

Ofotbanen

Jernbaneverket
Biblioteket

30 TONN på Ofotbanen/ Malmbanen

LKAB



Jernbaneverket



BANVERKET

INNHOLDSFORTEGNELSE

0	Forord	1
1	Sammendrag	2
2	Innledning	6
2.1	Formål og bakgrunn	6
2.2	Forutsetninger, avgrensninger og økonomiske betraktninger	7
2.2.1	Forutsetninger	7
2.2.2	Avgrensninger	8
2.2.3	Økonomiske betraktninger	8
2.3	Delprosjekt og organisasjon	9
3	Rapporter	13
4	Trafikksimuleringer	17
4.1	Nordlige omløpet Kiruna - Narvik	17
4.2	Sørlige omløpet Luleå - Boden - Gällivare	18
5	Konsekvenser av ulike trafikkalternativ	20
6	Infrastruktur i Sverige	21
6.1	Innledning	21
6.2	Geoteknikk	21
6.3	Bruer	22
6.4	Stikkrenner	23
6.5	Ballast	23
6.6	Strømforsyning	24
7	Infrastruktur i Norge	25
7.1	Geoteknikk	25
7.2	Bruer	25
7.3	Strømforsyning	26
7.4	Signal- og sikkerhetsanlegg	26
8	Struktur for vedlikeholdsarbeid.	27
9	Vedlikehold i Sverige	29
9.1	Økonomisk analyse av nåsituasjonen.	29
9.2	Teknisk analyse av nåsituasjonen	30
9.3	Teknisk analyse	31
9.4	Spormekanisk analyse.	32
9.5	Sammendrag av vedlikeholdskostnader	33
10	Vedlikehold i Norge	34
10.1	Teknisk og økonomisk analyse av dagens situasjon	34
10.2	Beregninger av spenninger i jernbaneskinner	34
10.3	Beregning av slitasje på skinner	35
10.4	Oppsummering av resultat	36

11	Vogner	37
11.1	Påvirkning på vogner ved økt statisk aksellast til 30 tonn	37
11.1.1	Dagens vognpark	37
11.1.2	Hjulgang	38
11.1.3	Bremsesystem	38
11.1.4	Miljøhensyn	39
11.1.5	Overvåking av malmtog	39
11.2	Prototypevogn for 30 tonn aksellast	40
11.2.1	Sammendrag av gangdynamiske simuleringer og prøver.	40
11.2.2	Ytterligere utredningsarbeid	41
11.2.3	Konklusjoner.	42
12	ZETA-TECH	43
12.1	Allment ZETA-TECH	43
12.2	Vurdering av vedlikeholdskostnaden for sporoverbygningen	43
12.3	Beregning av totale driftskostnader	47
13	Studiereiser og konferanser	51
13.1	Pueblo, Colorado USA	51
13.2	Chicago, USA og QCM Quebec, Canada	51
13.3	Besøk ZETA-TECH, New Jersey, Amtrack, Philadelphia, Conrail, Philadelphia og Running Heavy Running Fast Conference, Montreal.	52
13.4	Besøk ZETA-TECH, FRA (Federal Rail Association) i Washington, Conrail i Pennsylvania, W&W (Winchester & Western Railroad Company) i New Jersey og Ontario Northland Railroad, Canada.	52
14	Sammendrag av kostnader	54
14.1	Kryssingsspor	54
14.2	Bruer og geoteknikk	54
14.3	Overbygning	55
14.4	Strømforsyning mm.	55
15	Forslag til forandringer og følgeutredninger	57
15.1	Forslag til forandringer	57
15.2	Slipe, smøre og herde	58
15.3	Sammenhengen mellom hjul og skinner	58
15.4	Sporkomponenter for høye aksellaster og kaldt klima	59
15.5	Stikkrenner	60
15.6	Betongbruer	60
15.7	Ballastnedbrytning	61
15.8	Tillatte hjulkrefter.	61
16	Visjon om fremtiden	62
16.1	Påvirkningsfaktorer	62
16.2	Utviklingen i Nord-Amerika	63
16.3	Mål for fremtiden	64

0 Forord

Den formelle starten på prosjektet var en bestilling fra LKAB til Banverket, av en konsekvensutredning ved en oppgradering av aksellasten fra dagens 25 tonn til 30 tonn på Ofotbanen/Malmbanen.

Utredningen er utført i et samarbeid mellom Banverket, Jernbaneverket og MTAB/LKAB. I prosjektet har høyskoler, forskningsinstitutt, konsulenter og andre deltatt.

Innenfor prosjektet har teori og praksis på en bevisst og vellykket måte blitt blandet. Ny teoretisk kompetanse er veid sammen med praktisk kunnskap fra erfarne jernbanefolk på spor, bruer, geoteknikk og vogner i både Norge og Sverige.

Prosjektet har med stor tydelighet vist at jernbanen har et stort utviklingspotensiale innenfor godsområdet. Jernbanen kan bli et viktig redskap som Norge og Sverige trenger for å minske det geografiske handikap i konkurransen mot Europa.

Denne rapporten er avslutningen på et definert arbeid - nemlig å utrede konsekvensene av økt aksellast til 30 tonn på - Ofotbanen/Malmbanen. Samtidig er denne rapporten startskuddet på et arbeid som kommer til å innebære at Banverket og Jernbane-verket kan tilby LKAB/MTAB og andre operatører på Ofotbanen/Malmbanen mer kostnadseffektive jernbanetransporter.

Den nye kunnskapen som har kommet fram i prosjektet brukes allerede i Norge og Sverige for å bedømme konsekvensene av en oppgradering til 25 tonn aksellast på andre strekninger.

Vi - Björn og Øyvind - vil takke alle som har vært med for en profesjonell og god arbeidsinnsats. At vi dessuten under arbeidets gang har hatt et trivelig og åpent arbeidsklima, gjør at det har vært ekstra morsomt for oss å lede dette arbeidet.

En spesiell takk vil vi rette til Dr. Allan Zarembski - eier av Zeta-Tech - som kom inn og rørte om i våre tankebaner, og opplyste om at våre forhold ikke er unike når det gjelder klima. Det eneste som Dr. A. Zarembski anså bemerkelsesverdig var de høye vedlikeholdskostnadene, og at vi fremdeles (1997) kjører med bare 25 tonn.

Björn Paulsson

Øyvind Brustad

1 Sammendrag

Når prosjektet startet ble vi konfrontert med spørsmålene "Er det mulig å øke aksellasten fra 25 tonn til 30 tonn? og hvilke tekniske og økonomiske konsekvenser får dette?" .

Svaret på spørsmålet om det kommer å fungere rent teknisk er ja. Vi som har arbeidet med spørsmålet i løpet av nesten to år er idag overbevist om at det er teknisk mulig å øke aksellasten til 30 tonn.

Svaret på spørsmålet om de økonomiske konsekvensene, er at kostnadene for en oppgradering er forholdsvis små, og ser idag ut til å bli lavere enn det tidligere kostnadsberegninger har vist.

Det er også klart at en økning av aksellasten ikke vil bli helt problemfri. Det vil kreves en bedre forståelse for problemet m.h.p. nedbrytning av banen og de mekanismer som forårsaker denne nedbrytning. Vi må også velge komponenter og vedlikeholdsmetoder som er bedre tilpasset tung togtrafikk.

Prosjektet er delt opp i fire delprosjekt: Trafikksimuleringer, Vogner, Infrastruktur og Vedlikehold. Etterhvert ble den amerikanske konsulenten Zeta-Tech tilknyttet med sin parallelle utredning som et femte delprosjekt.

Resultatet av trafikksimuleringen gir to klare anbefalinger. For det nordlige omløpet Kiruna-Narvik anbefales 7 stk. stasjoner med dobbelspor. For det sørlige omløpet Gällivare-Boden-Luleå anbefales 3 stk. stasjoner med dobbelspor. Forslagene klarer både krav på hvite tider (planlagte tider for vedlikehold), og en bra togtabell for malmtrafikken og øvrig trafikk. En fremtidig ekspansjon av togtrafikken vil kreve ytterligere trafikksimuleringer i.o.m. at de utførte simuleringer viser at ekspansjonsalternativet er følsomt for driftsforstyrrelser.

Innenfor delprosjektet Infrastruktur har vi hovedsakelig studert bruer og geoteknikk. Her har vi også berørt strømforsyning og signalspørsmål.

Når det gjelder bruer har vi utredet dette nøye. Dels er kunnskapene gode når det gjelder stålbruer. Når det gjelder betongbruer har vi innenfor prosjektet utført viktige forsøk som viser at mange av dagens bruer sannsynligvis kan ta mer last når vi får bedre kunnskap om materialer og mer nøyaktige beregningsmodeller.

Innenfor det geotekniske området har vi gjort arkivstudier, materialprøver og omfattende geotekniske undersøkelser. Deretter har vi gjort utredninger og beregninger.

På svensk side har vi utredet geoteknikken i henhold til en tidligere utarbeidet tiltaksnøkkel. Resultatet viser at tiltak for skråninger og sediment kan gjøres med moderate kostnader. Når det gjelder ballast blir derimot kostnadene høye om gjeldende regelverk skal gjelde. På svensk side har det også vist seg å være et stort behov for utbedring av stikkrenner.

På norsk side viser det seg at de største kostnadene er relatert til økningen av tunnelprofil. Ballasttykkelsen er for liten, noe som medfører behov for supplering. Dette gir videre behov for strossing.

Utredningen har også vist at det blir nødvendig med tiltak for å sikre noen skråninger slik at banen kan trafikkeres med 30 tonn aksellast. Noen skråninger er så bratte at man ikke kan tillate økt aksellast før disse er utbedret.

En gjennomgang av bruene på Ofotbanen viser at det ikke er nødvendig med noen tiltak som følge av økt aksellast.

På svensk side har det i siste fase blitt gjort en fornyet utredning av strømforsyningen. Utredningen viser at investeringskostnadene er avhengig av de nye malmlokenes energibehov.

For Ofotbanen har Jernbaneverket gjort en vurdering av konsekvensene for signal- og strømforsyningsanleggene. Analysene viser at det blir nødvendig å legge fiberkabel på strekningen for å opprettholde driftsikkerheten. Hvis ikke kan det oppstå forstyrrende induksjon pga. økt returstrøm.

For å oppnå et riktig bilde av konsekvensene for strømforsyning og kontaktledninger har vi fått British Rail Research i England til å gjøre en simulering. Konklusjonen er at det blir nødvendig med visse tiltak i forbindelse med økt aksellast/togvekt.

Ettersom kostnadene for signalanlegg og strømforsyning er avhengig av de nye malmlokenes egenskaper foreslås en felles oppdatering av disse utredninger når anskaffelsen av nye malmlok er besluttet.

Beregninger av den nye vedlikeholdskostnaden viser både på norsk og svensk side at den forventede kostnadsøkningen er moderat sett i et lengre perspektiv. Kortsiktig kommer det derimot til å bli en viss økning. Effekter av sliping, smøring og

herding av skinner vil kunne gi reduserte vedlikeholdskostnader.

I prinsippet har vi gjort tre utredninger om vedlikeholdskostnader. Den norske og den svenske utredningen er gjort av respektive forvaltning. I tillegg til dette har det amerikanske konsulentfirmaet ZETA-TECH gjort en egen utredning. Det er god samstemmighet mellom disse tre utredningene.

Den gjennomførte utredningen av vedlikeholdskostnader på svensk side viser at kostnadene for de forskjellige delene av banens overbygging øker på ulike områder, men at økningen er begrenset.

Den økonomiske analysen viste seg vanskelig å gjøre, ettersom de økonomiske kodene var for omfattende til å beskrive i hvilket omfang ulike kostnadsbærere inngikk i hver enkelt økonomisk post. Vi benyttet intervjuer for å kartlegge erfaringer som grunnlag for den økonomiske analysen.

I løpet av arbeidet kunne vi også konstatere at en landsomfattende sammenlikning ikke er mulig ettersom samme kode for anleggs-type brukes for forskjellige anlegg i ulike regioner innen Banverket. Når analysen var ferdig var resultatet ikke noen større overraskelse. Den spormekaniske og tekniske analysen angir betydningen av et vedlikehold som baseres på en kombinasjon av erfaring og den faktiske tilstanden. Den viser også at de komponenter som idag brukes på Malmbanen bør vurderes med tanke på større aksellast. Skinner med større og herdet skinnehode bør overveies liksom sliping og økt bruk av smøring.

På norsk side har Jernbaneverket utført en utredning under delprosjekt Drift og vedlikehold, om bl.a. hvilket skinneprofil som kan brukes ved en økning av aksellasten. Analysen viser at dagens skinneprofil (S54) er tilstrekkelig m.h.t. bruddkapasitet. Det er imidlertid nødvendig å velge tyngre sporveksler fra dagens S49 til S54.

Utredningen viser at sporslitasjen (sideslitasjen) er hovedårsak til sporbytte på Ofotbanen. Det kommer derfor til å bli nødvendig å finne fram til bedre rutiner/tekniske løsninger m.h.p. skinnesmøring.

ZT har analysert effektene av økt aksellast med fokus på vedlikehold av sporet, sporkomponentenes levetid, bruer og baneunderbygning. Metodene som brukes for disse bedømmingene er hentet fra erfaringer fra hovedsaklig nordamerikanske forhold ved økning fra 30 til 33 (metriske) tonn aksellast. Økning av

aksellasten fra 25 til 30 tonn har vært i fokus. Også effektene av radialstyrte vogner, mindre taravekt og høyere hastighet fra 50 km/t til 60 km/t (på svensk side) er vurdert. Rapporten har også vurdert effektene av endret vedlikehold som sliping og økt bruk av smøring.

ZT's konklusjoner viser at økt aksellast innebærer en større nedbrytning. For å få orden på dette kreves en forandring av vedlikeholdet. Om dette skjer er en økt aksellast både mulig og økonomisk forsvarlig.

I rapport 5.2 "Beregning av totale driftskostnader" anser ZETA-TECH at en økning av aksellasten til 30 tonn på Ofofbanen/Malmbanen er økonomisk lønnsom. Videre påpeker de at en oppgradering til 30 tonn gir en frigjøring av banekapasitet for mer malmtransport eller annen trafikk, og at planlagt vedlikehold kan gjøres i større utstrekning.

I løpet av utredningen har prosjektgruppen vært på flere reiser til USA og Canada. Inntrykket er at man der utnytter spormaterialet mer effektivt enn vi gjør på Malmbanen og Ofofbanen, framfor alt ved at de i lang tid har optimert vedlikeholdet av skinner og sporveksler. De viktigste årsakene ligger i større skinnhode i herdet materiale, smøring og regelmessig sliping. Dette har gitt som resultat dobbel levealder sammenliknet med norske og svenske forhold.

I utredningen framgår det klart at vi har kunnet gjøre bedre og sikrere vurderinger av de problemstillinger der vi har satsert ressurser i form av ordentlige forskningsutredninger. Disse vurderinger har ført til mindre økonomiske konsekvenser enn forventet. Eksempel på dette er bruer, torv og skråninger. På samme måte har områder der vi har brukt gjeldende regler for nybygging, medført uventet store kostnader. Eksempel på dette er stikkrenner og ballast. Derfor kommer disse spørsmål til å bli utredet videre i de oppfølgings-utredninger som foreslås.

2 Innledning

2.1 Formål og bakgrunn

I løpet av våren 1995 ble det besluttet at en utredning av de tekniske og økonomiske konsekvensene av økt aksellast på Malmbanen og Ofotbanen skulle gjennomføres. Utredningen skulle gjelde en økning fra dagens 25 tonn til 30 tonn og samtidig studere et nytt transportkonsept med lengre, tyngre og hurtigere, men samtidig færre tog. Dette innebærer bl.a. muligheter til å kunne øke malmtransporten og/eller muliggjøre annen togtrafikk. Tabellen nedenfor viser dagens situasjon og den foreslåtte situasjonen.

