
JERNBANEVERKET, TEKNISK AVDELING

Rasvurdering i tunneler og skjæringer
Beslutningsverktøy med bruk av risiko
for bestemmelse av tiltak

Rapport 2460.01 datert 7. mai 2001

utarbeidet av
O.T. Blindheim AS, Trondheim

temperaturlen
Bibliotek



O. T. B L I N D H E I M

RASVURDERING I TUNNELER OG SKJÆRINGER

Beslutningsverktøy med bruk av risiko for bestemmelse av tiltak

INNHOLDSFORTEGNELSE	Side
1 SAMMENDRAG	3
2 BAKGRUNN OG HENSIKT	5
3 RISIKOBEGREPET	6
3.1 Hva er risiko?	6
3.2 Begreper som benyttes	7
3.3 Jernbaneverkets sikkerhetskåndbok, 1B-Sikkerhet	7
3.4 Sikkerhetsanalyser for banestrekningene	8
4 KONSEKVENSANALYSE	9
4.1 Basis konsekvenskostnader	10
4.1.1 Størrelsen på ras	10
4.1.2 Konsekvensfaktorene $K_{Skade} + K_{Rydding} + K_{Personer}$	10
4.1.3 Togforsinkelser	12
4.1.4 Miljøkonsekvens	14
4.1.5 Tap av renommé	15
4.2 Faktorpåvirkning av konsekvenskostnader	15
4.2.1 Tilgjengelighet av rassted, kf_1	16
4.2.2 Terrengform på rassted, kf_2	16
4.2.3 Trafikktype, kf_3	16
4.2.4 Hastighet av tog, kf_4	17
4.2.5 Siktavstand, kf_5	17
4.3 Eksempel på konsekvensvurdering for Baneprioritet 3	19
5 SANNSYNLIGHETSANALYSE	21
5.1 Sannsynlighet for at toget blir truffet av ras	21
5.2 Sannsynlighet for ras/nedfall	23
5.2.1 Vurdering av sannsynlighet for nedfall	23
5.2.2 Statistikk over nedfall/ras	24
5.3 Sannsynlighet for at det skjer en påkjørsel av raset	25
5.4 Estimering av sannsynlighet for ras ved feltkartlegging	26
5.4.1 Enkelthendelse og frekvens	27
5.4.2 Kartleggingsskjema	30



5.5	Eksempel på vurdering av sannsynlighet for ras.....	30
6	TILTAK.....	32
6.1	Tiltak mot ras.....	32
6.2	Vurdering av tiltak under kartleggingen.....	32
6.3	Størrelse og effekt av vedlikehold	32
6.4	Kostnad av tiltak	33
7	NYTTE/KOST-VURDERINGER	34
7.1	Nåverdirisiko knyttet til ras.....	34
7.2	Nytte/kost av enkelttiltak.....	35
7.3	Nåverdirisiko pga ras for en parsell før tiltak	37
7.4	Eksempel på nytte/kost-beregning	37
8	INGENIØRGEOLOGISK KARTLEGGING AV RASFARLIGE PARTIER I TUNNELER OG SKJÆRINGER	38
8.1	Sannsynlighetsvurdering.....	38
8.2	Konsekvensvurdering	39
8.3	Tiltak.....	40
8.4	Kartleggingsskjema for detaljvurdering.....	40

Vedlegg

Vedlegg 1	Sikkerhetshåndbok, 1B-Sikkerhet
Vedlegg 2	P/K-kurver
Vedlegg 3	NTP 2002 – 2011, Sikring mot ras og utglidninger, rasstatistikk, utdrag.
Vedlegg 4	Nytte/kost, Det norske Veritas
Vedlegg 5	Antall tog/døgn (utenfor Oslo)
Vedlegg 6	Konsekvenskostnader, basiskostnader, konsekvensfaktorer
Vedlegg 7	Eksempler, baneprioritet 3
7.1	Konsekvens av ras i tunnel
7.2	Konsekvens av ras i fjellskjæring
7.3	kartleggingsskjema, blankt og utfyllt med eksempel
7.4	Kartlagt sannsynlighet for ras på parsellen
7.5	NVR for parsellen
Vedlegg 8	Begreper som benyttes



1 SAMMENDRAG

Faren for ras i tunneler og fjellskjæringer vurderes jevnlig av Jernbaneverket for at tiltak kan iverksettes for å redusere hendelser knyttet til ras. Metodikken i kartleggingen har imidlertid til nå vært mangelfull og kvalitet og dokumentasjon har vært vanskelig å vurdere i etterkant. Målet med dette prosjektet har derfor vært å lage et kartleggingsverktøy som vurderer konsekvensen av en uønsket hendelse på en måte som lar seg dokumentere og kontrollere eller endre i etterkant samt at sannsynligheten for hendelsen vurderes på en måte som kan vurderes både før og etter at et tiltak er utført.

Kartleggingsverktøyet er basert på at konsekvensen av et ras/nedfall er gitt ut fra størrelse på nedfallet og en hel rekke faktorer som har innvirkning på omfanget av skade eller etterarbeid. Konsekvenskostnaden tar hensyn til alle forhold i tilknytning til en uønsket hendelse; skade på materiell, opprydding og utbedring av linja, skadde/døde personer og kostnad knyttet til at raset medfører togforsinkelse. Miljøkonsekvens knyttet til utlekkasje/spredning av miljøfarlig gods er også tatt med. For større ras eller ras der mange personer omkommer er det definert en konsekvenskostnad for tap av renommé.

Konsekvensen er også avhengig av tilgjengelighet av rassted, terrengform på rassted, trafikktype, hastighet av tog og siktavstand. Beregnet konsekvens varierer ut fra variasjon i de nevnte forhold ved bruk av såkalte konsekvensfaktorer.

Beregnet konsekvens for forskjellige lokaliteter og banestrekninger angir at konsekvensen ved for eksempel baneprioritet 1 er høyere enn for baneprioritet 3 og at ras på utilgjengelig sted og med bratt skrent på den ene siden er betydelig høyere enn for tilsvarende forhold nær stasjon og ved flatt terreng. Beregningene kan dermed brukes til å ta riktigere beslutninger.

Verktøyet har også den fordel i forhold til slik kartleggingen har vært utført tidligere, at den som kartlegger ikke trenger å ta stilling til hvor stor konsekvensen av raset kan bli. Den er gitt av de parameterne som er vurdert av Jernbaneverket sentralt. Dermed vil ingeniørgeologen kunne konsentrere arbeidet om å vurdere hvilke partier som er ustabile og sannsynligheten for at ras skal inntreffe. Forslag til kartleggings skjema for detaljert kartlegging er utarbeidet.

For å kunne vurdere om tiltak for å redusere risikoen for ras er lønnsomt ut fra de forutsetningene som er gitt, beregnes nåverdien av rasrisikoen ut fra en betraktningsperiode på 30 år og med en kalkulasjonsrente på 5%. Når kostnaden av tiltaket er beregnet på samme måte, kan nytte/kost-verdien beregnes. Prioritering av tiltak kan da gjøres ut fra hvor nytte/kost-verdien er høyest, dvs. der hvor risikoen reduseres mest for lavest kostnad.

Jernbaneverkets sikkerhetsavdeling er i gang med å vurdere risikoen for alle strekninger ut fra PLL-verdien. Dersom disse analysene viser at PLL-verdien knyttet til rasfaren er for høy, kan tiltak for å redusere PLL-verdien bli prioritert framfor tiltak som har større nytte/kost, men der konsekvensen er knyttet til materielle skader.

Dersom kartleggingsverktøyet skal fungere etter hensikten, skal prioritering av tiltak kunne gjøres ut fra hvilken nytte/kost som er beregnet. Før verktøyet tas i bruk ved baneregionene, bør det gjennomføres en test ved å foreta kartlegging av en parsell langs jernbanen. Etter påfølgende evaluering og eventuell korrigerings, kan kartleggingsverktøyet tas i bruk.

2 BAKGRUNN OG HENSIKT

Som en del av driften av jernbanenettet i Norge, må Jernbaneverket jevnlig foreta vurderinger av stabiliteten av tunneler og skjæringer. Forskjellige måter å kartlegge på har vært benyttet, i de siste 6 – 8 årene har et system med Prioritetsklasser og Tiltaksklasser vært benyttet.

Det har imidlertid vært svakheter med alle kartleggingsverktøyene ved at risikobegrepet har blitt benyttet tilfeldig; sannsynlighet og konsekvens har ikke blitt vurdert presist, og etterprøving av vurderingene har vært vanskelig.

O. T. Blindheim AS arbeider jevnlig med slike problemstillinger og har sett behovet for en forbedring av beslutningsgrunnlaget i forbindelse med vurdering av sikringstiltak. Ut fra et prosjektforslag har O. T. Blindheim AS så fått i oppdrag av Jernbaneverket Teknisk avdeling å utvikle beslutningsverktøyet for bestemmelse av sikring mot nedfall/ras av stein langs jernbanenettet. Målet er at prioritering av tiltak gjøres på den måten som totalt sett gir størst effekt for sikkerheten, dvs. der hvor nytte/kost-verdien er størst.

Prosjektet har vært inndelt i tre deler;

Del 1 Vurdering av risiko for ras basert på konsekvensanalyse og sannsynlighetsvurdering.

Del 2 Vurdering av nytte/kost for prioritering av tiltak

Del 3 Utvikling av kartleggingsmal eller skjema for detaljkartlegging.

Rapporten omtaler alle disse delene og gir en inngående beskrivelse av hvilke elementer som må vurderes i forbindelse med en kartlegging. For å bli et praktisk hjelpemiddel for de som skal foreta den konkrete kartleggingen og vurdering av risiko, forutsettes det at det utarbeides forenklete prosedyrer med rettleidninger.

3 RISIKOBEGREPET

3.1 Hva er risiko?

Siden det er risikoen knyttet til ras/nedfall som skal lede oss til å ta en beslutning om prioritering av tiltak, er det viktig at begrepet *risiko* er forstått.

$$\text{Risiko} = \text{sannsynlighet} \times \text{konsekvens} = P \times K$$

P regnes som sannsynligheten for at et ras/nedfall skjer i løpet av en tidshorisont, L. For kartleggingen sin del har det vist seg at det er viktig å skille mellom enkelthendelser og hendelser som skjer jevnlig. I det siste tilfellet uttrykkes sannsynligheten som frekvens. Konsekvensen, K, regnes i kroner og må innbefatte alle kostnader forbundet med hendelsen, også verdiskade og den verdien som kan settes på skade på mennesker eller tap av menneskeliv.

For å beregne risikoen, må vi altså vite hva sannsynligheten for ras/nedfall er, og hvilke konsekvenser et ras/nedfall får. Dette må analyseres hver for seg, og er nedenfor behandlet i egne kapitler for sannsynlighetsanalyse og konsekvensanalyse.

Når så risikoen er beregnet, må vi også ha en formening om hvor stor risiko som kan tillates før tiltak må iverksettes. Det er da viktig at vi har klart for oss at risikoen ikke skal elimineres, men at *risikoen knyttet til nedfall skal være akseptabel*. Selv om det gjennomføres tiltak, er det oftest knyttet en viss usikkerhet til at nedfall likevel vil inntreffe, kanskje i mindre skala eller sjeldnere. Dette kan defineres som restrisiko, RVR, og må tas i betraktning ved vurdering av nytteverdien av tiltaket.

Hva er så akseptabel risiko? Jernbaneverket benytter PLL-verdien (Personal Loss of Life) for sine sikkerhetsmål, se vedlegg 1, Sikkerhetshåndbok, 1B-Sikkerhet som går hovedsakelig på personsikkerhet.

Jernbaneverket setter svært strenge krav til sikkerhet i forhold til for eksempel bilkjøring. Det er også nærliggende å bruke bilkjøring som eksempel på at vi aksepterer en viss risiko med det å



transporteres. Sammenlignet med vegtrafikk så er sannsynligheten for å omkomme i henholdsvis tog- og flyulykke 0,00003 og 0,00001 per år for én person som kjører samme lengde, som er henholdsvis 1/6 og 1/20 ganger så stor sannsynlighet. Dette er sannsynligheten for at én person skal omkomme. Det kan imidlertid hende at flere personer omkommer i samme ulykke. I samfunnet er det mindre aksept for slike hendelser, hvilket betyr at sannsynligheten for slike hendelser også må være mindre. Dette er det tatt hensyn til i 1B-Sikkerhet.

I vedlegg 2 finnes såkalte P/K-kurver (på engelsk p/N) som angir sannsynlighet for en uønsket hendelse i løpet av ett år med et forventet tap av menneskeliv $\geq N$ eller K (konsekvens) omregnet i kroner. For å sette vårt problemområde litt i perspektiv er kriterier som benyttes i Australia (ANCOLD, Australian Committee on Large Dams) og nederlandske kriterier for damsikkerhet tatt med. Verdiene for trafikkulykker tar utgangspunkt i norsk statistikk for sannsynligheten for at en (vilkårlig) person omkommer. Samme sannsynlighet er benyttet for større ulykker. For tog er internasjonal statistikk (generelle tall) benyttet. Figuren illustrerer at kravene til personsikkerhet ved kjøring av jernbane er høy sammenlignet med både bilkjøring og damforskrifter. For å beregne konsekvens er tapet av 1 person satt til 20 mill. NOK, se vedlegg 4.

3.2 Begreper som benyttes

Mange begreper som går på risiko, sannsynlighet, rasfare etc. benyttes i den sammenhengen som omtales i dette notatet. For å få en enhetlig forståelse av disse begrepene, er det i vedlegg 8 laget en oversikt med definisjoner/kommentarer med referanse der det er aktuelt.

3.3 Jernbaneverkets sikkerhetshåndbok, 1B-Sikkerhet

1. januar 2001 utga Sikkerhetsavdelingen i Jernbaneverket en Prosedyre for utarbeidelse av akseptkriterier for sikkerhet som en del av dokumentet Sikkerhetshåndbok. Prosedyren angir akseptkriterier som definerer hvilket risikonivå som er uakseptabelt.



Krav om etablering av akseptkriterier gjelder først og fremst for personsikkerheten, men prosedyren angir også anbefalte kriterier for miljøskader og skader på materielle verdier. Prosedyren angir at sikkerhetsnivået på hele det offentlige nett skal relateres til potensielt antall drepte (PLL-verdien). Basis for å utvikle konkrete akseptkriterier vil være 11 drepte personer i gjennomsnitt per år.

Det pågår for tiden en vurdering av sikkerhetsnivået på alle banestrekningene, se neste kapittel. For å vurdere behovet for tiltak for å redusere risikoen totalt eller på en enkelt banestrekning, må resultatene fra disse analysene avventes. Analysene vil da forhåpentligvis også avsløre på hvilke områder tiltak bør settes inn.

3.4 Sikkerhetsanalyser for banestrekningene

Arbeidene med strekningsanalysene er kommet langt, og vi har hatt tilgang til resultater fra Sikkerhetsanalysene for Nordlandsbanen og Sørlandsbanen. Med tanke på tiltak som går på å bedre sikkerheten langs banen, vil strekningsanalysene åpne for bedre å kunne konsentrere virksomheten om de tiltak som gir størst effekt på sikkerhetsnivået. Strengt tatt skal da alle strekningsanalysene være gjennomført slik at prioriteringer mellom strekninger også kan gjøres.

Foreliggende rapport gir ingen anbefalinger eller konkrete vurderinger av sannsynlighet for at hendelser (les: ras) skal inntre, men lager rammeverket for å gjøre slike vurderinger i felt. I kapittel 5 nedenfor kommenteres noen av resultatene som er presentert i Sikkerhetsanalysen for Nordlandsbanen, der påkjørsel av ras kommer ut med en relativt høy frekvens i både konsekvensklasse 5 og 6. Konsekvensklasse 5 innebærer 2 – 10 drepte, konsekvensklasse 6 betyr mer enn 10 drepte, se for eksempel vedlegg 1.



4 KONSEKVENSANALYSE

Konsekvensen av et ras/nedfall avhenger av en rekke faktorer. Det er nærliggende først å tenke på størrelsen av et ras når konsekvensen skal vurderes, og det er stort sett denne faktoren som må vurderes av ingeniørgeologen under en befaring. Det er imidlertid en rekke andre faktorer som spiller inn ved vurdering av konsekvens, men disse faktorene kan vurderes uavhengig av kartleggingen.

Konsekvens må beregnes i kroner dersom risikoen skal kunne angis. Dette innbefatter at også personskader og tap av menneskeliv må angis med et beløp. Dette beløpet må inkludere både det tap som den skadde/døde får for seg eller sin familie og de samfunnsmessige tapene som følger; sykepengene, uførepensjon, etc. Det er allment akseptert at et menneskeliv settes til en verdi på 20 mill. kr (2000-kroner) i slike betraktninger.

Nedenfor er konsekvenskostnaden, K , beregnet som summen av seks hovedelementer som har varierende størrelse alt etter hvilke såkalte konsekvensfaktorer som benyttes. I vedlegg 6 er disse faktorene angitt i regneark.

$$K = K_{\text{Skade}} + K_{\text{Rydding}} + K_{\text{Personer}} + K_{\text{Forsinkelse}} + K_{\text{Miljø}} + K_{\text{Renommé}}$$

$$K_{\text{Skade}} = K_1 \times (kf_2 + kf_3 + kf_4 + kf_5 - 3)$$

$$K_{\text{Rydding}} = K_2 \times (kf_1 + kf_2 - 1)$$

$$K_{\text{Personer}} = K_3 \times (kf_1 + kf_2 + kf_3 + kf_4 + kf_5 - 4)$$

(tall i parentes er valgt slik at $K = 1$ når alle konsekvensfaktorer er 1)

$K_{\text{Forsinkelse}}$ er beregnet ut fra forsinkelse og kostnad per tidsenhet ved forsinkelsen

$K_{\text{Miljø}}$ er vurdert ut fra miljøskade fra farlig gods som blir eksponert

$K_{\text{Renommé}}$ er vurdert ut fra tap i passasjertrafikk etter store, gjentatte hendelser

der

K_1 = Materielle skader på tog

K_2 = Fjerning/opprydding/infrastruktur

K_3 = Skadde/døde personer



K_1, K_2 og K_3 = Direkte kostnader som følge av raset. ("Raset skjer på lett tilgjengelig sted")

Konsekvensfaktorene er

- kf_1 = Tilgjengelighet av rassted
- kf_2 = Terrengform på rassted
- kf_3 = Trafikktype
- kf_4 = Hastighet av tog
- kf_5 = Siktavstand

4.1 Basis konsekvenskostnader

4.1.1 Størrelsen på ras

Størrelse av ras har innvirkning på konsekvens i alle ledd og er den parameteren som er viktigst å få kartlagt i felt. I Jernbaneverket er det tidligere benyttet en inndeling i seks størrelser på raset. Denne inndelingen foreslås beholdt.

