

30 TONN på Ofofbanen



Rapport 4.9

DRIFT OG VEDLIKEHOLD

Overbygning
Sammenstilling av resultater



Jernbaneverket

Jernbaneverket
Biblioteket

desember 1996

Innholdsfortegnelse

Innholdsfortegnelse	1
Forord	3
Sammendrag	4
1 Innledning	6
1.1 Mål	6
1.2 Forutsetninger	6
1.3 Arbeidsmetode	7
1.4 Avgrensninger	8
2 Nåværende situasjon	9
2.1 Trafikkbelastning	9
2.2 Overbygningen	9
2.3 Hastigheter	9
2.4 Drifts- og vedlikeholdskostnader	9
3 Vurdering av de enkelte overbygningskomponenter	11
3.1 Skinner	11
3.1.1 Skinnespenninger	11
3.1.2 Skinneslitasje	14
3.1.3 Skinneskjøter	16
3.1.4 Konklusjon	17
3.2 Skinnebefestigelse	18
3.2.1 Konklusjon	19
3.3 Sporveksler	19
3.3.1 Konklusjon	20
3.3.2 Kostnader	20
3.4 Sviller	20
3.4.1 Konklusjon	21
3.5 Ballast	21
3.5.1 Konklusjon	23
3.5.2 Kostnader	23
4 Sporvedlikehold	24
4.1 Skinneskifting	24
4.1.1 Utmatting og slitasje	24
4.1.2 Sporveksler	25
4.2 Skinnesliping	25
4.3 Skinnesmøring	25
4.4 Påleggsveising	26
4.4.1 Skinner	26
4.4.2 Sporveksler	26
4.5 Skinneskjøter	27
4.6 Vedlikehold av sviller	27
4.6.1 Svillebyutting	27
4.6.2 Svilleregulering	27

4.7	Ballastrensing	27
4.8	Sporjustering	29
4.9	Kostnader	29
	4.9.1 Endring i drifts- og vedlikeholdskostnader	29
	4.9.2 Vedlikeholdskostnader utfra teorier hos ORE	30
	30
5	Konklusjoner	32
	5.1 Kostnader	32
6	Litteraturliste	34

Forord

I prosjektet "30 tonn på Ofotbanen" inneholder rapporten "Sammenstilling av resultater" de endelige konklusjonene når det gjelder teknisk spørsmål rundt overbygningen og drift- og vedlikehold av den. I oppstartingsfasen av prosjektet sommeren 1995, ble tre personer tatt ut til å være med i gruppen som skulle arbeide med overbygningstekniske spørsmål på den norske delen av banen mellom Narvik og Kiruna:

Martin Fagerjord, Jernbaneverket, Region Nord, Narvik
Alf Helge Løhren, Jernbaneverket, Region Nord, Trondheim
Kjell Arne Skoglund, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

Alf Helge Løhren ble satt som leder for gruppen.

Martin Fagerjord døde i januar 1996, og Kjell Enoksen ble derfor i perioder våren 1996 koblet inn i prosjektet. Han var nyutdannet sivilingeniør fra NTH i 1995 og hadde studert konsekvensene av en aksellastøkning fra 22,5 til 25 tonn gjennom hovedoppgaven sin.

Ellers har Johnny Stenbakk, Jernbaneverket, Region Nord, Narvik og selvsagt områdesjef på Ofotbanen Torfinn Hansen og hans stab, vært viktige ressurspersoner i forbindelse med utarbeidelse av denne rapporten.

Under arbeidet har det også vært nær kontakt med Banverket i Sverige; både ved hovedkontoret i Borlänge og ved regionkontoret i Luleå.

Sammendrag

LKAB ønsker at aksellasten på Ofotbanen skal heves fra 25 til 30 tonn. Linjelasten og de dynamiske vertikale og laterale kreftene skal ikke øke ved hjelp av nye, forbedrede boggier på malmvognene.

Prosjektet "30 tonn på Ofotbanen" er splittet opp i flere delprosjekt, blant annet "Drift og vedlikehold - overbygning". Denne rapporten er en sammenstilling av undersøkelser, beregninger, resultater og vurderinger som er gjort i forbindelse med dette delprosjektet. Det meste av underlaget for rapporten finnes i rapport 4.6 "Teknisk og økonomisk analyse av nåværende situasjon", rapport 4.7 "Beregning av skinnespenninger" og rapport 4.8 "Beregning av skinneslitasje".

Konklusjoner:

Etter å ha vurdert hvilke konsekvenser det kan få for overbygningen hvis aksellasten heves fra 25 til 30 tonn på Ofotbanen, er man kommet frem til følgende konklusjoner:

- S54/1.200 beholdes som skinneprofil i togspor.
- Hey-Back skinnebefestigelse kan beholdes, men det anbefales å øke utskiftingstakten til Pandrol-befestigelse for å redusere skinnevandringen
- arbeidet med å forbedre isolerte skjøter bør intensiveres.
- alle sporveksler i hovedspor som trafikkeres av lastede malmtog og som i dag bare har skinneprofil S49/900, må skiftes ut med nye sporveksler som har større skinneprofil og høyere stålqualität. Utskiftingen skal være gjennomført senest 3 år etter at 30 tonn aksellast er innført.

Sporvekslene skal ha mangan skinnekryss. Det vil være behov for 19 rette veksler (1:12, R = 500) og 3 kryssveksler.

- svilledekket opprettholdes med hardtresviller (bøk)
- ballasten og ballastprofilen beholdes som i dag. På de partiene av banen hvor avstanden fra underkant sville til formasjonsplanet er mindre enn 30 cm, må rett profil opparbeides. Profilutvidelsen skal være gjennomført i løpet av den 6 års perioden som 30 tonn aksellast er tenkt innført.
- behovet for ballastrensing er stort, og frekvensen må økes, så hele banen blir rensket minst hvert 8. - 10. år.
- arbeidet med å optimalisere skinnesmøringen må intensiveres.

1 Innledning

Luossavaara - Kirunavaara AB (LKAB) ønsker at aksellasten på Ofotbanen kan heves fra 25 til 30 tonn for å få redusert transportkostnadene. Prosjektet "30 tonn på Ofotbanen" er satt i gang for å utrede dette spørsmålet og utføres i fellesskap mellom Jernbaneverket, Banverket (BV) og LKAB i Sverige. En endelig rapport om "30 tonn på Ofotbanen" skal legges frem i oktober 1996.

Delprosjektet "Drift og vedlikehold - overbygning" har spesielt tatt for seg overbygningstekniske problemstillinger ved en økning av aksellasten til 30 tonn. I tillegg er det sett på rene drifts- og vedlikeholdsspørsmål knyttet til overbygningen. Kostnadsvurderinger inngår også i disse arbeidene.

1.1 Mål

Målet med delprosjektet "Drift og vedlikehold - overbygning" er å utrede konsekvensene for drift og vedlikehold av overbygningen på Ofotbanen ved en aksellastøkning fra 25 til 30 tonn. Dette innebærer å vurdere hvilke overbygningstiltak som må settes iverk for å kunne starte trafikk med økt aksellast i ønsket omfang og tiltak for å kunne opprettholde denne trafikken på lengere sikt.

1.2 Forutsetninger

Følgende forutsetninger er satt opp for prosjektet "30 tonn på Ofotbanen":

1. Økning av statisk aksellast fra 25 til 30 tonn.
2. Statisk linjelast ≤ 12 tonn/m dvs. at dagens tillatte linjelast ikke skal overskrides.
3. Maksimal metervekt over 2 nærliggende boggier begrenses ifølge normene for jernbanebruer. Det innebærer en minimums lengde over nærliggende boggiers ytre hjulsentrum på 4,8 m. (Tilsvarende mål for prototypvognen er 4,98 m.)
4. Vedtatte sikkerhetskriterier angående sporforskyvning (Prud'homme: $S_{2m} < 0,85(10+P/3)$) og flensklatrering (kvasistatisk sikkerhetskoeffisient: $Y/Q < 0,8$) skal oppfylles.
5. Nedbrytningshastigheten av banens komponenter forventes å øke. I utredningen bedømmes de tekniske og økonomiske konsekvensene av dette som skal stilles i relasjon til operatørens gevinster ved tilpasning av økt aksellast.
6. De negative konsekvensene av 30 tonn aksellast skal

minimaliseres gjennom at den nye vognkonstruksjonen baseres på best mulig tilgjengelig teknikk hva angår dens innvirkning på sporets nedbrytning. Dette gjelder fremfor alt de faktorer som påvirker sideslitasje i kurver og tilfeller av utmatting i skinnhodets overflate. De dynamiske tilskuddene i vertikal retning bør ikke øke i større grad enn de statiske dvs. mer enn 20%. Laterale, kvasistatiske og dynamiske krefter forutsettes ikke å øke nevneverdig i forhold til nåværende vogner med 25-tonn aksellast.

7. Det skal tas hensyn til mulighetene for endrede vedlikeholdsmetoder som minimaliserer nedbrytningshastigheten, både når det gjelder spor- og vognvedlikehold.
8. Det skal tas hensyn til muligheten for optimering av banens geometri med tanke på overhøyden.