	Aksellast (Tonn)	Vogner (Stk)	Toglengde uten lok. (m)	Togvekt uten lok. (tonn)
Dagens situasjon	25	52	470	5200
Foreslått situasjon	30	68	700	8160

Tabell 2.1 Viser dagens situasjon og den foreslåtte situasjonen

De økonomiske konsekvensene som er utredet her, dreier seg om endring av kostnadene for å opprettholde dagens standard. Dette dreier seg om vedlikehold og reinvesteringer for den foreslåtte situasjonen, og dessuten hvilke investeringer som må gjøres som følge av den foreslåtte situasjonen.

Utgangspunkt for prosjektet er å studere besparinger ved en mer effektiv utnyttning av infrastruktur og rullende materiell. Det innebærer studier av følgende:

- nødvendig transportkapasitet avhengig av forventet produksjon/ salgsvolum hos LKAB
- hvilke konsekvenser trafikkopplegget får for kryssningspor med hensyn til forventet øvrig trafikk (ARE: Arctic Rail Express og persontrafikk)
- om det kreves forsterkninger av infrastrukturen (de jernbanetekniske anleggene) og de kostnadene som hører til dette.
- om hvordan økt aksellast kombinert med nye vogner og nytt

transportkonsept påvirker vedlikeholdet for spor og infrastruktur.

I tillegg vil en samfunnsøkonomisk analyse bli utført. Analysen vil ta hensyn til den samfunnsøkonomiske nytten i forhold til de beregnede kostnadene.

Utredningen startet våren 1995 som et samarbeidsprosjekt mellom Loussavaara Kiirunavaara Aktiebolag (LKAB), Banverket (BV) og Norges Statsbaner (NSB). I løpet av arbeidets gang har Malmtrafik AB (MTAB) og Jernbaneverket (JBV) blitt dannet.

Denne rapporten er en hovedrapport og gir et sammendrag av totalt 32 delrapporter som framgår av kapittel 3. Omfanget av de enkelte kapitler i denne hovedrapporten er et konsentrat og sammendragene av de enkelte rapportene er mer av allmen karakter. De gir ikke noe utførlig teknisk behandling av de spørsmål som er utredet. For disse spørsmål henviser vi til delrapportene som er tekniske rapporter. Formålet med denne hovedrapporten er å gi et overblikk over omfatningen av utredningen og samtidig gi en oppsummering av de tekniske og økonomiske konsekvensene som en økning av aksellasten fra 25 tonn til 30 tonn innebærer.

2.2 Forutsetninger, avgrensninger og økonomiske betraktninger

2.2.1 Forutsetninger

Forutsetningene for utredningen følger under.

- 1) Økning av statisk aksellast fra 25 til 30 tonn.
- 2) Statisk lineær last mindre enn eller lik 12 tonn/m.
- 3) Maksimal metervekt over 2 nærliggende boggier begrenses ifølge Jernbanebronormen noe som innebærer en minimumslengde over nærliggende boggiers yttre hjulsentrum på 4,8 m.
- 4) Anerkjente sikkerhetskriterier med hensyn til sporforskyvning ifølge Prud'homme og flensklattring (Y/Q) skal oppfylles.
- 5) Nedbrytningshastigheten av banens komponenter forventes å øke. I utredningen gis en vurdering av de tekniske og

økonomiske konsekvensene av dette.

- 6) De negative konsekvensene av 30 tonns aksellast skal minimeres ved at nye vognkonstruksjoner baseres på best mulige tilgjengelig teknikk, med hensyn til deres virkning på sporets nedbrytning. Dette gjelder framfor alt de faktorer som påvirker sideslitasjen i kurver og utmattingsfenomenen på overflaten av skinnehodet. De dynamiske tilskudd i vertikal retning bør ikke øke uproposjonelt dvs. mer enn ca. 20 %. Laterale kvasistatiske og dynamiske krefter forutsettes å ikke øke nevneverdig i forhold til nåværende 25-tonns vogner.
- 7) Muligheten til å forandre vedlikeholdsmetodene som minimerer nedbrytningshastigheten skal vurderes både når det gjelder spor- og vognvedlikehold.
- 8) Muligheten til optimering av banens geometri med hensyn til overhøyde vurderes. Sammenlikning skal i første rekke gjøres for følgende kombinasjoner av aksellast/hastighet/manglende overhøyde:

25 tonn, 50 km/t, 0 mm manglende overhøyde
30 tonn, 60 km/t, 0 mm manglende overhøyde.
På norsk side 50 km/t pga. små radier.
- 9) For delprosjektet infrastruktur har hastigheten blitt satt til 70 km/t (svensk side).

2.2.2 Avgrensninger

Utredningen er avgrenset på følgende måte.

- 1) Utredningen forutsetter uforandret mengde transportert malm. Bare i den samfunnsøkonomiske kalkylen blir det gjort en analyse der man sammenlikner med et ekspansjonsalternativ.
- 2) Utredningen tar hensyn til de viktigste kostnadene for vedlikehold og reinvesteringer, dvs. kostnadene for å opprettholde dagens standard. Dette innebærer at ZETA-TECH's tall ikke er direkte sammenlignbare med rapportene som Jernbaneverket og Banverket har laget.

2.2.3 Økonomiske betraktninger

Innenfor prosjektet har de økonomiske tallene blitt presentert med forskjellig prioritet.

Prioritet 1. Tiltak som må gjøres uavhengig av 30 tonn.

I en idealsituasjon skal disse kostnadene tilsvare de kostnader som finnes i dagens planer. Når man gjør en utredning med denne nøyaktighet er det selvsagt at man finner uforutsatte kostnader. Samtidig kan man også konstatere at status på visse anlegg er bedre enn ventet. Kostnader innenfor prioritet 1 er ikke tatt med i den samfunnsøkonomiske analysen ettersom de ikke påvirkes av økningen i aksellast.

Prioritet 2. Tiltak som må gjøres når trafikk med 30 tonn starter.

Disse kostnadene belaster den samfunnsøkonomiske kalkylen. Mange av disse tiltakene må imidlertid ikke gjennomføres umiddelbart, ettersom en innføring av 30 tonn gir en gradvis forandring. Dette gjelder da også mange av disse kostnadene.

Prioritet 3. Økte vedlikeholdskostnader pga. 30 tonn.

Dette er den økte kostnaden for å opprettholde standard på banen etter lastøkningen. Økningen i aksellast medfører en forholdsmessig større økning av vedlikeholdskostnaden de første årene.

Prioritet 4. Ingen tiltak som følge av 30 tonn.

2.3 Delprosjekt og organisasjon

Prosjektleder for det svenske prosjektet og koordinerende prosjektansvarlig har vært Björn Paulsson, Banverket, Borlänge.

Prosjektleder for det norske prosjektet har vært Øyvind Brustad, Jernbaneverket, Trondheim.

Styringsgruppe

Nils-Erik Bergström ordf	Banverket,	Borlänge
Ivar Hagland	Jernbaneverket,	Oslo
Birger Norberg	LKAB,	Kiruna
Åke Boström	MTAB,	Kiruna
Bisittere:		
Thomas Nordmark	MTAB,	Kiruna
Björn Paulsson	Banverket,	Borlänge
Øyvind Brustad	Jernbaneverket,	Trondheim

Åke Boström erstattet Birger Norberg i forbindelse med at MTAB ble dannet.

For å forenkle håndteringen har prosjektet blitt delt i flere delprosjekt. Delprosjektene er følgende.

Trafikksimuleringer

Delprosjektleder for den svenske delen: Mikael Eriksson, Banverket, Luleå.

Delprosjektleder for den norske delen: Helge Voldsund, Jernbaneverket, Trondheim.

Vogner

Delprosjektleder Sven Forsberg, LKAB/MTAB.

Infrastruktur

Delprosjektleder for den svenske delen Björn Töyrä, Banverket, Luleå.

Delprosjektleder for den norske delen Rolf Austvik, Jernbaneverket, Trondheim.

Vedlikehold

Delprosjektleder for den svenske delen Kent Forss, Banverket, Luleå.

Delprosjektleder for den norske delen Alf-Helge Løhren, Jernbaneverket, Trondheim.

Zeta-Tech

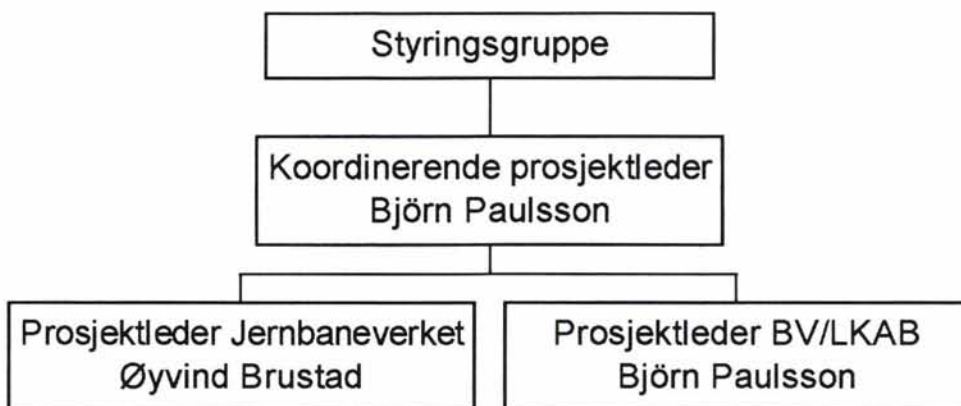
Ansvarlig har vært Allan Zarembski, Zeta-Tech, NJ, USA.

Sten Hammarlund, Banverket, Borlänge, har foruten å delta i forskjellige delprosjekt hatt ansvaret for samordningen mellom de forskjellige svenske delprosjektene.

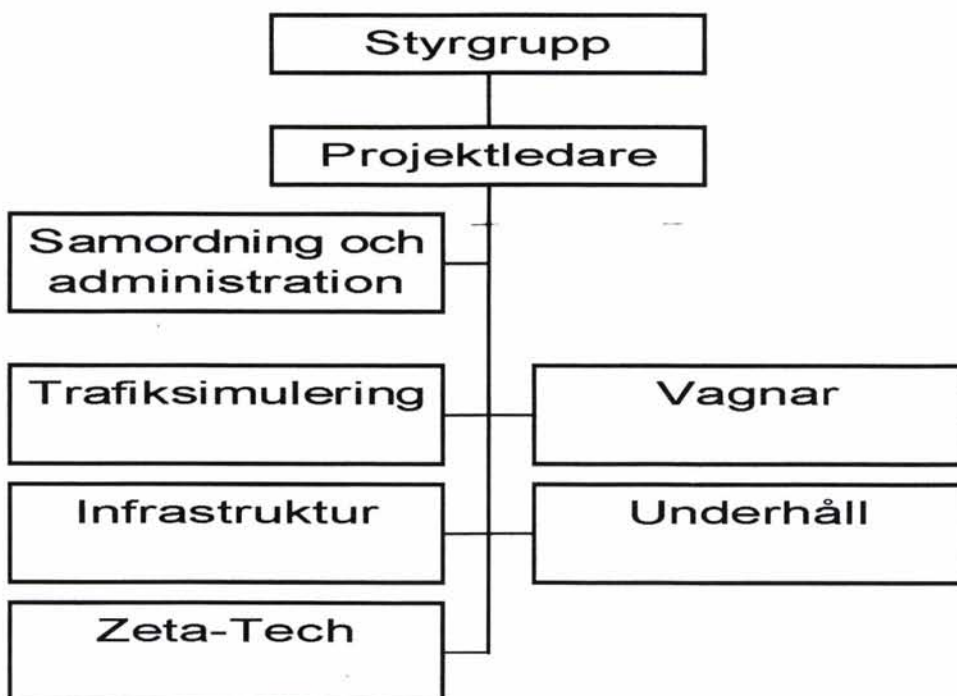
Johan Eriksson, Banverket, Borlänge, har foruten å delta i de forskjellige delprosjektene hatt ansvaret for administrative oppgaver og kontakter mot Zeta-Tech.

Det samlede organisasjonsskjema sammen med de separate svenske og norske vises nedenfor.

Felles organisasjon

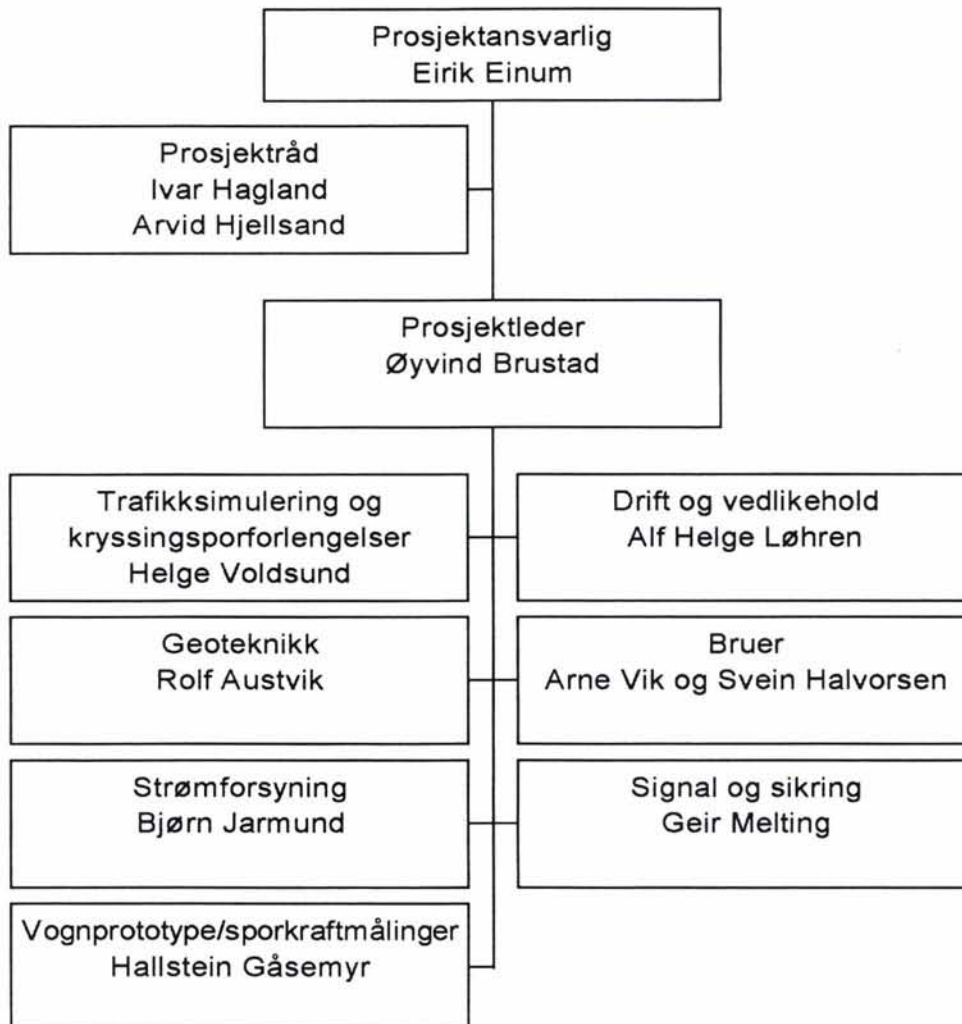


Svensk organisasjon



Navn, se foregående side

Norsk organisasjon



3 Rapporter

Rapportene er gitt en struktur slik at hver enkelt rapport er selvstendig og kan leve sitt eget liv. Tanken er at de skal spres og brukes. Dette har medført et stort antall rapporter - totalt 33.