Tabell 1 Størrelse på ras og beskrivelse av rassted

Beskrivelse av rassted	Størrelse på mulig nedfall	Kommentar
Tunnel og skjæring	$< 0,5 \text{ m}^3$	
Tunnel og skjæring	$0,5-5 \text{ m}^3$	
Skjæring (og tunnel)	$5-25 \text{ m}^3$	Ras over 5 m^3 i tunnel er sjelden
Skjæring/dalside	$25-100 \text{ m}^3$	
Skjæring/dalside	$100-500 \text{ m}^3$	
Dalside	$> 500 \text{ m}^3$	Type skred av både berg og jord

I senere beregninger er konsekvenskostnadene vurdert ut fra maksimalverdien for hver gruppe, dvs. $0,5 \text{ m}^3$ for minste mengde osv. For dalside; $> 500 \text{ m}^3$ er det tatt utgangspunkt i 1000 m^3 .

4.1.2 Konsekvensfaktorene $K_{\text{Skade}} + K_{\text{Rydding}} + K_{\text{Personer}}$

For å få et begrep om hvilket skadepotensiale de forskjellige størrelsene av et ras gir, er det foretatt intervju med personell fra Baneregion Nord som har erfaring med slike hendelser. Som ventet er det stor variasjon i konsekvensen for samme mengde nedfall alt etter hvordan nedfallet treffer, om det er påkjørsel, hvor påkjørselen skjer osv. Dette er imidlertid forsøkt tatt vare på



ved at det er gjort anslag på minimums- og maksimumsverdier for både materielle skader og fjerning/opprydding.

Tabell 2 Minimums- og maksimumsverdier for Konsekvenskostnader K_1 og K_2 .

Beskrivelse av rassted	Størrelse på ras	K_1		K_2	
		Materielle skader på tog ved påkjørsel ¹⁾		Fjerning/opprydding/infrastruktur	
		min	maks	min	maks
Tunnel og skj.	< 0,5 m ³	0	75	0	50
Tunnel og skj.	0,5 - 5	20	150	5	300
Skjæring	5 - 25	20	300	25	450
Skjæring/dalside	25 - 100	50	400	100	1000
Skjæring/dalside	100 - 500	50	400	150	1500
Dalside	>500	50	400	300	2000

Tall i 1000 kr

¹⁾ Det er tatt hensyn til at påkjøring av ras skjer i 25% av rastilfellene

Røde tall (eller kursiv/fet) angir at disse verdiene er gjenstand for vurdering og at de verdiene som er angitt her og i regnearkene i vedlegg, må gjennomgås kritisk etter at kartleggingsverktøyet er benyttet en tid.

I regnearkene i vedlegg gjelder det samme, at røde tall er vurdert, mens alle svarte tall er beregnet ut fra de formlene som er angitt.

Andel av varslede ras, som dermed ikke blir påkjørt, er tatt ut fra Norsk Transportplan (NTP) 2002 – 11. Rapporteringsgraden de siste 3 – 4 årene har vært meget god slik at tallet er hentet fra denne statistikken.

Tabell 3 Konsekvenskostnader for K_1 , K_2 og K_3

Beskrivelse av rassted	Størrelse på ras	Konsekvenskostnader som benyttes		
		K_1	K_2	K_3 ¹⁾
		Middel av min/(0,5 x maks)		
Tunnel og skj.	< 0,5 m ³	19	13	0
Tunnel og skj.	0,5 - 5	48	78	50
Skjæring	5 - 25	85	125	200
Skjæring/dalside	25 - 100	125	300	300
Skjæring/dalside	100 - 500	125	450	300
Dalside	>500	125	650	300

1) Det er tatt hensyn til at skade/død skjer i 1% av rastilfellene

Tall i 1000 kr

Med hensyn på skade/død av personer er vurderingene gjort med utgangspunkt i at skade/død inntreffer ved bare 1% av rasene, eller ca 3% av påkjørslene. Av 162 rapporterte ras i perioden 1997 til 2000 var det én hendelse med alvorlig skadde eller drepte, dvs. 0,6 %. For perioden 1990 til 1996 var det tre av 48 ras som medførte personskade, dvs. 6,2%. I denne perioden antas det imidlertid at det har vært en betydelig underrapportering, mens man må anta at alle ras med personskade som følge har vært rapportert.

Tabellen for K_3 skal da forstås slik at et ras mellom 0,5 og 5 m³ medfører en skade tilsvarende en kostnad på kr 5 millioner når det først skjer en skade på person (50.000,- x 100).

4.1.3 Togforsinkelser

Ved ras vil det i de fleste tilfellene oppstå forsinkelser for toggangen på en eller annen måte. Det er valgt å ta utgangspunkt i Baneprioritet når konsekvensen på togregularitet skal vurderes. Baneprioriteten er et uttrykk både for trafikkvolum og viktigheten av selve banen. En forsinkelse på bane med prioritet 1 (rundt Oslo + Ofotbanen) har langt større konsekvenser enn en forsinkelse på for eksempel Raumabanen (Baneprioritet 4).



Tabell 4 Togforsinkelse og kostnad per tidsenhet for forskjellig Baneprioritet

		Forsinkelse, t_{fors} , som følge av ras i område med god tilgjengelighet (min., timer og døgn)				
Sted for hendelse	Størrelse på ras	Baneprioritet				
		5	4	3	2	1
Tunnel og skj.	< 0,5 m ³	4	4	4	4	4
Tunnel og skj.	0,5 - 5	80	70	60	50	50
Skjæring	5 - 25	24 t	24 t	20 t	12 t	12 t
Skjæring/dalside	25 - 100	2 d	2 d	2 d	2 d	2 d
Skjæring/dalside	100 - 500	3 d	3 d	3 d	3 d	3 d
Dalside	>500	>3 døgn	>3 d	>3 d	>3 d	> 3 døgn
		Kostnad, k_{fors} = kostnad per tidsenhet for forsinkelsen				
Kostnad pr min forsinkelse		100	200	400	1000	2000
Kostnad pr time forsinkelse		6000	12000	24000	60000	120000
Kostnad per døgn forsinkelse		144000	288000	576000	1440000	2880000

Tall i 1000 kr

Tabell 5 Konsekvensen, $K_{Forsinkelse}$, ut fra forsinkelsen som raset medfører

		$K_{Forsinkelse} = \text{Forsinkelse i min.} \times \text{kostnad per min. forsinkelse}$ $= t_{fors} \times k_{fors}$				
		Baneprioritet				
	Størrelse på ras	5	4	3	2	1
Tunnel og skj.	< 0,5 m ³	0,4	0,8	1,6	4	8
Tunnel og skj.	0,5 - 5	8	14	24	50	100
Skjæring	5 - 25	144	288	480	720	1440
Skjæring/dalside	25 - 100	288	576	1152	2880	5760
Skjæring/dalside	100 - 500	432	864	1728	4320	8640
Dalside*	>500	576	1152	2304	5760	11520

* Antatt 4 døgn stopp i trafikken

Tall i 1000 kr



4.1.4 Miljøkonsekvens

Miljøskader i denne sammenheng er i første rekke knyttet til transport av farlig gods, og de skadene som utlekkasje/spredning av slik gods kan gi dersom det skjer en avsporing og velt i forbindelse med påkjørsel av ras. Det finnes statistikk på frekvens av avsporing for tog med farlig gods, men i denne sammenheng vil det være antall tog eller andel av tog med farlig gods som er interessant. I vedlegg 5 er det angitt hvor mange tog/døgn som trafikkerer den enkelte banestrekning i Norge. Statistikk fra Sørlandsbanen viser at det går ca 1,5 tog med farlig gods per døgn, mens totalt antall tog per døgn er ca 23, dvs. andelen er 6,5%. Statistikk for andre baner er ikke studert, slik at dette tallet er lagt til grunn ved verdiangivelsene i tabell 6.

Tabell 6 Konsekvens for miljøet knyttet til ras, $K_{Miljø}$

	Størrelse på ras	$K_{Miljø}$ i 1000 kr
Tunnel og skj.	< 0,5 m ³	0
Tunnel og skj.	0,5 - 5	2
Skjæring	5 - 25	5
Skjæring/dalside	25 - 100	20
Skjæring/dalside	100 - 500	50
Dalside	>500	100

Selv om det er et tog med farlig gods som kjører inn i et ras, er det svært sjelden at det skjer utlekkasje av miljøskadelig materiale. Her er det antatt at 10% av alle slike påkjørsler gir miljøskade.

Det er antatt at det bli negative konsekvenser for miljøet i forbindelse med påkjørsel av ras i ca 0,16% av antall ras (ant.ras x 25% x 6,5% x 10%). Konsekvenstallet i tabell 6 er således 1/625-del av det som virkelig er konsekvensen når "gjennomsnittshellet" er ute.

For Baneprioritet 3 kan altså tabellen leses som at konsekvensen ved en påkjørsel av ras i størrelse 100 til 500 m³ er 31 millioner (50.000,- x 625) i de tilfellene det går riktig ille, 1 av 625 påkjørsler.

4.1.5 Tap av renommé

De fleste ras og nedfall langs jernbanenettet skjer uten at publikum blir orientert i særlig grad. Oppmerksomheten blant publikum skjer helst i tilknytning til påkjørsler som gir personskader/død eller ved spesielt store ras. Også hyppigheten av ras kan bli en belastning for Jernbaneverket. Tap av renommé gir seg utslag i redusert trafikk, spesielt persontrafikk. I tabell 7 er slike følgekostnader av store ras forsøkt kvantifisert. Det er ikke foretatt konkrete vurderinger eller undersøkelser av hvordan ras påvirker publikum.

Tabell 7 *Konsekvens knyttet til tap av renommé, $K_{Renommé}$*

		Baneprioritet				
	Størrelse på ras	5	4	3	2	1
Tunnel og skj.	< 0,5 m ³					
Tunnel og skj.	0,5 - 5					
Skjæring	5 - 25					
Skjæring/dalside	25 - 100					
Skjæring/dalside	100 - 500		100	500	1000	2000
Dalside	>500		500	1000	2000	5000

Tall i 1000 kr

I tabell 7 er fokus lagt på størrelsen av ras. Tabellen kan leses slik at renomméet ikke er truet ved ras mindre enn 100 m³ eller ved et hvert ras på en bane med prioritet 5. Øvrige konsekvensfaktorer er vurdert skjønnsmessig, og skal forstås å gi negativ effekt hver gang et ras av denne størrelsen skjer.

4.2 Faktorpåvirkning av konsekvenskostnader

Tre av de faktorene som er omtalt i kap. 4.1, $K_{Skade} + K_{Rydding} + K_{Personer}$, vil variere i størrelse ut fra verdien av to eller flere av følgende konsekvensfaktorer

- tilgjengelighet av rassted
- terrengform på rassted
- trafikktype
- hastighet av tog
- siktavstand



4.2.1 Tilgjengelighet av rassted, kf_1

Stedet hvor en hendelse inntreffer kan ha stor innvirkning på konsekvensen. Spesielt gjelder dette for mer alvorlige hendelser med personskader hvor unnsetning må skje raskt. For eksempel vil en påkjørsel av et ras midt i en tunnel 5 km fra nærmeste veg/stasjon få større konsekvenser enn en påkjørsel i en halvskjæring nær veg/stasjonsområde.

Utgangspunktet for konsekvenstillene er at hendelsen skjer på et gunstig sted med nærhet til veg eller stasjonsområde slik at oppryddingsarbeider og berging kan skje på en enkel måte. Andre deler av banestrekningen vurderes i forhold til dette og gis en faktor som tilsvarer økningen i konsekvens som ulempene medfører. Tallene som er satt inn i tabell 8 er vurdert skjønnsmessig for slike forhold.

4.2.2 Terrengform på rassted, kf_2

Terrengformen på rasstedet er av avgjørende betydning spesielt i de tilfellene hvor det blir avsporing. Det vil være stor forskjell på om det er bratt ned eller flatt på den ene siden av linja. Effekten av terrengform vil imidlertid bare ha effekt ved avsporing. I strekningsanalysen for Nordlandsbanen er det antatt at avsporing skjer i 50% av tilfellene ved sammenstøt med stein. Dette er det tatt hensyn til ved vurdering av konsekvensfaktoren.

Det kan også anbefales å benytte faktor 1 for alle ras $< 0,5 \text{ m}^3$ uavhengig av terrengform.

4.2.3 Trafikktype, kf_3

Konsekvensfaktor for trafikktype er gjort avhengig av andelen av motorvognsett, lok.vogner og godsvogner. Her benyttes gjennomsnittet for all trafikk på strekningen.

Det er gitt en forskjellig vektning, t_M , t_L og t_G , for de forskjellige trafikktypene og konsekvensfaktoren beregnes ut fra formelen

$$kf_3 = t_M \times \text{andel motorvognsett} + t_L \times \text{lok.vogner} + t_G \times \text{godsvogner}.$$

4.2.4 Hastighet av tog, kf_4

Hastigheten av toget har stor innvirkning på skadeomfanget. En lav hastighet gjør at konsekvensene for skade på materiell og personer blir svært små og at konsekvensen begrenses til skaden som selve raset har medført. Konsekvensfaktoren er valgt slik at lav hastighet (≤ 40 km/t) gir kf_4 lik 0, hvilket gjør at både K_{Skade} og $K_{Personer}$ blir 0 dersom de andre konsekvensfaktorene er 1. Sagt på en annen måte, dersom grunnhastigheten på strekningen er 90 km/t som gir kf_4 lik 1, og dermed K_{Skade} og $K_{Personer}$ betydelige, kan en nedsetting av hastigheten på strekningen være et tiltak som reduserer risikoen betraktelig. Beregning av nåverdirisiko og restrisiko er for øvrig grundig omtalt i kap. 6.

Regnearkene er også laget på en slik måte at K_{Skade} og $K_{Personer}$ blir 0 for toghastighet ≤ 40 km/t dersom størrelsen på raset er $< 0,5$ m³ uavhengig av hva de andre konsekvensfaktorene er.

4.2.5 Siktavstand, kf_5

Siktavstanden er vesentlig for togets mulighet til å stoppe før påkjørsel av et ras. Inndelingen er gjort grovt fordi det vil være krevende å vurdere helt korrekte siktavstander for hvert mulig ras. Effekten av siktavstand er dessuten avhengig av om det er dag eller natt, nedbør og også hvorvidt togfører har blikket rettet framover på det aktuelle tidspunktet.

Muligheten for togføreren til å oppdage et ras er også avhengig av siktforholdene knyttet til nedbør og om det er natt eller dag. Det er ikke funnet hensiktsmessig å ta med slike forhold i disse betraktningene.

Tabell 8 Tilgjengelighet av rassted for redning og opprydding, kf_1

Sted for hendelse, avstander fra stasjon og veg	Faktor, kf_1
Nær veg/stasjonsområde Praktisk greit å nå rasstedet med kjøretøy	1
Avstand fra nærmeste bemannede stasjon $1 \text{ km} < s < 10 \text{ km}$ Praktisk greit å nå rasstedet med kjøretøy	1,5
Avstand fra nærmeste bemannede stasjon $1 \text{ km} < s < 10 \text{ km}$ Utilgjengelig fra veg med kjøretøy	2,0
Avstand fra nærmeste bemannede stasjon $> 10 \text{ km}$ Utilgjengelig fra veg med kjøretøy	2,5
Ekstra tillegg for hendelse i tunnel:	
0 m < inn i tunnel < 250 m	0,5
i tunnel > 250 m	1

Tabell 9 Terrengform på rassted (inntil 20 m fra spor), kf_2

Beskrivelse av terrengform på motsatt side av der raset går	Faktor, kf_2
Relativt flatt terreng skråningshøyde < 2 m	1
Skråningshøyde 2 til 8 m	2
Skråningshøyde > 8m	4
Bratt skråning som ender i sjø/vann med dybde > 5m	5
Tosidig fjellskjæring og tunnel	1,5

For ras < $0,5 \text{ m}^3$ benyttes alltid faktor $kf_2 = 1$

Tabell 10 Trafikktipe, kf_3

Togtype	Andel av trafikken	Vekting	Faktor, kf_3
Motorvognsett	0,5	$t_M = 2$	
Lok.vogner	0,3	$t_L = 1$	1,4
Godsvogner	0,2	$t_G = 0,5$	

Tabell 11 Hastighet av tog, kf_4

Tillatt største grunnhastighet på strekningen	Faktor, kf_4
Lavhastighet, < 40 km/t	0
< 60 km/t	0,5
< 90 km/t	1
< 120 km/t	2
< 160 km/t	2,5
< 210 km/t	3

Tabell 12 Siktavstand, kf_5

Muligheter for fri sikt	Sikt	Faktor, kf_5
Åpent landskap	> 300 m	1
Kurver med ensidig/tosidig skjæring	300 - 100	1,5
Krappe svinger, tosidig høy skjæring	< 100	2



4.3 Eksempel på konsekvensvurdering for Baneprioritet 3

For å illustrere hvordan konsekvenstallene og konsekvensfaktorene til slutt gir et samlet konsekvenstall for en gitt rasstørrelse, er det laget et eksempel for Baneprioritet 3.

For ras i tunnel er kun ras $< 25 \text{ m}^3$ tatt med. Større ras må anses som nærmest utelukket under forutsetning av at regelmessig inspeksjon fortsetter på omtrent samme nivå som praktiseres i dag. I skjemaet som er gitt i vedlegg 7.1 er konsekvensen beregnet for en gitt fordeling av trafikktype og en hastighet på strekningen på 95 km/t. Siktavstanden er 200 m. For tunnel er terrengform på rassted, kf_2 , gitt (=1,5). Tilgjengeligheten til rassted er dårlig og kf_1 er derfor satt til 3,0.

Med dette som forutsetninger blir konsekvensen i henhold til tabell 13.

Tabell 13 *Konsekvens av ras i en tunnel på en gitt parsell med Baneprioritet 3, tunnel langt fra stasjon/veg, hastighet 90 km/t*

Størrelse på ras, m^3	Konsekvens i 1000 kr	
	Ytterste 250 m av tunnelen	Mer enn 250 m inn i tunnelen
< 0,5	69	75
0,5 - 5	595	659
5 - 25	1695	1858

Dersom dette hadde vært en tunnel nærmere stasjon og det som et tiltak hadde blitt gitt reduksjon i kjørehastighet, hadde konsekvenstallene blitt følgende.

Tabell 14 *Konsekvens av ras i en tunnel på en gitt parsell med Baneprioritet 3, tunnel nær stasjon, hastighet 40 km/t*

Størrelse på ras, m^3	Konsekvens i 1000 kr	
	Ytterste 250 m av tunnelen	Mer enn 250 m inn i tunnelen
< 0,5	20	26
0,5 - 5	169	208
5 - 25	495	558

Tilsvarende tall for en skjæring er vist i tabell 15. I tillegg er det vist et eksempel på hvordan ugunstig terrengform slår ut. Det er antatt at ras $>0,5 \text{ m}^3$ kan gi utforkjøring og velt på steder der det er bratt skråning nedenfor jernbanen.

Fra eksemplene framgår det at nedsetting av hastighet kan benyttes som et tiltak for å redusere konsekvensen. Raset unngås selvfølgelig ikke, men det er da antatt at toget ikke kjører inn i raset.

