# ERTMS-PROGRAMMET

# UTREDNING 58 MM KRAV TIL FREE FLANGEWAY

| 29.05.2024 | BERJOA1 | N/A | N/A |
|---|---|---|---|
| Dato | Utarbeidet av | Kontrollert av | Godkjent av |

;

Utredning 58 mm krav til free flangeway
Report

| | | | |
|---|---|---|---|
| Sider: 51 | Forrige gyldige FDV-revisjon: | | |
| | Fag: | SA | |
| | | | |
| Produsert av: | Bane NOR SF Trafikk og teknologi | | |
| Prod. dok. nr.: | | Rev.: | |
| Erstatter: | | | |
| Erstattes av: | | | |

| | | |
|---|---|---|
| Prosjekt: System<br>Underprosjekt: Technical Management | Dokumentnummer: 2000009482 | Dokumentrevisjon: 001 |
| BANE NOR | FDV dokumentnummer: | FDV dokumentrevisjon: |

# INNHOLDSFORTEGNELSE

**1 INNLEDNING ..... 4**

1.1 BAKGRUNN ..... 4
1.2 FORMÅL ..... 4
1.3 OMFANG OG AVGRENSNINGER ..... 4
*1.3.1 Svakheter i utredningen ..... 4*
*1.3.2 Kvalitetssikring med fagfellevurderinger ..... 5*
1.4 SAMMENDRAG ..... 5

**2 SYSTEMBESKRIVELSE ..... 6**

2.1 FAKTORER SOM PÅVIRKER FREE FLANGEWAY ..... 6
*2.1.1 Sporvekselens geometri (stigning og radius). ..... 6*
*2.1.2 Tungeåpning ..... 7*
*2.1.3 Friksjon ..... 7*
*2.1.4 Temperaturvariasjoner ..... 8*
2.2 OPPKJØRBARE OG IKKE-OPPKJØRBARE SPORVEKSLER ..... 8
2.3 VIBRASJONER ..... 8
2.4 ITS 710 ..... 9
*2.4.1 Prinsipp for låsemekanimen ..... 10*
*2.4.2 Relevante application conditions for ITS 710 ..... 11*

**3 KRAV ..... 13**

3.1 TSI ..... 13
*3.1.1 Guide for application of the INF TSI ..... 14*
3.2 FORSTÅELSE AV MARGIN ..... 14
*3.2.1 Forskjell mellom free wheel passage og minimum flangeway area ..... 15*
3.3 TEKNISK REGELVERK ..... 15
*3.3.1 Generelle bestemmelser ..... 15*
*3.3.2 Signal Prosjektering ..... 16*
*3.3.3 Overbygning Vedlikehold ..... 16*
*3.3.4 Tungeåsing ..... 16*
*3.3.5 Sporvidde i sporveksel ..... 17*

**4 DETALJERT PROBLEMBESKRIVELSE ..... 19**

4.1 DOKUMENTERTE ULYKKER SOM HAR RELASJONER MED FREE FLANGEWAY ..... 19
*4.1.1 Avsporing Toijala, 16 Juni 2009, Finland ..... 19*
*4.1.2 Avsporing Vammala, 6 April 2013, Finland ..... 20*
*4.1.3 Avsporing Hilversum, Nederland, ProRail 15. Januar 2014 ..... 20*
*4.1.4 Avsporing Grayrigg, UK, Network Rail 23. Februar 2007 ..... 23*
*4.1.5 Hendelse i Lichtenberg/Berlin, Tyskland 2020 ..... 26*
4.2 FELLESTREKK MELLOM ULYKKER ..... 27

**5 MATEMATISKE MODELLBEREGNIGER OG VIBRASJONSTESTING ..... 29**

5.1 FEM ANALYSE FOR TUNGE-DRIVMASKIN BELASTNING ..... 29
*5.1.1 Oppsett ..... 29*
*5.1.2 Resultater fra beregninger ..... 30*
5.2 SAMMENLIKNING AV FEM ANALYSE FRA VOSSLOH/AFRY MOT VIBRASJONSTESTING FRA SIEMENS . 31

**6 GENERISKE KONTROLLRUTINER ..... 32**

6.1 KONTROLLRUTINER OVERBYGNING ..... 32
*6.1.1 Bakside av tunge ..... 32*
*6.1.2 Kontroll av Residual switch opening ..... 33*
6.2 KONTROLLRUTINER SIGNAL ..... 33

