li> <li>➤ Lysblending</li> <li>➤ Oljesøl</li> <li>➤ Glatt/fuktig kjørebane</li> <li>➤ Dyr i tunnelen</li> <li>➤ Løse gjenstander på vegbanen</li> <li>➤ Eksplosjon i farlig gods</li> <li>➤ Lynnedslag</li> <li>➤ Opphoping av kjørtøy</li> </ul>	<p>Installert nødutstyr skal være intakte, operative og kunne betjenes i min. 1. time etter hendelse eller iverksatt stengning.</p>	<p>Følge de prosedyrer for tiltak og de beredskapsplaner som er laget for den enkelte tunnel.</p>

### 3.2.2 Planlagte hendelser

Aksepterte stengningstider i den enkelte tunnelklasse						
Tunnelklasser	A ÅDT 0 – 300	B ÅDT 300 – 5000	C ÅDT 5000 – 7500	D ÅDT 7500 - 10000	E ÅDT 10000 – 15000	F ÅDT > 15000
Tilgjengelighet	Aksepterer redusert tilgjengelighet hele døgnet	Aksepterer redusert tilgjengelighet hele døgnet	Aksepterer redusert tilgjengelighet på kveld/natt	Aksepterer redusert tilgjengelighet på natt	Aksepterer redusert tilgjengelighet på natt	Aksepterer redusert tilgjengelighet på natt
Stengning	Kan være helt eller delvis stengt inntil 5 timer hele døgnet	Kan være helt eller delvis stengt inntil 2 timer på dagtid. Kan i tillegg være helt eller delvis stengt mellom kl 21 <sup>00</sup> og 06 <sup>00</sup>	Kan være helt eller delvis stengt mellom kl 21 <sup>00</sup> og 06 <sup>00</sup> Åpning hver hele time.	Kan være helt eller delvis stengt mellom kl 22 <sup>00</sup> og 05 <sup>00</sup> Åpning hver hele time.	Ved to-løps tunnel stenges det ene løpet mellom kl 22 <sup>00</sup> og 05 <sup>00</sup>  Krever kort omkjøring – eller bruk av parallelt kjørefelt i tunnelen eller i parallell tube.	Ett løp stenges mellom kl 22 <sup>00</sup> og 05 <sup>00</sup>  Krever kort omkjøring – eller bruk av parallelt kjørefelt i tunnelen eller i parallell tube.
Redusert tilgjengelighet (100% tilgjengelighet = 8760 timer pr. år)	Tilgjengeligheten kan være redusert inntil 1,5% (138 t) pr. år pr.3,0 km tunnallengde.	Tilgjengeligheten kan være redusert inntil 1,35% (118 t timer) pr. år pr.3,0 km tunnallengde.	Tilgjengeligheten kan være redusert inntil 1,20% (105 timer) pr. år pr.3,0 km tunnallengde.	Tilgjengeligheten kan være redusert inntil 1,05% (92 timer) pr. år pr.3,0 km tunnallengde.	Tilgjengeligheten kan være redusert inntil 0,90% (79 timer) pr. år pr.3,0 km tunnallengde.	Tilgjengeligheten kan være redusert inntil 0,75% (66 timer) pr. løp pr. år pr.3,0 km tunnallengde



### 3.2.4 Ikke planlagte hendelser **TEKNISK SVIKT**

<b>Ikke planlagte hendelser - TEKNISK SVIKT</b>			
<b>Punkt</b>	<b>Tunnelklasser</b>	<b>Krav i henhold til tunnelklasse</b>	<b>Tiltak i henhold til tunnelklasse</b>
<b>Krafttilførsel</b>	<b>A - B - C - D - E - F</b>	Der det ligger til rette for det skal krafttilførselen sikres ved uavhengig forsyning fra begge tunnelmunninger som kobles sammen slik at det oppnås en ringmating.	Ved brudd i krafttilførselen til tunneler uten ringmating, skal aggregat snarest skaffes.
<b>Avbruddsfri strømforsyning</b>	<b>A - B - C - D - E - F</b>	Den avbruddsfrie strømforsyningen (batterier eller aggregat) skal gi minimum 1 times driftstid ved dimensjonerte belastning for installert sikkerhetsutrustning.	Reparasjon/utskifting av batterier eller tilført ladestrøm må være utført innen 1 time.
<b>Belysning</b>	<b>A - B - C - D - E - F</b>	Ved strømutfall skal prioritert belysning (hver fjerde eller femte armatur) lyse i ca. 1 time.	Reparasjon bør være utført innen 1 time. Tar reparasjonen lengre tid, må det tilføres ladestrøm til prioritert belysning. Ved lengre tids bortfall av belysningen kan det for tunneler i klasse A vurderes pilotkjøring. For øvrige tunnelklasser skal omkjøring etableres.
<b>Ventilasjon</b>	<b>A - B - C - D - E - F</b>	Anlegget skal ha så stor kapasitet og funksjon at det tillates svikt inntil 10% uten at tunnelen må stenges og evakueres.	Ved svikt inntil 10% skal reparasjon skje snarest. Ved svikt over 10% skal tunnelen stenges.
<b>Kommunikasjons-Linjer til og fra tunnelen</b>	<b>(A) B - C - D - E - F</b>	Linjene skal til enhver tid være intakte.	Tunnelen stenges og reparasjon utføres umiddelbart.
<b>Sikkerhetsutrustning</b>	<b>B - C - D - E - F</b>	Anleggene skal kobles opp mot avbruddsfri strømforsyning som skal gi min. 1 times driftstid.	Reparasjon skal utføres umiddelbart. Samtidig skal det vurderes om skaden/feilen er av et slikt omfang at tunnelen må stenges.
<b>Brannsløkker</b>	<b>(A) B - C - D - E - F</b>	Apparatene skal til enhver tid være kontrollert og operativ.	Apparat skiftes.
<b>Va-Anlegg</b>	<b>A - B - C - D - E - F</b>	Anleggene skal til enhver tid tilfredstille gjeldende krav.	Reparasjon etter standardkrav i HB-021 og HB-111.
<b>Konstruksjoner</b>	<b>A - B - C - D - E - F</b>	Anleggene skal til enhver tid tilfredstille gjeldende krav.	Reparasjoner etter standard krav i HB-021 og HB-111.