På norsk side gjelder dessuten at de største tillatte hastighetene i dag (lastede malmtog 50 km/h, tomme malmtog 60 km/h), skal opprettholdes.

1.3 Arbeidsmetode

Delprosjektet "Drift og vedlikehold - overbygning" ble startet opp med å fremskaffe en oversikt over forholdene på Ofotbanen når det gjelder overbygningen dvs. en situasjonsbeskrivelse av overbygningen på dagens bane. Rapport 4.6 "Teknisk og økonomisk analyse av nåværende situasjon" viser resultatet av disse studiene. Arbeidene fikk også frem de svake "leddene" i Ofotbanens overbygning.

Deretter har det blitt foretatt skinnespenningsberegninger ved hjelp av Zimmermanns metode [1] og vurderinger av skinneslitasje [2] som presenteres i henholdsvis rapport 4.7 og 4.8.

Parallelt med utredningsarbeidet er det foretatt litteraturstudier rundt temaet høye aksellaster (aksellaster ≥ 25 tonn). Det har særlig dreiet seg om artikler i bøker og ulike tidsskrifter hvor teoretiske beregninger og betraktninger rundt tungt belastede spor, ble beskrevet. I tillegg er det søkt etter erfaringer fra jernbaneselskap som kjører med høye aksellaster på linjene sine.

I oktober 1995 og juni 1996 har det vært gjennomført studieturer til USA og Canada med besøk hos University of Illinois, Transportation Technology Center (TTC) utenfor Pueblo, Colorado, jernbaneselskapene Burlington Northern and Santa Fe Railroad i Fort Worth, Texas, AMTRAK og Conrail i Philadelphia, Pennsylvania, Canadian National, Montreal, Chemin de fer Quebec North Shore & Labrador i Sept-Îles,

Chemin de fer Quebec og Cartier nær Port Cartier, Quebec og Association of American Railroads (AAR) og Federal Railroad Administration (FRA) i Washington. Arbeidsgruppen var også representert på konferansen som International Heavy Haul Association arrangerte i Montreal 9. - 12. juni 1996. Temaet for konferansen var "Boggikonstruksjoner på godsvogner".

Til slutt, men ikke minst viktig, har intervjuer og samtaler med Ofotbanens personale både i administrasjonen og ute på linjen vært for arbeidet med denne utredningen.

1.4 Avgrensninger

Trafikkforstyrrelser skulle også vært undersøkt med tanke på om overbygningskomponenter som eventuelt bare bidrar med en liten del av vedlikeholdskostnadene, kanskje fører til store sekundære kostnader f.eks. togforsinkelser og avsporinger. Dette er utelatt på grunn av tidspress.

Slitasjeratene som ble benyttet i skinneslitasjebergningene, bygger på målinger utført på Ofotbanen under nåværende trafikkbelastning og med dagens malmvogner. Erfaringstall for skinneslitasje fra andre baner som kan sammenliknes med Ofotbanen, er ikke funnet.

2 Nåværende situasjon

2.1 Trafikkbelastning

25 tonn aksellast ble innført på Ofotbanen rundt 1965. Den årlige trafikkmengden ligger et sted mellom 20 og 25 millioner brutto tonn (MBT) pr.år (gjennomsnittelig 23 MBT). For transporten av malm fra Kiruna til Narvik er det dagens vogntype som har vært den dominerende gjennom disse 30 årene.

2.2 Overbygningen

Strekningen fra Narvik stasjon til Riksgrensen er på 38 km og har 4 stasjoner; Straumsnes, Rombak, Katterat og Bjørnfjell.

Erfaringene viser at det er tre komponenter i overbygningen som skaper de største problemene og krever mest ressurser:

- skinner (først og fremst med tanke på skinnerlitasje)
- skinnefester (skinnevandring)
- sporveksler

Sporet er helsveist og har følgende data:

- skinner S54
- stålkvalitet 1.200 (både normalherdet og hodeherdet)
- befestigelse Hey-Back / Pandrol "e1877" (4.000 sviller)
- sviller bøk med c/c 520 mm
- ballast puk 25/50, varierende tykkelse under sville
- sporveksler 1:9 R = 300 m og 1:12 R = 500 m, S49 (1 veksler S54), stålkvalitet 900B, mangan skinnekryss

2.3 Hastigheter

Hastigheten for lastede malmtog er 50 km/h og tomme malmtog 60 km/h. Andre godstog med maksimal aksellast 22,5 tonn kan fremføres med 70 km/h og persontog 90 km/h. Største tillatte hastighet skal ikke endres ved en økning av aksellasten til 30 tonn. I dag er den teoretisk manglende overhøyden $I = 0$ mm ved 50 km/h, det vil si at togene kjører med likevektshastighet, og den skal beholdes. Over stasjonsområdene er likevektshastigheten 35 - 40 km/h.

2.4 Drifts- og vedlikeholdskostnader

Skinnene tar ca. 50% av de årlige kostnadene som går med til drift og vedlikehold av overbygningen. Stor skinnerlitasje er hovedårsaken til det. De resterende 50% fordeler seg forholdsvis jevnt på sporveksler, sviller og ballast. På sporvekslene utføres reparasjoner og utskifting av deler, mens svilleposten

hovedsakelig har dekket bytte av furusviller med bøkesviller. I de seneste årene har det også blitt skiftet bøkesviller, fordi skinnebefestigelsen fornyes. Ballastkostnadene kommer fra ballastsupplering og ballastrensing.

3 Vurdering av de enkelte overbygningskomponenter

I det følgende blir hver overbygningskomponent (skinner, skinnefester, sporveksler, sviller, ballast) vurdert. Rapport 4.6, 4.7 og 4.8 er viktige grunnlag for konklusjonene i denne rapporten.

3.1 Skinner

Skinnene er vurdert spesielt med tanke på skinnespenninger og skinneslitasje ved en aksellastøkning fra 25 til 30 tonn. Aktuelle skinneprofil å se nærmere på var S49/900-kvalitet (sporveksler), S54/1.200- og 1.400-kvalitet (togspor) og UIC60/1.200- evt. 1.400-kvalitet (fremtidig skinneprofil?).

3.1.1 Skinnespenninger

Skinnespenningsberegningene finnes i rapport 4.7.

Zimmermanns metode ble benyttet i beregningene. Skinneprofilene S49, S54 og UIC60 med aksellaster 25 og 30 tonn og varierende ballastsiffer C er kontrollert for både bøyesspenninger og utmattingsspenninger. Ballastsifferet har hatt følgende verdier: 0,30 N/mm³ (svært hardt underlag - fjellskjæringer, steinfyllinger), 0,20 N/mm³ (middels hardt underlag - morenemasser) og 0,15 N/mm³ (mykt underlag - siltholdig jord o.l.).

Det er laget tabeller for skinnespenninger i hode og fot ved ulike kombinasjoner av horisontale og vertikale krefter (Y/Q-forhold). Disse tabellene skal benyttes når sporkraftmålinger for forskjellige boggikonstruksjoner foreligger.

S49/900-kvalitet:

Uansett ballastsiffer vil det ikke være fare for overskridelse av grensen for bøyesspenninger i senter skinnefot. Den samlede spenningen $\sigma_{\text{FOT UK. SAMLET}}$ er i alle tilfellene mindre enn flyt spenningen $\sigma_{\text{FLYT}} = 580 \text{ N/mm}^2$. Derimot er det fare for utmatting ved $C = 0,15 \text{ N/mm}^3$ og aksellast 30 tonn. Ved bruk av Smiths anskuelsesbilde for skinne-kvalitet 900, avleses den tillatte trafikkspenningen σ_{TILLATT} til 260 N/mm^2 . Denne verdien er avhengig av ytreforhold i sporet som kurvatur, skinnesmøring, rifler/bølger o.l. På Ofotbanen reduseres den tillatte trafikkspenningen med en faktor på 1,4 (små kurveradier og begrenset skinnesmøring) som gir 185 N/mm^2 . Beregnet trafikkspenning er $194,9 \text{ N/mm}^2$.

Erfaringer fra Tyskland [6] tilsier at hvis levetid og økonomi for skinner vurderes totalt sett, bør ikke de beregnede kvasistatiske og dynamiske spenningene overstige henholdsvis 7 - 9% og 11 -

15% av spenningspotensialet i en skinne ved brudd. Disse tallene gjelder for høyhastighetsbaner og må modifiseres for bruk på Ofotbanen. Etter justering fås at den kvasistatiske beregningsspenningen ikke bør overstige 10% og den dynamiske spenningen 16% av spenningspotensialet av bruddspenningen (jfr. rapport 4.7, punkt 2.1.8). For S49 overskrides grensene ved alle størrelser av ballastsifferet bortsett fra ved $C = 0,30 \text{ N/mm}^3$ og 25 tonn aksellast. I figur 3.1.1.i vises de kvasistatiske og dynamiske trafikkspenningene $\sigma_{\text{FOT UK}}$ for 25 og 30 tonn og for de tre ballastsifrene. Anbefalte grenseverdier er også tatt med. Skraverte ruter betyr at verdiene overskrider anbefalte grenser.