**7 FARE ..... 34**

7.1 $F_F < B_{MIN}$ ..... 34

7.2 SLAG OG VIBRASJONER ... 34
7.3 TRETTHETSDANNELSER/UTMATTNINGSBRUDD I KOMPONENTER ... 35
**8 TIDLIGERE VURDERINGER OM OMBYGGING ... 36**
8.1 KOMMUNIKASJON MED STATENS JERNBANETILSYN ... 36
**9 RISIKOANALYSE OG MITIGERENDE TILTAK ... 37**
9.1 DELTAKERE RISIKOANALYSEMØTE AVHOLDT (21.02.2024) ... 37
**10 AKSEPTKRITERIER OG METODE ... 38**
10.1 AKSEPTKRITERIER ... 38
10.2 METODE ... 38
**11 FAREIDENTIFISERING, KLASSIFISERING OG RISIKOESTIMERING ... 39**
**11.1 SPORVEKSLER AV TYPE 1:9 R250-400** ... 39
**11.2 FAREIDENTIFISERING AVSPORING** ... 39
**12 RISIKOEVALUERING ... 43**
**12.1 FARE FOR AVSPORING** ... 43
**12.2 VURDERING AV FARE FOR AVSPORING** ... 43
**13 USIKKERHET VED RISIKOVURDERINGEN ... 45**
**13.1 REGISTRERTE HENDELSER MED AVSPORING I SPORVEKSLER** ... 45
**14 VURDERING AV RISIKOREDUSERENDE TILTAK ... 46**
14.1 TILTAK 1 KOPLE FUNN FRA ORE 70 KONTROLL 4 BAKSIDE AV TUNGE TIL SIGNAL ... 46
14.2 TILTAK 2 KONTROLL AV HØYDEFORSKJELL MELLOM GLIDESKO ... 46
14.3 TILTAK 3 GJENNOMGÅ RUTINER FOR RESIDUAL SWITCH OPENING ... 46
14.4 TILTAK 4 VIBRASJONSDATA FRA TOG ... 46
14.5 TILTAK 5 AUTOMATISERE INNMÅLING AV SPORVEKSEL MED ROBOT ... 47
**15 ANBEFALING ... 49**
15.1 OPPDATERE DRIVMASKINSTRATEGI ... 49
15.2 OPPDATERING AV KRAV I TEKNISK REGELVERK ... 49
*15.2.1 Innspill til avviksbehandling ... 49*
*15.2.2 Vedlikehold ... 50*
*15.2.3 Nye krav til høydeforskjell mellom glidesko ... 50*
*15.2.4 Bestykningskrav ... 50*
15.3 RISIKOREDUSERENDE/MITIGERENDE TILTAK ... 50
*15.3.1 Vurdering av Safety ... 50*
*15.3.2 Vurdering av økonomiske forhold ... 50*
*15.3.3 Vurdering av vedlikeholdsrutiner ... 50*
**16 DOKUMENTINFORMASJON ... 51**
16.1 ENDRINGSLOG ... 51
16.2 TERMINOLOGI ... 51
16.3 REFERANSELISTE ... 51
16.4 LISTE OVER VEDLEGG ... 51

# 1 INNLEDNING

## 1.1 Bakgrunn

Sporveksler av typen 1:9 R300 med 1 drivmaskin har utfordringer med å tilfredsstille krav om 58 mm avstand mellom stokkskinne og fraliggende tunge. Opprinnelig har sporvekslene blitt designet for to drivmaskiner, men kun en drivmaskin er installert motivert av kostnadsbesparelser. Antall sporveksler av 1:9 R300 er over 900 stk (BaneData) med en stor andel som kun har 1 drivmaskin.

Denne utredningen har til hensikt å danne en større forståelse av risikoen forbundet med at kravet om 58 mm ikke er oppfylt samt gi en anbefaling for å korrigere avviket.

58mm kravet har sin opprinnelse i TSI krav (free wheel passage) og tidligere EN 13232-4:2005+A1:2011. TSI krav har ikke tilbakevirkende kraft og derav har ikke eksisterende veksler blitt bygget om. Helt nye sporveksler eller endring av hastighet er faktorer som trigger TSI. Installasjon av nye drivmaskiner som erstatning av gamle drivmaskiner trigger ikke krav til oppfyllelse av TSI krav. Imidlertid er oppfyllelsen av 58 mm kravet beskrevet i Teknisk Regelverk[1] for både prosjektering og vedlikeholdskapittellet. Manglende oppfyllelse av 58 mm kravet er en problemstilling i eksisterende infrastruktur, men aktualisert ifm ERTMS utrullingen der nye drivmaskiner som installeres. ERTMS Programmet er et fornyelsesprogram og resulterer ikke direkte i at sporvekslene skal bygges om. Dette gjelder for linjehastighet under 130km/t.