Denne rapporten utgjør hovedrapporten og inneholder et sammendrag og en konklusjon av de øvrige. Hovedrapporten er skrevet både på norsk og svensk med så langt som mulig identisk innhold. Rapporten er forankret hos både Banverket, Jernbaneverket og LKAB/MTAB.

Når det gjelder delrapportene finnes disse bare på ett av språkene. De norske rapportene er skrevet på norsk og de svenske rapportene på svensk. Det amerikanske konsulentfirmaet Zeta-Tech har skrevet sine rapporter på engelsk. En oppsummering på norsk finnes i kapittel 12. Noe "summary" på engelsk er ikke tatt med i rapportene.

Strukturen er følgende:

HOVEDRAPPORTEN er skrevet på både norsk og svensk.

En SAMFUNNSØKONOMISK utredning vil i tillegg til de nevnte rapportene bli lagt fram. Denne blir skrevet av Mikael Eriksson, Banverket, Luleå, og Helge Voldsund, Jernbaneverket, Trondheim.

LKAB har skrevet RAPPORT 30 TON der man beskriver LKAB:s situasjon og den store betydningen en økt aksellast får for bedriften. Gjennom en effektivisering av togtransporten kan LKAB beholde sin konkurransekraft og dermed trygge malmbrytning og foredling i "Malmfalten" langt inn på 2000-tallet.

Liste over forkortninger:

LKAB Loussavaara Kiirunavaara Aktiebolag
BV Banverket
JBV Jernbaneverket
SJ Statens Järnvägar
LTU Luleå Tekniska Universitet
J&W AB Jacobson & Widmark
MTAB Malmtrafik AB

RAPPORT 1, TRAFIKSIMULERING

- Rapport 1.1 **Trafiksimulering**
Trafiksimulering av sträckan Kiruna - Narvik
(Norra omloppet)
BV, JBV
- Rapport 1.2 **Trafiksimulering**
Trafiksimulering av sträckan Luleå - Boden -
Gällivare (Sødra omloppet)
BV
- Rapport 1.3 **Trafiksimulering**
Kryssingsspor
JBV

RAPPORT 2, VAGNAR

- Rapport 2.0 **Vagnar**
Ökad statisk axellast till 30 ton
LKAB
- Rapport 2.1 **Vagnar**
Prototypvagn för 30 tons statisk axellast
LKAB, SJ, JBV
- Rapport 2.2 **Vagnar**
Gångdynamiska simuleringar
LTU
- Rapport 2.3 **Vagnar**
Gångdynamiska prov
SJ

RAPPORT 3, INFRASTRUKTUR

- Rapport 3.0 **Infrastruktur**
Sammanfattning
BV
- Rapport 3.1 **Infrastruktur**
Inventering - broar
BV
- Rapport 3.2 **Infrastruktur**
Beräkningar och konsekvenser - broar
BV

- Rapport 3.3 **Infrastruktur**
Forsknings- og utveklingsprojeht avseende
betongbroars bärighet
BV, LTU
- Rapport 3.4 **Infrastruktur**
Geoteknisk inventering
BV, J&W
- Rapport 3.5 **Infrastruktur**
Stabilitetsutredning
BV
- Rapport 3.6 **Infrastruktur**
FoU Berakningsmodell for grundlagging på torv
BV, SGI, LTU
- Rapport 3.7 **Infrastruktur**
Geotekniska åtgärder
BV
- Rapport 3.8 **Infrastruktur**
Underbygning
JBV
- Rapport 3.9 **Infrastruktur**
Baneenergiforsyning
JBV
- Rapport 3.10 **Infrastruktur**
Signal- og sikringsanlegg
JBV
- Rapport 3.11 **Infrastruktur**
Kontrollberegning av stål- og steinhvelvbruer
JBV
- Rapport 3.12 **Infrastruktur**
Kontrollberegning av Nordalsbruene
JBV

RAPPORT 4, UNDERHÅLL

- Rapport 4.1 **Underhåll**
Ekonomisk nulägesanalys
BV, LTU
- Rapport 4.2 **Underhåll**
Teknisk nulägesanalys

BV, LTU

- Rapport 4.3 **Underhåll**
Teknisk analys. Fältstudier på bandel 111, 118
och 124.
BV, LTU
- Rapport 4.4 **Underhåll**
Spårmekanisk analys
BV
- Rapport 4.5 **Underhåll**
Ekonomisk analys av underhållskostnad av
befintlig trafik med STAX 25 ton samt foreslågen
trafik med STAX 30 ton
BV, LTU
- Rapport 4.6 **Drift og vedlikehold**
Overbygning. Teknisk og økonomisk analyse av
nåværende situasjon.
JBV
- Rapport 4.7 **Drift og vedlikehold**
Overbygning. Beregning av skinnespenninger.
JBV
- Rapport 4.8 **Drift og vedlikehold**
Overbygning. Beregning av skinneslitasje.
JBV
- Rapport 4.9 **Drift og vedlikehold**
Overbygning. Sammenstilling av resultater.
JBV
- Rapport 4.10 **Underhåll**
Studier av STAX 30 TON på jernvägar i USA och
Canada
BV

RAPPORT 5, ZETA-TECH

- Rapport 5.1 **Zeta-Tech**
Quantification of Track Maintenance Costs
Zeta-Tech, BV, JBV
- Rapport 5.2 **Zeta-Tech**
Total Operating Costs
Zeta-Tech, BV, JBV, MTAB

4 Trafikksimuleringer

4.1 Nordlige turnering Kiruna - Narvik

Rapport 1.1 viser en trafikksimulering for den nordlige turnering Kiruna - Narvik. Denne studien påviser hvordan øvrig trafikk påvirkes og hvilke investeringer i infrastrukturen som kreves. Lange malmtog krever framfor alt forlengning av kryssingsspor. Banen trafikkeres idag og i en nærliggende framtid med malmtog, persontog og ARE-tog (Arctic Rail Express).

Utgangspunktet for studien er et grunnalternativ. Det er definert i samarbeid mellom LKAB, NSB og SJ-Malmbanen (nå MTAB). Alternativet utgår fra at 5 lok og 7 vognsett skal brukes for all malmtransport nord for Gällivare.

Fra dette grunnalternativet har utredningen formulert forskjellige utredningsalternativ for å studere effektene av:

- Hvor mange og hvilke stasjoner som skal forlenges.
- De forskjellige togslagenes prioritet.
- Innføring av hvite tider, dvs. tider når banen er planlagt tilgjengelig for vedlikehold.
- Ulike antall malmtog.

Simuleringene viser at de 740 m lange malmtogene ikke forutsetter at alle stasjonene på strekningen forlenges. Utredningen har tatt fram to alternativ som gir en fungerende malmtrafikk uten nevneverdig negativ effekt på øvrig trafikk.

I det ene alternativet forlenges totalt fem stasjoner med tre spor i Rensjön, Stenbacken, Abisko og Vassijaure på svensk side, samt Rombak eller Katterat på norsk side.

I det andre alternativet forlenges totalt sju stasjoner med to spor i Rautas, Bergfors, Stenbaken, Stordalen, Björkliden og Vassijaure på svensk side, samt Rombak på norsk side..

Hvite tider påvirker ARE-toget og de norske lokaltogene. Om kravet på høy prioritet for ARE-toget og behovet for hvite tider anses viktig er alternativet med sju stasjoner det eneste som gir en tilfredsstillende løsning.

MTAB har lagt frem et framtidig ekspansjonsalternativ. Dette alternativet har i den samfunnsøkonomiske analysen vist seg å være det mest fordelaktige. Samtidig har ARE-trafikkens ledelse vist framtidige muligheter til kraftig økning av trafikken. Om begge disse forutsetninger skulle bli virkeliggjort kommer

forslaget med 7 kryssingstasjoner til å bli veldig følsom for driftsforstyrrelser. Det vil derfor være nødvendig med en mer detaljert utredning omkring hvordan disse problemene kan løses. Eksempel på hvordan følsomheten for driftsforstyrrelser kan reduseres kan være å øke antall kryssingstasjoner eller å skaffe større vognpark.

4.2 Sørlige turnering Luleå - Boden - Gällivare

Rapport 1.2 inneholder en trafikksimulering for den sørlige turnering Luleå - Boden - Gällivare. Denne studien er gjort på samme måte som for den nordlige turnering, men med noe mindre trafikk, og en trafikkering som også omfatter godstog.

Utgangspunktet for studien er et grunnalternativ. Det er definert av LKAB og SJ-Malmbanen (nå MTAB) og baseres på at 2 lok og 2 vognsett skal brukes for all malmtransport sør for Gällivare.

Fra dette grunnalternativet har utredningen formulert forskjellige utredningsalternativ for å studere effektene av:

- Hvor mange og hvilke stasjoner som skal forlenges.
- Om malmtogene går til samme tider alle dager eller om de tillates gå når det passer MTAB best.
- Innføring av hvite tider, dvs. tider når banen er planlagt tilgjengelig for vedlikehold.

Simuleringene viser at de 740 m lange malmtogene ikke krever at alle stasjoner på strekningen forlenges. En stasjon sør for Boden, Norra Sunderbyn, og en stasjon nord for Boden, Buddbyn, har allerede tilstrekkelig lengde. Det skulle derfor rekke med at en stasjon, Murjek, ble forlenget, forutsatt at alle tog går til samme tid alle dager.

Dette alternativet med bare en forlenget stasjon skulle spesielt vinterstid og ved behov for vedlikehold, innebære et svært sårbart alternativ. Derfor anbefales i utredningen at tre stasjoner, Sandträsk, Murjek og Kilvo, forlenges.

Det foreslåtte alternativet vil klare de lengre malmtogene sammen med annen trafikk på en bedre måte. Annen trafikk vil da få minskede forsinkelser selv om malmtogene ikke har samme tidtabell alle dager og selv om hvite tider blir innført.

Om godstrafikken på strekningen Gällivare - Boden skulle øke betydelig og kreve kryssingsporforlengelser blir ytterligere investeringer nødvendig. Disse kravene har vi ikke tatt hensyn til på annen måte enn å foreslå kryssingsstasjonene plassert slik at de passer inn i en ytterligere utbygget infrastruktur.

5 Konsekvenser av ulike trafikkalternativ

Trafikksimuleringene viser at det nye opplegget for malmtrafikken krever forlengning av noen stasjoner til 800 m for å klare møte/kryssing med 740 m lange tog. For å utrede hvilke stasjoner som skal forlenges, er simuleringene av trafikken basert på et malmvolum på nivå med dagens. Det innebærer at antallet malmtog kan minske fra 12/13 til 7/8 pr. døgn på den nordlige turneringen, og fra 5/6 til 2/3 pr. døgn på den sørlige turneringen. Utredningen har også tatt hensyn til forventet framtidig trafikk av øvrige person- og godstog på banen.

Utgangspunktet har vært et grunnalternativ basert på at den nordlige turneringen skal trafikkeres med 5 lok og 7 vognsett. På samme måte er et grunnalternativ på den sørlige turneringen basert på 2 lok og 2 vognsett, dvs, et totalt behov av 7 lok og 9 vognsett for å klare transportene.

Alternativene defineres med utgangspunkt i hvilken prioritet de forskjellige togslagene er gitt. Hvor fordelaktig alternativene er, vurderes ut fra hvilke forsinkelser man får for de ulike togslag, samt behovet for nødvendige investeringer og følgene av å innføre hvite tider.

I rapport 1.1 har prosjektet vurdert alternative løsninger på forlengning av de aktuelle stasjonene (forlengning av kryssingsspor). Pga. stigningsforholdene på den norske siden anbefaler prosjektet at Katterat forlenges i stedet for Rombak, selv om Katterat er et dyrere alternativ. Dette skulle også ta bort de problem som allerede idag finnes i Katterat. Trafikkmessig er Katterat og Rombak likverdige.

For å få til en bra trafikksituasjon, såvel kapasitetsmessig som driftsmessig både på kort og lang sikt, anbefaler prosjektet sju stasjoner med to lengre spor på den nordlige turneringen og tre stasjoner på den sørlige turneringen.

Økonomiske konsekvenser finnes samlet i kapittel 14.

Konklusjonen er at ovenstående foreslått opplegg oppnår en bedre togføring med økt kapasitet sammenliknet med dagens situasjon, til tross for at hvite tider er innført.

6 Infrastruktur i Sverige

6.1 Innledning

Delprosjektet infrastruktur er delt i to, bro og geoteknikk. Disse områdene kommenteres i kapittel 6.2 og 6.3.

I utredningen framgår det tydelig at vi har gjort bedre og sikrere bedømminger i de problemstillinger der vi har satset ressurser i form av ordentlige FoU-utredninger. Eksempel på dette innenfor infrastruktur er broer, torv og skråninger. Innenfor områder der vi ikke har gjort dypere analyser, og istedet fulgt regler for nybygging, har vi fått forholdsvis høyere kostnader. Eksempel på dette er stikkrenner og ballast. Derfor er disse områdene spesielt kommentert i kapittel 6.4 og 6.5.

I kapittel 6.6 kommenteres strømforsyningen ettersom den nye trafikksituasjonen skiller seg på vesentlige områder sammenliknet med utredningen som ble gjort 1994.

Prosjektet har også sett over signalsiden. Dette kommer man å ta nærmere hensyn til i prosjekteringsstadiet.

Hele arbeidet, såvel tekniske bedømminger som økonomiske betraktninger baseres på kapittel 2.2.

6.2 Geoteknikk

I arbeidet med geoteknikken er effektene av forutsetningene utredet når det gjelder pukkbullast, underballast, stabilitet, setninger, skråningsprofil, fyllingsbredde, stikkrenner, frostisolering og tunneler, samt undergrunnens torv og sediment.

Innenfor delprosjektet geoteknikk har prosjektet gjennomført en undersøkelse av de geotekniske forholdene langs strekningen. Undersøkelsen har omfattet befaring, arkivstudier, intervjuer med lokalkjent personell, materialprøver og omfattende geotekniske feltstudier. Resultatet av utredningen framgår av rapport 3.4 "Geoteknisk inventering".

Langs partier med høye og bratte skråninger er effekten av en økt aksellast studert spesielt med tanke på stabilitet. Resultatet av utredningen framgår av rapport 3.5 "Stabilitetsutredning".

I rapport 3.6, "FoU Beräkningsmodeller för grundläggning på torv", vises et forsknings- og utviklingsprosjekt omkring torv og anvendbare beregningsmodeller for torv. Resultatet av utredningen viser at tiden er moden for forsøk med forsterkningstiltak.

Kriterier for tiltak, forslag til forsterknings- og metodegjennomføring, samt en kostnadsberegning er presentert i rapport 3.7, "Geotekniske åtgärder". Utredningene og beregningene har fulgt en utarbeidet tiltaksnøkkel ifølge rapport 3.0 (se side 29). Denne tiltaksnøkkel kommer til å videreutvikles i forbindelse med andre bæreevneberegninger.

6.3 Bruer

Innenfor delprosjektet bru har betongbruer, stålbruer, fundamentering, fjellkulverter og støttemurer blitt studert. Eksisterende bruer er besikttet. Besiktningen har omfattet gjennomgang av tegninger, beregninger og brujournaler, befaring, NDT (Non Destructive Test f.eks. ultralyd) og materialprøver. Resultatet av undersøkelsen er presentert i rapport 3.1 "Inventering - broar".