	KVASISTATISK		DYNAMISK	
	25 TONN Anbefalt: $\sigma_{\text{FOT UK}} \leq$ 88,0 N/mm ²	30 TONN Anbefalt: $\sigma_{\text{FOT UK}} \leq$ 88,0 N/mm ²	25 TONN Anbefalt: $\sigma_{\text{FOT UK}} \leq$ 140,8 N/mm ²	30 TONN Anbefalt: $\sigma_{\text{FOT UK}} \leq$ 140,8 N/mm ²
$\sigma_{\text{FOT UK}} \text{ [N/mm}^2\text{]}$ (C=0,30 N/mm ³)	85,4	102,4	136,6	163,8
$\sigma_{\text{FOT UK}} \text{ [N/mm}^2\text{]}$ (C=0,20 N/mm ³)	94,5	113,4	150,2	181,4
$\sigma_{\text{FOT UK}} \text{ [N/mm}^2\text{]}$ (C=0,15 N/mm ³)	101,5	121,8	162,4	194,9

Figur 3.1.1.i Beregnede kvasistatiske og dynamiske spenninger i skinnefot $\sigma_{\text{FOT UK}} \text{ [N/mm}^2\text{]}$ for S49/900.

Kontrollberegningene med tanke på utvalsing i skinnehodet viser at det vil være fare for utvalsing ved 30 tonn aksellast og en hjuldiameter på 980 mm. Opptredende skjærspenning i skinnehodet vil da ligge høyere enn den tillatte skjærspenningen.

Levetiden for skinnene forventes også å bli redusert med 10% ved en aksellastøkning, fordi skjærspenningene som fører til utvalsing stiger med 10%. I dagens situasjon med 25 tonn er det også muligheter for utvalsing av skinnehodet, fordi opptredende skjærspenning ligger tett oppunder den tillatte skjærspenningen.

Kontroll av minste tillatte hjuldiameter på vognene sier tilnærmevis det samme som ovenfor, at 980 mm er for lite med tanke på overskridelser av bruddspenningen i kontaktpunktet hjul/skinne. For 25 tonn burde diameteren vært minst 1.200 mm og for 30 tonn minst 1.440 mm. Utgangspunktet for beregningene er skinner uten skinnesmøring. Disse resultatene verifiseres av erfaringene med utvalsing- og vedlikeholdsproblemene som er i sporvekslene i dag. For små hjuldiameterer kan også være en medvirkende årsak til "head-

checking" som oppstår både på S49 og S54.

Når det gjelder kombinasjon av horisontale og vertikale krefter Y/Q, viser beregningene at bruddspenningen i S49 (900-kvalitet) vil overskrides ved en aksellast på 30 tonn og et Y/Q-forhold på 1,2. Dette skjer for alle tre ballastsifrene som er brukt i beregningene og oppstår på skinnhodets ytterside. Den kvasistatiske sikkerhetskvotienten $Y/Q \leq 0,8$.

S54/1.200- og 1.400-kvalitet:

For S54 er det heller ingen fare for brudd med tanke på bøyepenninger i senter skinnfot.

Dessverre finnes ikke Smiths anskuellesbilde for skinnkvalitet 1.200/1.400, men med støtte i diagrammet for 900-kvalitet, antar man at den tillatte trafikkspenningen ligger 20 - 30% høyere for 1.200- enn 900-kvalitet (310 - 340 N/mm²). Beregningene i rapport 4.7 viser at uansett ballastsiffer, er sannsynligheten for utmatting av S54 ikke særlig stor verken for 25 eller 30 tonn. For 1.400-kvalitet blir situasjonen enda gunstigere.

De justerte, tyske erfaringstallene for grenseverdiene til kvasistatiske og dynamiske spenninger [6], overskrides aldri for S54 verken ved 25 eller 30 tonn aksellast. I figur 3.1.1.ii. vises de kvasistatiske og dynamiske trafikkspenningene $\sigma_{FOT UK}$. Anbefalte grenseverdier er også tatt med.

	KVASISTATISK		DYNAMISK	
	25 TONN Anbefalt: $\sigma_{FOT UK} \leq$ 118,0 N/mm ²	30 TONN Anbefalt: $\sigma_{FOT UK} \leq$ 118,0 N/mm ²	25 TONN Anbefalt: $\sigma_{FOT UK} \leq$ 188,8 N/mm ²	30 TONN Anbefalt: $\sigma_{FOT UK} \leq$ 188,8 N/mm ²
$\sigma_{FOT UK}$ [N/mm ²] (C=0,30 N/mm ³)	76,7	92,0	122,7	147,2
$\sigma_{FOT UK}$ [N/mm ²] (C=0,20 N/mm ³)	84,9	101,9	135,8	163,0
$\sigma_{FOT UK}$ [N/mm ²] (C=0,15 N/mm ³)	91,3	109,5	146,1	175,2

Figur 3.1.1.ii Beregnede kvasistatiske og dynamiske spenninger i skinnfot $\sigma_{FOT UK}$ [N/mm²] for S54/1200.

Utvalsing i skinnhodet på grunn av skjærspenninger er det liten fare for, i og med at opptredene skjærspenning vil ligge godt under tillatt skjærspenning i skinner med 1.200 eller 1.400-kvalitet. Det kan allikevel forventes en redusert teknisk levetid på rundt 10%, fordi den maksimale skjærspenningen vil øke med

tilsvarende tall hvis aksellasten heves med 5 tonn.

Dagens hjuldiameter på 980 mm skulle ikke by på problemer verken for aksellaster på 25 eller 30 tonn når en kontrollerer bruddspenninger i kontaktpunktet mellom hjul og skinne (1.200-kvalitet). Minste diameter må være 670 mm og 800 mm for henholdsvis 25 og 30 tonn. Med 1.400-kvalitet er det da se. vsagt heller ingen problemer.

De teoretisk beregnede spenningene i skinnen ved forskjellige lastkombinasjoner av horisontale og vertikale laster Y/Q, overstiger aldri bruddspenningen i S54.

UIC60/1.200- og 1.400-kvalitet:

Heller ikke for UIC60 er det fare for brudd med tanke på bøyepenninger i senter skinnefot eller utmattingsbrudd ved 25 eller 30 tonn aksellast og en variasjon i ballastsifferet fra 0,15 til 0,30 N/mm³.

Beregningene med UIC60 viser også at kvasistatiske og dynamiske spenninger ikke overstiger de grensene som bygger på tyske erfaringer [6].

Når det gjelder utvalsing av skinnehodet på grunn av skjærspenninger, gjelder det samme som er skrevet foran om S54/1.200- og 1.400-kvalitet; det vil være liten fare for utvalsing av skinnehodet.

For UIC60/1.200 blir kravet til minste hjuldiameter de samme som for S54/1.200; 670 mm ved 25 tonn aksellast og 800 mm ved 30 tonn. 490 mm og 590 mm er de tilsvarende tallene for UIC60/1.400. Alle disse verdiene ligger godt under dagens hjuldiameter på 980 mm.

Bruddspenningen i UIC60 ved aktuelle lastkombinasjoner av horisontale og vertikale laster Y/Q overskrides ikke.

3.1.2 Skinneslitasje

Hovedproblemet med skinnene på Ofotbanen er den store skinneslitasjen. I rapport 4.8 finnes skinneslitasjeberegningene som er utført.

Teorien bak beregningene er hentet fra [2]. Slitasjeraten som er brukt, kommer fra målinger gjennomført i kurver med R = 300 m (ytterstreng og 13 o/oo stigning) på Ofotbanen i tidsrommet 1985 - 1990. Det betyr at nåværende skinnesmøring (stasjonære apparater langs sporet og flenssmøring på en del av lokomotivene) og dagens boggikonstruksjoner ligger til grunn for slitasjeberegningene. Slitasjeraten er på rundt 550mm²/100MBT.

Det er foretatt slitasjeberegninger for S49/900, S54/1.200 og 1.400 og UIC60/1.200 og 1.400. Grensene for maksimal slitasje t_{maks} , gitt i [5], er 14 mm for S49 og 16 mm for S54 og UIC60 og gjelder uavhengig av stålkvalitet. Disse grenseverdiene er omregnet til "bortslipt areal" som blir en slitasjegrense i mm^2 . Denne slitasjegrensen påvirkes av forholdet mellom topp- og sideslitasje.

Etterpå er det funnet slitasjeformler, hvor "bortslipt areal" er lineært avhengig av stålkvaliteten, for to forskjellige kombinasjoner av topp og sideslitasje; 50/50 og 20/80. Her står det første tallet for toppslitasjen og det andre for sideslitasjen i prosent av maksimal tillatt slitasje. Det er kun sett videre på kombinasjonen med 20% toppslitasje og 80% sideslitasje, fordi den ligger nærmest det virkelige slitasjeprofilet.

Med dagens trafikkmønster og 25 tonn aksellast går det gjennomsnittelig 12 lastede malmtog pr. døgn med 52 vogner mellom Kiruna og Narvik. Ved en aksellastøkning vil trafikkmønsteret forandres slik at det går færre, men lengere malmtog (8 tog med 68 vogner pr. døgn). I beregningene ble det tatt hensyn til at rundt 80% av trafikkbelastningen skyldes lastede malmtog.