## 1.2 Formål

Denne utredningen har til formål besvare om Bane NOR bør iverksette en systematisk ombygging av alle sporveksler som ikke oppfyller 58 mm krav eller om det er tilstrekkelig å inkludere dette i en drivmaskinstrategi der ombygging skjer når sporveksel byttes/fornyes til å vedlikeholde seg mot TSI krav.

## 1.3 Omfang og avgrensninger

Sporveksler med alle hastighet og plasseringer inkluderes i denne utredningen. Utredningen vil diskutere veksler på både hovedspor, fjelloverganger samt skifteområder og hensetningsspor. FEM-analyser (Finite Element Method) gjennomført har sett på statiske krefter som er sammenliknet med dynamiske tester av produktet (vibrasjonstester).

### 1.3.1 Svakheter i utredningen

Kompleksiteten av togets interaksjon med infrastruktur i forskjellige hastigheter gir en dynamikk som er utfordrende å modellere. Det er derav forenklingen over at statiske FEM beregning sammenliknes mot vibrasjonstesting.

Tretthetsdannelser i komponenter er ikke beregnet utover varighet i vibrasjonstesting ihht DIN 60068-2-64. Denne testen omhandlet kun fastholdekraften til ELS 710 og inkluderte ikke låsemekanismen til CKA-12. Siemens har over 80 000 installasjoner av låsemekanismen CKA-12, men har ingen registrerte hendelser som har en relevans for opplåsing fra fraliggende tunge som resultat av slag eller vibrasjoner med unntak av hendelsen i Lichtenberg der rotårsak relateres til drivmaskin og ikke låsemekanismen.

Det er ikke en databasenøkkel mellom uttrekk av data fra Bane Data Overbygning (Sporveksler) og Signal (Drivmaskiner). Det er skrevet et Script som døper om Drivmaskin-nummeret til kun beskrive Sporveksel, men det er feilkilder i dette scriptet ettersom det er en rekke forskjellige metoder for navnsetting av drivmaskin navnet. Dette resulterer i en feilmargin i antallene. Antallene er allikevel ansett som tilstrekkelige ettersom utslagene til feilmargin har begrenset påvirkning på sluttverdien til risikoanalysen.

[1] TRV:04422 (Overbygning vedlikehold), TRV:05452 (overbygning bygging), TRV:05546 (signal prosjektering), TRV:05558, (signal prosjektering), TRV:07164 (signal vedlikehold

I Risikoanalysen er det gjort vurderinger som bygger på erfaringer fra personer i kombinasjon med kvantifiserbare verdier. Dette er av natur en usikkerhet, men forsøkt mittigert med systemspesialistkompetanse fra leverandører og internt. Inputdata til risikoanalysen er høyst usikkert ettersom det ikke er registrert noen liknende hendelser i Norges infrastruktur de siste 40 år. Det er en (1) mulig hendelse for mange år tilbake, men har ikke blitt verifisert. For å benytte konservative data er denne hendelsen innkalkulert i risikoanalysen.

### 1.3.2 Kvalitetssikring med fagfellevurderinger

Fagfellevurderinger har til hensikt å vurdere den faglige riktigheten til publikasjoner eller rapporter, men i denne sammenheng en utredning. Ofte er fagfellevurderinger anonymisert, men i denne sammenhengen er det vært fokus på å innhente fagfeller fra flere fagmiljøer i Bane NOR. Fagfellevurdering er ikke planlagt før etter gjennomført risikoanalyse i revisjon 001.

- Sporteknikk, Alf Helge Løhren
- Signal, Jan Erik Nordby
- Sakkyndig leder Signal Område Øst, Kjell Holter
- Signalteknologi, Safye Emilie Dursun
- RAMS, Linn Ingrid Berggård