I prosjektet er bruene kontrollberegnet for de nye lasttilfellene ifølge BVH 583.11 "Bärighetsbestämning av broar". Kontrollberegningene har omfattet slakk- og spennarmerte betongbruer, stålbruer og brufundamentering. Beregningene viser hvilke svake punkter som finnes på bruene og hvor store overtramp som forekommer i forhold til tillatte verdier. Resultat og bedømminger vises i rapport 3.2 "Beräkningar och konsekvenser - broar".

Resultatene viser at det framfor alt er betongbruer med kort spennvidde og sveisede stålbruer av en bestemt type med kjente problem, som behøver byttes eller forsterkes ved en økt aksellast.

Ettersom Malmbanen har mange betongbruer med korte spennvidder og kunnskapen om utmattning ikke er tilstrekkelig når det gjelder betongbruer av denne typen, omfatter utredningen også et FoU-prosjekt omkring dette. Dette forsøket vises i rapport 3.3 "Forsknings- och utvecklingsprojekt avseende betongbroars bärighet". Innenfor FoU-prosjektet har feltmålinger blitt utført på fire eksisterende standardbetongbruer med små spennvidder. Brua over Lautajokki, som også er en traubru, ble tatt ut av trafikk 1988, og er brukt i et syklisk belastningsforsøk i full skala ved Luleå Tekniska Universitet.

De prøver og det beregnings- og analysearbeid som er gjennomført viser at traubruer er robuste og tåler høyere laster enn det normene angir. I rapporten presenteres avslutningsvis behov for fortsatte studier når det gjelder bæreevne og egnet utforming av forsterkningstiltak for standardbruer av denne typen (se kapittel 15.6).

Når det gjelder stålbruer har BV gjort forskning siden 1987. Dette gjør at vi idag har gode kunnskaper om tilstandsbedømming av stålbruer.

6.4 Stikkrenner

Ettersom stikkrenner viser seg å være et større problem enn først antatt tas dette opp spesielt.

Mellom Luleå og Riksgränsen finnes ca. 750 stikkrenner. Tilstanden på samtlige av disse er dokumentert ved befaringer. Av disse hadde ca. 340 skader som krever en eller annen form for tiltak.

De fleste stikkrenner består av granittmurverk og stammer fra Malmbanens barndom ved århundreskiftet, mens banekroppen forøvrig er ombygd flere ganger siden dengang. Lekkasje mellom taksteiner, skjøtesteiner og skjøter forøvrig i stikkrenner er vanlig.

Gjennom årene har det i mange stikkrenner oppstått hulrom der finmaterial er skylt ut og forsvunnet ned mellom taksteinenes skjøter. Disse hullrom kan ved en økning av aksellasten bli et akutt bæreevne- og sikkerhetsproblem om økningen av aksellast blir en utløsende faktor for kollaps. Dette skjedde også ved prøvekjøring da noen stikkrenner kollapset.

Det vil bli foretatt ytterligere analyser når det gjelder stikkrenner. Se videre kapittel 15.5.

6.5 Ballast

På hele strekningen Luleå - Riksgränsen er ballastprøver utført med ballastprøvetaker. I forsøkene er ballasttykkelsen registrert og prøver analysert med tanke på kornfordeling og sammensetning.

Resultatene viser at ballastrens må utføres på en ca. 55 km lang strekning. På en ca. 70 km lang strekning er ballasttykkelsen for

liten og må økes. I tunneler er tykkelsen for liten og en undersprengning må utføres om dagens regelverk skal oppfylles.

Spørsmålet om ballasttykkelse skal utredes. Se videre i kapittel 14.7.

6.6 Strømforsyning

I 1994 ble det gjort en generell utredning om kraftforsyningen med tanke på større togvekter på Malmbanen.

Våren 1997 gjennomførte prosjektet en kompletterende utredning, som følge av utredningen om 30 tonn aksellast. Denne kompletterende utredning viser to alternative forsterkningsmuligheter for delen Luleå - Kiruna, samt et antall mindre forsterkningstiltak for delen Kiruna - Riksgränsen.

Kostnadene for strømforsyningen er knyttet til nye lok og ønsket om økt togvekt. 30 tonn aksellast gir alene ikke behov for bedre strømforsyning.

Kostnadene for de forskjellige tiltakene er ca. 150-200 mill. SEK for delen Luleå - Kiruna og ca. 15-20 mill. SEK for Kiruna - Riksgränsen. En redegjørelse for kostnaden finnes i kapittel 14.1.

7 Infrastruktur i Norge

7.1 Geoteknikk

Når aksellasten øker er det en forutsetning at ikke linjelasten øker. Det betyr at man har samme last på underbygningen som for 25 tonn aksellast. Det er likevel nødvendig å studere lokale virkninger av økt aksellast for å se om underbygningen vil klare lastøkningen, og hvilke konsekvenser dette i såfall får.

Underbygningen er undersøkt visuelt med feltundersøkelser og kontrollberegnet, der såvel personal fra Jernbaneverket og eksterne konsulenter har deltatt (Siv.ing. Ottar Kummeneje A/S og Norges Geotekniske Institutt (NGI)).

Denne gjennomgangen viser at det finnes behov for å gjennomføre tiltak som sikrer banen både nå og før innføring av 30 tonn aksellast.

De høye kostnadene henger først og fremst sammen med at normalprofilen blir bredere med økt ballastprofil. Dette skyldes mest kravet på stabilitet i høye skråninger. Med normalt ballastprofil menes det som er angitt i gjeldende regelverk.

Dagens bane klarer lasteprofilen på den nye malmvognen, men om det blir nødvendig å heve sporet, trengs utvidelse av snøoverbygg og tunneler.

Kostnader, se kapittel 14.

7.2 Bruer

På Ofotbanen finnes det en mindre stålbru, fire steinhvelvbruer og to større betongbruer. Alle disse bruene er kontrollert med tanke på økt aksellast.

Beregningene viser at stålbrua har overskredet sin utmatningsgrense og må byttes ut. Brubyttet må gjøres uansett økningen til 30 tonn aksellast. Kostaden er med andre ord prioritert 1.

Beregningene viser at steinhvelvbruene påvirkes lite.

Det er foretatt kontrollberegninger av betongbruene (Nordalsbruene). Beregningene viser at kapasiteten er tilfredsstillende for aksellaster på 30 tonn. Kostnaden er med andre ord prioritert 4.

En samlet bedømmning er at aksellasten kan økes fra 25 til 30 tonn uten at det medfører økte kostnader for bruene på Ofotbanen.

7.3 Strømforsyning

En økning av aksellasten fra 25 til 30 tonn innebærer at vekten av et fullastet malmtog uten lokomotiv øker fra 5200 tonn til 8160 tonn.

Økningen av malmtogets vekt sammen med den nye trafikksituasjonen og et nytt lokomotiv innebærer forandret energibehov for togdriften på Ofotbanen.

Det er gjort to simuleringer av strømforsyningen på Ofotbanen. Simuleringene er utført ved hjelp av simuleringsprogrammet OSLO/VISION hos British Rail Research. Den første simuleringen ble gjennomført i januar 1996. I denne simuleringen ble ideelle tidtabeller benyttet. I den andre simuleringen som ble gjennomført i september 1996 ble avvikene fra den ideelle tidtabellen nærmere studert sammen med målte verdier for rullemotstand for de nye malmvognene. En tettere trafikk enn den ideelle ble også studert.

En sammenfatning av disse vurderingene er at energiforsyningen på Ofotbanen har tilstrekkelig kapasitet for å klare en økning fra 25 tonn til 30 tonn, under forutsetning av at deler av strømforsyningsanleggene byttes ut og/eller forsterkes.

Kostnader, se kapittel 14.

7.4 Signal- og sikringsanlegg

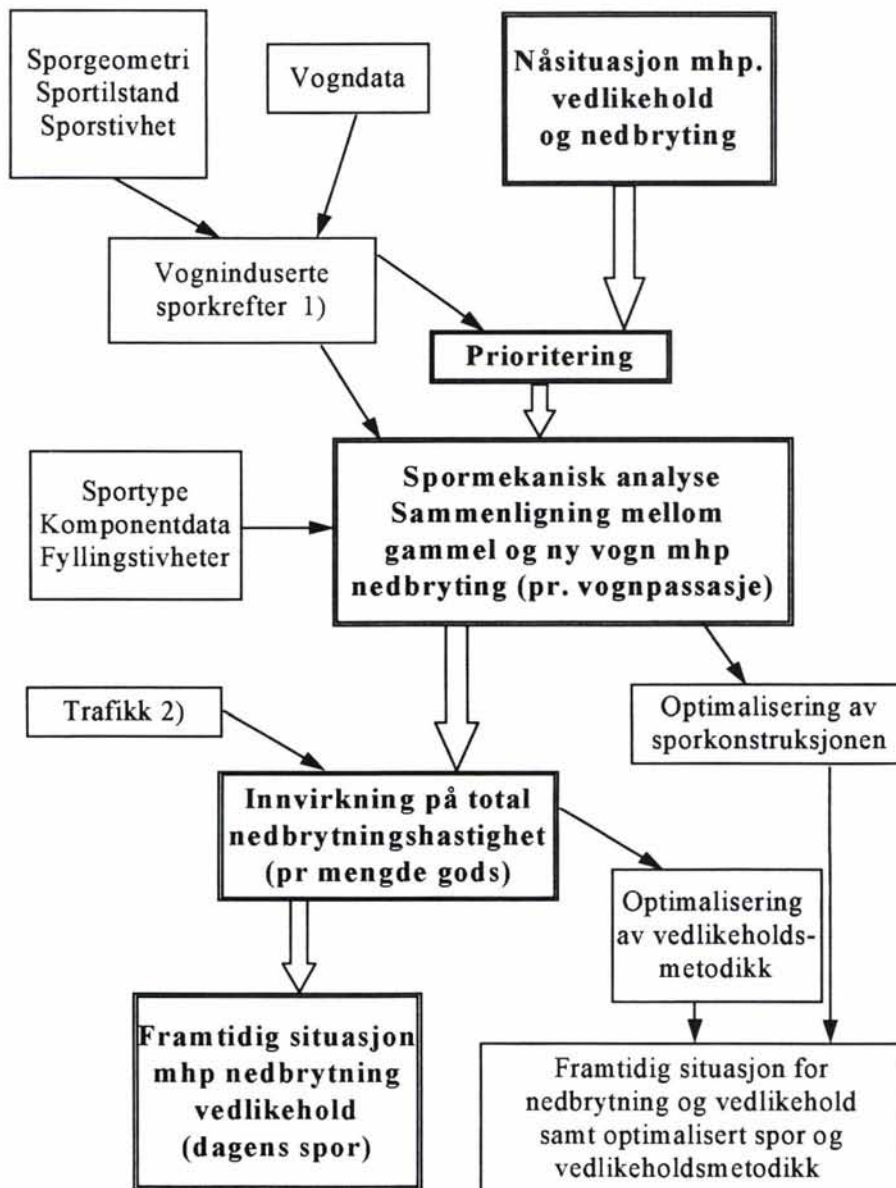
Når aksellasten og antallet vogner øker kommer behovet for elektrisk energi til togføringen å øke. Elektriske forstyrrelser på sambandsanlegg avhenger av størrelsen på returstrømmene.

For å unngå en økning av driftsforstyrrelser som en følge av økt aksellast bør man foreta bytte/endring av signal- og sikkerhetsanleggene.

Kostnader, se kapittel 14.

8 Struktur for vedlikeholdsarbeid

For å samordne banevedlikeholdet i prosjektet, ble arbeidet strukturert ifølge nedenstående figur (de dobbeltstrekede delene viser delprosjekt vedlikehold):



1) delprosjekt vogner

2) delprosjekt trafikksimuleringer

Figur 8.1 Arbeidsstruktur for vedlikehold

Statusbeskrivelsen av dagens drift og vedlikehold er vist under økonomisk og teknisk analyse av nåsituasjonen i kapittel 9.1, 9.2 og 10.1 samt i rapport 4.1, 4.2 og 4.6.

I disse kapittel kartlegges den nåværende situasjonen når det gjelder årsaken til, og omfanget av, vedlikeholdstiltak og reinvesteringer, samt fordeling av kostnader til dette.

Sporkrefter beregnet i delprosjekt "Vogner" og de viktigste kostnadsbærerene fra analysen av nåsituasjonen utgjør sammen med spor-type og komponentdata inngangsverdier for den spormekaniske analysen.

I den spormekaniske analysen sammenlignes den gamle og den nye vognen med tanke på sporkrefter. Fra den vogn-dynamiske analysen og sporets mekaniske egenskaper beregnes størrelsen på nominelle slitasje- og nedbrytningsmekanismer. Med dette menes de kontaktkrefter og skjærkrefter som kan anses være avgjørende for sporets nedbrytning. Resultatet vises i kapittel 9.4 og 10.2 samt rapport 4.4, 4.7 og 4.8.

Den spormekaniske analysen og de beregnede trafikkstrømmene gir inndata for å beregne den totale nedbrytningen.

Framtidig situasjon med tanke på nedbrytning og vedlikehold er en analyse av hvordan forandringene av de nominelle slitasje- og nedbrytningsparametre påvirker nedbrytningen og dermed kostnadene. Resultatet er vist i kapittel 9.5 og 10.3, og rapport 4.5 og 4.9.

En optimering av sporets konstruksjon og sporets vedlikeholds-metodikk, har som formål å studere hvordan alternative sporkonstruksjoner og vedlikeholdsmetoder kan påvirke nedbrytningen. Her kommer et arbeide å innledes gjennom fortsatt utredning ifølge kapittel 15. Dette gjelder også den framtidige situasjonen.

9 Vedlikehold i Sverige

9.1 Økonomisk analyse av nåsituasjonen

Innenfor rammen av dette delprosjektet, som framgår av rapport 4.1, er en økonomisk analyse av nåsituasjonen gjennomført. Meningen har vært å finne ut hvilke deler av baneoverbygningen som belaster kostnaden for vedlikehold og reinvestering, dvs. kostnaden for å opprettholde standard. I studien antas at bare kostnader som kan henføres til overbygningen forandres ved økt aksellast.

Forutsetningen for arbeidet har vært å finne fram samtlige kostnader for å opprettholde standard på banen, for deretter å analysere i detalj de kostnader som kan henføres til overbygningen og som er variable med hensyn til trafikken.

Prosjektet har undersøkt årsaken til "indirekte kostnader", f.eks. togforsinkelser og avsporinger.

Studien er gjennomført på samtlige banedeler på Malmbanen. Data for banedelene 112 og 114 bør brukes med en viss forsiktighet, ettersom malmtogene bare trafikkerer deler av disse banestrekningene. For banedelene 116, 118 og 119 er store baneforbedringer gjennomført i løpet av 1993 og 1994. Dette gir et noe skjevt kostnadsbilde, selv om justeringer i det årlige utfallet er gjort.

Resultatet for banedel 111 holder høyest kvalitet når det gjelder kostnadsbildet. Dette kommer framfor alt av at helsveisede skinner har vært standard på denne banedelen siden 1980.

Ikke uventet viser den gjennomførte studien at skinner og sporveksler er de komponenter i sporoverbygningen som drar de største kostnadene når standard skal opprettholdes. Kostnadene for skinner tar hele 32% og sporvekslene ytterligere 7% av den totale kostnaden for å opprettholde standard på banedelene 111, 118 og 119. Prosjektet antar at disse tre banedelene utgjør den representative grunnstammen på Malmbanen. Hvis hele Malmbanen inklusive terminalsporene i Kiruna og matebaner tas med blir fordelingen 21% for skinner og 10% for sporveksler.

Resultatene er verifisert med sammenlikninger i litteraturen, og dessuten sammenliknet mot banedelene 124 (Boden - Bastuträsk) og 126 (Bastuträsk - Vännäs).