I figur 3.1.2.i er levetiden angitt i år og måneder for ulike skinneprofil og kvaliteter, vist for en slitasjekombinasjon på 20/80. S49/900 ligger bare i sporveksler.

	S49 (900)		S54 / UIC60 (1.200)		S54 / UIC60 (1.400)	
	25tonn	30tonn	25tonn	30tonn	25tonn	30tonn
Levetid [år;mnd]	3;9	3;7	4;3/4;0	4;1/3;10	4;6/4;3	4;4/4;1

Figur 3.1.2.i Skinnenes levetid i år og måneder på grunnlag av tillatt slitasje ved en slitasjekombinasjon på 20/80.

Sammenlignes levetiden for skinnene under dagens situasjon (S49/900 og S54/1.200, 25 tonn) med en eventuell fremtidig situasjon (S54/1.200, UIC60/1.200, S54/1.400 eller UIC60/1.400, 30 tonn), fås endringen i skinnenes levetid som vist i figur 3.1.2.ii. Negativt tall i figuren angir en reduksjon i levetiden, mens et positivt tall viser økt levetid i prosent i forhold til nåværende situasjon.

Dagens situasjon	S49 (900)	S54 /UIC60 (1.200)		S54 / UIC60 (1.400)	
	30tonn	25tonn	30tonn	25tonn	30tonn
S49 (900) 25t	-4	+13/+7	+8/+2	+19/+12	+14/+7
S54 (1200) 25t		0/-6	-5/-10	+5/-1	0/-6

Figur 3.1.2.ii Endring av levetiden til skinnene i forhold til dagens situasjon [%] ved en slitasjekombinasjon på 20/80.

Undersøkelser i USA [10] viser at økte aksellaster synes å ha forskjellig effekt på sideslitasje avhengig av skinnesmøringens omfang og hvordan skinnesmøringen påvirker kontaktpunktet mellom hjul og skinne. Det samme gjelder toppslitasjen. I hvert enkelt tilfelle er det ikke klart hvorfor slitasjen blir forskjellig. Hvilken effekt ulike hjul- og skinneprofil har, er heller ikke klarlagt. Allikevel konkluderes det med i [10] at ved en aksellastheving på 20% og en konstant trafikkbelastning, vil sideslitasjen øke med mellom 0 og 40%.

Innvirkning av aksellasten på hyppigheten av utmattingsfeil i skinnene, har vist seg å være mest knyttet til stålets hardhet (stålkvaliteten). Tester utført av AAR (Association of American Railroads) ved TTC (Technical Test Center, Pueblo, Colorado) bekrefter også at shelling og økt sideslitasje kan forekomme ved assymetrisk slipte skinner [10].

Spørgeometri/overhøyde:

Den teoretisk manglende overhøyden er $I = 0$ mm for 50 km/h på fri linje og 35 - 40 km/h over stasjonsområder. Dette er kontrollert med opplysningene i løfteskjemaet, men i kurver med stor slitasje på ytterstreng bør overhøyden ute i sporet kontrolleres og etterberegnes. Det kan tenkes at likevektshastighet ikke behøver å være det optimale med tanke på skinneslitasje. Årsaken til dette kan ligge i vogn- og boggikonstruksjonen. Det vil bli vurdert å heve overhøyden i en kurve på Ofotbanen for å se hvilken innvirkning dette kan ha på skinneslitasjen.

3.1.3 Skinneskjøter

Skinneskjøter er et svakt punkt i sporet, enten det er sveiste eller isolerte kjøter.

Sveiste skjøter:

Skinneene er som regel mellom sveist med elektrisk motstandssveising, før de legges ut i sporet og helsveises med Thermitsveising. Faren for utmatting og brudd er høyere ved sveiseskjøter enn på resten av skinnestrengen. Dette skyldes at materialparametrene har andre verdier enn ellers i skinnen, og kontaktkreftene mellom hjul og skinne blir større som følge av geometriske ujevnheter. I perioden 1985 - 1995 var det fra 5 til 20 brudd i sveiseskjøter per år. Antall brudd i selve skinnen lå betydelig lavere. Hadde alle materialparametere i sveiseskjøtene vært kjent, skulle beregningsmetoden som er brukt i rapport 4.7 "Overbygning - Beregning av skinnespenninger", også kunne vært nyttet i forbindelse med dem.

Isolerte skinneskjøter:

På Ofotbanen er det både friksjonsskjøter av type Exel og limte skjøter av typene MT og S (Schmidt); begge forsterket. Det er også testet en isolert skjøte som er finperlittisert og har et skråsnitt på 30° i forhold til en normal på skinnestrengen. Det skrå tverrsnittet er bare i hodet og gir jevnere rulling over skjøten uten harde slag. Hittil har den ikke vist særlig bedre holdbarhet enn andre isolerte skjøter, men det må prøves flere, før en kan si noe sikkert om kvaliteten på den. Erfaringer fra Hovedbanen og Østfoldbanen viser derimot at den nye skjøten er bedre med tanke på funksjonsdyktighet og levetid enn de nåværende typene. Tilsvarende tester i USA viser også at isolerte skjøter med skrå snitt på 30° i skinnehodet, har lengere levetid enn skjøter med 0° eller 45°. Sentralt i Jernbaneverket arbeides det videre med problematikken rundt isolerte skjøter.

Levetiden for isolerte skjøter på Ofotbanen er i dag på mellom 2 og 3 år. Ved en aksellastøkning til 30 tonn kan det forventes at levetiden blir redusert.

3.1.4 Konklusjon

Skinnespenningsberegningene viser at utfra faren for skinnebrudd/utmatting kan S54/1.200-kvalitet beholdes i hovedspor, selv om aksellasten økes fra 25 til 30 tonn. Justerte erfaringstall fra Tyskland som tar hensyn til levetid og økonomi, gir også samme resultat. Imidlertid vil den tekniske levetiden forventes å bli redusert med rundt 10% på grunn av økte skjærspenninger som fører til utvalsing i skinnehodet. Dagens hjuldiameter på malmvognene (980 mm) skaper heller ingen problemer med tanke på bruddspenningen i kontaktpunktet mellom hjul og skinne.

Beregningene av skinneslitasjen viser at levetiden for S54/1.200 vil reduseres med 5% hvis aksellasten heves og nytt trafikkemønster innføres. Hvis nye skinner med stålqualität 1.400

hadde blitt lagt inn, ville levetiden forbli den samme som i dag. UIC60-profilen forlenger heller ikke levetiden på Ofotbanens skinner, fordi skinnehodet er 7% mindre enn på S54. Det er først og fremst stålqualiteten ved siden av skinnehodets form, som virker inn på levetiden.

En ny boggekonstruksjon vil kunne ha innvirkning på slitasjeraten, men det er vanskelig å si noe om, så lenge erfaringsdata ikke finnes. Levetiden som ble funnet gjennom beregningene for ytterstreng i en kurve med $R = 300$ m og 130/00 fall, er noe høyere enn hva virkeligheten tilsier, så derfor burde beregningsresultatene allikevel kunne brukes i prosjektet "30 tonn på Ofotbanen".

For S49/900 som ligger i sporvekslene, vil det være fare for utmattingsbrudd ved 30 tonn og $C \leq 0,15$ N/mm³. De justerte, tyske erfaringsverdiene viser også at S49 er for svake ved en aksellastøkning. Dessuten forventes levetiden å bli redusert med 10%, fordi opptredende skjærspenning som gir utvalsing i skinnehodet, vokser tilsvarende med økt aksellast. Videre overskrides bruddspenningen allerede nå i skinnehodet til S49 med dagens hjuldiameter på 980 mm, 25 tonn og usmurte skinner. Til slutt viser skinnslitasjeberegningene at økt aksellast vil senke levetiden med 4% i forhold til i dag. Legges det derimot inn sporveksler med S54/1.200, vil levetiden vokse med 8% i forhold til dagens situasjon.

Isolerte skinneskjøter forventes å få en reduksjon i levetiden.

Konklusjonen blir derfor:

- S54/1.200 beholdes i togspor.
- alle sporveksler med S49/900 skal skiftes ut til sporveksler med et større skinneprofil og høyere stålqualitet senest 3 år etter at tog med 30 tonn aksellast er satt i drift. (Kostnader for utskifting av sporveksler, se 3.3.2.)
- arbeidet med å forbedre isolerte skjøter bør intensiveres.

3.2 Skinnebefestigelse

Skinnevandring er et problem på Ofotbanen med 25 tonn aksellast. Stort fall og bremsende, tunge malmtog (ca. 5.500 tonn) skaper langsgående krefter som skyver skinnene nedover fra Riksgrensen mot Narvik. Dette kan skape farlige spenninger i sporet. I tillegg har svillene en tendens til å forskyve seg (skjev-kubb) som igjen virker inn på sporvidden og skaper vansker for sporjusteringen.