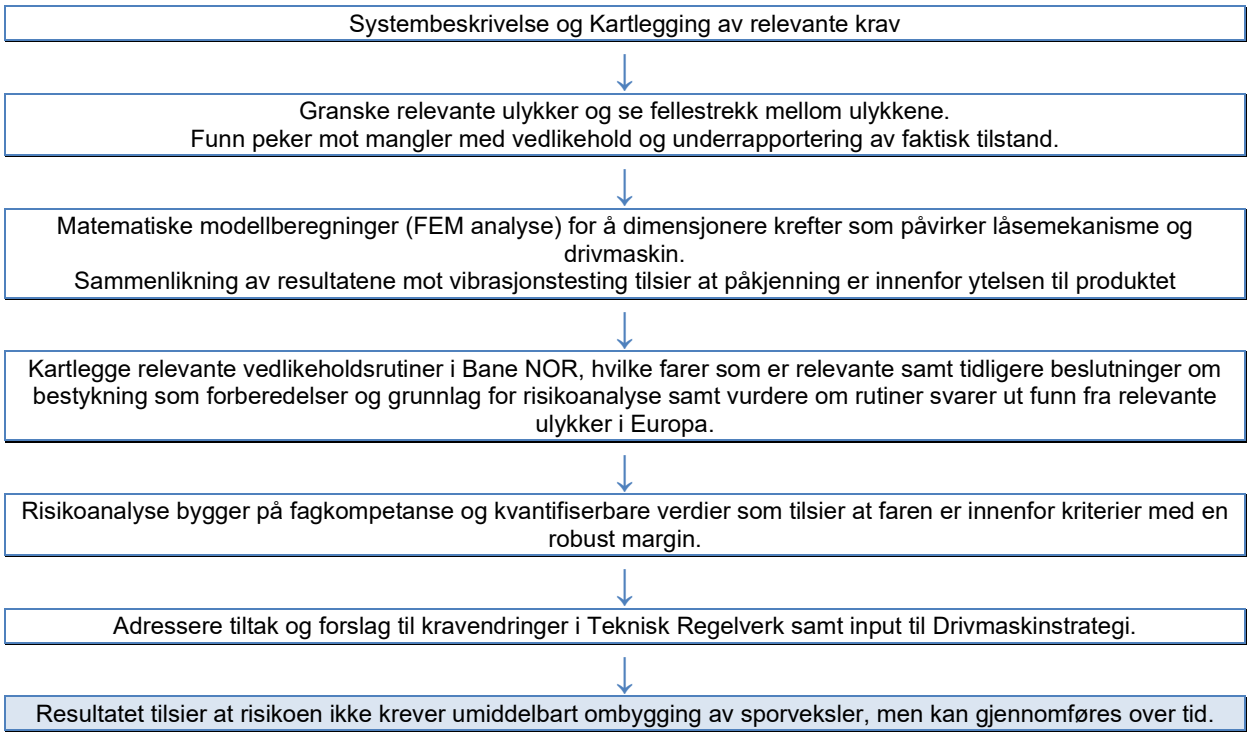
Innledende dokument med tittel Betraktninger vedrørende 58 mm krav i TRV har blitt presentert til Sporteknikk møte den 17.01.23 og oversendt i forkant av møtet til Frode Teigen Sporteknikk.

Tekniske detaljer for låsemekanisme er verifisert med systemekspert i Siemens og tilbakemeldinger har blitt inkludert som oppdateringer til revisjon 001.

Tekniske detaljer for sporveksel er verifisert med systemekspert fra Vossloh og tilbakemeldinger har blitt inkludert som oppdateringer til revisjon 001.

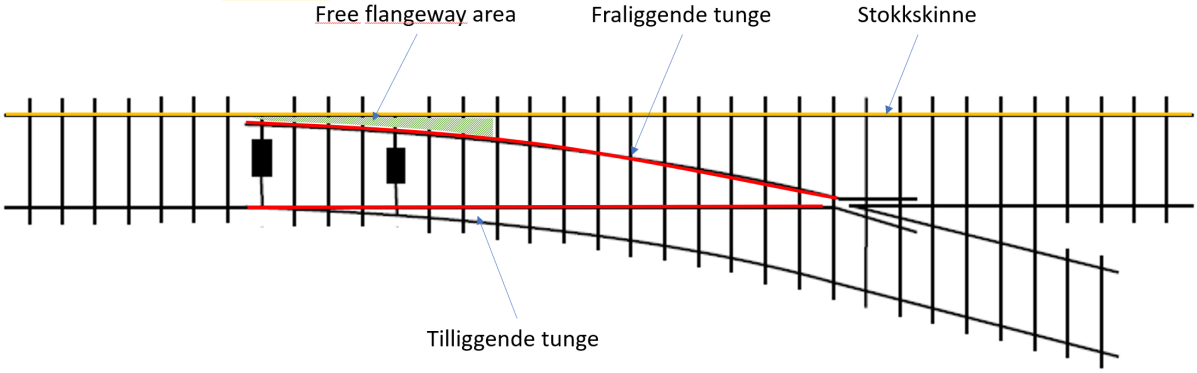
## 1.4 Sammendrag

Bane NORs eksisterende sporveksler av typen 1:9 R300 tilfredsstiller ikke krav om fritt hjulflensområde på 58 mm. Denne utredningen har til formål å besvare om dette utgjør en så stor fare at infrastrukturen må umiddelbart bygges om. Utredningen er delt opp i undertemaer som leder frem til svar på spørsmålet stilt i formålet til utredningen.