Ifølge en gjennomgang av trafikkforstyrrelser i forhold til det totale antallet minutter togforsinkelser som følge av funksjonsfeil

på banen, representerer skinnebrudd ca 30% og feil i isolerte skjøter ca 10%.

Antallet avsporinger pga. feil på banen har i løpet av årene 1982-1995 ligget på et relativt konstant nivå i denne sammenheng.

9.2 Teknisk analyse av nåsituasjonen

Innenfor rammen av dette delprosjektet, som framgår i rapport 4.2, er en teknisk analyse av nåsituasjonen gjennomført. Studien har omfattet data fra banel 111 mellom Kiruna og Riksgränsen i løpet av tiden 1970-1995.

Den tekniske analysen av nåsituasjonen viser at skinnenenes gjennomsnittlige levetid er ca. 17 år med en belastning på ca. 390 mill. bruttotonn.

Den gjennomsnittlige levetiden varierer og en betydelig kortere levetid opptrer på visse hardt utsatte partier på banen. For disse partiene er gjennomsnittlig levetid ca. 10-12 år. Disse forhold finner vi i kurver, i stigninger og i områder der elastisiteten i underbygningen varierer. Også områder der oppbremsing og start forekommer viser redusert levetid.

De fleste skinnebytter, ca. 60%, skjer pga. synlige skader som skyldes utmattning. Ytterskinnen i kurver er mest utsatt for utmattning, mens innerskinnen oftest påvirkes av utvalsing. En mindre del av skinnebyttene, ca. 10%, henger sammen med sprekker som er oppdaget ved ultralydmåling. Disse sprekker er oftest av feiltype 211 (tverrsprekk i skinnehodet). Statistikken over hvor sprekkefinnes stemmer vel overens med de partier som har kortere levetid. Analysen har dessuten vist at flest feil forekommer mot slutten av overgangskurven sett i de lastede vognenes retning.

Fra utredningen kan følgende konklusjoner dras:

- Levealderen er kort sammenliknet med andre liknende jernbaner.
- Hjulgangen på dagens malmvogner genererer store krypkrefter som bl.a. i kurver forårsaker torsjonsslipp i kontakten hjul/skinne framfor alt ytterskinne. Problemet med å kunne korrigere hjulenes angrepsvinkel kan forklare den økende mengden sprekker på slutten av overgangskurvene. Dette fører også til allmen overflateutmattning av skinnen. Skjeve aksler (på engelsk "warping") også på rettlinje kan forklare den reduserte levealderen på disse skinnene.

- Ved oppbremsing i kurver øker skyvekraftene mer enn på rettlinje. Overføring av krefter via sentralkoppel er en trolig medvirkende årsak.
- Forskjellen i underbygningens stivhet gir ekstra dynamiske tilskudd av krefter ved togpassasjer. Dette fører siden til unormal slitasje på skinner og påvirkning på sporets beliggenhet.
- I lange kraftige stigninger i malmtransportens retning er sluresår den dominerende årsaken til slitasjen .
- Ved overflateutmattning kan det settes spørsmål ved den positive effekten av smøring.
- Skinnenenes levealder bør kunne forlenges gjennom regelmessig og riktig gjennomført sliping. Den kan ytterligere optimeres gjennom riktig kombinasjon av stålslag og smøring.
- Slitasjemønstret hos sporveksler viser at problemet skyldes dobbelflensede hjul.

9.3 Teknisk analyse

Den tekniske analysen, som vises i rapport 4.3, er basert på feltstudier gjennomført på banedelene 111, 118 og 124. Meningen har vært å bekrefte de resultat og antagelser som er gjort i rapport 4.1 samt å klarlegge eventuelle forskjeller mellom banedelene.

På banedel 111 er overflateutmattning av skinnehodet den dominerende feiltypen. Spesielt gjelder dette for ytterskinner i kurver og overgangskurver. Feilene er av typen "headchecking, shelling og spalling". "Shellingskadene" starter ofte langt ned på kjørekanten og vokser siden sirkulært utover/oppover. Stålkvalitet 1100 MPa sammen med ugunstig kontakt hjul/skinne antas å bidra til utmattningen. Visse problem forekommer med sluresår i stigninger og der togene stopper. Bølgedannelse forekommer, spesielt i tilknytning til skinneskjøter i sporveksler, i sveiser og i overgangen mellom forskjellige skinneprofiler.

På banedel 118 er sideslitasjen større enn på banedel 111. Dette kan forklares med skarpere kurver og at skinner med stålkvalitet 900A er brukt. Bølgedannelser forekommer, som på banedel 111, i tilknytning til sporveksler og innerskinner i kurver. Tyngre sviller i betong kan mistenkes å bidra til dette gjennom forsterkning av de dynamiske kreftene mellom hjul og skinne. Betong-

sviller slites også hardt når skinnene ved bølgedannelser får svillene til å vibrere i ballasten ved togpassasjer.

På banedel 124 er det vesentlig mindre skader/slitasje på skinnene enn på de øvrige. "Headchecks" forekommer i liten utstrekning og "spalling" forekommer bare marginalt.

En viss bølgedannelse forekommer også. Forskjellige strekninger med stålkvalitet 800 respektive 1100 viser at slitasjen er betydelig mindre på deler med stålkvalitet 1100.

Rapport 4.3 er en god katalog over ulike typer skader på skinner.

9.4 Spormekanisk analyse

Ved en overgang til 30 tonn aksellast planlegges investeringer i nye malmvogner, som har bedre gangdynamiske egenskaper enn dagens malmvogner.

Meningen med den gangdynamiske analysen, som framgår i rapport 4.4, er å bestemme hvordan den økte aksellasten i kombinasjon med nye vogner påvirker nedbrytningen av sporet.

Analysen skal i første rekke beskrive hvordan nedbrytningshastigheten pr. aksel- eller vognpassasje forandres for ulike skademekanismer. Dessuten beregnes risikoen for at nye skader skal kunne inntreffe. Hvordan dette siden påvirker vedlikeholdsbehovet totalt sett analyseres i rapport 4.5.

Størst vekt er lagt på skademekanismer som er dominerende ifølge rapport 4.1 og 4.2. Blant disse skademekanismer hører overflateutmattning, sideslitasje og indre tverrsprekker i skinnehodet (såkalt nyrebrudd). I forbindelse med studien har tilgjengelig litteratur, resultat fra vognsimuleringer og simulering av sporrespons med DIFF-modellen (Dynamisk Interaktion mellom Fordon og Farbana utviklet ved "Institutionen for Hållfasthetslära ved Chalmers Tekniska Högskola") blitt benyttet.

I rapport 4.4 har også betydningen av tyngre skinner blitt utredet.

Resultatet viser:

- at overflateutmattning forventes øke med ca. 50%.
- at sideslitasjen forventes være uforandret.

- at indre utmattning i skinnhodet forventes tredobles.
- at utmattning av thermitsveiser forventes øke med 43%.
- at nedbrytningshastigheten forventes øke for ulike komponenter med mellom 5 og 30%.

9.5 Sammenfatning av vedlikeholdskostnader

Sammenfatningen dreier seg om nåværende trafikk med største aksellast 25 tonn, og foreslått trafikk med største aksellast 30 tonn.

Innenfor rammen av delprosjekt vedlikehold er en økonomisk analyse gjort av hvordan kostnaden for å opprettholde standard forandres for den planlagte trafikksituasjonen sammenliknet med dagens trafikksituasjon. Dette framgår av rapport 4.5.

For å gjøre denne bedømmingen har prosjektet formulert en beregningsmodell, som beskriver hvordan hver kostnadspost forandres i den nye trafikksituasjonen. Modellen tar hensyn til hvordan laster og kjøreveiens tilstand endres.

I analysen har vi antatt at de kostnader som ikke kan relateres til trafikken, som f.eks. snørydding mm., er faste. Også kostnader for annen trafikk har vi antatt er faste. Dette betyr at bare kostnader som henger sammen med malmtrafikken er variable i analysen.

Analysen beskriver forandringer i kostnader ved den nye trafikksituasjonen sammenliknet med dagens. Dette innebærer at de absolutte kostnadene skal vurderes forsiktig.

De gjennomførte analysene viser at kostnadene for Malmbanens hovedlinjer, dvs. Kiruna-Riksgränsen og Gällivare-Luleå, øker med 6% med et laveste utfall på -4% og et høyeste utfall på +19%.

For baner som fører fram til hovedlinjene samt terminal- og stasjonsspor øker kostnaden med +/-0%, med laveste utfall på -4% og med høyeste utfall på +5%.

Sammenlagt for hele Malmbanen blir den økte kostnaden +3%, med laveste utfall på -4% og med høyeste utfall på +13%.

Tilgjengelig tid for arbeid i sporet øker med 20% på banel 111, mens det blir en marginell økning for andre baneler.

10 Vedlikehold i Norge

10.1 Teknisk og økonomisk analyse av dagens situasjon

Studien av vedlikeholdet på Ofotbanen omfatter perioden fra 1965 da 25 tonn ble innført. De fleste opplysningene er likevel hentet fra tiden etter 1980. Økonomiske data er bare fra 1994 og 1995.

Skinner, befestigelser og sporveksler er de overbygningsskomponenter som krever mest vedlikehold. 80-90% av skinnene blir byttet pga. slitasje, og det er spesielt ytterskinner i kurver som slites. 80% av Ofotbanen består av kurver. Gjennomsnittlig levealder for skinner er 7 år. I kurver med $R=300$ m er levealderen helt nede i 3 år. Utmatting av skinner og andre skinnefeil er et lite problem i forhold til slitasjen på skinnene.

En hypotese i dette arbeidet er at boggikonstruksjoner med bedre gangegenskaper og en optimalisering av skinnesmøringen vil kunne forlenge levealderen på skinnene.

Dårlig klemkraft i befestigelser leder til skinnevandring og forskyvning av svillene.

I sporvekslene er det spesielt krysset og tungepartiet som slites. Hjul med doble flenser er også et betydelig problem.

Ballastprofilen på deler av strekningen tilfredsstillende ikke dagens regelverk, samtidig som behovet for ballastrens er stort.

Den totale kostnaden for å opprettholde overbygningsskomponentene skinner, sviller, ballast og sporveksler pr. år er på ca. 15 mill. NOK. Av dette går 45-55% til skinner. Den nest største utgiftsposten er ballast med 15-25%, tett fulgt av sporveksler med 14-15% og sviller med 13-15%.

10.2 Beregninger av spenninger i jernbaneskinner

Det har vært nødvendig å vurdere virkningen av økt aksellast både på overbygning og underbygning. Skinnene utgjør en betydelig del av overbygningen, og med hjelp av Zimmermans metode har vi gjort beregning av skinnespenning for skinneprofil S49, S54 og UIC 60 med aksellast på 25 og 30 tonn. S49 brukes i de fleste sporveksler, mens S54 ligger i hovedspor.

Beregningsresultatene viser at utifra risikoen for skinnebrudd/utmattning kan skinneprofil S54 med stålkvalitet 1200 MPa (S54/1200) beholdes i hovedspor ved en økning av aksellasten til 30 tonn. Sammenlignbare tyske erfaringer som tar hensyn til levealder og økonomi, gir også samme resultat. Imidlertid forventes den tekniske levealderen å minske med ca. 10% på grunn av økte skinnespenninger som fører til utvalsing av skinnehodet.

Sporvekslene med skinneprofil S49/900 må derimot byttes ut til et større skinneprofil med høyere stålkvalitet, ettersom det ellers er fare for utmattingsbrudd ved $C=0,15 \text{ N/mm}^3$ og 30 tonns aksellast (C =ballastsifferet, beskriver stivheten i over- og underbygning).

10.3 Beregning av slitasje på skinner

Slitasje på skinner skjer både på toppen og på siden av skinnehodet, og prosjektet har gjort beregninger av hvilke konsekvenser som en økning av aksellasten fra 25 til 30 tonn får på skinneslitasjen.

Med dagens trafikksituasjon går det i gjennomsnitt 12 lastede tog pr. døgn med maks. 52 vogner mellom Kiruna og Narvik. Ved en økning av aksellasten kommer trafikksituasjonen å endres, slik at det går færre, men lengre tog, 8 tog med 68 vogner. I beregningene er det tatt hensyn til at ca. 80% av trafikkbelastningen skyldes lastede malmvogner.

Resultatene viser at levealderen for dagens skinner, S54/1200 kommer til å minske med 5% om aksellasten øker til 30 tonn, og den nye trafikksituasjonen samtidig innføres. Om stålkvaliteten hadde vært 1400, skulle levealderen forblitt den samme som idag. Beregningene viser også at UIC 60-profil ikke forlenger levealderen på Ofotbanens skinner, ettersom skinnehodet er 7% mindre enn på S54. Den viktigste faktoren for å forlenge levealderen på skinner med hensyn til slitasje er derfor stålkvaliteten, om det ikke skulle bli aktuelt med skinner som har større tverrsnitts-areal enn S54.

I sporvekslene som har S49/900B, antas levealderen til å bli redusert med 4% om dagens skinneprofil og stålkvalitet beholdes ved økt aksellast. Om et bytte skjer til S54 eller UIC 60 med 1200-kvalitet i sporveksler før 30 tonn trafikk starter, kommer levealderen å øke med 8% for S54 og 2% for UIC 60. Velges en stålkvalitet på 1400 for S54 eller UIC 60, kommer levealderen å øke med 14 resp. 7% sammenliknet med idag. Alt dette avhenger

av skinneprofilet.

10.4 Oppsummering av resultat

Etter å ha vurdert hvilke konsekvenser det får for overbygningen om aksellasten økes fra 25 til 30 tonn på Ofotbanen har vi trukket følgende konklusjoner:

- Dagens skinneprofil S54/1200 beholdes i hovedspor.
- Hey-Back-befestigelser kan beholdes, men det anbefales å øke utskiftingstakten til Pandrol-befestigelser for å minske skinnevandringen.
- Arbeidet med å forbedre isolerte skjøter bør intensiveres.
- Alle sporveksler i hovedspor som trafikkeres av lastede malmtog og som idag har skinneprofil S49/900 skal byttes ut til nye sporveksler som har et større skinneprofil og høyere stål kvalitet. Utskiftingen skal være gjennomført senest 3 år etter at 30 tonn aksellast er innført.
- Sviller av hardtre (bøk) beholdes.
- Ballasten og ballastprofilet skal ha en tykkelse på minst 30 cm fra underkant sviller. Ballastkomplettering skal være utført i løpet av den perioden høyningen av aksellasten pågår.
- Arbeidet med å optimalisere skinnesmøring bør intensiveres.

Kostnadene som berører overbygningen kommer til å bli ca. 18 mill. NOK.

11 Vogner

11.1 Påvirkning på vogner ved økt statisk aksellast til 30 tonn

11.1.1 Dagens vognpark

Dagens malmvogn er i det store og hele teknisk driftssikker. Bunnømmingssystemet fungerer bra. Dette gjelder også tilpasningen av lukene de senere årene med innføring av det rullende lastnings- og lossningssystemet. Derimot har følsomme bremsekomponenter ikke fungert tilfredsstillende vinterstid ved lave temperaturer og i kombinasjon med vannspyling ved tømming av vognene. Vognkorgen har, gjennom vibrering ved tømming, vist sprekkdannelser. Dette har til tider medført omfattende vedlikehold. Bæresystem forøvrig har ikke krevd nevneverdig vedlikehold.

I forbindelse med at dagens vogn ble introdusert på 1960-tallet, for aksellast 25 tonn, ble flere typer boggier prøvd. Etter omfattende prøver falt valget på den amerikanske "three piece" boggien av typen "Ride Control". Boggiens totale holdbarhet - med støpt utførelse - og driftssikkerhet gjorde utslaget. Fremdeles etter ca. 30 års drift har ingen tegn på utmattningssprekker kunnet konstateres.