Tabell 15 *Konsekvens ved ras i fjellskjæring*

Størrelse på ras, m^3	Konsekvens i 1000 kr		
	Som for tabell 13, se vedlegg 7.2	Nær stasjon Hastighet 40 km/t	Som tabell 13 + svært ugunstig terrengform
< 0,5	63	13	63
0,5 - 5	444	92	1144
5 - 25	1328	370	2968
25 - 100	2497	896	5397
100 - 500	3240	1414	6740
>500	4128	2002	8428

Regnearkene som er utviklet, er laget slik at bare et fåtall parametere må vurderes/settes inn for at konsekvenskostnaden skal kunne beregnes for en gitt parsell. Dette er første trinn i prosessen som leder fram til en vurdering av risiko for ras på parsellen.



5 SANNSYNLIGHETSANALYSE

Ras og nedfall av stein er velkjent for Jernbaneverket og tiltak gjøres kontinuerlig både for å hindre at ras/nedfall skjer og for å hindre at påkjørsel med toget skjer når et ras/nedfall har inntruffet. I en sannsynlighetsanalyse må man derfor se på alle de forhold som påvirker både

- a) sannsynlighet for at ras/nedfall skjer
og
- b) sannsynlighet for at det skjer en påkjørsel av raset eller at tog blir truffet av ras/nedfall.

For vurdering av a) vil dette være opp til den ingeniørgeologen som kartlegger. Vi vil nedenfor se på en del grunnlagsdata som kan være til hjelp for å vurdere dette. Først gjøres imidlertid en betraktning over sannsynligheten for at et tog blir truffet av raset.

5.1 Sannsynlighet for at toget blir truffet av ras

For vurdering av b) er det en del andre forhold som virker inn:

- utstrekning av raset
- hyppighet av tog og lengde av togsett
- mulighet for å oppdage raset før påkjørsel (visitasjon, rasvarslingssystem, hastighet av togsett)

Når det gjelder sannsynligheten for påkjørsel som funksjon av trafikken på strekningen, kan det være naturlig å tro at en sterkt trafikkert jernbanestrekning har større sannsynlighet for å kjøre inn i et ras enn et tog på en lavtrafikkert strekning. Her er det imidlertid nødvendig å skille mellom sannsynlighet for at toget kjører inn i raset og sannsynlighet for at toget blir truffet av raset akkurat idet det passerer. Gitt at det er samme rasfare på to strekninger med stor forskjell i togtrafikk, og at raset ikke er oppdaget før toget kommer, vil det være liten forskjell i sannsynlighet for at et tog kjører inn i raset på en lavtrafikkert bane i forhold til en høytrafikkert bane.



Det forutsettes da at oppdagelsesprosenten av raset på en høytrafikkert bane ikke er større enn for en lavtrafikkert. Påkjøring av raset eller ikke vil da være uavhengig av trafikken. Pga sannsynligheten for at selve toget treffes av raset, vil det være litt større sannsynlighet for en uønsket hendelse på den høytrafikkerte strekninger. Et regne-eksempel vil belyse dette:

Frekvens av ras/nedfall	:	Gjennomsnittlig 1 gang/mnd.	
Oppdages før påkjørsel	:	70%	
Sannsynlighet for påkjørsel			
(i løpet av 1 år)	:	$12/1 \times 0,3 = 3,6$	
Togsettets lengde	:	100 m	
Hastighet	:	60 km/t	
Tid for passering av rasstedet:		6 sekunder	
		Høy trafikk	Lav trafikk
Frekvens av tog	:	1 tog/10 min	1 tog/2 timer
Antall togpasseringer/mnd	:	4320	360
Tid i løpet av 1 mnd. at et tog befinner seg ved raset	:	432 min	36 min
Sannsynlighet for å bli truffet av raset (pr mnd./år)	:	0,01/0,12	0,00083/0,00996
Samlet sannsynlighet (pr år)	:	3,73	3,61

Sannsynligheten for en uønsket hendelse i forbindelse med ras er ut fra dette neglisjerbart høyere for en høytrafikkert banestrekning selv om trafikken er 12 ganger så stor (1200%).

Stor hastighet på togene gir en lang bremselengde. Dette innebærer at mulighetene for å stoppe selv om raset blir observert av togføreren på lang avstand, vil minke. Dette gjør at sannsynligheten for påkjørsel øker i forhold til baner med lavere hastigheter. Konsekvensen av en påkjørsel i stor hastighet vil likevel være mer avgjørende for den totale risikoen enn den økte sannsynligheten for påkjørsel. Større hastighet gjør at oppholdstiden ved et potensielt farested blir mindre. Dermed reduseres faren for å bli truffet, jfr. regne-eksempel over.

5.2 Sannsynlighet for ras/nedfall

5.2.1 Vurdering av sannsynlighet for nedfall

Under kartlegging av en tunnel eller fjellskjæring er spørsmålet om sannsynligheten for nedfall av en definert del av bergmassen trolig det vanskeligste for en hver fagperson som utfører slike oppgaver. Mulighetene for feilvurderinger er store. Spesielt gjelder dette for vurdering av når et nedfall kan ventes dersom ingen tiltak iverksettes. I tabell 16 er det vist hvordan rasfaren er vurdert i to rapporter som er utarbeidet av Jernbaneverket. Vurdering av minimal, liten etc. kom som et resultat av valgte verdier i et flytskjema.

Tabell 16 Sannsynlighet for nedfall/ras. Vanlig brukte kriterier.

JDM Teknisk kontor 1998		Region Nord 1999		
Verdi	Sannsynlighet for nedfall Rasfare	Verdi	Gjentagelses- intervall	Sannsynlighet for hendelse innen 1 år
1	Minimal	F = 1	> 100 år	< 0,01
2	Liten	F = 2	10-100 år	0,1-0,01
3	Moderat	F = 3	1-10 år	1-0,1
4	Relativt høy	F = 4	< 1 år	> 1
5	Høy			

Det er innlysende at begreper som "minimal" og "moderat" er svært avhengig av subjektive vurderinger og ikke minst referansebakgrunn hos den som gjør kartleggingen/vurderingen. Noe enklere er det å angi et "gjentagelsesintervall", i realiteten hvor lang tid det tar før et ras inntre dersom tiltak ikke iverksettes, men når det skal vurderes om hendelsen vil inntre om 40 år eller 100 år, begynner de fleste å få for liten referansebakgrunn til å kunne skille på dette.

Til hjelp for å bedre referansebakgrunnen er det derfor naturlig å se på hvor ofte ras/nedfall har skjedd over en tidsperiode slik at vurdering av hyppighet av nye hendelser kan ses i forhold til disse. For å kunne beregne risiko i kroner er det videre nødvendig å angi et tall for sannsynligheten. Den grove angivelsen som benyttes i tabell 16 er dermed ikke tilstrekkelig. Dette er det redegjort for nedenfor.

5.2.2 Statistikk over nedfall/ras

Fra rasregisteret i Jernbaneverkets BaneDataBank (BDB) kan det hentes ut informasjon om ras som har inntruffet. Det er velkjent at rapporteringen av ras/nedfall er svært varierende fra banestrekning til banestrekning og at også instruksen om rapportering har variert gjennom tidene. Det betyr at dataene må behandles med varsomhet. For perioden 1997 til 2000 tror man at de fleste rasene er registrert, med unntak av noen snøras. I tabell 17 er derfor disse dataene angitt for seg i tillegg til statistikk over lengre perioder.

Ved å ta med bare de ras som skyldes stein, fås følgende tabell for rashyppighet

Tabell 17 Antall registrerte ras i BaneDataBanken som skyldes nedfall/utrasing av stein

	Hele bane- nett	JN *²	Nordlands- banen *¹
Total lengde (km) med rasfarlige strekninger	321,5	173,5	94,8
Nedfall 1980 – 12.12.1998. Alle typer ras; stein, is, jordras, snø		219	212
Steinras 1997 - 2000	162		
Steinras 1990 - 1999	210	136	
Rashyppighet (sannsynlighet for ras/nedfall), antall ras per år	40,5	13,6	12,0
Antall ras per år som medfører påkjørsel, 25%	10		3

*¹ Sikkerhetsanalyse for Nordlandsbanen

*² Inkl. Hell - Storlien

Tabellen angir sannsynligheten for ras (per år) for hele banestrekningen til 13,6 for Baneregion Nord i perioden 1990 til 1999. Denne statistiske verdien kan benyttes som en rettledning også under kartleggingsarbeidet. Verdien vil være gyldig over tid dersom dagens nivå på vedlikehold opprettholdes. Under kartlegging er det imidlertid sannsynligheten for at ett enkelt punkt på banen skal gi ras som blir vurdert. Variasjonen av samlet antall ras per år varierer innenfor relativt små grenser, stort sett styrt av værforholdene når det gjelder ras i skjæringer og fjellskråninger. Sannsynligheten for et enkeltras er imidlertid langt mer komplisert å estimere. En metodikk for angivelse av sannsynligheten er gitt i avsnittene nedenfor sammen med en del eksempler på kartleggingsresultater.



5.3 Sannsynlighet for at det skjer en påkjørsel av raset

Konsekvensene ved et ras er særlig knyttet til om det blir en påkjørsel eller ikke. Konsekvensene for rullende materiell og personer blir jo null dersom raset oppdages i tide. Tabell 18 viser at påkjørsel skjer i 37% av tilfellene. Det har imidlertid vært slik at også ras som er varslet av togfører stort sett har blitt rapportert som "påkjørt av tog". Annet sted i NTP står det at "minst 12,5% av alle ras har gitt skader på tog". Ut fra dette er det ved beregning av konsekvenskostnader lagt til grunn at 25% av alle ras gir påkjøring.

Tabell 18 Varsling av ras (fra NTP 2002 – 2011)

Varsling av ras

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	1/1-30/6 tot 97-00	%
Varslet av visitør	6	1	4	0	7	5	5	14	10	21	34	79	24
varslet av andre	2	0	4	2	1	1	1	9	2	7	9	27	8
strømbrudd								5	1	4	3	13	4
robel/ snørydding								0	0	2	16	18	5
rasvarslings- anlegg	0	0	0	0	0	1	3	1	2	4	6	13	4
påkjørt av tog	1	3	8	5	3	5	12	30	22	35	37	124	37
ukjent/annet	21	9	9	7	6	18	5	28	15	8	11	62	18
totalt	30	13	25	14	17	30	26	87	52	81	116	336	100

Antall ras som er varslet av visitør, varslet av andre, strømbrudd, varslet ved robel eller snørydding er totalt sett riktig, dog kan det være noen ras som har fått registrert feil varslingsmåte. Totalt blir det altså 45 % av rasene som ikke er påkjørt av tog, 37 % som er påkjørt av tog, og 18 % som har ukjent varslingsmåte.

Det inspeksjons- og vedlikeholdsarbeidet som utføres langs banenettet må antas å være sterkt medvirkende til at rashyppigheten ikke er større og at påkjørsel av ras skjer bare for 25% (angitt til 37% i tabellen) av antall ras/nedfall. *Visitasjon* av banen for å sjekke nedfall eller begynnende nedfall er også viktig for å hindre påkjørsel. Såkalt risikobasert visitasjon kan være gunstig spesielt med tanke på ras i dalsider. Denne typen visitasjon, som kan skje for eksempel ved sterk nedbør, er viktigere for å oppdage løsmasseras, men vil også virke preventivt for påkjørsel av

steinras. Statistikk for perioden 1997 til 2000 viser at 22% av rasene varsles av visitør. Til sammen 29% av alle ras blir varslet av visitør eller ved arbeid fra Robel.

Varsling av et ras før et tog kjører inn i det kan avverge store ulykker. Siden det her er snakk om ras/nedfall i tunnel og fjellskjæringer, eventuelt fra dalsider, vil dette typisk skje i områder med liten bebyggelse, ofte også med noe avstand til veg. Tilfeldig varsling av beboere eller tilfeldig forbipasserende er derfor ikke vanlig. Statistikk for perioden 1997 til 2000 viser at 8% av rasene blir oppdaget ved *tilfeldig varsling*.

Automatisk varsling kan skje ved at det etableres et *rasvarslingssystem* der for eksempel brudd på et lavspent strømgjerde vil virke som en indikasjon på at et ras har skjedd. Rasvarslingssystem er hensiktsmessig bare på strekninger med stor rasfare siden slike systemer har den ulempen at togtrafikken må stoppes uansett om det har vært et ras eller om det har vært feilmelding forårsaket av dyr eller at det er teknisk svikt. På høytrafikkerte strekninger kan konsekvensene ved uønsket/unødvendig forsinkelse ved feilaktig varsling være så store at andre tiltak vil være bedre for å redusere risikoen. En gjennomgang av de detektorsystemene som finnes, viser at ingen av disse står på banestrekninger med svært høy trafikk.

På elektrifiserte banestrekninger vil større ras også kunne gi seg uttrykk i *brudd på kjørestrømmen*. Dette skjer i 4% av rastilfellene.

5.4 Estimering av sannsynlighet for ras ved feltkartlegging

Som nevnt tidligere, har såkalt "rasfare" tidligere blitt angitt som en vurdering; "moderat", "liten" osv. Hensikten var å angi sannsynligheten for at ras skulle skje innen en viss (undefinert) tidsperiode. Ved å angi frekvensområde blir tallverdien noe mer presis, men som nevnt er en tallverdi nødvendig for å beregne risiko. Nedenfor er det gitt en beskrivelse av hvordan en slik tallverdi kan anslås under feltkartleggingen og hvordan sannsynligheten for ras på en parsell må vurderes opp mot statistiske verdier.

5.4.1 Enkelthendelse og frekvens

Hendelser som er knyttet til ras og nedfall kan betraktes på to forskjellige måter. *Enkelthendelse* er en hendelse som skjer én gang. Begrepet ”en gang” må ikke tas bokstavelig. Deler av et bergmasseparti kan rase ut i flere omganger, men én blokk kan rase ut kun én gang.

Hendelser som skjer som følge av andre gjentagbare hendelser og som nødvendigvis ikke skjer hver gang mulige utløsende hendelser opptrer (steinsprang som følge av sterk nedbør/frost/tinging, snøras) har en viss hyppighet for gjentagelse. Vi kan da snakke om en returperiode, R , for en hendelse eller *frekvens*, $1/R$, for en type hendelse.

Det finnes også en slags mellomtilfeller. Etter at en engangshendelse har skjedd, vil det ofte foregå mindre ras i en periode dersom det ikke gjøres spesielle tiltak på rasstedet. Ett område kan dermed betraktes å kunne gi både en enkelthendelse for ras og senere en frekvens for ras.

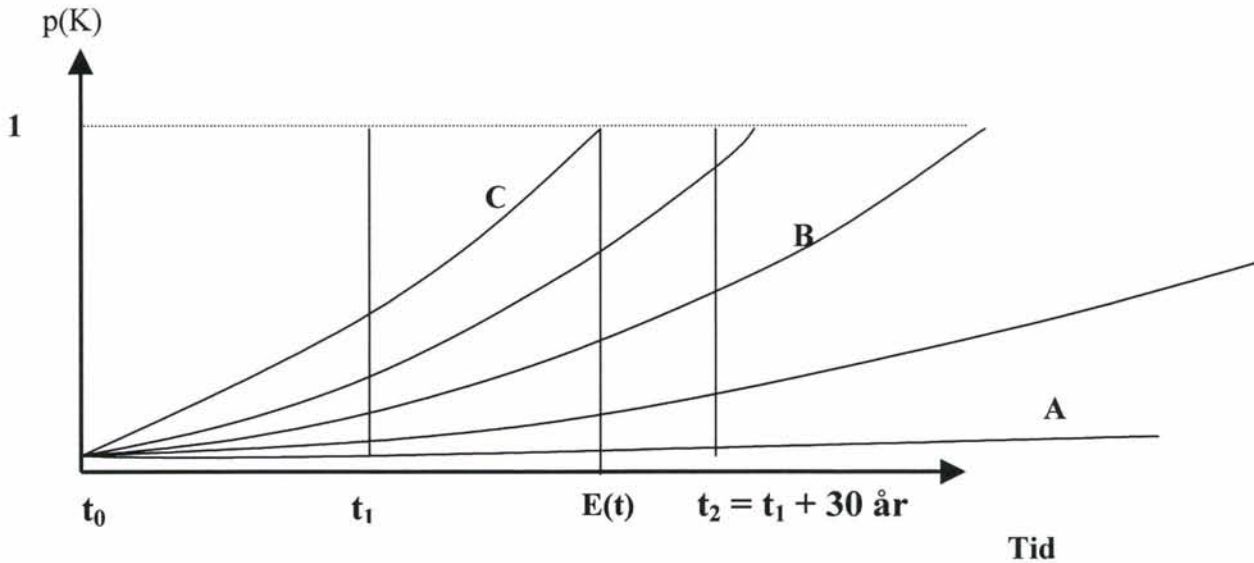
For kartleggingen og vurderingen i felt vil de to tilfellene måtte betraktes på to forskjellige måter for at nåverdirisikoen skal kunne beregnes.

Enkelthendelse

Hvis det skal ha noen hensikt å snakke om sannsynligheten for slike hendelser, må man definere en tidshorisont fra analysetidspunktet (t_1) fram til analyseperiodens slutt (t_2), og stille spørsmålet: ”Hva er sannsynligheten for at hendelsen inntreffer i løpet av denne perioden?”

Hvilken tidshorisont som skal velges, må ses ut fra levetiden til objektet (kan være en delstrekning) eller hvilken praktisk tidshorisont som kan benyttes for en vurdering av tiltak og varigheten av dette. Selv om levetiden for et objekt ofte settes til 50 år, kan det være fornuftig å betrakte en litt mer overskuelig tidshorisont når perioden velges. 30 år kan da være en periode som både fanger opp ”uendeligheten” og er nær nok i tid til at sannsynlighet for nedfall kan vurderes innenfor denne perioden. 30 år er også valgt i denne studien.

Figur 1 Sannsynligheten for en uønsket rashendelse



Figur 1 illustrerer hvordan sannsynligheten for et nedfall øker med tiden, dvs. tiden virker destabiliserende. Kurvene illustrerer flere ting. For det første er det verdt å merke seg at prosesser som kan føre til ras har kunnet virke i hele perioden etter bygging, representert ved tidspunktet t_0 . For det andre øker sannsynligheten med tiden for at det skal skje et ras. Dette er illustrert med kurver som følger en annen- eller kanskje tredjegradskurve. Videre er sannsynligheten for ras forskjellig avhengig av forholdene på stedet. Kurve A viser et parti som er stabilt, men som over svært lang tid, flere hundre eller 1000 år, vil bli mer og mer ustabil. Kurve B viser et objekt som antas å rase omkring 50 år etter observasjonstidspunktet, t_1 . Kurve C viser et objekt som forventes å rase før betrakningsperioden har utløpt. Forventet hendelsestidspunkt er angitt med $E(t)$, se nedenfor.

Dersom t_1 er observasjonstidspunktet og t_2 analyseperiodens slutt, må altså sannsynligheten for at hendelsen skal inntreffe vurderes. Et foreløpig estimat på dette må alltid vurderes under feltkartleggingen.