# 2 SYSTEMBESKRIVELSE

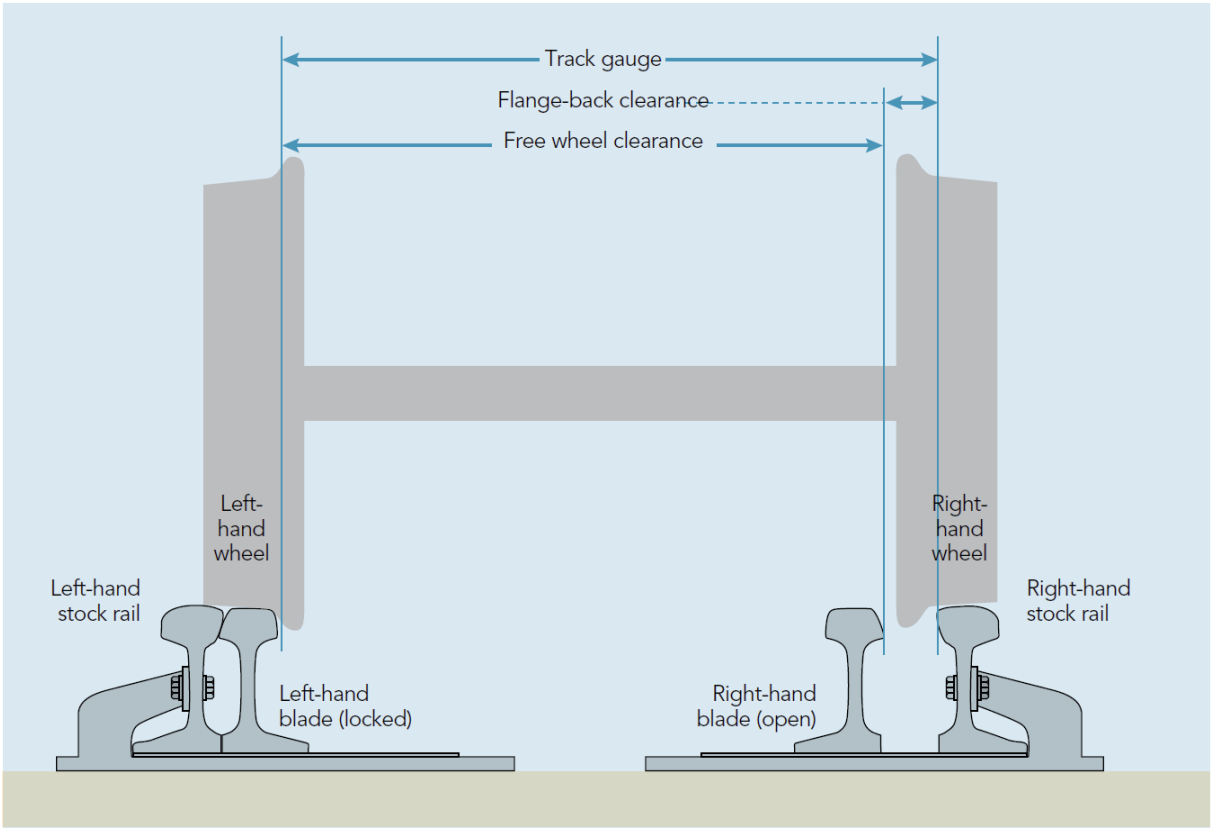
Nedenfor er en illustrasjon av en prinsipiell sporveksel med 2 drivmaskiner. Drivmaskinens funksjon er å bevege sporvekselens tungeanordninger i rettspor eller avvik. I illustrasjonen nedenfor skal da drivmaskin(ene) sørge for at dersom toget i tilfelle nedenfor kjører i rettspor skal fraliggende tunge aldri ha en avstand nærmere 58 mm fra stokkskinne.