Hey-Back befestigelsen med fjærer av type HBFJ54 (klemkraft 5

- 6 kN) og gummi mellomlegg på 2 mm er for svak. Derfor har man fra 1994 lagt inn Pandrol befestigelse (Pandrol underlagsplate for S54 på tresviller, gummi mellomlegg 2 mm, fjær type "e1877") på Ofotbanen. Pandrol befestigelsen har en klemkraft på 8 - 10 kN. Det betyr en økning av klemkraften på mellom 30 og helt opp mot 100% i visse tilfeller. Hittil er Pandrol befestigelsen med fjærer av typen "e1877" lagt ut på ca. 4.000 sviller, det vil si rundt 5% av svillene på Ofotbanen. Det er forventet at denne befestigelsen vil redusere skinnevandringen og redusere den relative bevegelsen mellom skinne og sville.

Selv om aksellasten øker, er det lite trolig at skinnevandringen vil tilta. Det begrunnes med at friksjonskraften F mellom skinne og mellomlegg vil øke med 20% slik som aksellasten, fordi friksjonskraften er en funksjon av den vertikale hjulkraften N og friksjonskoeffisienten μ som er konstant ($F = \mu N$; lineær sammenheng). Bremskraften pr. aksel vil også øke lineært ved konstant hastighet, men i og med at transportert mengde forblir den samme, noe som igjen betyr at færre aksler skal bremses, vil det totale bremsearbeidet bli som nå. Økt friksjonskraft i skinnefestene forventes å motvirke den økte bremskraften, slik at skinnevandringen vil ha omtrent samme omfang som i dag.

Hvis skinnevandringen skal reduseres, må Hey-Back befestigelsen skiftes ut med Pandrol skinnefester ("e1877"-fjærer). "Fastclip" fra Pandrol har vært vurdert på Ofotbanen, men er ikke aktuell for tresviller enda.

3.2.1 Konklusjon

Ved en aksellastøkning til 30 tonn kan Hey-Back befestigelsen beholdes, men skal skinnevandringen reduseres i forhold til i dag, må disse skinnefestene skiftes ut med Pandrol befestigelse (nye underlagsplater og "e1877"-fjærer). Siden hullavstanden på Hey-Back og Pandrol underlagsplater er forskjellig, må det eventuelt også byttes sviller.

3.3 Sporveksler

14 - 15% av drifts- og vedlikeholdsbudsjettet går i dag med til sporvekslene (se rapport 4.6, punkt 3.9 og 4). I hovedspor ligger vesentlig sporveksler med stigning 1:12, $R = 500$ m, S49/900 og mangan skinnekryss. Det er stor slitasje på alle delene, og utmatting og utvalsing av skinnene er betydelig. Spesielt slites det hardt i kryss- og tungparti på grunn av hjul med "doble flenser". Disse erfaringene bekreftes av skinnespenningsberegningene i rapport 4.7. (se også 3.1.1 i denne rapporten). Ved 30 tonn aksellast vil det være fare for utmattingsbrudd i skinnematerialet. Dessuten overskrides bruddspenningen allerede nå i skinnehodet til S49 med dagens hjuldiameter og aksellast.

Slitasjeberegningene viser også at økt aksellast vil senke levetiden med 4%. Legges det derimot inn sporveksler med S54/1.200, vil levetiden kunne vokse med 8% i forhold til dagens situasjon.

Erfaringene med helstøpte, mangan skinnekryss er bra, så de må beholdes. En vurdering av bevegelige skinnekryss kan eventuelt gjennomføres på et senere tidspunkt.

3.3.1 Konklusjon

Alle sporveksler i hovedspor som trafikkeres av lastede malmtog og som i dag bare har skinneprofil S49/900, må være skiftet ut med nye veksler hvor skinneprofilen er større og stålqualiteten høyere (S54/1.200 - 1.400 eller UIC60/1.200 - 1.400), senest 3 år etter at 30 tonn aksellast blir innført. Sporvekslene må ha helstøpte, mangan skinnekryss. Det vil være behov for 19 rette veksler (1:12, R = 500) og 3 kryssveksler.

Fordelingen av nye sporveksler vil være som vist nedenfor:

Narvik; 6 stk. + 3 kryssveksler
Straumsnes; 2 stk.
Rombak; 4 stk.
Katterat; 3 stk.
Bjørnfjell; 4 stk.

3.3.2 Kostnader

Prisen for en innlagt sporveksel 1:12, R = 500 m, UIC60 ligger rundt NOK 700.000,- avhengig av kostnadene i forbindelse med arbeidene for elektro- og sikringsanleggene. For kryssveksler er tilsvarende pris NOK 1.100.000,-.

Kostnadene for utskifting av 19 rette veksler og 3 kryssveksler blir som følgende:

19 rette veksler NOK 700.000,-:	13,30 mill.
<u>3 kryssveksler NOK 1.100.000,-:</u>	<u>3,30 "</u>
Sum:	16,60 mill.
Diverse ~10%:	1,60 "
<u>Totalt:</u>	<u>18,20 mill.</u>

3.4 Sviller

99,8% av svilledekket består av tresviller med avstand 500 - 520mm. Det dominerende treslaget er bøk, mens det tidligere var furu. Erfaringene med bøkesviller er gode, og de forventes å ha en levetid på 25 - 30 år.

Betongsviller ble utprøvet på 80-tallet, men var ikke særlig

vellykket. De ble raskt nedknust, noe som skyldes både store aksellaster og for lite ballastprofil. Jernbaneselskapet "Chemin de fer Québec North Shore & Labrador" i Canada har tilsvarende erfaringer med betongsviller. Dette er en bane som Ofotbanen kan sammelignes med, bortsett fra at den har hatt 30 tonn aksellast i mer enn 30 år. QNS&L har imidlertid et ballastprofil hvor avstanden fra underkant sville til formasjonsplanet varierer mellom 0,3 og 1,0 m. Allikevel holdt ikke betongsvillene. Dette tyder på at betongsviller heller ikke er det ideelle for Ofotbanen.

Imidlertid gav beregningene av støttepunktkraften etter Zimmermanns metode i rapport 4.7 det resultatet at støttepunktkraften holdt seg under kravet på 150 kN for betongsviller ved alle tre valgte ballastsiffer. En forutsetning for disse beregningene var dog at ballastprofilets høyde oppfylte gjeldende regler.

Betongsviller er imidlertid mye mer sårbare ved avsporinger. Dette er svært uheldig på en bane som ikke kan nås fra vei på det meste av strekningen, slik som på Ofotbanen. Kravet fra LKAB som bare tillater små avbrudd i transportene på grunn av ras, avsporinger og andre uhell, oppfylles best hvis svilledekket består av tresviller. I slike avviks situasjoner vil tiden banen er stengt for trafikk, vanligvis være kortere med et tresvillespor enn et betongsvillespor.

Det må også nevnes at tresviller gir et mer elastisk spor enn et betongsvillespor. Dette er særlig viktig med tanke på ballasttrykket og nedbrytning av ballasten (se punkt 3.5). Dessuten er skinner som ligger på et tresvilledekke noe mindre følsomme for hjulslag, enn om det er betongsviller [9].

Konklusjonen i rapport 4.6 "Teknisk og økonomisk analyse av nåværende situasjon" var at tresvillene i seg selv ikke er noe problem på Ofotbanen med 25 tonn aksellast. Det forventes heller ikke at dette vil endre seg vesentlig ved en heving av aksellasten, bortsett fra at underlagsplatene kan bli presset noe raskere ned i svillene. Utfra dette er det ønskelig med en underlagsplate med så stor opplagerflate som mulig.

3.4.1 Konklusjon

Bøkesviller beholdes ved en aksellastøkning fra 25 til 30 tonn.

3.5 Ballast

Ballasten består av pukkk med størrelse 25/50 mm. Bergarten er kvartsitt. Steinkvaliteten er bra, men generelt er ballasten veldig forurenset av slig og pellets fra togene. Prøvetaking i juni 1995 av pukken fra Rombak Pukkverk A/S ga følgende

resultater:

- bergartsdensitet 2,81
- pukkdensitet løs: 1,53 pakket: 1,73
- slitestyrke God etter Los Angeles' test (12,2%)
- kornform God (75% kubisk)

Ballastprofilen skal ha Jernbaneverkets foreskrevne profil for enkeltspor. Det betyr en minste avstand på 30 cm fra sville underkant (sv.u.k.) til formasjonsplanet (FP). Dybdeboringer i ballasten viser at dette ikke er oppfylt på deler av banen. Hvis aksellasten blir hevet til 30 tonn, er det helt nødvendig at ballastprofilen blir som foreskrevet i [7] og at nødvendige tiltak settes inn for å øke høyden på ballastprofilen. Beregningene i rapport 4.7 som forutsetter en minste avstand på 30 cm fra sv.u.k. til FP med pukke, viser at det dynamiske ballasttrykket uansett ballastsiffer, ligger over anbefalt verdi på $0,30 \text{ N/mm}^2$. Riktignok gjelder resultatene for betongsviller, men selv om verdiene reduseres med 15% på grunn av tresviller, vil ballasttrykket ligge mellom $0,27$ og $0,43 \text{ N/mm}^2$. En viktig forutsetning i beregningene etter Zimmermanns metode er nettopp at ballastprofilen oppfyller retningslinjene (ballasthøyde under sville ≥ 30 cm). Det betyr i praksis at forholdene på Ofotbanen er verre med tanke på ballasttrykket, fordi ballastprofilen ikke er tilfredstillende på deler av strekningen. Et tykkere ballastlag bidrar også til å opprettholde spenningsnivået på underbygningen og hindrer dermed setninger og effekten av oppumping av finstoff. Dette vil ellers raskt innvirke på behovet for sporjustering. (For nærmere opplysninger om tiltak, se rapport 3.8 "Infrastruktur - Underbygning på Ofotbanen".)