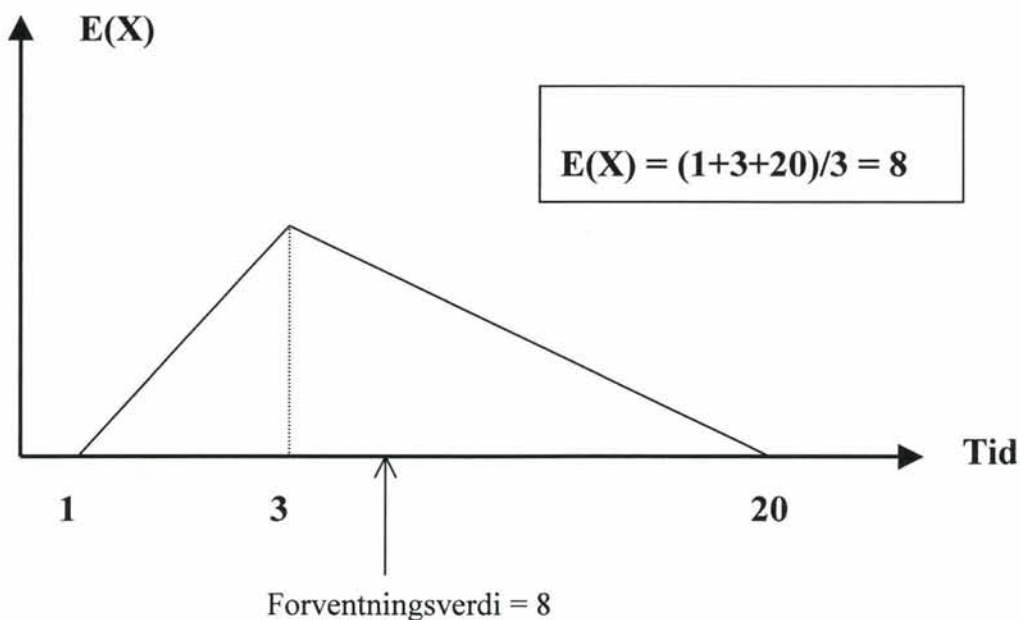
Enkelte "løse blokker" kan med stor sikkerhet antas å rase ut i løpet av 30 år. Dermed kan sannsynligheten for at hendelsen inntreffer settes til 1. Den andre ytterligheten er at det er "helt usannsynlig" at hendelsen inntreffer i løpet av 30 år. Verdien $p(K)$ kan da settes til for eksempel 0,01. Uttrykt på en annen måte betyr dette at kun 1 av 100 liknende tilfeller vil rase i løpet av 30

år. I praksis kan dette for eksempel være en del av en fjellside, kanskje med overheng, som skal vurderes i et langt tidsperspektiv.

Mellom disse verdiene fins det da et stort variasjonsområde som indikerer varierende grad av sannsynlighet. En verdi 0,5 kan bety at det er "trolig, men ikke sikkert", 0,1 indikerer kanskje "lite trolig" osv.

Det neste punktet som må besvares er: Hvis raset skjer, når antas det å skje? Dette er en nærmest umulig oppgave, men det er like fullt det ingeniørgeologen forventes å ha svar på eller i det minste er den nærmeste til å gi en kvalifisert vurdering av. For å hjelpe på muligheten for å komme i nærheten av riktig svar, kan det være fornuftig å angi et trippelanslag. Laveste anslag er "den korteste tiden det går inntil raset kommer, t_{\min} ". Deretter angis antatt verdi, t_{ant} , og til slutt "den lengste tiden som kan gå før raset kommer, t_{maks} ". Forventningsverdien kan da beregnes som $E(t) = (t_{\min} + t_{\text{ant}} + t_{\text{maks}})/3$.

Figur 2 Trippelanslag for forventet tidspunkt for ras



Selv om engangshendelser ikke uttrykker noen frekvens (de skjer bare én gang), må sannsynligheten for en uønsket hendelse omgjøres til frekvens for å kunne benyttes til å vurdere om hendelsen gir et akseptabelt risikonivå i henhold til Sikkerhetshåndbok, Prosedyre for

utarbeidelse av akseptkriterier. En konservativ måte å gjøre dette på er å si at frekvensen er 1/forventningstidspunktet for raset.

Frekvens av hendelser

Betraktes en strekning, tunnel eller skjæringsparti, eller en dalside, kan det ofte registreres at nedfall av en viss størrelse skjer med en viss hyppighet. Vi kan da snakke om en frekvens på en type hendelse, og kartleggingen er da ikke gjort så detaljert at de ustabile partiene er konkret avmerket i terrenget eller på kart.

Denne betraktningmåten kan benyttes når situasjonen enten er uoversiktlig eller gjentar seg hyppig. Eksempler kan være iskjøvingsproblemer som skjer årvisst eller nedfall av mindre stein og blokk fra skjæringer. Også jord- og steinras fra dalsider kommer i denne kategorien siden mange av disse også gjentar seg, men er vanskelig å kartlegge.

5.4.2 Kartleggingsskjema

For å benytte den måten å vurdere sannsynlighet på som angitt ovenfor, er det utarbeidet et kartleggingsskjema for detaljkartlegging i fjellskjæringer. Et eksempel på et utfylt skjema er gitt i vedlegg 7.3.

Eksempelet viser en skjæring hvor to potensielle rassteder er identifisert. I tillegg til at størrelsen på et mulig ras må anslås, må sannsynligheten for at ras inntreffer anslås. Deretter må et tiltak vurderes og den samme vurderingen gjøres etter at et tenkt tiltak er utført. I eksempelet er to forskjellige tiltakstyper vurdert.

Kartlegging av sannsynligheten for ras på en parsell kan så overføres til skjema for Kartlagt sannsynlighet for ras.

5.5 Eksempel på vurdering av sannsynlighet for ras

For å anskueliggjøre hvordan sannsynlighetsvurderingen utføres, er det tatt et eksempel fra Nordlandsbanen som har ca 95 km med rasfarlig strekning som skyldes stein. Dersom en strekning på 5 km (5,2%) av disse kartlegges, kan sannsynligheten for nedfall per år forventes å

være om lag 0,63 (12 ras per år x 0,052) dersom rasfaren er den samme overalt. I eksempelet for vurdering av konsekvens er en parsell på 460 m brukt, hvilket grovt kan sies å være 0,5 km.

Et eksempel på hvordan en slik sannsynlighet framkommer ved kartlegging er gitt i vedlegg 7.4. Det er i eksempelet laget ett sett med data som gir total rasfare 0,217. Denne verdien er framkommet ved å summere sannsynligheten for ras innenfor en 30-årsperiode og deretter dividere på 30. Det er da ikke tatt hensyn til at nye rasfarlige partier kan oppstå i løpet av 30-årsperioden. Anslaget kan derfor sies å være lavt. En konservativ betraktningssmåte der "det samme" raset gjentar seg med en gitt frekvens gir som resultat at 1,16 ras inntre per år.

Det er mulig at dette eksempelet viser en typisk rasfare for en tunnel. Erfaring fra rasstatistikken er vel også at ras i tunneler skjer sjeldnere enn ras i dagen. Innenfor sikringsvurdering er det imidlertid normalt at sikkerhetsfaktoren reellt kan være både 3 og kanskje opp mot 5 og 10 i enkelttilfeller. Ut fra en slik betraktning kunne er vente at kartleggingen ga som resultat at det ble funnet sannsynlig med kanskje 2 til 3 ras per år på parsellen.

Hva som vil være "riktig" nivå for sannsynlighet for ras må testes ut gjennom reell kartlegging i felt. Gjennomsnittlig rasfrekvens kan imidlertid sammenlignes med nivået på kartlagt sannsynlighet, og "normal" kartlegging vil da trolig gi som resultat at kartleggingen gir høyere sannsynlighet enn gjennomsnittet.

I sikkerhetsanalysen for Nordlandsbanen kommer risiko knyttet til ras på åpen linje ut med risikoklasse 2, dvs. akseptabelt risikonivå der risikoreduserende tiltak bør iverksettes dersom effekten er gunstig og ulempene/kostnadene er moderate. Det er konsekvensen ved en avsporing som følge av steinras som vurderes til å være så store og at dette fører til tap av mer enn 2 personer i 2% av hendelsene. Trolig er dette et konservativt anslag. Statistikk fra BDB angir at det er mindre enn ett tilfelle per år med personskade for hele landet. Det kartleggingsverktøyet som nå er etablert, kan kanskje bidra til å gi klarere risikotall knyttet til ras.

6 TILTAK

6.1 Tiltak mot ras

Vurdering og kostnadsberegning av tiltak må gjennomføres for å få gjennomført en nytte/kostvurdering. En beskrivelse av typer av tiltak er ikke en del av denne studien. Det henvises til for eksempel side 2 i Sikring mot ras og utglidninger i NTP 2002 – 2011. Se også vedlegg 3.

6.2 Vurdering av tiltak under kartleggingen

Kartleggingstidspunktet er som regel det beste tidspunktet for å vurdere tiltak for å forbedre sikkerheten. En videre bearbeiding er ofte nødvendig å gjøre på kontoret, men strategi for sikringen velges som regel under kartleggingen.

Dersom sikringen ikke reduserer risikoen for ras til null, er det en viss restrisiko knyttet til denne lokaliteten. Dermed må både konsekvens og sannsynlighet for ras vurderes for situasjonen som oppstår etter at tiltaket er gjennomført. Dette er behandlet i kapittel 7 nedenfor.

6.3 Størrelse og effekt av vedlikehold

Den situasjonen med hensyn på stabilitet i tunneler og skjæringer som observeres under en kartlegging, er et øyeblikksbilde av lokaliteten som kan være forskjellig fra situasjonen for eksempel 5 år siden. Eventuell redusert stabilitet er et resultat av de ytre påvirkninger som skjer i naturen med hensyn på nedbryting.

Selv om det ikke har vært utført konkrete sikringsarbeider på stedet, utfører vedlikeholdet i Jernbanelinjen jevnlig inspeksjoner hvor rydding og rensk utføres. Mange lokaliteter gir liten risiko for ras/nedfall nettopp fordi slikt vedlikehold utføres. Dette gjelder spesielt i forhold til isproblemer, men også for å hindre mindre stein og blokker å rase ned på sporet.

For store deler av banestrekningene er avstanden mellom spor og fjellskjæring så liten at nesten alt nedfall når sporet. Permanente tiltak for å utelukke slike hendelser på alle strekningene er praktisk talt umulig å få gjennomført. Det er derfor viktig å ta med i betraktningen i forbindelse med tiltak om et jevnlig vedlikehold med rydding og rensk, som er en del av det som gjennomføres i dag, kan være tilstrekkelig også som et permanent tiltak.

6.4 Kostnad av tiltak

Ved beregning av kostnad for tiltak må både investeringskostnaden og eventuelt behov for vedlikeholdskostnad tas med. Vedlikeholdskostnaden vil variere sterkt ut fra tiltakets karakter.



7 NYTTE/KOST-VURDERINGER

7.1 Nåverdirisiko knyttet til ras

Beregning av konsekvens og sannsynlighet for en hendelse gjør det mulig å beregne risikoen knyttet til hendelsen. For å kunne sammenligne hendelser som antas å skje på forskjellige tidspunkt, er det nødvendig å beregne nåverdirisikoen, NVR. Nedenfor er nåverdien beregnet både for enkelthendelse og for gjentatte hendelser.

$$\text{NVR} = \frac{P(K) \cdot K}{(1+r)^{E(t)}} \quad \text{for enkelthendelse}$$

$$\text{NVR} = \frac{1}{R} \cdot K \cdot \frac{(1+r)^L - 1}{(1+r)^L \cdot r} \quad \text{for gjentatte hendelser}$$

der

- P(K) sannsynligheten for hendelsen
- K konsekvensen
- r rentefoten
- E(t) forventet tid før hendelsen inntreffer
- L tidshorisonten
- R returperioden
- 1/R frekvensen

I Jernbaneanverket er rentefoten fastlagt til å være 5% og tidshorisonten, L, settes til 30 år.

Etter at et tiltak er gjennomført, kan risikoen være eliminert. Det er imidlertid like ofte at det fortsatt er en viss risiko til stede etter at tiltaket er gjennomført. For eksempel er rensk ofte bare et utsettende tiltak og en boltesikring kan være mangelfull både i mengde av bolter og for det arealet som dekkes. Derfor bør det beregnes en restrisiko, etter tiltaket.



En nytte/kost-betraktning gir at

En investering (tiltak) for å redusere risikoen er lønnsomt når summen av investeringen og risikoen (restrisikoen) er mindre enn eksisterende risiko uten tiltak.

$$NVR > I + RVR$$

7.2 Nytte/kost av enkelttiltak

Prosedyren for utarbeidelse av akseptkriterier, vedlegg 1, benytter følgende definisjon i forbindelse med nytte/kost-vurderingene:

$$\text{Netto gevinst/kost} = ((R_{FT} - R_{ET}) - T) / T$$

der

- R_{FT} en potensiell årlig ulykkeskostnad for den aktuelle uønskede hendelsen før tiltak er iverksatt
- R_{ET} en potensiell årlig ulykkeskostnad for den aktuelle uønskede hendelsen etter at tiltak er iverksatt
- T summen av de årlige investerings- og vedlikeholdskostnadene for tiltaket

Dersom vanlige nytte/kostvurderinger legges til grunn, skal kravet til restrisikoen og tiltakskostnaden være slik at

$$((R_{FT} - R_{ET}) - T) / T > 0$$

Dette er en noe uvanlig måte å formulere det på. Kravet kan formuleres på flere andre måter, for eksempel at

$$R_{ET} + T < R_{FT}$$

hvilket betyr at summen av restrisikoen og tiltakskostnaden skal være mindre enn risikoen før tiltaket, altså den situasjonen som eksisterer på observasjonstidspunktet.

Kanskje den vanligste formen å formulere det på er at

$$(R_{ET} + T) / R_{FT} < 1, \text{ altså at kostnaden skal være mindre enn nytten.}$$



1B-Sikkerhet benytter årlige kostnader i beregningen. Uttrykket blir det samme dersom diskonterte verdier benyttes, altså nåverdien av risiko og tiltak.

$$NVR > NVT + RVR \quad \text{eller} \quad (NVR - RVR)/NVT > 1 \quad \text{som er nytte/kost} > 1.$$

der

NVR Nåverdirisiko, dvs. før tiltak

RVR Restrisiko etter tiltak

NVT Nåverdi av tiltakskostnad, dvs. investering og nåverdi av
vedlikeholdskostnader



7.3 Nåverdirisiko pga ras for en parsell før tiltak

Noen ganger kan det være aktuelt å vurdere rasrisiko for et enkelt sted, men ved kartlegging av en parsell oppdages det som regel flere partier som gir en viss risiko for ras. Med tanke på effektiv utførelse av tiltak, vil det derfor være rasrisikoen for en parsell som vurderes opp mot tiltaket. Kostnaden spesielt for tilrigging for å utføre tiltaket kan da fordeles på flere lokaliteter og dermed bli rimeligere.

7.4 Eksempel på nytte/kost-beregning

I eksempelet fra en tunnel på Nordlandsbanen, se vedlegg 7.5, er det beregnet at NVR er kr 628.000,-. Tiltakskostnaden, NVT, beregnes da på vanlig måte ved å beregne anleggskostnaden og eventuelle kostnader med årlig vedlikehold.

Dersom tiltakskostnaden er kr 400.000,- oppnås en nytte/kost-verdi på 1,57 dersom restrisikoen er null. Dersom tiltakskostnadene er kr 1.000.000,-, har tiltaket en nytte/kost-verdi < 1 og bør dermed ikke gjennomføres. Det kan da være mulig å se enkeltvis på potensielle ras med høy risiko for å se om nytte/kost-verdien for et enkelttiltak er > 1 . Ett mulig ras peker seg ut med NVR på kr 353.000,-. Det vil da være mulig å se på om tiltakskostnaden for dette ene tilfellet kan være mindre enn kr 353.000,-, eventuelt gjøre et mindre tiltak som bare reduserer risikoen.

8 INGENIØRGEOLOGISK KARTLEGGING AV RASFARLIGE PARTIER I TUNNELER OG SKJÆRINGER

Ved at konsekvenskostnaden knyttet til en mulig rashendelse er bestemt på forhånd, blir kartleggingsarbeidet konsentrert om det som ingeniørgeologen er best egnet til, nemlig å beskrive de ingeniørgeologiske forholdene og vurdere sannsynligheten for at ras skal skje. Nedenfor er gangen i en kartleggingsjobb beskrevet med angivelse av det som kan gjøres før feltkartleggingen og det som må gjøres under feltkartleggingen.

8.1 Sannsynlighetsvurdering

Informasjon som må skaffes til veie før feltkartleggingen:

- Antall og størrelse på registrerte ras på banestrekningen i flg. BDB, gjerne supplert med lokal informasjon.
- Erfaringer som banesjef (banemannskap) har med strekningen vedrørende blant annet
 - type nedfall (stein, blokk, jord, is)
 - sted/parti for rasaktivitet
 - vedlikeholdsomfang på strekningen (preventivt, for rydding etter ras)
 - system for rasvarsling (automatisk eller manuelt)
- Er det avdekket fare for store enkeltras?

Vurderinger under feltkartleggingen.

Først gjøres en vurdering av hva som vil skje dersom tiltak ikke iverksettes. Ut fra dette kan sannsynlighet for ras før tiltak vurderes. Under samme befaringsmåling må også sannsynligheten/frekvensen vurderes dersom et gitt tiltak gjennomføres. Avhengig av mulige tiltak må dermed dette gjøres flere ganger. Dette benyttes til å vurdere risikoen etter tiltak, RVR, som ofte kan være et valg mellom flere tiltak.



Enkelthendelser:

Vurdere når raset kan antas å komme, fortrinnsvis med trippelanslag t_{\min} , t_{ant} og t_{maks} .

Vurdere sannsynligheten for at raset skal inntreffe, $p(K)$, innenfor valgt tidshorisont, T . I Jernbaneverket er tidshorisonten satt til 30 år.

Gjentatte hendelser (frekvens):

Skaffe grunnlag, ved brukt av forhåndsopplysninger og vurderinger i felt, for hvor ofte hendelsen gjentar seg, returperioden R . Dette vil være forhold knyttet til ras for eksempel i vårløsningen der regn og frostsprengning gjør at det jevnlig løsner noe stein/blokker, typisk i høye skjæringer/dalsider.

8.2 Konsekvensvurdering

Det meste av informasjon vil være skaffet til veie og behandlet før feltkartleggingen. En vurdering av basis konsekvenskostnader må gjøres sentralt i Jernbaneverket og vil derved være uavhengig av feltkartleggingen. Det er kun størrelsen av ras (og hvor mye som blir liggende på linja) som skal bestemmes i felt.

Konsekvensfaktorene må bestemmes for hver enkelt parsell. Det meste av dette kan gjøres før feltkartleggingen ut fra tilgjengelighet og terrengform for området som skal kartlegges, trafikktype, hastighet av tog og siktavstand på stedet.

Vurderinger under feltkartleggingen.

- Størrelsen på ras (totalt og det som blir liggende på linja).
- Tilgjengelighet av rassted.
- Terrengform. Spesielle forhold ved terrenget på stedet (bredde av grøft, skjæring, vegetasjon, skråningsvinkel etc.)
- Siktforhold.