**Figur 1 Sporveksel 1:9 R300**

## 2.1 Faktorer som påvirker free flangeway

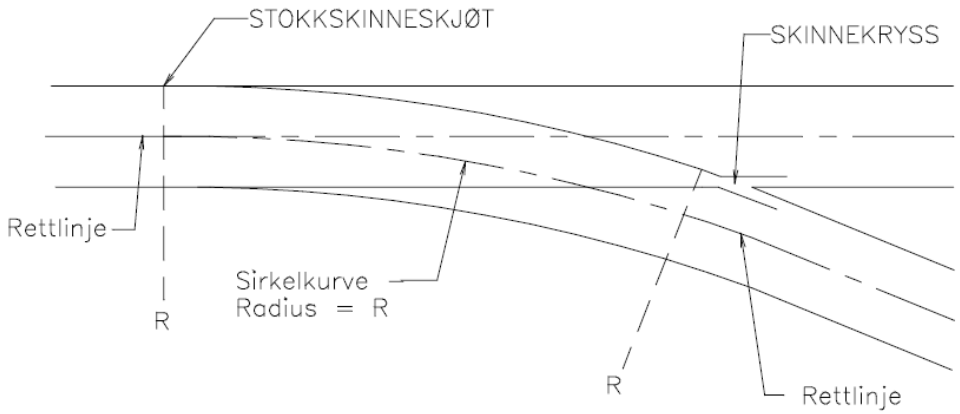
Illustrasjon som viser forholdet mellom Sporvidde (Track gauge), Avstand fraliggende tunge-stokkskinne (Flange-back clearance/ Free Flangeway) og Free wheel clearance/passage.




**Figur 2 De mest relevante mål mellom infrastruktur og hjulset**

### 2.1.1 Sporvekselens geometri (stigning og radius).

Radius en til sporvekselen beskrives best i følgende figur




**Figur 3 Beskrivelse av sporvekselradius [2]**

Stigningsforholdet til en sporveksel er definert som tangens til vinkelen mellom senterlinjen (rettlinjen) i hovedsporet og tangenten til avvikesporets senterlinje (rettlinje) ved sirkelbuens endepunkt. Stigningen angis vanligvis som en brøk: 1: n. [2]. Generelt vil lenger radius og lavere stigningsforhold medføre at det er behov for fler drivmaskiner for å sikre free flangeway. Dette ser man for eksempel på forholdet mellom 1:9 R190 vs 1:9 R300. Her kommer også tungens lengde inn som en faktor ettersom lenger tunge blir mykere enn en kort tunge.

I følge Vossloh Cogifers kalkulasjoner [16] vil en sporveksel av typen 1:9 R300 med en driv vil minste avstand mellom fraliggende tunge og stokkskinne være 49,68mm, 5610 mm bak i tungen.

### 2.1.2 Tungeåpning

Videre har drivmaskinen en slaglengde som i kombinasjon med overlapp i låseveien gir en resulterende tungeåpning. Typisk verdi for tungeåpning i første drivmaskin er 110 mm eller 160 mm. For 1:9 R300 sporveksler er tungeåpningen 160 mm. Tungens stivhet har også en innvirkning, men de mekaniske egenskapene mellom forskjellige skinnevekter er liten.

### 2.1.3 Friksjon

Andre faktorer som påvirker tungens bevegelse, er friksjon til glideplatene og da tungens egenskap til å bevege seg. Her vil en ujevn høyde på sporvekselens glidesko potensielt resultere i økt friksjon. Det samme gjelder tungerullenes høyde.

Teknisk regelverk for Overbygning beskriver krav som Pilhøyde og Bølgelengdefeil (TRV:05045). Den mest aktuelle tabellen for bølgelengdeområde er D1.

**Tabell: Tillatte ujevnheter i høyde - bølgelengdeområde D1 (3-25 meter)**

| Kvalitetsklasse | Hastighet (km/h) | Ujevnheter i høyden av hver skinnestreng (+/- mm) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Nytt spor | Nyjustert spor | Vedlikeholdsgrense | Tiltaksgrense | Umiddelbar grense |
| Q0 | 230 < V ≤ 300 | 2 | 2 | 6 | 8 | 16 |
| Q1 | 160 < V ≤ 230 | 2 | 2 | 6 | 9 | 20 |
| Q2 | 120 < V ≤ 160 | 2 | 2 | 10 | 12 | 23 |
| Q3 | 80 < V ≤ 120 | 3 | 4 | 13 | 16 | 26 |
| Q4 | 40 < V ≤ 80 | 3 | 5 | 15 | 19 | 28 |
| Q5 | V ≤ 40 | 3 | 6 | 17 | 21 | 28 |

**Figur 4 Bølgelengdeområde D1, TRV:05045**

Det bemerkes at dette er målinger som gjennomføres med en aksellast på minimum 5 tonn. Når en sporveksel legges om er dette uten belastet spor og kan endre de faktiske forholdene.

De mekaniske egenskapene mellom forskjellige skinnevekter er liten, men her har skinnevekten en innvirkning.