Figur 11.1 Bilde av dagens boggi

Vognen har likevel i årenes løp vært utsatt for diverse prøver og forbedringer. Dette har ført til et bedre vedlikehold. Idag er spesielt boggiene i svært god stand tross 30 års drift. Ved en overgang til høyere aksellast, 30 tonn, blir vognenes gangdynamiske egenskaper helt avgjørende for de totale transportkostnadene. Etterfølgende punkter (ekskl. bæresystem) angir hvilke grunnleggende tiltak som anbefales nøye vurdert i anbudsprosessen.

11.1.2 Hjulgang

Når det gjelder hjulgang skal følgende krav stilles:

- Boggiene skal ha radialstyrte hjulaksler for å minimere hjul- og skinnslitasje.
- Hjulaksellager skal være utstyrt med effektive lagertettinger mot vann og skitt. Lagrene skal ikke kreve service, inspeksjon eller ettersmøring i løpet av hjulenes levealder.

11.1.3 Bremsesystem

Framtidige togvekter og tog lengder (ekskl. lok) beregnes å øke fra 5200 tonn og ca. 440 m, til 8160 tonn og ca. 700 m. For disse lengre togene er en mer hurtigvirkende brems for delaktig.

Framtidige vogner bør derfor utstyres med:

- EP-brems (Elektropneumatisk Brems) av UIC-type, dvs. ikke det noe enklere bremsesystemet som brukes i Nord-Amerika.
- Bremsesystemet skal være tilpasset til å fungere i arktisk klima, dvs. ned til -40° C. Følsomme bremsekomponenter skal være effektivt tette mot vann og skitt.

Sammenliknet med nåværende bremsesystem gir EP-styrte brems bl.a. følgende fordeler:

- Samtidig tilsetning eller utløsning av bremsene i samtlige vogner. Dette gir mindre krefter i toget og dermed mindre risiko for deling av toget.
- Kortere bremsevei.
- Toget kan kjøres i bremseinnstilling P dvs. rask tilbakefylling etter nedbremsing.

- Muligheter for å øke hastigheten på sikt.

Med elkabel gjennom toget gis mulighet til:

- Omstilling av togbremsen fra posisjon tomfast fra loket gjennom elektronisk påvirkning av førerventilen (sv. førerventilen).
- Feilindikering fra hver vogn (diagnosesystem), f. eks. for varmgang i lager.

11.1.4 Miljøhensyn

- Nye malmvogner skal ikke overskride de støynivå som gjelder for nåværende vogner i malmtog. Med nye sentralkoppel, effektiv fjæring og radialstyrte hjulaksler bør disse kravene kunne holdes.
- Markvibrasjoner fra malmtog har prosjektet ikke studert.
- Vognkorg med bunnømming skal utformes slik at malmspill (sinter og pellets) i og utenfor sporet minimeres.

11.1.5 Overvåking av malmtog

Automatisk overvåking av lok og vogner i trafikk, som bygger på moderne teknikk, bør testes og innføres.

- Gjennom f.eks. sporbasert måleutstyr som automatisk og kontinuerlig registrerer hjulinnstilling kan vogner med hjulinnstillingsfeil lokaliseres i toget, og deretter tas ut av drift for reparasjon. Risikoen, for at unormal slitasje skal rekke å oppstå på hjul og skinner, kan dermed unngås. En test med utstyr for å måle "Angel of Attack", er gjort i prosjektet med positivt resultat.
- Hjulskadedetektorer som automatisk måler krefter som påvirker skinner fra hjul med hjulskader (urundhet og materialutfall). Vel avveide grenseverdier kan gi informasjon om når vogner skal tas ut av trafikk for reparasjon. Skader på hjullager og skinner kan dermed minimeres.

Ofofbanen/Malmbanen har idag bare en hjulskadedetektor under utprøving i Luleå.

11.2 Prototypevogn for 30 tonn aksellast

11.2.1 Sammendrag av gangdynamiske simuleringer og prøver.

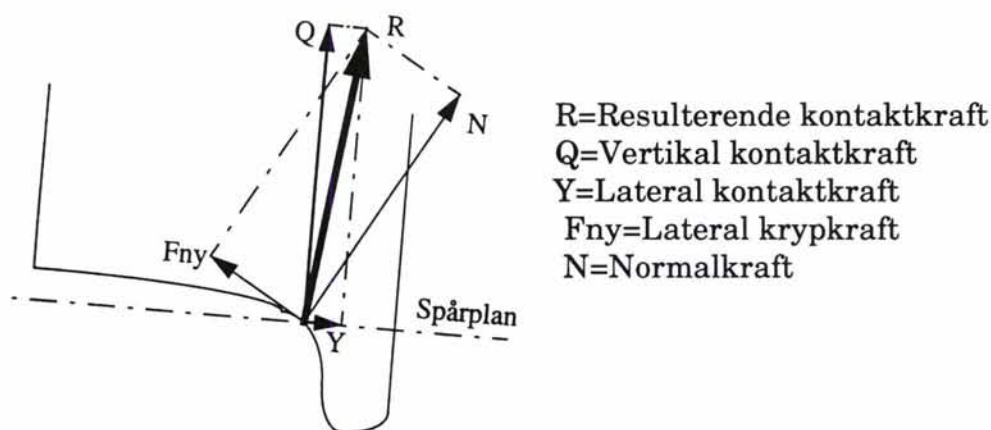
De gangdynamiske prøvene ble gjort med tre forskjellige vogner:

PV1-X var en standardboggi med krysstag.

PV2 var den radialstyrte AAR-boggien.

PV3 var referansevognen dvs. dagens vogn.

Med underlag fra delprosjekt "Vogner" vises resultatene i sammendrag og konklusjoner som gjelder ved økt statisk aksellast fra 25 tonn til 30 tonn:



Figur 11.2 Hvordan de ulike kreftene virker.

1. Målinger av vertikale hjulkrefter (Q-krefter) viser små forskjeller i dynamisk Q-kraft mellom de boggier som under forsøkene var lastet til 30 tonn aksellast.
2. Resultatene fra målingene peker delvis på en annerledes reaksjon hos samtlige boggier, enn hva som normalt måles på andre vogner og på andre strekninger enn Malmbanen.

Nivået på målte Y-krefter (horisontale hjulkrefter, parallelle med akselen) er i mange kurver høyere enn forventet. De mest sannsynlige årsakene er ekstreme variasjoner i friksjonsforholdene i kontaktpunkt hjul/skinne og store variasjoner i kontaktgeometri (f.eks. mellom ny og slitt skinne).

3. Grenseverdi for sporforskyvningskraften er ikke overskredet ved noe tidspunkt.
4. Noen overskridelser av grenseverdien for avsporingkoeffisienten ($Y/Q=0,8$) er målt. Samtlige overskridelser er relativt små, største verdi som er målt er 0,9 (en gang).

Overskridelsene har inntruffet med tomme vogner (PV1-x og PV2) flere ganger og for nåværende vogn (PV3) med last en gang.

Sannsynligvis innebærer overskridelsene ikke noe sikkerhetsproblem. For hjul med 70 graders flensvinkel (noe som gjelder for disse vognene) bør man kunne tillate $Y/Q=1,2$ som grenseverdi, men dette bør undersøkes videre i et senere prosjekt.

5. Prøvevognene (PV1-x og PV2) har en klar radialstyrende evne som gjør at laterale krefter i kurver (Y-kraften) reduseres sammenliknet med nåværende vogn (PV3).
6. Resultatene fra gangdynamikksimuleringene overensstemmer verken i nivå eller i oppførsel hos de forskjellige boggitypene, med resultatet fra sporkraftsmålingene. Årsakene til dette er ikke helt klarlagt. Det er likevel rimelig å anta at en stor del av forklaringen ligger i samme årsak som gav de overraskende resultatene fra sporkraftsmålingene ifølge punkt 2 ovenfor.

Samlet har simuleringene og sporkraftsmålingene vist at de to vognene som har en form for radialstyring gir lavere og i visse sammenhenger like store laterale sporkrefter med 30 tonn aksellast og 10 km/t høyere hastighet enn dagens vogner med 25 tonn aksellast. Konklusjonen på dette er at slitasjen som skyldes de laterale kreftene ikke øker ved en overgang til 30 tonn aksellast.

11.2.2 Ytterligere utredningsarbeid

Selv om de viktigste spørsmålene er klarlagt innenfor dette prosjektet, mener vi likevel at det har verdi for framtidig drift, med høyere aksellast på Ofotbanen/Malmbanen, at følgende utredningsarbeid utføres i et følgeprosjekt:

1. Inngående studier av konisitetproblematikken (kontaktgeometrien hjul/skinner) på forskjellige avsnitt langs Malmbanen.
2. Utredning av optimalt slitasjeforhold mellom hjul og skinner i

tilknytning til punkt 1, der hensyn tas til materiale og hardhet i såvel hjul som skinner. (I USA brukes tyngre skinner og hardere hjul, Class C mot Class B på Malmbanen.)

3. Mer inngående utredning av de høye Y/Q-verdiene.
4. Undersøkelse av friksjonsforholdene på Malmbanen, spesielt med hensyn til flens- og skinnesmøring.
5. Innbremsingens virkning på evnen til radialstyring.

For å øke kunnskapene omkring ovennevnte problemområder foreslår prosjektet at den etablerte simuleringsmodellen utvikles videre. Inndata til modellen bør komme fra framtidige feltforsøk.

11.2.3 Konklusjoner

Ny malmvogn utstyrt med radialstyrte boggier, vil etter prosjektets mening kunne oppfylle kravene ifølge forutsetningene for økt statisk aksellast fra 25 til 30 tonn på Ofotbanen/Malmbanen.

For å bekrefte vurderingene når det gjelder virkningen på sporets nedbrytning ved overgang til 30 tonn aksellast, bør prosjektet etablere et program for oppfølging når det gjelder slitasje og utmattning av skinner. For å trekke endelige konklusjoner kreves at utviklingen registreres i løpet av en lengre periode, også med nåværende trafikk.

12 ZETA-TECH

12.1 Allment ZETA-TECH

Styringsgruppen besluttet våren 1996 at en uavhengig undersøkelse av konsekvensene av økt aksellast skulle utføres.

I Nord-Amerika har man mer enn 20 års erfaring av 30 tonn aksellast. Idag er trenden å øke aksellasten ytterligere til 33 tonn, og til og med 36 tonn (metriske). Derfor ble det naturlig å samarbeide med et amerikansk firma med erfaring med utredninger omkring tung jernbanetraffikk.

Valget falt etter anbefaling av ERRI (C. Esveld) og FRA (Federal Railroad Administration og Dir. S. Ditmeyer) på det amerikanske konsulentfirmaet ZETA-TECH Associates Inc. (ZT), Cherry Hill, NJ, USA.

ZT og eieren Dr. A. Zarembski har i løpet av flere år arbeidet med jernbanetekniske spørsmål omkring høye aksellaster både i USA, Canada og Australia. De har gjennom dette arbeidet god erfaring og et meget godt renommé innenfor området.

12.2 Vurdering av vedlikeholdskostnaden for sporoverbygningen

ZT har i rapport 5.1 analysert effektene av økt aksellast med fokus på vedlikehold av spor, levetid for sporkomponenter, bruer og baneunderbygning. Metodene man har brukt for disse bedømminger bygger på erfaringer fra nordamerikanske forhold.

Økning av aksellasten fra 25 til 30 tonn har vært i fokus , men også effektene av radialstyrte vogner, minsket taravekt og økt hastighet til 60 km/t er vurdert.

Rapporten har også vurdert effekten av å endre vedlikeholdspraksis for sliping og smøring.

Framgangsmåten i rapport 5.1 bygger på en metode som er utviklet av ZT og som er brukt på flere studier i Nord-Amerika. Metoden bygger på empiriske og dokumenterte erfaringer og egenskaper hos nordamerikanske sporkomponenter hovedsaklig fra Transportation Test Center (TTC) i Pueblo, Colorado, USA.

Analysen av effektene på sporet og de viktigste komponentene blir siden uttrykt i et antall skadefaktorer som følger:

$$\text{Skadefaktorer} = F \times M \times SM \times G \times L$$

Der:

F = $(P/P_0)^n$ = skadefaktor for aksellast

M = virkning av radialstyrte vogner

SM = virkning av hastighet

G = virkning av sliping

L = virkning av smøring

P = nye aksellasten

P₀ = nåværende aksellast

n = skadeeksponent

Forskjellige skadeeksponenter og skadefaktorer er beregnet for hver faktor, sporkomponent og nedbrytningsmekanisme for sporkomponenter som følger:

Sporslitasje

Indre skinnefeil (utmattning)

Feil i skinnehodet

Skinnebrudd

Brudd i sveiser

Tresviller

Betongsviller

Bra underballast/ bra ballast

Dårlig underballast/bra ballast

Torv/bra ballast

Sporveksler

Aksellasteffekten bygger på den logaritmiske Wöhlerkurven med spenningsvidde (S) og lastsykler (N). For lineære elastiske forhold, som jernbanespor i prinsippet er, kan spenningen antas å være proporsjonell mot lasten P. Derfor settes $F = (P/P_0)^n$.

Alle faktorer bygger på relativ skade pr. akselpassasje.

For at vi skulle få et inntrykk av ZTs sikkerhet i vurderingen av forskjellige faktorer bad vi ZT om å gjøre tre vurderinger for hver faktor; angi den forventede verdien og dessuten med hvilken sikkerhet verdien var beregnet uttrykt i en minimums- og en maksimumsverdi. En ordentlig gjennomgang rundt hver verdi er også gjort, dels for å sikre kvaliteten, men også for å øke vår kunnskap.

På sidene 27 og 28 i rapport 5.1 framgår ZTs bedømte verdier.

Effekten av radialstyrte bogger og høyere aksellast, finnes angitt i kapittel III B i rapport 5.1. Simuleringene fra LTU har vi referert til, men vi anså at de ikke var tilstrekkelig troverdige til å trekke konklusjoner. Verdier fra AARs (Association of American Railroads) NUCARS er brukt for å sammenlikne med verdier fra produsenten Amsted Industries.

ZT's analyser kan sammenfattes i tabellene 12.1 og 12.2, der 12.1 viser konsekvensene for kostnadene ved en akselastøkning uten å endre dagens vedlikeholdspraksis.

Prosentuell forandring	Sverige	Norge
Minimum	-1,2%	-12,3%
Forventet	+13,2%	-1,2%
Maksimum	+37,2%	+21,4%

Tabell 12.1 Sammenfatning av ZETA-TECH's kostnadsendringer i %.

ZT har i sin studie av vedlikeholdskostnaden på Malmbanen/Ofotbanen kommet med forslag om å innføre aktiv sliping og økt bruk av smøring. Dette antar man med henvisning til nordamerikanske erfaringer kan redusere kostnadene vedrørende slitasje og utmattning.

I tabell 12.2 vises konsekvensene for kostnadene ved en aksellastøkning om man endrer vedlikeholdspraksisen i h.t. nordamerikansk standard.

Prosentuell forandring	Sverige	Norge
Forventet	+ 2,0%	-8,0%

Tabell 12.2 Sammenfatning av ZETA-TECH's kostnadsendringer med bruk av aktiv sliping og smøring i %.

ZT angir resultatet som en prosentvis forandring av den indirekte kostnaden som følge av trafikken.