8.3 Tiltak

Ofte er tiltakene greie å bestemme i felt og det fins kanskje bare ett eller to åpenbare måter å utføre dette på. Andre ganger finnes flere alternativer.

Hvert tiltak har en kostnad og en effekt på sannsynlighet eller konsekvens eller begge deler. Sammen kan dette benyttes til å finne nytte/kost av tiltaket.

Ofte kan anslagene både for tiltakskostnad, sannsynlighet for hendelse etter tiltak og konsekvens av hendelse beregnes på kontoret etter befaring. Andre, mer kostnadseffektive tiltak kan også framkomme etter noe bearbeiding på kontoret. Dess mer av informasjon som er hentet inn i felt, dess enklere er det å gjøre vurderingene i etterkant.

8.4 Kartleggingsskjema for detaljvurdering

Et kartleggingsskjema er utviklet for bruk ved detaljkartlegging av stabilitet i skjæringer, se vedlegg 7.3. Det samme skjemaet kan omformes til bruk også for tunneler. På dette skjemaet skal verdier for tre av konsekvensfaktorene settes inn. Verdiene kan være vurdert også på forhånd, men det vil være fornuftig å verifisere dette under feltkartleggingen.


Videre gir skjemaet mulighet for å beskrive skjæringen både med hensyn på høyde og form og for ingeniørgeologiske observasjoner. Områder hvor tiltak vurderes avmerkes, og sannsynlighet for nedfall angis både før og etter at tiltak er utført. Dermed krever skjemaet at type og omfang av tiltak er vurdert på stedet. Modifikasjoner av disse vurderingene kan selvfølgelig gjøres i ettertid.

Trondheim, 7. mai 2001

for O. T. Blindheim AS



Bent Aagaard

Kvalitetskontroll: 
Werner Stefanussen



Prosedyre for utarbeidelse av akseptkriterier

O. T. Blindheim AS
Rapport 2460.01
Vedlegg 1

Innholdsfortegnelse

1. HENSIKT OG OMFANG	2
2. ANSVAR OG MYNDIGHET	2
3. BESKRIVELSE	2
3.1 Generelt	2
3.2 JVBs sikkerhetsmål	3
3.2.1 Overordnet Sikkerhetsmål for JBV	3
3.2.2 Andre mål relatert til sikkerhet	4
3.3 Akseptkriterier	5
3.3.1 Generelt	5
3.3.2 Akseptkriterier for jernbanevirksomhet på det offentlige nett	6
3.3.3 Akseptkriterier på regionnivå	7
3.3.4 Kriterier for enkelthendelser	12
3.3.5 Akseptkriterier på systemnivå - Konstruksjonsprinsipper	13
3.3.6 Akseptkriterier for trafikkstyring	14
3.3.7 Akseptkriterier for rullende materiell	16
3.4 Nytte/kost vurderinger	17
4. REFERANSER OG HENVISNINGER	19
5. VEDLEGG	19

- Kap. 3.3.3 dekker akseptkriterier på regionsnivå for passasjerer (inkl. togpersonale) på banestrekninger og parseller, og for personer i spor og på planoverganger. Det er videre angitt akseptkriterier for banepersonale og lokførere som kan brukes ved spesielle studier
- Kap. 3.3.4 angir kriterier for enkelthendelser

Delområder

- Kap. 3.3.5 angir akseptkriterier på systemnivå - konstruksjonsprinsipper
- Kap. 3.3.6 angir akseptkriterier for trafikkstyring.
- Kap. 3.3.7 angir akseptkriterier for rullende materiell
- Kap. 3.4 angir kriterier for nytte/kost vurderinger

3.2 JVBs sikkerhetsmål

3.2.1 Overordnet Sikkerhetsmål for JBV

JVBs overordnede mål for jernbanesikkerhet er formulert som

"Det etablerte sikkerhetsnivå for jernbanetransport i Norge skal opprettholdes. Alle endringer skal sikre en utvikling i positiv retning."

For å tilfredsstille det overordnede målet, men samtidig ha muligheter til fleksible løsninger, er følgende delmål blitt definert:

"Endringer eller modifikasjoner i anlegg og materiell skal bidra til å opprettholde eller heve sikkerhetsnivået. Imidlertid, endringer og avvik i systemer, prosedyrer eller regelverk skal kunne medføre en isolert reduksjon av sikkerhetsnivået, såfremt det totale sikkerhetsnivået på det offentlige nett ikke endres i negativ retning. Endringer av sikkerhetsnivå p.g.a. endringer i trafikkavviklingen aksepteres innenfor gitte grenser."

Det overfor definerte sikkerhetsmålet er en nødvendighet da JBV har innført risikobasert (analytisk) sikkerhetsstyring. Med risikobasert sikkerhetsstyring vil de enkelte bidrag til risikoen og derved de tilhørende tiltak settes inn i en total sammenheng.

Dette vil åpne for å bedre kunne konsentrere virksomheten om de tiltak som gir største beregnede effekt på sikkerhetsnivået.

Det skal kontinuerlig arbeides med, fokuseres på og iverksettes risikoreducerende tiltak og aktivitet selv om akseptkriteriene er tilfredsstillt.

Det samlede trafikkvolum på det offentlige nett de senere årene (1997-98) er ca. 27.3 millioner persontogkm per år, ca. 37.1 millioner togkm per år totalt (inkl. godstrafikk og "gult" materiell) og antall planoverganger var 5283 per 1998. Ved å la trafikken på Gardermobanen og trafikkarbeidet med Flytoget inngå i det totale trafikkvolumet, er de etterfølgende akseptkriterier utviklet med basis i følgende trafikk forhold:

- Persontog: 32 millioner togkm per år
2.77 milliarder personkm per år
ca 86 passasjerer i gjennomsnitt per tog
- Godstog: 10 millioner togkm per år
- Planoverganger: 5283 (fordelt på regioner etter oversikt i årsrapport 1998)

$32 + 10 = 41,3$ se side 10

I de etterfølgende kapitlene er det angitt metoder og mer spesifikke akseptkriterier for hvordan JBV's sikkerhetsmål (angitt i dette kapittel) kan nås.

3.3 Akseptkriterier

3.3.1 Generelt

Identifikasjon og etablering av akseptkriterier tar utgangspunkt i JBV's definerte sikkerhetsmål. Akseptkriteriene vil angi hva som er maksimalt akseptabel risiko i forhold til hva som er uakseptabel risiko for den del av JBV's virksomhet som skal analyseres.

Akseptkriterier kan i prinsippet utvikles for:

- Personikkerheten
- Miljøikkerheten
- Verdisikkerheten

De akseptkriteriene som er utviklet i denne prosedyren fokuserer på personikkerheten. Når det gjelder sikkerheten til eget og innleid personale for JBV er den ivaretatt med spesifikke krav til banepersonale. For togpersonale som en persongruppe er det utviklet spesifikke akseptkriterier for lokførere. Det vil være aktuelt for den enkelte trafikktøver å utvikle og utdype slike kriterier. (f.eks. krav til FAR verdi for de ulike yrkesgruppene).

Når det gjelder miljøikkerheten vil denne i første omgang være knyttet til transport av miljøfarlig gods. Transport og håndtering av farlig gods er et område som det spesielt vil bli fokusert på i forbindelse med oppfølging av sportilgangsavtaler. Andre miljørelaterte sikkerhetsproblemer er dekket i egne miljøprogram.

Verdisikkerheten, som her vil bare inkludere materielle skader ved en ulykke, vil i de fleste tilfellene være dekket av personikkerheten. Godstransport på jernbane vil i noen tilfelle bare ha konsekvenser for verdikkerheten og personikkerheten vil spille en underordnet rolle. Storulykker med farlig gods kan medføre en stor fare for 3.person. Imidlertid, det å utvikle egne kriterier for godstransport på det nåværende tidspunkt synes ikke å være formålstjenlig før man har fått mer erfaring med hvordan kriteriene for persontransport virker i praksis. De fleste risikoreduserende tiltak vil likevel iverksettes for godstransport ut fra bedriftsøkonomiske kriterier.

For å kunne arbeide systematisk med sikkerhet og risikoreduserende tiltak er det etablert en struktur basert på en definisjon av fire risikokategorier.

En inndeling i 4 risikokategorier er i henhold til anbefalinger i EN 50126:

- Kategori 3: Uakseptabelt risikonivå representerer et nivå der risikoen er for høy sett i forhold til etablerte sikkerhetsmålene for JBV.
- Kategori 2: Akseptabelt risikonivå representerer et område der risikoreduserende tiltak bør iverksettes dersom effekten er gunstig og ulempene/kostnadene er moderate. Overgangen mellom uakseptabelt og akseptabelt nivå definerer minimumskrav til virksomheten.
- Kategori 1: Lavt risikonivå representerer et område der risikoreduserende tiltak bør iverksettes dersom effekten er stor og ulempene/kostnadene er små.
- Kategori 0: Neglisjerbart risikonivå representerer et nivå der risikoen er så lav at ytterligere tiltak ikke er nødvendig.

Kategori 1 og 2 betegnes ofte i internasjonal sammenheng som ALARP område (As Low As Reasonably Practicable), og vurderingen av om tiltak skal gjennomføres eller ei skjer ut fra nytte/kost betraktninger. Dette er et prinsipp som i størst mulig utstrekning vil bli fulgt i JBV.

For å kunne presentere den samlede risikoen for all jernbanevirksomhet i Norge, vil enkeltbidragene fra risikoanalyser av de enkelte banestrekninger måtte summeres. Dette kan gjøres forholdsvis lett da det er stilt krav om at analysene skal baseres på kvantitative beregninger. En presentasjon av det totale risikonivået kan gjøres med basis i topp-hendelser (alternativ 1):

- Avsporing
- Sammenstøt
- Brann
- Personer skadet i tog (annet enn ved avsporing, sammenstøt eller brann)
- Passasjerer skadet på plattform
- Personer skadet ved planoverganger
- Personer skadet i spor

"Avsporing" plottet inn i risikomatriksen vist i figur 3.1 vil da representere risikoen for alle avsporingshendelser per år for alle banestrekningene i Norge. Alternativt kan samlet risiko for hver banestrekning beregnes og plottes.

Er det flere enn 6 topphendelser i risikokategori 2, er den samlede risikoen uakseptabel og risikoreducerende tiltak må iverksettes, såfremt trafikkøkningen ikke har vært så stor at det har vært behov for å justere sikkerhetsnivået.

Endring av risiko p.g.a. endringer i trafikkavviklingen

Det er et overordnet mål at sikkerhetsnivået (uttrykt ved PLL < 11) skal opprettholdes og inkludere den forholdsvis moderate økingen i trafikkavviklingen som prognosene gitt i Nasjonal transportplan (2002 - 2011) på ca. 0.7 % økning per år. Dersom trafikkavviklingen på hele det offentlige nett øker mer enn det som er angitt i prognosene, kan dette medføre at kravet til sikkerhetsnivået også økes. (Se forklaring fotnote ²).

3.3.3 Akseptkriterier på regionnivå

De fire regionene (Region Øst, Sør, Vest og Nord) i JBV har stor forskjell i trafikkmengde, i antall personkm per år og i egenskaper ved kjørevei og infrastruktur. Personikkerheten som vil være avhengig av disse parametrene er i denne sammenheng inndelt i fire personkategorier:

- Passasjerer og togpersonalet (pkt 3.3.3.1)
- Personer i spor og på planoverganger (3. person) (pkt 3.3.3.2)
- Banepersonale (pkt 3.3.3.3)
- Lokførere (pkt 3.3.3.4)
- Trafikkdataene vil ha ulik påvirkning på personkategorier som kan være utsatt for ulykker i forbindelse med togfremføring. Tabell 3.1 gir en oversikt over hvilke parametre som har betydning for de fire personkategoriene og en begrunnelse for dette.

² Dersom økningen for eksempel er 10% over en tre-års periode, vil det medføre at „grensen mellom akseptabelt og uakseptabelt område vil kunne økes for PLL-verdien, fra PLL = 11 til PLL = 12. En PLL verdi på 12 vil igjen medføre at antall hendelser i risikokategori 2 kan øke fra 6 til 7. De samme forhold vil gjelde dersom trafikkavviklingen reduseres ved f.eks. at flere banestrekninger legges ned. På tilsvarende måte må da kravet til PLL-verdien bli lavere.

Figur 3.2 Risikomatrix for personsikkerheten per personkm

Frekvens- Kategori (per personkm)	Konsekvens-kategorier					
	K1; lett skade	K2; med. behandl.	K3; varig skade	K4; 1 dødsfall	K5; 2-10 dødsfall	K6; >10 dødsfall
F5 ($>10^{-9}$)	1	1	2	3	3	3
F4 ($10^{-9} - 10^{-10}$)	0	1	1	2	3	3
F3 ($10^{-10} - 10^{-11}$)	0	0	1	1	2	3
F2 ($10^{-11} - 10^{-12}$)	0	0	0	1	1	2
F1 ($< 1 \times 10^{-12}$)	0	0	0	0	1	1

For å kunne ligge innenfor det sikkerhetsnivå som er nedfelt i dette dokumentet uttrykt ved PLL ≤ 3.1 drepte per år for passasjerer (≤ 2.6 drepte) og togpersonalet (≤ 0.5 drepte), en samlet trafikkmengde på 2.77 milliard personkm per år, må det også stilles krav til antall hendelser i risikokategori 2. Disse vil gjelde generelt for alle strekninger og er beregnet til å være maksimalt 8 topphendelser⁴. Antall tillatte hendelser i kategori 2 er fremkommet på samme måte som beskrevet i fotnote 1, kapittel 3.3.2).

Ved vurdering av konsekvenser ved ulike typer ulykker, må det tas hensyn til hvor mange passasjerer det er i et tog. Utgangspunktet for fastsettelse av akseptkriteriet per personkm er et gjennomsnitt for all togvirksomhet i Norge på ca. 86 passasjerer per tog.

Vær også oppmerksom på et annet moment ved bruk av risikomatriksen. Dersom en topphendelse blir vurdert til å være i risikokategori 3, kan denne splittes opp i to eller flere topphendelser som hver for seg kan være av risikokategori 2. Se eksempel fotnote⁵)

Parseller

En banestrekning kan deles inn i kortere eller lengere parseller. En parsell vil kunne ha et høyere eller lavere risikonivå i forhold til hele banestrekningen. Dette vil være områder med for eksempel høy rasfare, lange tunneler og bruer, ustabil grunn osv. I praksis bør en risikoanalyse først gjøres av hele banestrekningen da akseptkriteriene er utformet for banestrekninger. Et resultat av en slik risikoanalyse skal være beregnede PLL-verdier for hele banestrekningen. Med bakgrunn i disse beregnede PLL-verdiene, kan "veiledende" akseptkriterier utvikles for de enkelte parseller. Dette vil kunne innebære at en parsell vil kunne ha et strengere krav til PLL-verdi enn den gjennomsnittlige PLL-verdien per personkm på den aktuelle banestrekningen, mens en annen parsell kan ha et mer lempelig krav (Se forklaring fotnote⁶).

3.3.3.2 Akseptkriterier for personer i spor og planoverganger

For ulykker der personer i spor og planoverganger blir eksponert, vil en fordeling av PLL verdien på regioner etter kriterier beskrevet i tabell 3.1 være som angitt i tabell 3.2.

⁴ Fordeling mellom konsekvenskategoriene K3, K4, K5 og K6 gjøres etter forholdstallene 2:2:2:2

⁵ For eksempel kan sammenstøt splittes opp i:

1. Sammenstøt tog - tog
2. Sammenstøt tog - ras på åpen strekning
3. Sammenstøt tog - ras i tunnel
4. Sammenstøt tog - objekt (ikke rullende)

Hver av disse topphendelsene kan da være av risikokategori 2 og det samlede risikonivået kan fortsatt være akseptabelt så fremt antall topphendelser ikke er større enn 8.

⁶ Eksempel: En banestrekning er delt i 5 parseller. Den gjennomsnittlige PLL - verdien for passasjerer og togpersonale skal være $1.12 \cdot 10^{-9}$ per personkm. Dersom to av parsellene gir et risikonivå som er henholdsvis 20% og 30% høyere, må de resterende tre parsellene kompensere samlet for dette ved å gi lavere risikonivå.

Dersom trafikkavviklingen på en enkelt strekning endres som følge av endringer i ruteplanen vil risikoen kunne endres. Dette skyldes en endring i antall tog passeringer. Dersom ruteendringer medfører en økningen av risikoen på inntil 30% på en enkeltstrekning, kan dette aksepteres med bakgrunn i de betraktninger som er gitt i pkt. 3.3.8. (Se forklaring i fotnote ⁸).

3.3.3.3 Akseptkriterier for Banepersonale

Sikkerheten for banepersonalet i forbindelse med arbeid på linjen var et stort problem i 70 årene og begynnelsen av 80 årene. Dette har bedret seg betydelig de seneste årene, noe tabell 3.4 viser.

Tabell 3.4 Oversikt over historisk risiko for bane- og elektropersonale

	Tidsperiode			
	1980 - 84	1985-89	1990-94	1995-99
Antall drepte	11	5	3	3
Antall personer som er eksponert	3000	2800	2700	2500
Individuell risiko (FAR-verdi)	40	20	12	13

Forbedringene skyldes en rekke forhold som:

- bedre kommunikasjon med togleder gjennom utbygging av vedlikeholdsradio
- endrede arbeidsrutiner ved bruk av mer maskinelt utstyr samt endrede visitasjonsrutiner
- mer synlige arbeidsklær (verneklær)
- økt sikkerhetsmotivasjon blant de ansatte.

Forbedringene er fremkommet som krav i JD dokument og mer detaljerte prosedyrer for arbeid i og ved spor. Basis for å fastsette akseptkriteriene er 20 årsperioden fra 1980 til 1999. Med bakgrunn i tabellen over kan et akseptkriterie for banepersonale uttrykkes som:

Den individuelle risikoen (dødsrisikoen) for banepersonale uttrykt som en FAR-verdi skal være mindre enn 24.

Med den positive utviklingen det har vært for banepersonale de siste 10 årene mht. sikkerhet, vil dette være et akseptkriterie som vil være lett å tilfredsstille. Risikoreduserende tiltak skal likevel iverksettes dersom de har et gunstig nytte/kostnads forhold, da ALARP-prinsippet også gjelder for banepersonale.

3.3.3.4 Akseptkriterier for togpersonale - lokførere

Som angitt i kapittel 3.3.3.1 er akseptkriteriene for togpersonalet knyttet til alle personer som blir eksponert ved togfremføring. I visse situasjoner kan det imidlertid være behov for å fokusere primært på risikoen for togpersonale. Dette er strekninger der hovedtyngden av trafikken er godstransport som f.eks. på Ofotbanen.

I følge Jernbaneverkets røde årshæfter og andre kilder, har følgende ulykker i togfremføringen medført dødsfall på togpersonell i perioden 1950 - 99:

Tabell 3.5 Ulykker i togfremføring som har medført dødsfall for togpersonell i perioden 1950 - 99 inkl. Åstaulykken (jan.2000)

Sted	Tid	Type ulykke	Antall togpers. berørt	
			Lokpers	Kond

⁸ I praksis vil det innebære at antall tophendelser i risikokategori 2 som angitt over i tabell 3.5 kan økes med 30%. Dersom økningen i risikoen er større enn 30% som følge av endringer i trafikkavviklingen, må JBV ut fra et totalt perspektiv på sikkerhetsnivået på det offentlige nett avgjøre om ytterlige risikoreduserende tiltak må iverksettes.