### 2.1.4 Temperaturvariasjoner

I noen veksler i helning er det observert forskjellige verdier for free flangeway avhengig av temperatur. Dette er trolig et resultat av friksjonen samt termisk lengdeutvidelseskoeffisient til stål.

Avstand mellom tungerot til første drivmaskin er 12 950 mm for 1:9 R300[1]

Termisk lengdeutvidelseskoeffisient til stål er $10^{-5}$ $K^{-1}$ . For denne sporvekselen vil dette resultere i en variasjon på 0,1295 mm/°C. Glideplatenes fett kan muligens også endre sin viskositet som funksjon av temperatur.

Det er derfor mest sannsynlig at disse observasjonene er et resultat av at tungen har ikke beveget seg fult ut umiddelbart samtidig har variasjoner i temperatur gjort at tungen har beveget seg gradvis.

## 2.2 Oppkjørbare og ikke-oppkjørbare sporveksler

I ELS 710 er det ingen komponentforskjell mellom oppkjørbar og ikke-oppkjørbare veksler. Internt i drivmaskinen er det en justerbar clutch som justeres for å oppnå fastholdekraft på 8,5 kN eller 11 kN. Forskjellen mellom oppkjørbar knyttes til over/under 10 kN der fastholdekraft over 10kN ansees som ikke oppkjørbar. Av naturlige årsaker må det være en minimumsgrense for fastholdekraft selv for oppkjørbare sporveksler, denne verdien er satt til 6,5 kN. [9].

Det eksisterer en mulighet til å bytte ut fjærmekanismen til en sylinder. Ved bruk av en sylinder er det ikke lenger mulighet til å ha en komponent som gir etter og ved en oppkjøring vil man da ikke vite hva som gir etter og ødelegges ved en oppkjøring. Det bemerkes at selve låsekraften i PAL systemet for tilliggende tunge er >40 kN [10] og må ikke forveksles med holdekraft.

På permanente skifteområder anvendes det i flere tilfeller drivmaskiner som er oppkjørbare. I dagens infrastruktur er det registrert ca 500 sporveksler i BaneData som er definert som oppkjørbare, hvorav 190 stk er av typen 1:9 R270-R529. En oppkjørbar drivmaskin er designet slik at holdekraften er redusert så mye at dersom man kjører feil inn i en sporveksel der man tvinger vekselen ut av posisjon skal den interne holdekraften i cluchen tillate en opplåsing uten at andre komponenter ødelegges. I disse tilfellene er det da ikke mulig å anvende mer enn 1 drivmaskin. Her vil det da ikke være mulig for eksempel med sporveksel av typen 1:9 R300 å oppfylle behov om oppkjørbarhet i kombinasjon med 58 mm krav.

## 2.3 Vibrasjoner

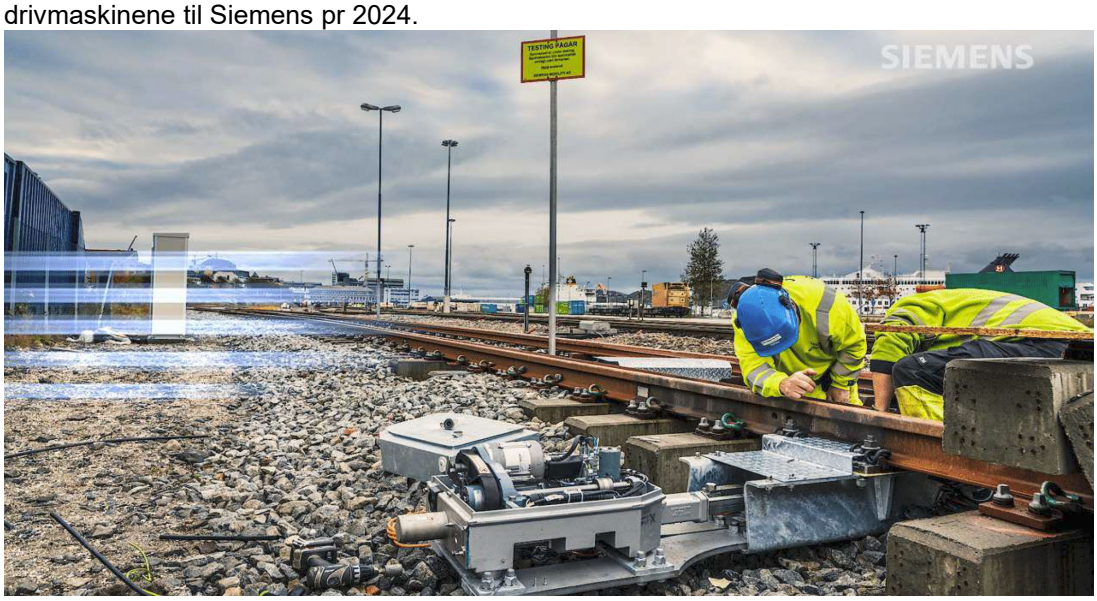
Sideveis vibrasjoner fra toget som forplanter seg i fraliggende tunge påvirkes av akselens ytre flensavstand i kombinasjon sporvekselens sporvidde ***G***. Disse kreftene påvirkes også av hastigheten til toget. For at innsiden av hjulflensens skal komme i kontakt med fraliggende tunge må $a_{min} + b_{min} < f_w$ (se Figur 13), mao dersom $f_w$ er mindre enn 1380 mm er det lite sannsynligheter for at det blir signifikante vibrasjoner i tungen som resultat av slag fra hjulflensen.