BV angir forandringen av total kostnad for å opprettholde standard. For den delen som ZT har analysert, banedel 111, 118 og 119, innebærer dette at den indirekte kostnaden er ca. 35 Mkr/år, mens den totale kostnaden er ca. 83 Mkr/år (for disse banedelene). De deler som ZT har analysert utgjør ca. 80% av det totale antallet bruttokilometer på Malmbanen. På norsk side har ZT analysert hele Ofotbanen.

Om sammenlikninger skal gjøres bør forandringsfaktoren, I_{30}/I_{25} , i rapport 4.5 sammenliknes med de resultater som ZT har presentert. ZT presenterer resultatene for banedelene 111, 118 og 119 samlet, mens de detaljerte resultatene i rapport 4.5 gjelder for hver banedel for seg.

ZT's beregning av kostnader for sporjustering er noe ikke-konservativ. ZT har antatt at kostnaden for de ulike grunnforholdene fordeles etter lengden av hver type. I virkeligheten har de deler med dårligst grunnforhold de største kostnadene. Om man antar at alle kostnader for sporjustering kan henføres til de deler som har dårlige grunnforhold øker vedlikeholdskostnaden fra 13% til 19% for svensk del ved kontroll av ZT's kostnader. Totalt sett med hensyn til alle faktorer er likevel forskjellen liten.

De eksponenter som ZT angir er til en stor del hentet fra en økning av aksellasten fra 30 til 33 tonn. Dette bør være en konservativ antagelse ifølge ZT.

Som en oppsummering kan vi konstatere at ZT's vurderinger stemmer svært godt overens med de som er gjort på norsk og svensk side. Dette sannsynliggjør at våre analyser er riktige. Dessuten bør vi også kunne utnytte denne typen hjelp ved andre forsøk med økt aksellast.

I kapitel IV, rapport 5.1, analyseres bruer. ZT's vurderinger stemmer ganske godt overens med Banverkets erfaringer. Kommentaren i kapitel VI, rapport 5.1, tredje avsnittet viser med vår erfaring at disse verdiene er svært usikre.

12.3 Beregning av totale driftskostnader

En serie av studier som er utført i Nord-Amerika av bl.a. Zeta-Tech har alle indikert at det finnes et stort potensiale for

kostnadsreduksjon gjennom å øke aksellasten. I disse studiene har besparingene for operatørdelen, dvs. kostnader for lok og vogner, alltid vært større enn økningen av de banerelaterte kostnadene for å opprettholde standard.

Ettersom operatørdelen utgjør mellom 70-80 % av totalkostnaden for en jernbanelinje er det lett å innse at en besparing på ca. 30 % for en operatør (MTAB:s tilfelle) klart oppveier en kostnadsøkning på infrastrukturen på mellom 13-37 % for Malmbanen og opptil 21 % for Ofotbanen.

Tre ulike kombinasjoner av togdrift er analysert som det framgår i nedenstående tabell.

	Basis- alternativ	Alternativ høy aksellast	Alternativ lengre tog	Alt. med kortere omløpstid
Vogner pr. tog	52	68	85	68
Nettvekt pr. tog	4 160	6 800	6 800	6 800
Mill. tonn malm pr. år	22,9	22,9	22,9	22,9
Omløpstid i timer	15	15	15	12
Aksellast tonn	25	30	25	30

Tabell 12.3 *Kombinasjoner av togdrift som er analysert*

Kostnadene for en togoperatør består hovedsaklig av følgende:

1. Kapitalkostnader for lok og vogner.
2. Vedlikeholdskostnader for lok og vogner.
3. Lokførerkostnader
4. Energikostnader

Spesielle kostnader som kjørevegsavgift (banavgifter og tågledningsavgifter i Sverige) inngår ikke i sammenlikningen.

En sammenlikning mellom nordamerikanske og nordiske forhold når det gjelder innkjøps- og vedlikeholdskostnader for lok og vogner presenteres i nedenstående tabell.

Enhet	Pris (SEK)	kW	Pris/kW
EMD SD60/GP60	9 044 000	2,838	3 187
GE Dash 9-44B/C	10 000 000	3,282	3 047
EMD SD70MAC	12 920 000	2,984	4 330
Nye LKAB Lok	80 000 000	10,000	8 000

Tabell 12.4 En sammenlikning av innkjøpspris, effekt og pris / effekt for lok mellom Nord-Amerika og Norden

Det bemerkes at det kreves 3 stk. nordamerikanske diesellok for å tilsvare trekraften i et foreslått nytt elektrisk lok.

Vogntype	Pris (SEK)	Netto- tonn	Pris/ Tonn
Coal Gondola (Alum.)	429 000	108.0	3 972
Coal Gondola (Stål)	331 500	104.0	3 189
Covered Hopper Vogn	312 800	90.0	3 476
Ny LKAB enhet	750 000	100.0	7 500

Tabell 12.5 En sammenlikning av innkjøpspris, nettotonn og pris / nettotonn for vogner mellom Nord-Amerika og Norden.

Type	Kostnad pr. km (SEK)
DM3 lok	25.0
Nytt elektrisk lok	15.0
US diesel lok (typisk)	4.5
Nåværende LKAB malmvogn	0.450
Foreslått LKAB vogn	0.200
US kullvogn	0.265
US containervogn	0.082

Tabell 12.6 *En sammenlikning av kostnader pr. Km for lok og vogner mellom Nord-Amerika og Norden.*

Sammenlikningen i tabellene på forrige side viser en vesentlig prisforskjell. Denne kan i hovedsak forklares med at markedet og dermed seriene for lok og vogner er mye større i Nordamerika enn i Europa. Fri konkurranse og en enhetlig standard er andre faktorer.

Følgende resultat foreligger fra analysen:

1. I alternativet med største aksellast 30 tonn og 68 vogners tog, blir innsparingen ca. 30 % sammenliknet med dagens alternativ. Dette innebærer ca. 96 Mkr i årlig innsparing.
2. Å beholde største aksellast 25 tonn og kjøre lengre tog (85 vogner) gir bare en kostnadsinnsparing på 19%, eller omregnet 60 Mkr i årlig innsparing.
3. En økning av aksellasten er altså 50 % mer kostnadseffektivt enn å forlenge togene.
4. En økning av aksellasten innebærer færre tog hvilket gjør at banekapasitet frigjøres og tider for planlagt vedlikehold kan innføres. Verdien av disse faktorene har vi ikke kunnet verifisere og de inngår derfor ikke i kostnadsinnsparingen.
5. Ytterligere innsparinger kan oppnås om MTAB kan senke omløpstiden fra ca. 15 til 12 timer. Dette kan skje gjennom effektiviseringer på terminalene, eller økt hastighet på sporet.

Konklusjoner:

En økning av aksellasten til 30 tonn på Malmbanen/ Ofotbanen er lønnsom ifølge Zeta Tech. Videre innebærer en oppgradering til 30 tonn at kapasitet frigjøres på banen for økt trafikk og muliggjør planlagt vedlikehold i større utstrekning enn idag.

13 Studiereiser og konferanser

13.1 Pueblo, Colorado USA

Konferansen "A World of Change". 1st Annual AAR Research Review, November 6-9 1995.

AAR (Association of American Railroads) har sitt testsenter (Transportation Technology Center) i Pueblo, Colorado USA.

BV deltok med Björn Paulsson, Sam Berggren og Kent Forss. LKAB/MTAB deltok med Thomas Nordmark og Sven Forsberg.

Konferansen bestod av to deler:

Den første delen FAST/HAL Test Summaries . Denne delen dreide seg om en gjennomgang av resultatene fra FAST (Facility for Accelerated Service Testing) og HAL (Heavy Axle Load) programmet. Dette arbeidet har pågått siden 1976, for det meste på dette kjempeanlegget i Pueblo, Colorado USA.

Den andre delen, AAR Research Review , var en gjennomgang av pågående og kommende FoU.

Rapport og konferansmaterieell er distribuert til, og har blitt gjennomgått av et stort antall sporansvarlige personer innenfor BV.

Som sammenfattning kunne vi konstatere at vi har mye å lære av nordamerikanske forhold når det gjelder kostnadseffektiv tung jernbanetraffikk. Ved møtet ble også de avgjørende kontaktene med ZETA-TECH tatt.

13.2 Chicago, USA og QCM Quebec, Canada

Et studiebesøk ble gjennomført 24-29 mars 1996 innenfor vognprosjektet, ved en jernbane QCM (Quebec Cartier Mining Company i Port Cartier, Quebec) med liknende transportvolum, klima, geografi og driftsforhold som på Ofotbanen/Malmbanen, men som i lengre tid har hatt 30 tonn aksellast.

Besøk hos Amstead, som markedsfører boggien til den testede nye malmvognen, samt deres underleverandører ASF (boggikonstruksjonen), Griffin (hjulprodusenten) og TSM (bremsesystem).

Deltakelse i AREA (American Railway Engineering Association)

annual conference i Chicago. Det finnes en utførlig reiserapport som er utarbeidet i samarbeid mellom deltakerne.

13.3 Besøk ZETA-TECH, New Jersey, Amtrack, Philadelphia, Conrail, Philadelphia, samt Running Heavy Running Fast Conference, Montreal

Innenfor rammen av delprosjekt Underhåll ble en studiereise til USA og Canada gjennomført.

Poenget med reisen var å samle inn den seneste vedlikeholdsmetodikken og kunnskaper som kan ha relevanse ved oppgradering til 30 tonn. I USA og Canada er 30 tonn den dominerende aksellasten, og har vært det for godstransporter siden 70-tallet.

I USA ble konsulentfirmaet ZETA-TECH i New Jersey besøkt. Det nasjonale persontrafikkselskapet Amtrak og godstrafikkfirmaet Conrail ble også besøkt. I Montreal ble Heavy Haul-konferansen Running Heavy Running Fast og det nasjonale jernbaneselskapet i Canada, CN, besøkt. Dessuten ble malmtrafikkselskapet QNS & L QSM i Sept-Iles i østre Canada besøkt.

En utførlig rapport fra reisen finnes i rapport 4.10.

Sammenfatning av inntrykkene er at man utnytter spormaterialet mer effektivt enn hva vi gjør på Malmbanen /Ofotbanen. Dette skjer hovedsaklig ved at man i lang tid har optimert vedlikeholdet av skinner og sporveksler. Det er framfor alt gjennom å ha skinner for tung trafikk med økt hardhet, gjennom å smøre skinnene og gjennom å slipe skinnene regelmessig man har lyktes i å oppnå mer enn dobbel levetid.

13.4 Besøk ZETA-TECH, FRA (Federal Rail Association) i Washington, Conrail i Pennsylvania, W&W (Winchester & Western Railroad Company) i New Jersey og Ontario Northland Railroad, Canada.

Hovedhensikten med besøket var å gå grundig igjennom de to rapportene 5.1 og 5.2. Det er viktig å forstå hvorfra ulike faktorer kom, og med hvilken sikkerhet de var beregnet.

Etter gjennomgangen var deltakerne enige om rapportenes verdi

og status.

Besøket hos FRA var givende ettersom det ga et inntrykk av hvordan man i USA hadde innført større aksellast. Burlington Northern hadde gjort en utredning og innført større aksellast. Siden hadde de andre fulgt etter.

Man poengterte at kostnadene for sporvedlikehold forventes å øke kortsiktig når aksellasten øker. Problem med geoteknikk var ikke aktuelt. Når det gjelder bruer hadde man små kostnader ettersom bruparken var gammel og derfor overdimensjonert.

Hos Conrail ble bl.a. to arbeidslag i spor besøkt. Det ene var et arbeidslag, TIE-GANG, som byttet sviller. Det andre var et skinnebyttelag med et 10-tall enheter og ca. 50 mann. Sammenliknet med norsk, svensk og europeisk teknikk virket hele arbeidsprosessen urasjonell. Det samme gjaldt svillebyttelaget.

Det som var interessant var den kontroll over situasjonen og den informasjon som personalet hadde om sporet. Når vi stilte spørsmål om de spor vi passerte slo Conrails baneingeniør opp i en perm og på mindre enn et minutt informerte han om når sporet var lagt, slipt, hvilken belastning det hadde vært utsatt for osv.

Besøket hos shortlinefirmaet Winchester & Western Railroad Companys New Jersey Division var givende. Det viste hvilke muligheter jernbanen har. Med de tre forretningsidéene som følger nedenfor, drev man en lønnsom virksomhet.

- Lavkostinvesteringer i spor og vogner
- Aktiv markedsføring
- Ikke fagorganisert arbeidskraft (egentlig ville man ha arbeidskraft som kunne gjøre litt av hvert).

Man kjørte med gamle lok (nyinnkjøpte 50 år gamle lok fra Conrail) på gamle skinner (vi fant skinner fra 1902) til industrier i nærheten av banen. Fant det ikke jernbaneforbindelse til industrien så bygget man en.

Med dette konseptet fraktet man nesten 1 mill. bruttotonn (US) og tjente penger.

14 Sammendrag av kostnader

Kostnadene er oppdelt på fire deler:

Luleå - Gällivare, Gällivare - Kiruna, Kiruna - Riksgränsen og Riksgränsen - Narvik, og følger de økonomiske betraktningene ifølge kapittel 2.2.3.

Alle tall i dette kapitlet er i mill. SEK eller NOK.
1,0 NOK = 1,084 SEK.

14.1 Kryssingsspor

Kostnader for kryssingsspor er prioritet 2.

Luleå - Gällivare	Gällivare - Kiruna	Kiruna - Riksgränsen	Sum Sverige SEK	Bjørnfjell - Narvik NOK	Sum totalt SEK
22,7	0,0	41,7	64,4	36,3	103,8

Tabell 14.1 Sammendrag av investeringskostnader for kryssingsspor.

14.2 Bruer og geoteknikk

Prioritet	Luleå - Gällivare	Gällivare - Kiruna	Kiruna - Riksgränsen	Sum (mill. SEK)
1 - Bru	21	0	23	44
1 - Geoteknikk	48	21	60	129
Sum	69	21	83	173
2 - Bru	13,3	2,5	2,3	18,1
2 - Geoteknikk	63	44	45	152
Sum 1	76,3	46,5	47,3	170,1

Tabell 14.2 Sammendrag av investeringskostnader for bruer og geoteknikk i Sverige.

Prioritet	Bjørnfjell - Narvik(mill. NOK)	Total sum (mill. SEK)
1 - Bru	0,0	44,0
1 - Geoteknikk	10,1	139,9
Sum	10,1	183,9
2 - Bru	0,0	18,1
2 -Geoteknikk/ballast/ bredere banekropp	98,6	258,9
Sum 2	108,7	277,0

Tabell 14.3 Sammen drag av investeringskostnader
for bru og geoteknikk (Infrastruktur)

14.3 Overbygning

Kostnadsforandringen for overbygning er vist som endrede vedlikeholdskostnader i rapport 4.5 for den svenske delen og i rapport 4.9 for den norske delen. Kostnadene er beregnet som prioritet 3 med unntak for sporveksler på den norske siden i.h.t. tabellen under.

Prioritet 2	Bjørnfjell-Narvik (mill. NOK)
Sporveksler	15,7

Tabell 14.4

14.4 Strømforsyning mm.

Prioritet	Luleå- Gälli- vare	Gälli- vare - Kiruna	Kiruna - Riks- gränsen	Sum Sverige SEK	Bjørn- fjell - Narvik NOK	Sum totalt SEK
1	0,8	0,0	11,0	11,8	0,0	11,9
2	103,3	43,3	0,0	146,6	12,3	159,9

Tabell 14.5 Kostnadene for strømforsyning

Ovenstående kostnader er knyttet til et 130 kV-mateledningsystem på søndre omløp med følgende kommentarer:

MTAB er igang med å sende ut tilbudsforespørsel på nye lok. Spesifikasjonene for de nye lokene er satt slik at det er tilstrekkelig med lok som har 8,0 MW hjuleffekt, men at det står lokleverandør fritt å velge lokeffekt. Dersom man velger 8,0 MW-lok kan kostnadene under prioritet 2 for strekningen Luleå-Gällivare sannsynligvis reduseres til 3,3 mill SEK og til 0 for strekningen Gällivare-Kiruna.