Sannsynlighet for at hendelsen inntreffer innen
> 100 år 30 år 5 år 6 mndr. 1 mnd

Figur 3.4 Risikomatrix for enkelthendelser og for delsystem

Konsekvenskategori	Frekvenskategori					
	Gj.frekv	5	4	3	2	1
Personskade	Alvorlighetsgrad	Sjeldnere enn 100 år	Mellom 100 år og 10 år	Mellom 10 år og 1 år	Mellom 1 år og 1 måned	Oftere enn hver måned
Mer enn 2 drepte,	1	GUL	RØD	RØD	RØD	RØD
1-2 drepte Alvorlig skade, mulig varig men	2	GUL	GUL	RØD	RØD	RØD
Alvorlig skade (>14 dg fravær)	3	GRØNN	GUL	GUL	GUL	RØD
Medisinsk behandling (<14 dg fravær)	4	GRØNN	GRØNN	GRØNN	GUL	GUL
Førstehjelp	5	GRØNN	GRØNN	GRØNN	GRØNN	GUL

Figur 3.4 kan også brukes ved vurderinger av feil/mangler ved en sikkerhetskritisk funksjon for et delsystem som kan føre til en uønsket hendelse.

3.3.5 Akseptkriterier på systemnivå - Konstruksjonsprinsipper

De akseptkriteriene som er presentert i de foregående kapitlene presenterer overordnede kriterier som er utviklet samlet for rullende materiell, kjørevei og trafikkstyring. Når det gjelder utforming av sikkerhetskrav eller akseptkriterier på systemnivå for rullende materiell, kjørevei eller trafikkstyring, er det vanskelig å utforme disse enhetlig og allmenngyldig. I utbyggingsprosjekter for infrastruktur eller i anskaffelsesprosjekter av nytt rullende materiell er det imidlertid tre typer akseptkriterier som skal utformes. Disse er:

1. Krav til feilrate. Dette kan være hjemlet i enkelte standarder slik som for signalanlegg der kravet er utformet med basis i et europeisk mål på hele det europeiske jernbanenettet. Målet innebærer at det ikke oftere enn en gang hvert hundrede år får være en alvorlig ulykke som skyldes en signalfeil. Krav til feilrater kan på sikt også utformes for andre system. Det er da en forutsetning at kravene står i forhold til de bidrag de kan gi til en topphendelse som f.eks. sammenstøt, avsporing mm.
2. Krav til å tilfredsstillte definerte koder og standarder. Dette innebærer at for kjørevei må systemer som underbygning, overbygning, kontaktledning mm må tilfredsstillte JD dokumenter og andre relevante standarder. I mange av disse dokumentene er det satt mer spesifikke krav til sporutvidelse, vindskjevhet, solsleng mm. Disse kravene er også å betrakte som akseptkriterier og vil verifiseres gjennom målevognskjøringer. For rullende materiell vil tilsvarende standarder være gjeldende (f.eks. UIC standardene).
3. Krav til å tilfredsstillte visse konstruksjonsprinsipper. Dette vil kunne være krav til at systemene skal være feil sikkert, være redundant, ha barrierer eller ikke ha enkeltfeil mm

I praksis vil en standard kunne dekke alle de tre typene akseptkriterier.

Ad type 3

I det etterfølgende er det beskrevet generelle kriterier relatert til type 3 som dekker gode konstruksjonsprinsipper. Kriterier av denne typen er ikke å betrakte som absolutte akseptkriterier, men mer som en veiledning der det er praktisk mulig ved etablering av nye utbyggingsprosjekt og ved modifikasjoner av gamle installasjoner. Kriteriene vil ikke ha tilbakevirkende kraft for eksisterende anlegg. Kriteriene vil også være en viktig basis ved utforming av krav i JD dokumenter, standarder mm. De viktigste kriteriene er vist nedenfor og er satt opp i en prioritert rekkefølge med utgangspunkt i følgende overordnede konstruksjonsprinsipp:

3.3.6.1 Ruteplanlegging

På hele det offentlige nett har trafikkgrunnlaget de senere årene vært ca.:

- Persontog: 32 millioner togkm per år
2.77 milliarder personkm per år
ca 86 passasjerer i gjennomsnitt per tog
- Godstog: 10 millioner togkm per år

I Nasjonal Transportplan 2002 - 2011 er det angitt en økning i togtrafikken på ca. 0.7% per år. På de enkelte strekninger kan det bli store lokale variasjoner ved nye ruteomlegginger. For passasjerer og togpersonale er risikoen ikke så følsom for endringer i trafikkgrunnlaget da sikkerheten er relatert til antall døde per togkm.

For personer i spor og på planoverganger vil risikoen være delvis proporsjonal med antall togkm for all togtrafikk. En endring av ruteplanen vil da direkte gi en endring av risikonivået. Det offentlige jernbanenett er inndelt i ca 20 jernbanestrekninger. Se tabell 3.6 som viser trafikkgrunnlaget på de ulike banestrekninger i Norge. De mest trafikkerte banestrekningene vil ikke ha en trafikkmengde som utgjør mer enn maksimalt 10-12% av den totale trafikkmengde. Av denne grunn er det satt som et krav at risikoen på en enkelt banestrekning vil kunne øke med 30%. Den samlede risikoøkningen på hele det offentlige nett vil da bli beskjedne 3-4%. Ut fra de prognoser som gjelder for trafikkforhold er det lite sannsynlig at mange linjer får en stor økning uten at trafikken på andre banestrekninger vil reduseres tilsvarende.

Tabell 3.6 Trafikkgrunnlag for de ulike banestrekninger (1999)

Banestrekning	Trafikkgrunnlag (antall togkm per år)	Trafikkgrunnlag (antall personkm per år)
Nordlandsbanen m/sidelinjer	3160000	
Dovrebanen	3600000	
Vestfoldbanen m/sidelinjer	1500000	
Østfoldbanen	3340000	
Rørosbanen	880000	
Raumabanen	450000	
Sørlandsbanen m/sidelinjer	3500000	
Bergensbanen m/sidelinjer	2650000	
Hovedbanen	1440000	
Kongsvingerbanen	1100000	
Solørbanen	85000	
Gjøvikbanen m/sidelinjer	820000	
Eidsvoll- Dombåsbanen	250000	
Meråkerbanen	90000	
Drammensbanen m/sidelinjer	860000	
Randsfjordbanen m/sidelinje	620000	
Bratsbergbanen	410000	
Oftobanen	380000	
Gardermobanen	3000000	
Totalt	28135000	

Forts. Tabell 3.6 Trafikkgrunnlag for de ulike banestrekninger (1999)

3.3.6.2 Togledelse

Akseptkriteriet for togledere, TXPer og andre er at de følger det til enhver tid gjeldende regelverk når det gjelder trafikkavvikling. Det er spesielt viktig å fokusere på:

- Prosedyre for normaldrift
- Prosedyre for driftsavvik

- *H = Valgte løsning for nytt rullende materiell representerer et høyere risikonivå sett i forhold til eksisterende rullende materiell*
- *U = Valgte løsning for nytt rullende materiell representerer et uforandret risikonivå sett i forhold til eksisterende rullende materiell*
- *L = Valgte løsning for nytt rullende materiell representerer et lavere risikonivå sett i forhold til eksisterende rullende materiell*

En vurdering av antall H'er, U'er og L'er og deres kritikalitet vil da danne en basis for å avgjøre om nytt rullende materiell er minst like sikkert som eksisterende materiell. Risikovurderingene må sees i lys av resultatet av risikoanalysen på den aktuelle banestrekning.

3.4 Nytte/kost vurderinger

Ut fra prinsippene om sikkerhetsstyring vil følgende gjelde:

"Jernbaneverket skal kontinuerlig vurdere forbedringer innen alle elementer av sikkerhetsstyringen og i virksomheten for øvrig. Implementering av risikoreduserende tiltak vil skje ut fra en vurdering av nytte sett i forhold til totale kostnader."

I praksis vil dette innebære at nytte/kost vurderinger skal gjennomføres forut for implementering av tekniske tiltak ved modifikasjoner eller ombygginger av infrastruktur eller ved endringer av krav i Trafikksikkerhetsbestemmelsene som vil kunne medføre kostnadsøkninger.

Som basis for å kunne utføre nytte/kost vurderinger, må følgende forhold være til stedet:

- Konsekvenskostnadene må kunne tallfestes og synliggjøres; for eksempel vil tap av menneskeliv eller skade måtte tallfestes.
- Alle typer konsekvenser må inkluderes. Dette gjelder for personrisiko, miljørisiko verdirisiko, , renommé osv.
- Kostnadene ved et risikoreduserende tiltak vil bestå av investeringskostnader og drifts- eller vedlikeholdskostnader. De årlige investeringskostnadene beregnes ut fra en vurdert avskrivningsperiode og en diskonteringsrente.

banestrekning. JBV er ansvarlig for å gjennomføre og dokumentere samspillsanalysene som en del av det å gi typeaksept på nytt rullende materiell.

I tillegg skal det gjøres en E-analyse med utgangspunkt i den etablerte listen over sikkerhetskritiske funksjoner (fra S-analysen og samspillsanalysen). E-analysen vil gi kvalitative vurderinger av tekniske og/eller operative løsninger for en type rullende materiell sett opp mot tilsvarende løsninger på sammenlignbart rullende materiell. Det vil deretter bli gjort en risikovurdering basert på godheten av de tekniske/operative tiltakene for hver av de sikkerhetskritiske funksjonene for de to togtypene for å angi om risikoen har blitt høyere eller lavere eller er uforandret. En slik risikovurdering vil naturlig ta utgangspunkt i en vektlegging av hvor endringene er i forhold til identifisert kritikalitetskategori.

Tabell 3.6 Kostnader for personskader ved jernbaneulykker (1995-priser)

Skadegrad	Kostnad per tilfelle
Dødsfall	16.0 mill. kroner
Svært alvorlig skade	6.4 mill. kroner
Alvorlig skade	2.1 mill. kroner
Lettere skade	0.18 mill. kroner

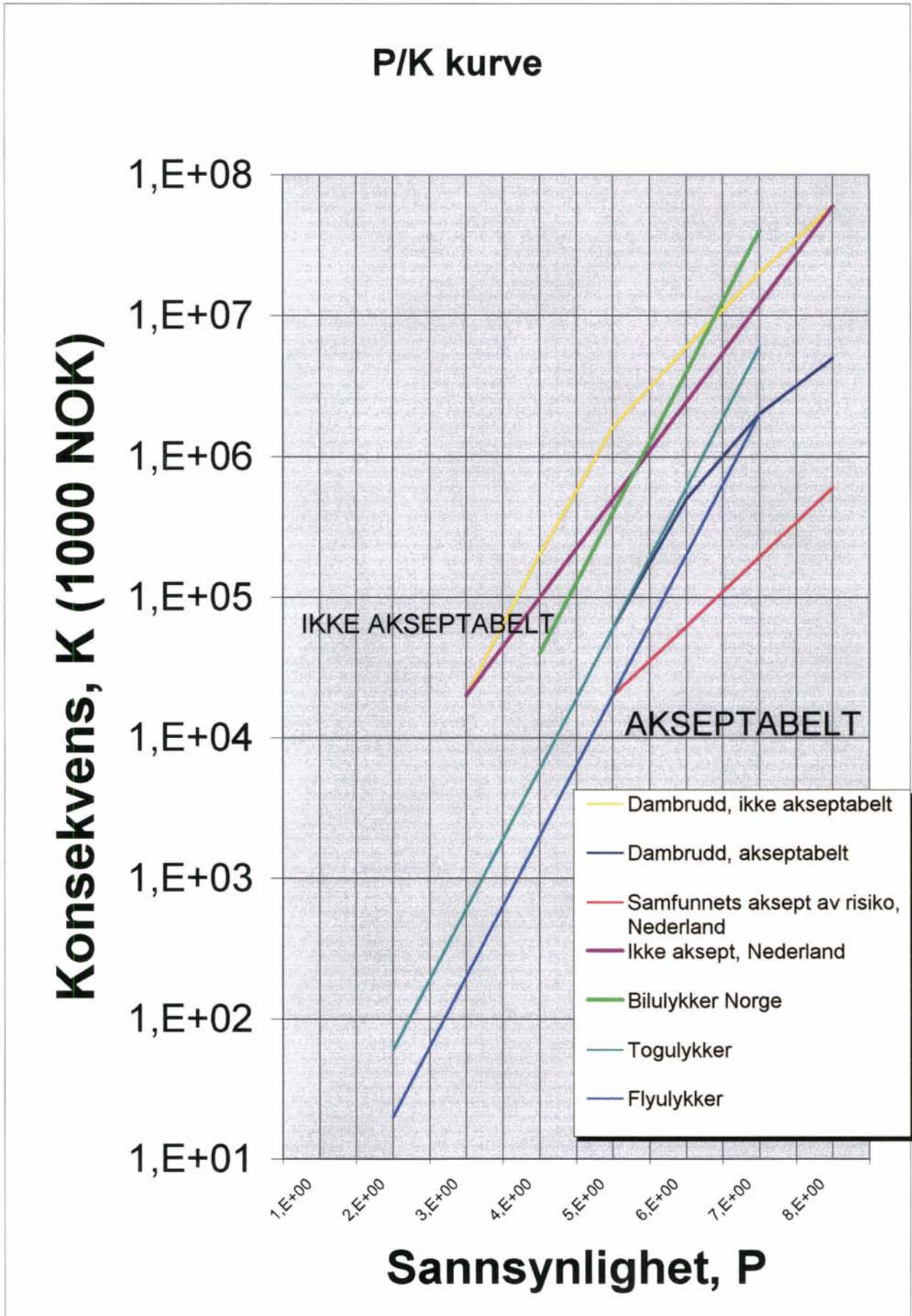
4. REFERANSER OG HENVISNINGER

5. VEDLEGG

Ingen

Fra fig. 3.1 og tabell 3.6.

		<u>Ant. døde</u>
K1	~ 180 000	Se f. eks
K2	~ 500 000	Sikkerhetsanalyse
K3	~ 5 mill.	Sørlandsbanen, s 6'
K4	~ 11,2 mill.	0,7
K5	~ 72 mill.	4,5
K6	~ 480 mill.	30



Jordskred opptrer i de fleste dalsider med løsmasser som er brattere enn 30°. Stabiliteten av skråningen avtar dersom poretrykket (vanstrykket) i bakken øker, dvs ved stor tilførsel av vannmengder, og lag av jorda kan rase ut.

1.5 Utglidning

Med utglidning menes her utglidning/utrasing av sporets underbygning.

Naturlige skråninger var stabile idet de ble avsatt. Senere kan naturen selv svekke stabiliteten ved f.eks. erosjon, saltutvasking, ionebytting eller sedimentering. Bekker og elver graver inn mot skråninger og vil med tiden gjøre skråningen stadig brattere og mindre stabil, og til slutt kan skråningen gli ut.

God drenering av banen med rikelig dimensjonerte linjegrøfter og stikkrenner vil derfor være risikoforebyggende. Tette stikkrenner kan skape store vanstrykk på oversiden av halvskjæringer og dermed forårsake at banelegemet glir ut.

2 Sikring mot ras/skred

2.1 Tiltak som hindrer raset i å løsne

- Fjellrensk, bolting, nett, sprøytebetong og betongutforing benyttes i fjellskjæringer og tunneler med ustabil fjell.
- Samlegjerder settes opp for å få snøen til å legge seg på et bestemt sted. I skredsammenheng settes gjerdene opp slik at snøen akkumuleres før hengkanten, istedet for like under hengkanten.
- Drenering: God grøfting, både i terrenget og langs linja, er gode tiltak mot løsmasseskred og utglidninger. Godt fungerende stikkrenner er veldig viktig for å unngå utglidning av banelegemet.
- Senking av grunnvann kan være et tiltak for å hindre mindre løsmasseskred ned på linja.
- Plastring av fyllingsfot gjøres for å hindre at bekker/elver/sjø graver på fyllingsfoten og er et godt tiltak for å hindre utglidning av banelegeme.

2.2 Tiltak som hindrer raset i å nå linja

- Fangvoller og ledevoller benyttes for å stoppe/lede flomskred og snøskred, gjerne sammen med overbygging av linjen.
- Fanggjerdene som stopper steinblokker

2.3 Tiltak som hindrer toget å kjøre inn i ras

- Nedsatt kjørehastighet i rasutsatte partier
- Rasvarslingsanlegg kan benyttes både mot stein-, jord- og snøskred. Det finnes flere ulike systemer, men i Norge brukes mest rasvarslingsgjerdene. Andre aktuelle anlegg kan være geofoner eller videoovervåking med bildegjenkjenning.
- Visitasjon: Områder som vanligvis er stabile kan bli ustabile ved spesielle værforhold. Ekstra linjevisitasjon er derfor gunstig for å hindre påkjørsel av ras eller å kjøre inn i område der banelegemet er glidd ut.

2.4 Tiltak som begrenser skadene når toget kjører inn i ras

- Nedsatt kjørehastighet i rasfarlige partier
- Plog på toget for å ta unna mindre steinsprang
- Ledeskinner for å hindre avsporing
- Setebelter for å hindre at passasjerene blir slengt forover ved bråstopp

- Nett på bagasjehyllene for å forhindre at man blir truffet av flyvende bagasje

2.5 Andre tiltak

- Poretrykksmålere: Målingene kan vise når det ikke lenger er forsvarlig å kjøre tog fordi det med stor sannsynlighet kommer til å gå et jordras.
- Opplæring
- Laserteknologi
- Vannstandsmåling
- Linjeomlegging: man unngår hele den rasutsatte strekningen.

3 Registrering av rashendelser

3.1 Grunnlag

Alle ras og skred på jernbanelinja skal i henhold til Jernbaneverkets regelverk registreres i banedatabanken (BDB). Ved en nærmere gjennomgang har det vist seg at mange rashendelser ikke er registrert i BDB. I tillegg til dataene fra BDB er det brukt opplysninger fra Synergi og uhellskartoteket.

3.2 Vurdering av dataenes kvalitet

I perioden 1/1-97 til 31/6-00 tror man at de fleste rasene er registrert, med unntak av noen snøras. Tidligere på 90-tallet er mengden på data preget av "null feil-visjonen", hvor noen tydeligvis har trodd at dersom rasene ikke blir registrert har de heller ikke forekommet.

Det hadde vært ønskelig med en komplett oversikt over f.eks. alle personskader, små og store. Vi har funnet de største, men når det gjelder lettere skadede¹ mennesker vet man ikke omfanget. Det hadde også vært ønskelig med en komplett oversikt over skader på togmateriell og bane, med info om størrelse og type ras, skadeomfang, kostnader, forsinkelser osv. Dessverre er tallene her svært mangelfulle.