Nedbrytningen av ballasten vil øke når aksellasten heves. Igjen viser beregningene i rapport 4.7 at ballasttrykket vil stige med 19 - 21 %. Siden Ofotbanen har tresviller, vil økningen i ballasttrykket være noe mindre og ligge i området 10 - 20%. Liknende resultater er det kommet frem til i rapport 4.4 "Spårmekanisk analys", appendix 5, - i et tresvillespor får ballasttrykket en vekst på mellom 18,5 og 20,0% avhengig av underbygningen. Den beregnede akselererte nedbrytningen vil dermed være i denne størrelsesorden, men siden antall akselpasseringer reduseres med 13%, behøver det ikke å bli så stor økning i den reelle nedbrytningen av ballasten. Samlet tonnasje over et punkt skal være konstant. Innføres det en ny boggi med lengere akselavstand, kan det også være snakk om en liten reduksjon på rundt 5% i nedbrytningen av ballasten.

Banverket konkluderer også med i sin rapport 3.4 "Infrastruktur - Geoteknisk inventering" at ballastmateriale av god kvalitet skulle klare en aksellastheving fra 25 til 30 tonn, forutsatt at den samlede tonnasjen ikke øker. Samme rapport sier også at etter fullskalaforsøk og feltmålinger tyder det på at oppumping

av finstoff fra undergrunnen og spill av slig og pellets fra vognene, formodentligvis kommer til å ha større invirkning på ødeleggelse av ballastens egenskaper, enn nedbrytning av ballastmaterialet på grunn av aksellastøkningen.

Det største problemet med ballasten i dag er nettopp at den er forferdelig forurenset av støv, jernmalm og pellets som lekker fra vognene. Dette reduserer elastisiteten i overbygningen. Ved en aksellastøkning blir det enda viktigere å opprettholde elastisiteten i ballasten for å hindre spissbelastninger i overbygningskonstruksjonen som igjen øker nedbrytningen av de enkelte komponentene. Ballastrensingen må derfor intensiveres betraktelig. Hele Ofotbanen bør bli rensset minst hvert 8. - 10. år, eventuelt oftere hvis ikke lekkasjen fra malmvognene stoppes. Dette er 2 - 3 ganger så ofte som på resten av linjennettet som Jernbaneverket har ansvaret for.

3.5.1 Konklusjon

Ballasten og ballastprofilen beholdes som i dag, bortsett fra de delene av banen hvor avstanden fra underkant sville til formasjonsplanet er mindre enn 30 cm. Her må rett profil opparbeides. Overgangen fra 25 tonn aksellast og til at alle tog kjører med 30 tonn, er planlagt gjennomført over 6 år. Arbeidene med utvidelse av ballastprofilen bør derfor utføres i løpet av samme 6 års periode.

3.5.2 Kostnader

Kostnadene ved en utvidelse av ballastprofilen finnes i rapport 3.8, "Infrastruktur - Underbygning på Ofotbanen".

4 Sporvedlikehold

Behovet for vedlikehold av sporet vil vanligvis bli større ved en aksellastøkning. Vekst i den statiske, vertikale lasten kan ikke hindres, men en forbedret boggikonstruksjon vil kunne begrense økningen, holde den på samme nivå eller enda redusere den dynamiske belastningen mot sporet. I prosjektet "30 tonn på Ofotbanen" skal den transporterte mengden malm være konstant. Det betyr at samlet tonnasje over sporet forblir den samme, men at den skal fraktes på færre aksler. I rapport 4.8 ble det funnet en reduksjon i antall akselpasseringer på 13% ved innføring av 30 tonn, mens teoretisk er det regnet med en nedgang på 20% når aksellasten heves fra 25 til 30 tonn.

I kapittel 4 vil endringene i kostnadene for ulike vedlikeholdsaktiviteter bli vurdert i lys av de ovenstående forutsetningene. Nedgangen i antall akselpasseringer settes til 13%. Nøyaktigheten ligger i området $\pm 20\%$.

4.1 Skinneskifting

Rundt 90% av skinnene som skiftes på Ofotbanen skyldes slitasje. De resterende 10% må byttes på grunn av utmatting i overflaten som kan ha både indre og ytre årsaker, sluresår, skinnebrudd, brudd i sveiser, problem med isolasjonsskjøter og feil som oppdages ved ultralydkontroll. Gjennomsnittelig levetid på skinnene for hele banen er 7 år (161 MBT), mens den i ytterstreng for kurver med $R \sim 300$ m kan være nede i ca. 3 år (69 MBT).

4.1.1 Utmatting og slitasje

Beregningene i rapport 4.7, kapittel 5 viser at det generelt må forventes en økning i utvalsingen av skinnhodet og dermed reduksjon i den tekniske levetiden med 10% når aksellasten heves til 30 tonn (øker behovet for skinneskifting med en faktor på 1,1). Årsaken til dette er at den opptredende, maksimale skjærspenningen τ_{\max} i skinnhodet tiltar med 10%. Tas det hensyn til redusert antall akselpasseringer (13%) og en eventuelt noe forbedret boggi, vil endringen i skinneskiftingen som skyldes utmatting, ligge i området fra **0,96** ($1,1 \times 0,87$) til **1,1**. Det gir et middel på **1,03**.

Resultatet av slitasjeberegningene i rapport 4.8, punkt 5.2 er at S54 vil få redusert levetiden med 5%. Med nye boggi vil dette prosenttallet antagelig bli noe mindre og derfor kunne ligge i området 0 - 5%. Faktoren for endring av skinneskifting på grunn av skinnslitasje settes til **1,03** for S54.

Tilsvarende tall for S49 blir 0 - 4% og **1,02**.

4.1.2 Sporveksler

Sporvekslene må få større skinneprofil og høyere stålkvalitet. Velges S54/1.200, vil levetiden for vekslene med tanke på slitasje, øke med 8% (0,92) i forhold til dagens situasjon med S49. Tas det hensyn til bytte av sporveksler og en noe gunstigere boggi med tanke på slitasje (0,90), kan vedlikeholdsfaktoren settes til **0,91**.

4.2 Skinnesliping

Skinnehøvling og skinnesliping har først og fremst blitt utført på Ofotbanen for å fjerne rifler og bølger. Utmattings-skader på skinnehodets overflate "fjernes" hovedsakelig bort ved slitasjen som oppstår mellom hjul og skinne.

Erfaringer fra Ofotbanen tilsier at skinnenenes levetid kan forlenges med et par år (45 - 50 MBT) ved sliping. Hvis 30 tonn aksellast innføres, bør sliping foretas så ofte at rifler/bølger ikke får anledning til å utvikle seg i vesentlig grad. Dette er et klart mål for jernbaneforvaltninger verden rundt som har trafikk med høye aksellaster. For å klare dette målet på Ofotbanen, må den ideelt sett slipes hvert annet år med 2 - 3 overfarter.

Ved en aksellastheving forventes slipearbeidet å øke med en faktor på 1,2. Tas det hensyn til redusert antall akselpasseringer (0,87) og minsket krypkrefter på grunn av nye boggier (0,95), blir allikevel vedlikeholdsfaktoren for skinnesliping på bare **0,99** ($1,2 \times 0,87 \times 0,95$), altså en reduksjon på 1%.

Sliping hindrer også utvikling av utmattingsfeil i skinnehodet. I Nord-Amerika er skinnesliping et av de viktigste vedlikeholdstiltakene på baner med høye aksellaster både mot rifler/bølger og utmattings-skader i skinnehodet. Prevantiv sliping mot utmattings-skader kan bli mer aktuelt for Ofotbanen hvis aksellasten settes opp.

4.3 Skinnesmøring

Skinneslitasjen er det største problemet på Ofotbanen i dag når det gjelder overbygningen. Det er utplassert 16 skinnesmøreapparater i noen av de skarpeste kurvene ($R = 275 - 325$ m), - hvorav tre er i sporveksler. I tillegg skal det være flenssmøring på alle de norske El 15 lokomotivene og enkelte av de svenske Dm-lokene. Smøringen reduserer friksjonen mellom hjul og skinne, og dermed avtar skinneslitasjen. Der hvor det nå finnes stasjonære smøreapparater, forlenges skinnenenes levetid et sted mellom 1 og 2 år (23 - 46 MBT).