Banverket er igang med å vurdere en ny type matesystem, et såkalt AT-system. Dersom vurderingen blir positiv, og dersom MTAB velger sterkere lok enn 8,0 MW kan kostnadene under prioritet 2 for strekningen Luleå-Gällivare reduseres til 102,8 mill SEK og til 43,1 for strekningen Gällivare-Kiruna.

Beregninger og kalkyler for strømforsyningen på Malmbanen finnes i HK/TK-dokument TKD 97/46.

Signal og sikring

Prioritet 2	Bjørnfjell- Narvik NOK	Totalt SEK
Signalsikkerhet	7,4	8,0

Tabell 14.6 Kostnadene for signal og sikkerhet på den norske siden

Når MTAB har anskaffet nye lok bør Banverket og Jernbaneverket gjøre en felles oppdatering av TKD97/46, rapport 3.9 og rapport 3.10. Hensikten med dette er å kontrollere at de antakelser som er gjort stemmer med virkeligheten.

15 Forslag til forandringer og følgeutredninger

15.1 Forslag til forandringer

- Benytte eksisterende kunnskap innenfor jernbaneorganisasjonene bedre.

Det er ikke mangel på kunnskap som gjør at vi ikke smører våre skinner på riktig måte. Vi svikter når det gjelder å føre ut kunnskap innenfor våre organisasjoner, og ivareta eksisterende kunnskap og teknikk på riktig måte. Dels finnes det dessverre en tradisjon innenfor gamle SJ og NSB at den som kunne noe holdt det gjerne for seg selv uten interesse for å føre det videre til andre. Skal vi klare å utnytte våre anlegg på en kostnads-effektiv måte, kreves en forandring i innstilling og at eksisterende kunnskaper utnyttes bedre.

På samme måte har det rådet mangel på teknisk kompetanse i organisasjonen for å kunne ta vare på ny kunnskap på riktig måte. Utdanningsnivået ute i organisasjonen har vært lavt sammenliknet med de tekniske kompetansekrav som virksomheten i virkeligheten krever. Dette har ført til at regler og forskrifter i den grad de har eksistert, er blitt oppfattet som vanskelige og derigjennom ofte blitt et hinder for virksomheten og ikke et hjelpemiddel for økt kostnadseffektivitet.

Forskrifter og regler har derfor dominert for mye. Man vet hvordan det fungerer, men ikke riktig hvorfor. Derfor har unntak blitt betraktet som farlige og altfor ofte har man brukt sikkerheten som argument når det egentlig er egen kompetanse som svikter. Dette kombinert med at det stilles stadig høyere krav til utnyttelsen av anleggene, har gjort at jernbaneforvaltningene har blitt betraktet som unødvendig byråkratiske.

- Benytte eksisterende kunnskap utenfor jernbaneorganisasjonene bedre.

Man bruker å si at utviklingstakten idag er så høy at kunnskapsmengden fordobles på ca. 10 år. Den banerelaterte jernbaneforskningen i Europa sammenlignet med annen forskning har stått stille de siste 20 årene. Dette gjør at vi har mye å hente fra andre bransjer der det har pågått målrettet forskning. Vi må derfor "skule" til andre områder for å snappe opp viktig kunnskap, som kan brukes av oss. Dette er spesielt viktig pga. den store teknikkbredden innenfor jernbanesektoren. Det er økonomisk umulig å dekke alle disse områdene med egne ressurser.

Likevel må man være oppmerksom på at jernbaneteknikk ofte stiller spesielle krav. Det gjelder å ha tilstrekkelig kompetanse til å forstå dette.

- ***Forskning og Utvikling innenfor områder der det trengs ny kunnskap.***

I prosjektet har vi konstatert at det finnes områder der det er mangel på kunnskap og der FoU er nødvendig. I dette kapitlet angis flere områder der det er nødvendig og økonomisk fordelaktig å øke vår kunnskap for å klare de nye og høyere kravene.

15.2 Slipe, smøre og herde

En forstudie er innledet ettersom dette er et område vi gjennom utredningen har innsett betydningen av. I USA har man vist at levetiden for spor er nesten tre ganger så lang som i Norge og Sverige. Både rapportene om vedlikehold og ZT-rapportene viser at det er klart lønnsomt å slipe, smøre og herde.

En ordentlig studie av erfaringene fra USA bør innledes. Den type skader som vi har i Sverige og Norge kan reduseres gjennom å slipe, smøre og herde bedre enn det vi gjør idag.

15.3 Sammenhengen mellom hjul og skinner

Dette området inngår i den forstudie som foregikk i prosjektet. Sammenhengen mellom krefter i hjul og skinner må gjennomgås. I både delprosjektet "Vogner" og "Vedlikehold" er det konstatert at effekten av radialstyrte boggier har stor virkning på vedlikeholdet av sporet.

Den oppdeling som har vært hos begge jernbaneforvaltningene har ført til at man hver for seg har eksperimentert med sporet og dets komponenter, samtidig som man på vognsiden har drevet en egen utviklingslinje. Skal vi klare en framtidig situasjon med fornuftige kostnader for spor- og vognvedlikehold, kreves samarbeid og forståelse for sammenhengen mellom hjul og skinner.

15.4 Sporkomponenter for høye aksellaster og kaldt klima

Når det gjelder skinner viser utredningen at de skinnetyper som vi i Europa bruker ikke er optimale for tung trafikk i kaldt klima. Skinnehodet er for lite til at man kan ha nok å slite på. En vedlikeholdsstrategi der det inngår regelmessig sliping, krever at det finnes et kraftig skinnehode. Trolig kreves også et herdet hode. Dette spørsmålet må utredes. I første rekke bør et utprøvd amerikansk konsept testes. Vi har jo konstatert at det fungerer og at skinnene produseres i stort omfang.

Sporveksler er et område som bør vurderes. De veksler som brukes er standardveksler for blandet trafikk med 22,5 tonn aksellast. Også her har vi en del å lære fra USA og Canada. Flere veksler-leverandører tror at sporveksler med bevegelig kryss, er en bra løsning for tung trafikk. Samtidig vet vi at det ikke er problemfritt med bevegelig spiss og det kalde klimaet som finnes på Malmbanen og Ofotbanen.

Isolerte skjøter er også et område som må undersøkes.

Det råder delte meninger om man bare skal satse på tresviller eller om betongsviller med riktig mellomlegg kan utgjøre et bra, eller til og med et bedre, alternativ. Her kreves det FoU for å klargjøre spørsmålet. Idag drives FoU i spørsmålet på Chalmers innenfor CHAR-MEC i Göteborg. Det finnes også erfaringer fra både USA/Canada og Australia som tyder på at betongsviller er et bra alternativ både teknisk og kostnadmessig.

Sveiser er diskutert innenfor prosjektet. Spesielt thermitsveis er nøye studert. Vi har konstatert at det idag finnes kunnskap innen området som det gjelder å fortsette og føre ut.

15.5 Stikkrenner

En studie omkring stikkrenner er innledet i Sverige. Studien er delt inn i fire delstudier.

1. Utvikle beregningsmodell for stikkrenner for både nybygging og reparasjoner.
2. Foreslå visitasjonsanvisninger for stikkrenner.
3. Undersøke eksisterende stikkrenner for å dra lærdom av vellykkede og mindre vellykkede løsninger som er utført.
4. Utvikle egnede produksjonsmetoder for reparasjon av stikkrenner.

Ettersom problem med stikkrenner er omfattende i både Norge og Sverige bør utviklingsarbeidet samordnes.

Undersøkelser av eksisterende konstruksjoner er kostnadmessig krevende, men systematisk utredningsarbeid på norsk og svensk side vil føre til utveksling av kunnskap og erfaringer.

15.6 Betongbruer

En forstudie er innledet på LTU. Forstudien kommer til å behandle følgende.

1. Lastkapasitet

Utvikle mer nyanserte beregningsmodeller for:

- Skjærkraftkapasitet i eksisterende betongkonstruksjoner
- Trykkfeltsteori og bruddmekanikk, framfor alt ikke-lineære modeller.

2. Utmattningskapasitet

Utvikle en mer realistisk beregningsmodell enn den som finnes i dagens regelverk:

- Modell basert på deformasjoner og tøyninger
- Bruk av Palmgren-Miners delskadehypotese for betongkonstruksjoner.

3. Levetid

Utvikle en modell for beregning av levetid ved ulike påvirkningsnivåer:

- Kopling til forskjellige eksisterende modeller for lastkapasitet og utmattingsstyrke.
- Heft mellom betong og armering. Behov for overdekning. Nedbrytning på grunn av last, frost og korrosjon.

4. Reparasjons- og forsterkningstiltak

- Utrede ulike metoder på markedet med tanke på beregningsmodeller og motstandsstyrke.
- Pålimte element (stål)
- Ettermontert forspenning

I arbeidet foreslås å etablere kontakter med NTNU Trondheim og KTH i Stockholm for å utnytte pågående FoU innenfor området. NTNU har erfaringer fra dynamisk belastede betongkonstruksjoner. KTH har erfaringer fra miljøets nedbrytning av betongkonstruksjoner. Innen UIC deltar BV med de forsøk som er gjort på LTU. Gjennom dette kan UIC bidra med ressurser mot å få del av den kunnskap som har kommet fram.

15.7 Ballastnedbrytning

En forstudie vil bli igangsatt i samarbeid mellom Banverket og CTH, innenfor rammen av EU-prosjektet EUROBALT II. Ettersom EU-prosjektet ikke er offentlig informasjon og resultater kun tilfalle aktive medlemmer.

Banverket er innstilt på å informere åpent om resultatene om et følgeprosjekt blir igangsatt.

15.8 Tillatte hjulkrefter

I løpet av arbeidet med 30 tonn ble ZETA-TECH bedt om å gjøre en statusrapport innenfor området. Utredningen ble bekostet av Banverket og Jernbaneverket. Denne utredningen viser at det idag pågår FoU innenfor området som kan være til nytte for det fortsatte arbeidet.

16 Visjon om framtiden

16.1 Påvirkningsfaktorer

De viktigste faktorene for å øke jernbanens konkurransevne er:

- Økt aksellast
- Høyere hastigheter
- Lengre tog
- Redusert strømforbruk
- Redusert taravekt

Samtlige av disse faktorene er studert i denne utredningen.

Dette gjør at vi som har arbeidet med dette prosjektet har konstatert at godstrafikk på jernbane har et stort utviklingspotensiale.

De fem faktorene ovenfor kan hver for seg bidra til å forbedre jernbanens konkurransevne, gjennom å gi større kapasitet.

I dette prosjektet har følgende blitt vurdert:

- Økt aksellasten fra 25 til 30 tonn, dvs. **en økning med 20%**.
- Økning av hastigheten fra 50 til 60 km/t (på svensk side), dvs. **en økning med 20%**.
- Lengden på togene uten lok har økt fra 470 m til 700 m, dvs. **en økning med 49%**.
- Redusert strømforbruk pr. fraktet tonn fra ca. 2,20 til 1,75 kr, dvs. **en reduksjon pr. fraktet tonn med 15%**.
- Lasteevnen på malmvognene har økt ved en uforandret taravekt, dvs. **en økning med 25%**.
- Antallet lok er **reduisert med 50%** og antallet vogner er **reduisert med ca. 35%**.

Ovenstående sammendrag viser klart noen av de muligheter som finnes.

16.2 Utviklingen i Nord-Amerika

Why do the Europeans invest in unprofitable passenger traffic and leave the profitable freight traffic out?

Dette var et spørsmål vi fikk fra sjefen i et amerikansk shortline-selskap ved vårt besøk hos dem i november 1996. Det er unektelig en tankevekker. Selvsagt kan man alltid si at forholdene ikke er sammenlignbare mellom Nord-Amerika og våre land, og at våre forhold er unike. Selvsagt er hvert land unikt og selvsagt kan det ikke gjøres direkte sammenlikninger, men i Europa har vi mye å lære av Nord-Amerika når det gjelder tung godstrafikk.

I Nord-Amerika er godstrafikk på jernbane lønnsom sett i et bedriftsøkonomisk perspektiv.

Nedenstående figur viser utviklingen av den effektive lastekapasiteten for godsvogner i Nord-Amerika. Idag snakker man ikke om 30 tonn aksellast, men istedet 39 US tons, hvilket betyr nesten 36 metriske tonn.

AVERAGE FREIGHT CAR CAPACITY

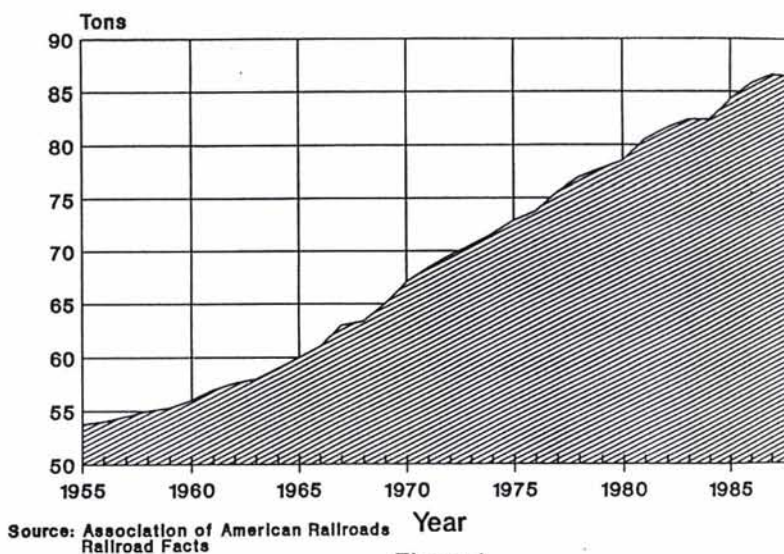


Figure 1

Figur fra rapport 5.2

Ved de baner av type QCM der man eier både bane og tog, var både bane og vogner av god kvalitet når det gjelder hjul og skinner. Når det gjelder Conrail kunne vi konstatere at skinnetilstanden var god mens vognene hadde mange tydelig hørbare hjulslag. På spørsmål om årsaken fortalte man at det var kraften og ikke lyden som hadde betydning. Derfor hadde man utstyr for å måle hjulkrefter og grenseverdier for tillatte krefter med tanke på direkte stopp eller stopp ved neste naturlige stoppested. Man hadde med andre ord kontroll over situasjonen i begge tilfeller.

Skal vi klare en oppgradering til høye aksellaster må eierne av infrastrukturen kunne stille krav som er realistiske, kontrollerbare og aksepterte. Sannsynligvis når vi enda lengre om vi sammen med transportøren f.eks. LKAB/MTAB/MTAS utvikler felles vedlikeholdsstrategi for både vogner og spor.

Vi vet dessuten at kostnadene for vedlikehold på baner med blandet tung godstrafikk og persontrafikk med høye hastigheter, er høye sammenliknet med rene godsbaner eller rene høyhastighetsbaner.

16.3 Mål for fremtiden

Målet for fremtiden er at Banverket og Jernbaneverket på Ofotbanen/Malmbanen kan tilby en infrastruktur som gir MTAB/MTAS og andre trafikkutøvere kostnadseffektive jernbanetransporter.

Dette prosjektet er et viktig steg mot dette målet.

Jernbaneverket
Biblioteket

04.03.1998