3.3 Registrerte rashendelser langs jernbanenettet i Norge

I perioden 1/1 1997 - 31/6 2000 er det registrert 336 forskjellige rashendelser i BDB og Synergi tilsammen. Hendelsene fordeler seg som vist under.

Rastyper

	1/1-30/6											sum 97-00	%
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000		
Stein	6	6	5	6	4	7	14	45	36	47	34	162	48
løsmasser	15	6	16	5	4	6	1	25	5	21	16	67	20
snø/sørpe/is	1	1	4	3	8	10	7	17	11	13	66	107	32
ukjent	8	0	0	0	1	7	4	0	0	0	0	0	0
totalt	30	13	25	14	17	30	26	87	52	81	116	336	100

↓
96 pr år

¹ "Lettere skadet" er i JBV definert som arbeidsuførhet i inntil 14 arbeidsdager

Hendelse med togskade

	1/1-30/6											
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	tot 97- 00
antall rapporterte ras	30	13	24	14	17	30	26	87	52	81	116	336
stein	0	1	2	1	0	1	2	8	5	8	6	27
løsmasser	0	0	1	0	0	0	0	3	1	0	2	6
is	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	3
snø	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4	6
totalt	0	1	3	1	0	1	3	11	7	9	15	42

Man antar at ikke alle skader på tog er registrert, men man kan si at minst 12,5 % av alle ras i perioden 1/1-97 til 1/7-00 har gitt skader på togsettene, dvs minst 11 skader på togsett hvert år.

Hendelse med baneskade

	1/1-30/6											
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	tot 97- 00
antall rapporterte ras	30	13	24	14	17	30	26	87	52	81	116	336
stein	1	0	1	1	1	1	2	7	7	6	5	25
løsmasser	2	2	2	1	0	1	1	9	2	9	5	25
is	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	3	3
snø	0	0	0	0	1	2	1	0	1	3	5	9
totalt	3	2	3	5	2	4	6	16	10	18	18	62

Man antar at ikke alle skader på tog er registrert, men man kan si at minst 18,5 % av alle ras i perioden 1/1-97 til 1/7-00 har gitt skader på banen, dvs minst 16 skader på banen hvert år

Hendelse med linjebrudd

	1/1-30/6											
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	tot 97-00
linjebrudd	3	4	9	1	1	8	5	24	11	15	20	70
ikke linjebrudd	11	4	2	7	1	3	10	2	1	9	22	34
ingen info	16	5	13	6	15	19	11	61	40	57	74	232

Det er svært liten informasjon om ras som har gitt linjebrudd, både i antall og i varighet. Det er derfor vanskelig å si noe om rasenes innvirkning på togregulariteten.

Antall ras fordelt på strekninger

strekning	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	tot 97-00
myrdal-flåm	0	0	0	0	6	4	0	3	1	8	30	42
hokksund-bergen	1	0	1	3	3	6	1	21	12	29	21	83
steinkjer-bodø	17	8	11	5	8	6	11	18	22	12	33	85
drammen-stavanger	0	4	0	1	0	0	2	9	6	16	5	36
eidsvoll-trondheim	2	0	2	1	0	7	1	9	2	1	8	20
narvik-vassijaure	0	0	1	0	0	1	4	7	2	2	9	20

andre

286
 50
 336

I perioden 1/1 1997 - 31/6 2000 er det registrert 336 forskjellige rashendelser i BDB og Synergi til sammen.

	1997	1998	1999	2000	sum 97-00	%
stein	45	36	47	34	162	48
løsmasser	25	5	21	16	67	20
snø/sørpe/is	17	11	13	66	107	32
totalt	87	52	81	116	336	100

Rasenes størrelse

Rasvolum	1997	1998	1999	2000	sum 97-00	%
< 0,5 m ³	14	8	13	34	69	21
0,5 - 5m ³	10	8	15	30	63	19
5 - 25 m ³	9	3	9	17	38	11
25 - 100 m ³	10	7	3	22	42	13
100 - 500 m ³	1	0	3	9	13	4
>500 m ³	2	2	2	3	9	3
ukjent	41	24	36	1	102	30
totalt	87	52	81	116	336	100



Varsling av ras

	1997	1998	1999	2000	tot 97-00	%
Varslet av visitør	14	10	21	34	79	24
varslet av andre	9	2	7	9	27	8
strømbrudd	5	1	4	3	13	4
robelt/ snørydding	0	0	2	16	18	5
rasvarslings- anlegg	1	2	4	6	13	4
påkjørt av tog	30	22	35	37	124	37
ukjent/annet	28	15	8	11	62	18
totalt	87	52	81	116	336	100



Risikovurdering - konsekvens

KONSEKVENNS FOR MENNESKER, TOGMATERIELL, BANE OG TOGREGULARITET, FORUTSATT NORMAL HASTIGHET OG "GAMMELT" MATERIELL.

	Passasjerer og togpersonale	Togmateriell	Bane	Togregularitet
Stein/løsmasse-skred (0-5m ³) eller snøskred (0-25m ³)	Ingen skader	Små skader.	Ingen - få skader	Ingen forsinkelser, evt. banen stengt i minutter - timer
	kr 0	kr 100 000	150 000	kr 25 000
stein/ løsmasse-skred (5-500m ³) eller snøskred (25 - 500 m ³)	Lettere til hardt skadede personer.	Middels til store skader på lok/frontvogn.	Masse må fjernes. Ofte skader på kjøreledning og overbygning. Mulige skader på banen forøvrig.	Banen stengt i ½ - 3 døgn
	kr 1 mill	Kr 1 mill	Kr 250 000	Kr 100 000
Utglidning av banelegeme	Dersom avsporing og velting: hardt skadede personer. Dødsfall.	Store skader på vogner	Hele banelegemet er glidd ut	Banen stengt i flere døgn
	Kr 2 mill	Kr 2,5 mill	Kr 4 mill	Kr 1 mill





Nytte/Kost

Forutsetninger:

- Tallfeste konsekvensene i NOK, f.eks. Ett menneskeliv er NOK 20 mill.
- Summere alle konsekvenser: miljø, økonomisk tap, skade mennesker etc.
- Beregn årlige kostnader basert på antatt avskrivningsperiode og diskonteringsrente

Beregning:

$(\text{Risikokostnader}_{\text{FT}} - \text{Risikokostnader}_{\text{ET}}) / \text{Investeringskostnader}$

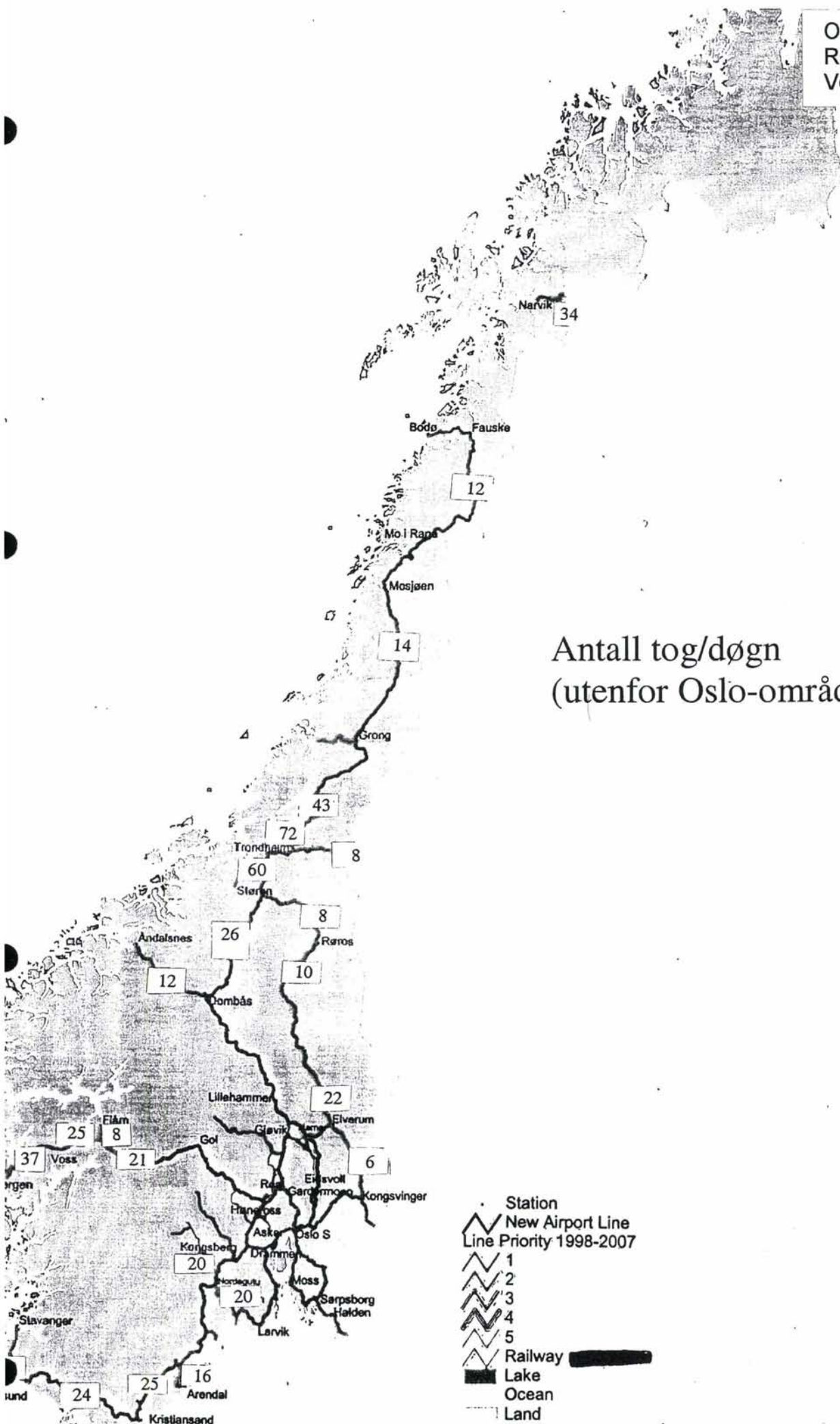
DET NORSKE VERITAS



Kostnader for personskader ved jernbaneulykker (1995-priser)

Skadegrad	Kostnad per tilfelle
Dødsfall	16.0 mill. kroner
Svært alvorlig skade	6.4 mill. kroner
Alvorlig skade	2.1 mill. kroner
Lettere skade	0.18 mill kroner

DET NORSKE VERITAS



Antall tog/døgn
 (utenfor Oslo-området)

- Station
- New Airport Line
- Line Priority 1998-2007
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- Railway
- Lake
- Ocean
- Land

*Til: Blindheim AS
 Utferd opplysnings La. 1.1.2007*

JERNBANEVERKET, TEKNISK AVDELING**BEREGNING AV KONSEKVENSENS SOM FØLGE AV STEINRAS**

$$K = K_{\text{Skade}} + K_{\text{Rydding}} + K_{\text{Personer}} + K_{\text{Forsinkelse}} + K_{\text{Miljø}} + K_{\text{Renommé}}$$

$$K_{\text{Skade}} = K_1 \times (kf_2 + kf_3 + kf_4 + kf_5 - 3)$$

$$K_{\text{Rydding}} = K_2 \times (kf_1 + kf_2 - 1)$$

$$K_{\text{Personer}} = K_3 \times (kf_1 + kf_2 + kf_3 + kf_4 + kf_5 - 4)$$

der

K_1 = Materielle skader på tog

K_2 = Fjerning/opprydding/infrastruktur

K_3 = Skadde/døde personer

Konsekvensfaktorene er

kf_1 = Tilgjengelighet av rassted

kf_2 = Terrengform på rassted

kf_3 = Trafikktype

kf_4 = Hastighet av tog

kf_5 = Siktavstand

K_1 , K_2 og K_3 = Direkte kostnader som følge av raset. ("Raset skjer på lett tilgjengelig

Beskrivelse av rassted	Størrelse på ras	K_1		K_2	
		Materielle skader på tog ¹⁾		Fjerning/opprydding/infrastruktur	
		min	maks	min	maks
Tunnel og skj.	< 0,5 m3	0	75	0	50
Tunnel og skj.	0,5 - 5	20	150	5	300
Skjæring	5 - 25	20	300	25	450
Skjæring/dalside	25 - 100	50	400	100	1000
Skjæring/dalside	100 - 500	50	400	150	1500
Dalside	>500	50	400	300	2000

Tall i 1000 kr

¹⁾ Det er tatt hensyn til at påkjøring av ras skjer i 25% av rastilfellene

Beskrivelse av rassted	Størrelse på ras	Konsekvenskostnader som benyttes		
		K_1 ³⁾	K_2	K_3 ²⁾
		Middel av min/(0,5 x maks)		
Tunnel og skj.	< 0,5 m3	18,75	12,5	0
Tunnel og skj.	0,5 - 5	47,5	77,5	50
Skjæring	5 - 25	85	125	200
Skjæring/dalside	25 - 100	125	300	300
Skjæring/dalside	100 - 500	125	450	300
Dalside	>500	125	650	300

Tall i 1000 kr

²⁾ Det er tatt hensyn til at skade/død skjer i ca 1% av rastilfellene

³⁾ For hastighet av tog < 40 km/t settes $K_1 = 0$

K_{Forsinkelse} = Kostnader som følge av togforsinkelser

$$K_{\text{Forsinkelse}} = \text{Forsinkelse i min.} \times \text{kostnad per min. forsinkelse} = t_{\text{fors}} \times k_{\text{fors}}$$

		Forsinkelse, t_{fors} , som følge av ras i område med god tilgjengelighet (min., timer og døgn)				
Sted for hendelse	Størrelse på ras	Baneprioritet				
		5	4	3	2	1
Tunnel og skj.	< 0,5 m ³	4	4	4	4	4
Tunnel og skj.	0,5 - 5	80	70	60	50	50
Skjæring	5 - 25	24 t	24 t	20 t	12 t	12 t
Skjæring/dalside	25 - 100	2 d	2 d	2 d	2 d	2 d
Skjæring/dalside	100 - 500	3 d	3 d	3 d	3 d	3 d
Dalside	>500	>3 døgn	>3 d	>3 d	>3 d	> 3 døgn
		Kostnad, k_{fors} = kostnad per tidsenhet for forsinkelsen				
Kostnad pr min forsinkelse		50	100	200	500	1000
Kostnad pr time forsinkelse		3 000	6 000	12 000	30 000	60 000
Kostnad per døgn forsinkelse		72 000	144 000	288 000	720 000	1 440 000

Tall i kr

Konsekvensen $K_{\text{Forsinkelse}}$ ut fra forsinkelsen som nedfallet forårsaker:

		Baneprioritet				
Størrelse på ras		5	4	3	2	1
		Tunnel og skj.	< 0,5 m ³	0	0	1
Tunnel og skj.	0,5 - 5	4	7	12	25	50
Skjæring	5 - 25	72	144	240	360	720
Skjæring/dalside	25 - 100	144	288	576	1 440	2 880
Skjæring/dalside	100 - 500	216	432	864	2 160	4 320
Dalside*	>500	288	576	1 152	2 880	5 760

* Antatt: 4 døgn stopp i trafikken

Tall i 1000 kr

Konsekvensen $K_{\text{Miljø}}$:

	Størrelse på ras	
Tunnel og skj.	< 0,5 m ³	0
Tunnel og skj.	0,5 - 5	2
Skjæring	5 - 25	5
Skjæring/dalside	25 - 100	20
Skjæring/dalside	100 - 500	50
Dalside	>500	100

Tall i 1000 kr

Konsekvensen $K_{\text{Renommé}}$:

		Baneprioritet				
Størrelse på ras		5	4	3	2	1
		Tunnel og skj.	< 0,5 m ³			
Tunnel og skj.	0,5 - 5					
Skjæring	5 - 25					
Skjæring/dalside	25 - 100					
Skjæring/dalside	100 - 500		50	50	250	500
Dalside	>500		100	100	500	1000

Tall i 1000 kr

JERNBANEVERKET, TEKNISK AVDELING**BEREGNING AV KONSEKVENNS SOM FØLGE AV STEINRAS****KONSEKVENNSFAKTORER****kf₁ = Tilgjengelighet av rassted for redning og opprydding**

Sted for hendelse, avstander fra stasjon og veg	Faktor, kf ₁
Nær veg/stasjonsområde	
Praktisk greit å nå rasstedet med kjøretøy	1,0
Avst. fra nærmeste bemannede stasjon 1 km < s < 10 km	
Praktisk greit å nå rasstedet med kjøretøy	1,5
Avst. fra nærmeste bemannede stasjon 1 km < s < 10 km	
Utilgjengelig fra veg med kjøretøy.	2,0
Avstand fra nærmeste bemannede stasjon > 10 km	
Utilgjengelig fra veg med kjøretøy.	2,5
Ekstra tillegg for hendelse i tunnel:	
0 m < inn i tunnel < 250 m	0,5
i tunnel > 250 m	1,0

kf₂ = Terrengform på rassted (inntil 20 m fra spor)

Beskrivelse av terrengform på motsatt side av der raset går	Faktor, kf ₂
Relativt flatt terreng m/skråningshøyde < 2 m	1
Skråningshøyde 2 til 8 m	2
Skråningshøyde > 8m	4
Bratt skråning som ender i sjø/vann med dybde > 5m	5
Tosidig fjellskjæring og tunnel	1,5

kf₃ = Trafikktype**kf₃ = t_M x andel motorvognsett + t_L x lok.vogner + t_G x godsvogner**

Togtype	Andel av trafikken	Vekting	Faktor, kf ₃
Motorvognsett	0,5	t _M = 2	1,4
Lok.vogner	0,3	t _L = 1	
Godsvogner	0,2	t _G = 0,5	

kf₄ = Hastighet av tog

Tillatt største grunnhastighet på strekningen	Faktor, kf ₄
Lavhastighet, < eller = 40 km/t	0,0
< eller = 75 km/t	0,5
< eller = 105 km/t	1,0
< eller = 125 km/t	2,0
< eller = 145 km/t	2,5
< eller = 210 km/t	3,0

kf₅ = Siktavstand

Kort siktavstand øker sjansen for påkjørsel.

Muligheter for fri sikt	Sikt	Faktor, kf ₅
Åpent landskap, eller lang rett tunnel	> 300 m	1
Kurver med ensidig/tosidig skjæring	300 - 100	1,25
Krappe svinger, tosidig høy skjæring	< 100	1,5

KONSEKVENNS AV RAS I TUNNEL

Beregning av samlet konsekvens K

Baneprioritet:

3

Ytterste 250 m av tunnelen

Størrelse på ras	K _{skade} ²⁾	K _{Rydding}	K _{personer} ²⁾	K _{Forsinkelse}	K _{Miljø}	K _{Renommé}
< 0,5 m ³ ¹⁾	31	38	0	1	0	0
0,5 - 5	102	271	208	12	2	0
5 - 25	183	438	830	240	5	0

¹⁾ For ras med størrelse < 0,5 m³ er k_{f2} satt til 1 i beregningen.²⁾ For hastighet < 40 km/t settes K_{Skade} og K_{Personer} til 0.