Både smøreapparatene langs linjen og flenssmøringen på lokomotivene krever jevnlig ettersyn og vedlikehold. Dette arbeidet blir ikke høyt nok prioritert, blant annet på grunn av

stramme budsjetter. (Se ellers rapport 4.6, punkt 3.3.)
I land med høye aksellaster (Nord-Amerika, Sør-Afrika, Australia) er det tre ting de legger vekt på for å forlenge skinnenes levetid. Det er:

- hodeherdede skinner
- skinnesliping (mot utmatting i skinnehodet)
- skinnesmøring (mot skinneslitasje)

I og med at Ofotbanen allerede har hodeherdede skinner, og utmatting i skinnehodet ikke er noe stort problem, må arbeidet med å optimalisere skinnesmøringen intensiveres ved en eventuell aksellastøkning. Dette innebærer nærmere vurdering av smøremetoder (flenssmøring, mobile smøremaskiner, stasjonære smøreapparater) og tekniske løsninger innenfor hver av disse metodene. Videre må smøremidler analyseres, og investeringer til denne delen av sporvedlikeholdet heves betraktelig. I praksis vil det si en budsjettøkning med en faktor på mellom 2 og 3 eller et snitt på **2,5**.

4.4 Påleggsveising

Ved sårddannelser i skinnehodet og skader i skinnekryss og på mellomskinner er påleggsveising et viktig vedlikeholdstilak for å forlenge skinnenes og sporvekslenes levetid.

4.4.1 Skinner

Det er vanskelig å fastslå nøyaktig hvor mye påleggsveising på skinnene vil endre seg ved heving av aksellasten. Med nye lokomotiver og færre tog bør antall sluresår kunne reduseres, men hvis aksellasten økes før nye lokomotiver settes i drift, kan det forventes en vekst i antall sluresår. Endringen i mengden av påleggsveising eksklusive sporveksler, vil derfor kunne ligge i området fra 0,95 til 1,1. Dette gir et gjennomsnitt på **1,03**.

Sår i kjøreflaten på skinner grunnet pellets som faller av og kommer under hjulene, ventes ikke å endre seg vesentlig med 30 tonn aksellast. Det blir færre vogner hvor pellets kan falle av og bedre luker på de nye vognen, men skadevirkningen blir større hver gang pellets kjøres over.

4.4.2 Sporveksler

Sporvekslene må fornyes med et større skinneprofil og høyere stål kvalitet på grunn av fare for utmatting. Med færre akselpasseringer kan det i beste fall bety en reduksjon i behovet for påleggsveising med 20%. Tas det hensyn til hva som ble nevnt i avsnittet ovenfor om nye og gamle lokomotiver og sluresår, forventes behovet for påleggsveising å synke med mellom 0 og 20%. Det betyr at vedlikeholdsarbeidet med

påleggsveising i sporveksler kan multipliseres med en faktor på mellom 0,8 og 1 eller et snitt på **0,9**.

4.5 Skinneskjøter

Skinneskjøter, enten det er sveiste eller isolerte kjøter, er svake punkt i sporet. Med 20% økt aksellast, men 13% færre aksler, kan det kalkuleres med en liten vekst på **1,04** i vedlikeholdstiltak rundt begge typer skinneskjøter.

4.6 Vedlikehold av sviller

4.6.1 Svillabytting

Svilledekket regnes ikke som noe stort problem ved 25 tonn aksellast. Det foregår en utskifting av 2.000 - 3.000 sviller hvert år. En del av dette skyldes gamle furusviller. Ved økt aksellast kan det forventes at underlagsplatene presses noe raskere ned i svillen. Aksellastøkningen er på 20%, mens nedgangen i antall aksler er 13%. Svillabyttingen antas derfor å akselerere med en faktor på **1,04** ($1,2 \times 0,87$).

4.6.2 Svilleregulering

Samlet tonnasje over et gitt sted og tidsrom endres ikke ved en aksellastøkning til 30 tonn. Dermed blir også det totale bremsearbeidet det samme. Økt aksellast skulle derfor ikke få noen invirkning på mengden av sviller som blir forskjøvet ("skjev-kubb").

Antallet skråstilte sviller, som er et resultat av en relativ bevegelse mellom skinne og sville, skulle imidlertid kunne reduseres noe med nye Pandrol-fester (fjærer e1877).

Klemkraften vil stige med mellom 30 og 100% i forhold til Hey-Back-fjærene, mens aksellasten bare vil tilta med 20%. De mest optimistiske antagelsene går derfor ut på at svillereguleringen skal kunne avta med 20 - 50% når all skinnebefestigelse er byttet ut. Imidlertid er det bare 4,5% av Ofotbanen som har Pandrol-befestigelse i dag, og derfor er det mest realistisk å forvente at behovet for svilleregulering vil holde seg på dagens nivå etter en aksellastøkning. Heving av aksellasten vil antagelig bli gjennomført mye raskere enn en total utskifting av skinnebefestigelsen. Det kalkuleres derfor med en endringsfaktor på **1,0** for svillereguleringen i dette prosjektet.

4.7 Ballastrensing

Det forutsettes at ballastprofilen på Ofotbanen er etter normene i Jernbaneverket sitt regelverk [7]. (Jevnfør punkt 3.5.)

Beregningene i rapport 4.7 viser at ballastspenningene vil kunne

øke med en faktor på opp til 1,21 hvis aksellasten heves. Dette gjelder for betongsviller. Siden det bare ligger tresviller på Ofotbanen, og disse er gunstigere med tanke på ballastspenninger, vil økningen bli mindre og anslås derfor til 1,15 ($1,21 \times 0,95$).

Tas det hensyn til at det vil bli 13% færre akselpasseringer ved 30 tonn, forventes behovet for ballastrensing å bli som i dag ($1,15 \times 0,87$) **1,00**. Nedknusing av pukken vil derfor ikke tilta i noen særlig grad med de forutsetningene som er gitt i dette prosjektet.

Takten for ballastrensing bør allikevel økes i forhold til dagens praksis, så hele Ofotbanen blir renses minst hvert 8. - 10. år. Denne frekvensen må økes ytterligere, hvis ikke lekasjen fra malmvognene avtar betraktelig. Prøveboringer sommeren 1996 [8] viser at ballasten har altfor stort finstoffinnhold med tanke på drenering og opprettholdelse av elastisiteten i overbygningen. Riktig elastisitet i sporet vil få enda større betydning med tanke på nedbrytning av overbygningskomponentene, hvis aksellasten heves.

I Banverkets rapport 3.4 Infrastruktur - "Geoteknisk inventering" er det kalkulert hvor mange kilometer som må ballastrenses. Grensene for når ballastrensing må settes iverk bygger på et ERRI-prosjekt D182 [11]. Der konkluderes det med at ballastrensing er nødvendig når andelen materiale mindre enn 22,4 mm, overskrider 30 vektprosent. Banverket har imidlertid nyttet grensene 40 vektprosent materiale mindre enn 31,5 mm og 15 vektprosent materiale mindre enn 11,2 mm. Dette tilsvarer omtrent ERRI's krav om andel finstoff mindre enn 22,4 mm bestemt gjennom lineær interpolering i et logaritmisk diagram.

Rapporten etter boringer i ballasten på Ofotbanen i 1996 [8] oppgir andel materiale mindre enn 25 mm og 11,2 mm i prøvene. Ved lineær interpolering mellom grensene for 31,5 mm og 22,4 mm, får en at ballastrensing bør gjennomføres når vektprosenten av materiale under 25 mm, overskrider 33 vektprosent. Brukes grensekravene for 25 mm og 11,2 mm, gir det henholdsvis at 19, eventuelt 14 km av banen bør ballastrenses nå.

Ballastrensing koster NOK 500,- pr. spormeter. For hele banen betyr det NOK 19,00 mill. i dagens priser. I gjennomsnitt bør det derfor budsjetteres med ca. NOK 2,00 mill. hvert år hvis banen skal renses hvert 8. - 10. år. For ballastbudjettet betyr det et tillegg på nærmere 100%, men dette kan ikke belastes prosjektet "30 tonn på Ofotbanen".

4.8 Sporjustering

78,6% av Ofotbanens geometri består av kurver. Med dagens trafikkbelastning må banen justeres minst hvert 3. år.

Ved en heving av aksellasten vil ballasttrykket øke med ca. 15%. (Se punkt 3.5 og 4.7.) Dette gir raskere permanente setninger og en forringelse av sporgeometrien. Hvis dagens sporstandard skal opprettholdes også etter en eventuell aksellastøkning, må tiden mellom hver justering derfor reduseres tilsvarende ($36 \text{ mnd} \times 0,15 \sim 5 \text{ mnd}$) og senkes til 2 år og 7 måneder. Det betyr en økning av sporjusteringsarbeidet med 16% eller en faktor på 1,16.

En forutsetning i prosjektet er at de dynamiske kreftene mot sporet ikke skal vokse. Alt avhengig av hvor mye de nye boggiene klarer å redusere de dynamiske kreftene, vil det kunne bli nødvendig å heve sporstandarden "k" i forhold til i dag. Dette er vurdert i rapport 4.7, punktene 2.2.8, 3.2.8 og 4.2.8. I verste fall må justeringsstandarden heves fra 0,2 til 0,17, det vil si en forbedring på 15% som igjen betyr oftere sporjustering. Reduseres tidsintervallet mellom hver justering med enda 15%, blir resultatet 2 år og 2 måneder og en vekst i sporjusteringsarbeidet med en faktor på 1,38.