Mer enn 250 m inn i tunnelen

Størrelse på ras	K _{skade} ²⁾	K _{Rydding}	K _{personer} ²⁾	K _{Forsinkelse}	K _{Miljø}	K _{Renommé}
< 0,5 m ³ ¹⁾	31	44	0	1	0	0
0,5 - 5	102	310	233	12	2	0
5 - 25	183	500	930	240	5	0

¹⁾ For ras med størrelse < 0,5 m³ er k_{f2} satt til 1 i beregningen.²⁾ For hastighet < 40 km/t settes K_{Skade} og K_{Personer} til 0.

Banestrekning: Nordlandsbanen

Navn på tunnel: Tunnel

Fra km: 565,32 Til km: 565,78

Lengde: 460

Forutsetninger for tunnelen:

Trafikktype

Motorvognsett 50 %

Lok.vogner 30 %

Godsvogner 20 %

Grunnhastighet på strekningen 95 km/t

Siktavstand 200 m

Konsekvensfaktorer for tunnel

0 - 250 m > 250 m inn i tunnelen

k_{f1} = Tilgjengelighet av rassted

3 3,5

k_{f2} = Terrengform på rassted

1,5 1,5

k_{f3} = Trafikktype

1,4 1,4

k_{f4} = Hastighet av tog

1 1

k_{f5} = Siktavstand

1,25 1,25

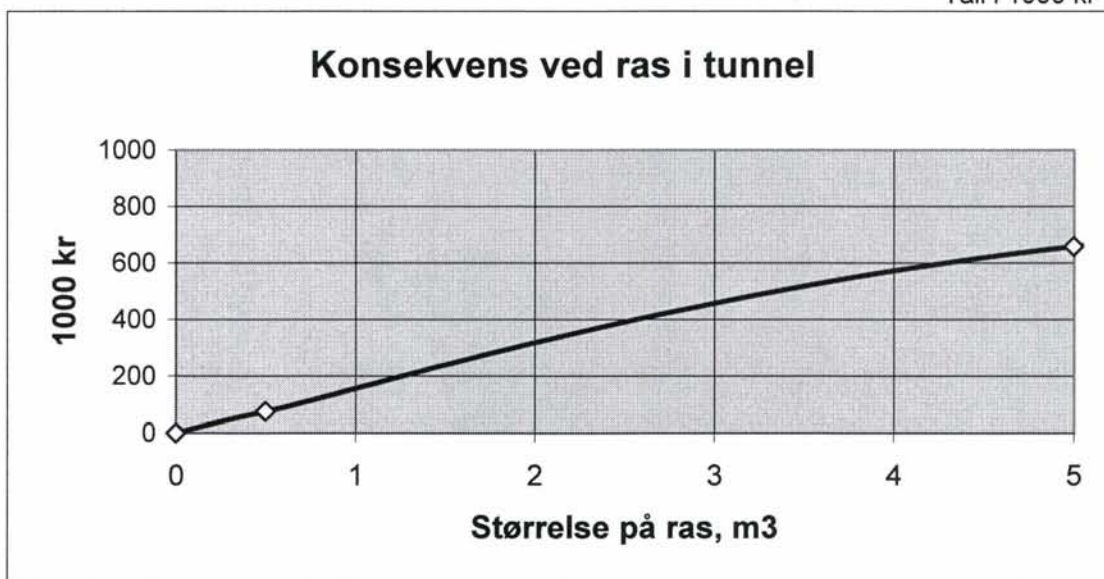
Ytterste 250 m av tunnelen

Størrelse på ras	kf ₁	kf ₂	kf ₃	kf ₄	kf ₅	Konsekvens K
< 0,5 m ³	3	1,5	1,4	1	1,25	69
0,5 - 5	3	1,5	1,4	1	1,25	595
5 - 25	3	1,5	1,4	1	1,25	1 695

Mer enn 250 m inn i tunnelen

Størrelse på ras	kf ₁	kf ₂	kf ₃	kf ₄	kf ₅	Konsekvens K
< 0,5 m ³	3,5	1,5	1,4	1	1,25	75
0,5 - 5	3,5	1,5	1,4	1	1,25	659
5 - 25	3,5	1,5	1,4	1	1,25	1 858

Tall i 1000 kr



KONSEKVENNS VED RAS I FJELLSKJÆRING

Beregning av samlet konsekvens K

Baneprioritet: 3

Størrelse på ras	K _{skade} ²⁾	K _{Rydding}	K _{personer} ²⁾	K _{Forsinkelse}	K _{Miljø}	K _{Renommé}
< 0,5 m ³ ¹⁾	30,9375	31	0	0,8	0	0
0,5 - 5	78,375	194	157,5	12	2	0
5 - 25	140,25	313	630	240	5	0
25 - 100	206,25	750	945	576	20	0
100 - 500	206,25	1125	945	864	50	50
>500	206,25	1625	945	1152	100	100

¹⁾ For ras med størrelse < 0,5 m³ er kf₂ satt til 1 i beregningen.

²⁾ For hastighet < 40 km/t settes K_{Skade} og K_{Personer} til 0.

Banestrekning:

Navn:

Fra km:

Til km:

Lengde:

0

Forutsetninger for vurdering av konsekvens ved ras i fjellskjæringen:

Trafikktype

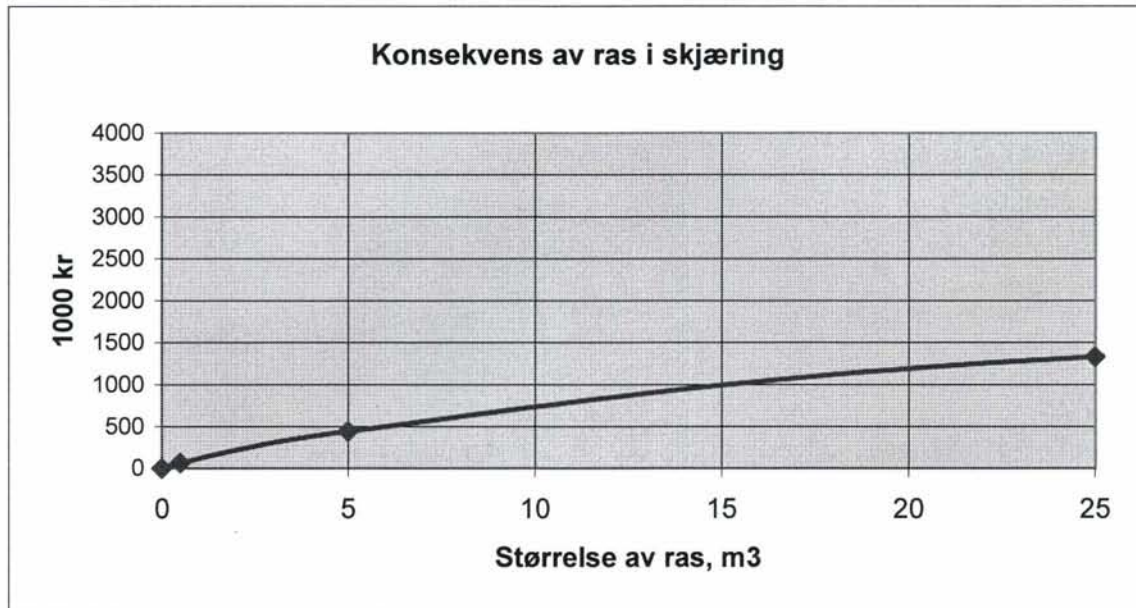
Motorvognsett	50 %
Lok.vogner	30 %
Godsvogner	20 %

Grunnhastighet på strekningen 90 km/t
Siktavstand 200 m

Konsekvensfaktorer

kf ₁ = Tilgjengelighet av rassted	2,5
kf ₂ = Terrengform på rassted	1
kf ₃ = Trafikktype	1,4
kf ₄ = Hastighet av tog	1
kf ₅ = Siktavstand	1,25

Størrelse på ras	kf ₁	kf ₂	kf ₃	kf ₄	kf ₅	Konsekvens K
< 0,5 m ³	2,5	1	1,4	1	1,25	63
0,5 - 5	2,5	1	1,4	1	1,25	444
5 - 25	2,5	1	1,4	1	1,25	1 328
25 - 100	2,5	1	1,4	1	1,25	2 497
100 - 500	2,5	1	1,4	1	1,25	3 240
>500	2,5	1	1,4	1	1,25	4 128



Banestrekning: _____

Km:		venstre/høyre				Km:			
For enkelthendelser: -Vurder sannsynligheten for ras i løpet av 30 år. -Gjør trippelanslag for når hendelsen antas å inntreffe. For gjentatte hendelser: -Angi frekvens.						M 1:200			
						8			
						6			
						4			
						2			
Størrelse, m ³ :		← Før	Etter →			← Før	Etter →		
Enkelthendelse	Sannsynlighet for ras:		1		2		3		
			TILTAK		TILTAK		TILTAK		
	Når antas raset å skje?	Tidligst:							
		Antatt:							
Senest:									
Frekvens (ras pr.år):									
Konsekvensfaktorer:		BESKRIVELSE: 							
kf ₁ :	Tilgjengelighet								
kf ₂ :	Terrengform								
kf ₅ :	Siktavstand								
DATO:		VURDERT AV:						Sign.:	
		Firma:							

Banestrekning:

RASVURDERING I FJELLSKJÆRING

Parsell: _____

Nordlandsbanen

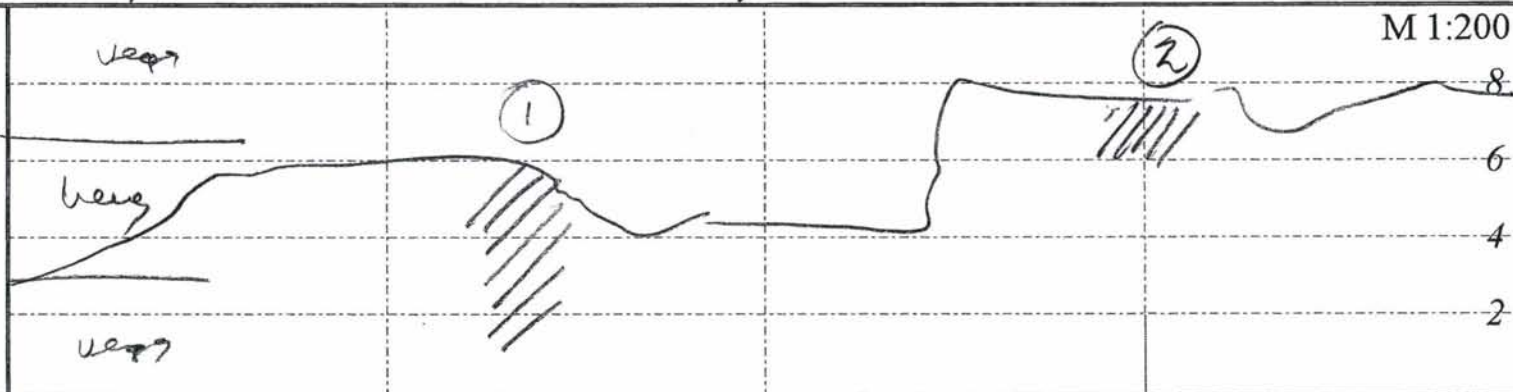
Km: 565,32

venstre ~~høyre~~

Km: 565,36

For enkelthendelser:
-Vurder sannsynligheten for ras i løpet av 30 år.
-Gjør trippelanslag for når hendelsen antas å inntreffe.

For gjentatte hendelser:
-Angi frekvens.



Størrelse, m ³ :		15	← Før	Etter →	15	20	← Før	Etter →	1		← Før	Etter →		
Enkelthendelse	Sannsynlighet for ras:	1,0	① TILTAK		0,1	0,5	② TILTAK		0,2		③ TILTAK			
	Når antas raset å skje? Ant. år	Tidligst:	1	15 bolter		25	3	Nedspr.		5				
		Antatt:	5			100	25	20 m ³ +		30				
		Senest:	20			300	100	20 bolter		100				
Frekvens (ras pr. år):		—			—									

Konsekvensfaktorer:

kf ₁ :	1,0	Tilgjengelighet
kf ₂ :	1,0	Terrengform
kf ₃ :	1,0	Siktavstand

BESKRIVELSE:
 Grov oppsprekket
 Kalkglim mersquis
 Bakersprekk
 Sprekkedakt 0,1-0,3m
 Delvis omvandlet gneis

DATO: 25/4-01

VURDERT AV:
 Firma:
 Sign.: *BBA*

KARTLAGT SANNSYNLIGHET FOR RAS

Data er hentet fra detaljert kartleggings skjema (alle grå felt må fylles ut):

Sannsynlighet for ras er vurdert **før** tiltakBanestrekning: **Nordlandsbanen** Baneprioritet: **3**km start: **565,32** km slutt: **565,78** Lengde av strekning: **460** meterTunnel/skjæring: **Tunnel**

Navn på tunnel:

Kartlagt av: **O. T. Blindheim AS** Sign.: **BAa** Dato: **24. des. 2000**

Størrelse på ras	Lokalitet km	Benevning	Enkelthendelser					Gjentatte hendelser	Beskrivelse av lokalitet
			P(K)	E(t)	Trippelanslag for tidspunkt for ras				
					t _{min}	t _{antatt}	t _{maks}		
< 0,5 m³	565,33	A	1	7,3	2	5	15	0,136	
	565,38	B	0,5	24,0	2	20	50	0,021	
	565,40	C	0,2	135,0	5	100	300	0,001	
	565,62	D	1	3,8	0,5	1	10	0,261	
	565,63	E	1	10,7	2	10	20	0,094	
	565,64	F	1	1,9	0,1	0,5	5	0,536	Et parti er i ferd med å rase ut
					0,0				
0,5 - 5 m³	565,35	G	1	10,7	2	10	20	0,094	
	565,66	H	0,5	35,0	5	25	75	0,014	
	566,67	I	0,2	93,3	20	60	200	0,002	
				0,0					
				0,0					
				0,0					
				0,0					
5 - 25 m³	566,68	J	0,1	130,0	15	75	300	0,001	
				0,0					
				0,0					

Antall ras per år over 30 år:

0,217

Antall ras per år (konservativt anslått):

1,160

NÅVERDIRISIKO AV ENKELTHENDELSER

Banestrekning: Nordlandsbanen Baneprioritet: 3
 km: 565,32 565,78 Lengde av strekning: 460 meter
 Tunnel/skjæring: Skjæring

Nåverdien av risiko for en enkelthendelse:

$$NVR = \frac{P(K) \cdot K}{(1+r)^{E(t)}}$$

der

P(K) = Sannsynligheten for at en hendelse skjer innen en tidshorisont L (30 år)

E(t) = Forventet tid før hendelsen inntreffer (ut fra trippelanslag)

r = Kalkulasjonsrente: 5 %

FØR TILTAK:

Nåverdirisiko med hensyn på ras for denne tunnelen (i 1000 kr):

Størrelse på ras	Konsekvens	P(k)	Risiko P(k) * K	E(t)	NVR	Antall	NVR Totalt
< 0,5	69	1	69	7,3	48	1	48
< 0,5	69	0,5	34,5	24	11	1	11
< 0,5	69	1	69	3,8	57	1	57
< 0,5	69	1	69	10,7	41	1	41
< 0,5	69	1	69	1,9	63	1	63
< 0,5	69	0,2	13,8	135	0	1	0
0,5 - 5	595	1	595	10,7	353	1	353
0,5 - 5	595	0,5	297,5	35	54	1	54
0,5 - 5	500	0,2	100	93,3	1	1	1
5 - 25	799	1	799	20	301	0	0
25 - 100	1506	0,1	150,6	20	57	0	0
100 - 500	2254	0,5	1127	10	692	0	0
>500	3542	0,1	354,2	5	278	0	0
						9	628

Dersom en investering på kr

628 195 gjør at restrisikoen er null, er investeringen lønnsom.

BEGREPER SOM BENYTTES

Begrep	Definisjon/kommentar	Referanse
Baneprioritet	Banenettet klassifiseres i fem prioriteter, hovedsakelig basert på dagens bruk av banenettet, ventet trafikkutvikling og samfunnsmessig nytte.	Kartlegging av kjente rasfarlige områder Jernbaneliknet 15.05.98 Vedlegg 1.0, side 1
Driftsuhell	Hendelse der skinnegående materiell har vært i bevegelse og hvor person er drept eller alvorlig skadd eller hvor det har oppstått store skader på skinnegående materiell, spor eller installasjoner. Driftsulykke på linje hvor skinnegående materiell har vært i bevegelse, og hvor person er drept eller alvorlig skadd, eller hvor det har oppstått skader på skinnegående materiell, spor og andre installasjoner (vanligvis skader for mer enn ca kr 90.000,-).	Kartlegging av kjente rasfarlige områder Jernbaneliknet 15.05.98 side 10 Sikkerhetsanalyse for Nordlandsbanen, 31.10.2000, side 73
Estimatusikkerhet	Usikkerhet som skyldes mangel på kunnskap, viten, oversikt	Kjell Austeng, NTNU
Forventningsverdi	Den tid det går fra i dag, observasjonstidspunktet, og til forventet hendelsestidspunkt. Forventningsverdien beregnes ved hjelp av trippelanslag.	
Hendelsesusikkerhet	Usikkerhet knyttet til hvordan omgivelsene vil påvirkes eller opptre	Kjell Austeng, NTNU
Kontrollbefaring	Oppfølgende "punktbefaring" av parti med potensiell rasfare	Tilstandskartleggingsprosjektet, modifisert til "fjelldelen".
Nåverdien av risiko, NVR	Diskontert verdi av risiko til en nåtidspunktet før tiltaket er utført. Kalkulasjonsrente og tidshorisont må være gitt.	
PLL	Personal Loss of Life. Antall døde (langs jernbanen) i løpet av en tidsperiode	
Rasfare	Kan benyttes på samme måte som "sannsynlighet for nedfall/ras"	
Restrisiko (i nåtidspunktet)	Diskontert verdi av risiko til en nåtidspunktet etter at tiltaket er utført. Kalkulasjonsrente og tidshorisont må være gitt.	

Risiko	= sannsynlighet x konsekvens ”sannsynligheten for at noe uventet skal skje og hvilke følger dette kan få”	Dok. nr. 1B-Sikkerhet, Kap. 7, side 2 av 19
Sannsynlighet	Sjansen for en hendelse i løpet av et gitt tidsrom.	
Sannsynlighet for nedfall/ras innenfor en gitt periode	Det er denne sannsynligheten som må vurderes for hver enkelt strekning langs linja. For å få et felles utgangspunkt for vurderingen, er det viktig at alle vurderer sannsynligheten for at hendelse inntreffer i løpet av 30 år.	
Subjektive vurderinger	Kvalifisert gjetning basert på kompetente personers erfaring, kunnskap, intuisjon og evne til å trekke beslutninger	Kjell Austeng, NTNU
Tidshorisont eller betrakningsperiode	Sannsynligheten for at ras skal inntreffe innen en viss tid vurderes innenfor en tidshorisont eller betrakningsperiode. I rapporten er 30 år benyttet.	
Tilstandsregistrering	Systematisk visitasjon ”meter for meter” med enkel registrering av ustabile områder eller partier.	Tilstandskartleggingsprosjektet, modifisert til ”fjelldelen”.