Ved å midle de to verdiene som er kommet frem i avsnittene ovenfor, kan sporjusteringsarbeidet forventes å øke med en faktor på 1,27 hvis aksellasten heves. Tas det til slutt hensyn til redusert antall aksler ($1,27 \times 0,87$), blir tallet **1,10**.

4.9 Kostnader

Hvis aksellasten heves til 30 tonn og nytt trafikkmønster innføres, forventes drifts- og vedlikeholdskostnadene i forbindelse med de fire hovedkomponentene i overbygningen (skinner, sviller, ballast, sporveksler) å endre seg. Er vedlikeholdssfaktoren større enn 1, betyr det en økning i kostnadene, og er faktoren mindre enn 1, vil det si en reduksjon.

4.9.1 Endring i drifts- og vedlikeholdskostnader

Nedenfor er endringene i drifts- og vedlikeholdskostnadene for ulike sporvedlikeholdstiltak listet opp. I en del tilfeller er vedlikeholdsfaktoren et gjennomsnitt innenfor et område som er oppgitt i parentes.

- skinnereskifting (utmatting)	1,03	(0,96 - 1,10)
- skinnereskifting (slitasje S54)	1,03	(1,00 - 1,05)
- skinneresliping	0,99	
- skinneresmøring	2,50	(2,00 - 3,00)
- påleggsveising (skinner)	1,03	(0,95 - 1,10)
- sveiste skjøter	1,04	

- isolerte skjøter	1,04	
- svillebyttning	1,04	
- svilleregulering	1,00	
- sporveksler (skinnereslitasje S49)	1,02	(1,00 - 1,04)
(skinneslitasje S54)	0,91	(0,90 - 0,92)
- sporveksler (påleggsveising)	0,90	(0,80 - 1,00)
- ballastrensing	1,00	
- sporjustering	1,10	

Tallene foran viser at bortsett fra vedlikeholdstiltak i forbindelse med skinneresmøring og sporjustering som vil øke noe, og skinnereslitasje og påleggsveising i sporveksler reduseres, vil endringene i drifts- og vedlikeholdskostnadene bli små i forhold til dagens situasjon.

I rapport 4.6, kapittel 4 er drifts- og vedlikeholdskostnadene delt opp i 5 hovedposter; skinner, sviller, ballast, sporveksler og skinnereslitasje. Hvordan de ovenfornevnte vedlikeholdstiltak fordeler seg på disse hovedpostene er vist under.

Skinner: 10% skinnereskifting (utmatting) inkl. isolerte skjøter
75% skinnereskifting (slitasje)
5% skinneresmøring
10% påleggsveising

Sviller: 80% svillebyttning
20% svilleregulering

Ballast: 70% ballastrensing
30% sporjustering

Sporveksler: 70% skinnereslitasje
30% påleggsveising

4.9.2 Vedlikeholdskostnader utfra teorier hos ORE

I [2] er det vist en metode til å kalkulere økte vedlikeholdsutgifter ved en heving av aksellasten. Den bygger på arbeider utført i følgende ORE-kommitèer; ORE D 117, ORE D 141 og ORE D 161. Det henvises spesielt til [3] og [4].

Følgende formel nyttes: $K_{30} / K_{25} = (P_{30} / P_{25})^\alpha$ hvor

- K_{30} er vedlikeholdskostnader for 30 tonn
- K_{25} er vedlikeholdskostnader for 25 tonn
- P_{30} er aksellast 30 tonn
- P_{25} er aksellast 25 tonn
- α er en proporsjonalitetsfaktor

α har følgende verdier:

- 1 for utmatting av skinner
- 3,5 for overflatefeil på skinnehodet
- 1 for utmatting av andre overbygningskomponenter
- 3 for nedbrytning av sporgeometrien

Konstantene som benyttes i formelen, er funnet i forbindelse med en aksellastøkning fra 20 til 22,5 tonn. Resultatene bør derfor benyttes med forbehold, i og med at det er snakk om en økning fra 25 til 30 tonn på Ofotbanen.

Utfra det som står foran, blir økningen i vedlikeholdsutgiftene som følger:

- utmatting i skinner: $K_{30} / K_{25} = (30 / 25)^1 = 1,20$
- overflatefeil på skinnehodet: $K_{30} / K_{25} = (30 / 25)^{3,5} = 1,89$
- utmatting av ob.komp: $K_{30} / K_{25} = (30 / 25)^1 = 1,20$
- nedbrytning av sporgeometrien: $K_{30} / K_{25} = (30 / 25)^3 = 1,73$

Disse verdiene ligger betydelig høyere enn hva som er funnet i punktene 4.1 - 4.8.

Allan M. Zarembski fra Zeta-Tech Associates, Inc. hevder at α kan ligge i området 1 - 7.

5 Konklusjoner

Etter å ha vurdert hvilke konsekvenser det kan få for overbygningen hvis aksellasten heves fra 25 til 30 tonn på Ofotbanen, er man kommet frem til følgende konklusjoner:

- S54/1.200 beholdes som skinneprofil i togspor.
- Hey-Back skinnebefestigelse kan beholdes, men det anbefales å øke utskiftingstakten til Pandrol-befestigelse for å redusere skinnevandringen
- arbeidet med å forbedre isolerte skjøter bør intensiveres.
- alle sporveksler i hovedspor som trafikkeres av lastede malmtog og som i dag bare har skinneprofil S49/900, må skiftes ut med nye sporveksler som har større skinneprofil og høyere stål kvalitet. Utskiftingen skal være gjennomført senest 3 år etter at 30 tonn aksellast er innført.

Sporvekslene skal ha mangan skinnekryss. Det vil være behov for 19 rette veksler (1:12, R = 500) og 3 kryssveksler.

- svilledekket opprettholdes med hardtresviller (bøk)
- ballasten og ballastprofilet beholdes som i dag. På de partiene av banen hvor avstanden fra underkant sville til formasjonsplanet er mindre enn 30 cm, må rett profil opparbeides. Profilutvidelsen skal være gjennomført i løpet av den 6 års perioden som 30 tonn aksellast er tenkt innført.
- behovet for ballastrensing er stort, og frekvensen må økes, så hele banen blir renset minst hvert 8. - 10. år.
- arbeidet med å optimalisere skinnesmøringen må intensiveres.

5.1 Kostnader

Hvis aksellasten skal økes til 30 tonn på Ofotbanen, må følgende investeringer i overbygningen være gjennomført senest 3 år etter at aksellasthevingen er satt iverk:

Sporveksler: NOK 18,20 mill.

I tillegg kommer kostnadene for utvidelse av ballastprofilet.

Kostnadene til drift og vedlikehold forventes å endre seg som vist under:

- skinneskifting (utmatting)	1,03	(0,96 - 1,10)
- skinneskifting (slitasje S54)	1,03	(1,00 - 1,05)
- skinnesliping	0,99	
- skinnesmøring	2,50	(2,00 - 3,00)
- påleggsveising (skinner)	1,03	(0,95 - 1,10)
- sveiste skjøter	1,04	
- isolerte skjøter	1,04	
- svillebyutting	1,04	
- svilleregulering	1,00	
- sporveksler (skinneslitasje S49)	1,02	(1,00 - 1,04)
(skinneslitasje S54)	0,91	(0,90 - 0,92)
- sporveksler (påleggsveising)	0,90	(0,80 - 1,00)
- ballastrensing	1,00	
- sporjustering	1,10	

6 Litteraturliste

- [1] Fritz Fastenrath: "Die Eisenbahnschiene", München 1977
- [2] Coenraad Esveld: "Modern Railway Track", Utrecht 1989
- [3] ORE D 141 rp 5: "Study of the technical and economical consequences of increasing the axel load from 20 to 22,5t", Utrecht, September 1982
- [4] ORE D 161.1 rp 4: "The dynamic effects due to increasing axle loads from 20 to 22,5 t and the estimated increase in maintenance costs", Utrecht, September 1987
- [5] 1B-Te 32 "Overbygning - Regler for vedlikehold"
- [6] Josef Eisenmann, Günther Leykauf og Lothar Mattner: "Vorschläge zur Erhöhung der Oberbauelastizität", Eisenbahntechnische Rundschau 1994 7/8
- [7] 1B-Te30 "Overbygning - Regler for teknisk utforming"
- [8] Rapport ID-nr: MRAP 96044 "Provtagning och grovanalys av material från malmspåret Riksgränsen - Narvik, prosjekt malmspåret 30 ton" (Lars G. Eriksson)
- [9] Professor Dr.Ing. Lothar Fendrich, DBAG: "UIC/ORE experience in measuring and assessing track fatigue as a consequence of increasing axle loads." The International Heavy Haul Workshop, Pueblo, Colorado 1990
- [10] Director Metallurgy Roger K. Steele, Association of American Railroads, Chicago Technical Center: "Overview of the FAST (Facility for Accelerated Service Testing)/HAL (Heavy Axle Loads) Rail Performance Tests"
- [11] ERRI D182/Rp 3: "Unified assessment criteria for ballast quality and methode for assessing the ballast condition in the track"