Sporviddeutvidelse vil ha en begrenset innvirkning i området ved tungespiss. Der holder låsemekanismens stenger samme avstand mellom tilliggende og fraliggende tunge når sporvekselen er i endeposisjon. Dette er tilfelle med CKA låsemekanismen som anvendes i forbindelse med S700V og ITS 710. Sporviddeutvidelse lenger bak i sporvekselen vil ha en påvirkning.

Amplituden på vibrasjonenene er avhengig av mange faktorer i både toget og infrastruktur. I forbindelse med en ulykke i Toijala Finland[13] gjorde Aalto University of Technology en del tester for å kartlegge vibrasjoner i en sporveksel 1:9 R300, men denne er utrustet med fjærvipper samt har en annen sporvidde så resultatene fra dette er lite overførbart til en Norsk sporveksel med 1:9 R300 selv om prinsippene er like. Det som trolig overførbart er at tungen beveger seg ulinjært og har resonansfrekvenser i et lavt frekvens spektrum (11 -32 Hz i deres analyser).

## 2.4 ITS 710

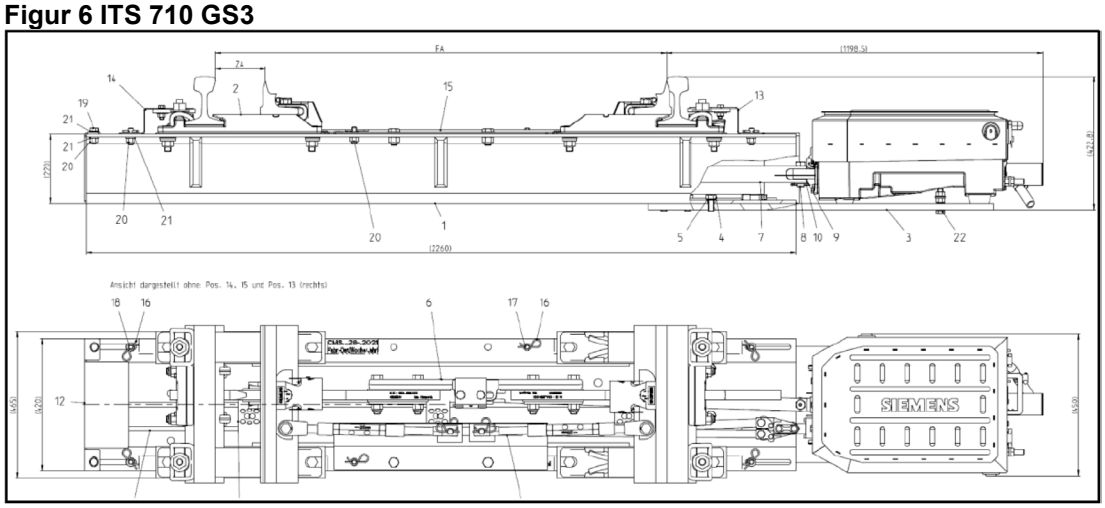
Drivmaskinen inkluderende kassesville (CMS), låsemekanisme (CKA) og drivenhet (ELS 710) som bygges ut av Siemens heter ITS 710. Dette er en videreutvikling av S700 drivmaskinen som er i Bane NORs infrastruktur i dag. Både CKA og ELS 710 er et av de mest solgte låsemekanismene og drivmaskinene til Siemens pr 2024.




**Figur 5 Produktbilde av ITS 710 fra Siemens**



**Figur 6 ITS 710 GS3**




**Figur 7 Komplett ITS 710 for enkel sporveksel**

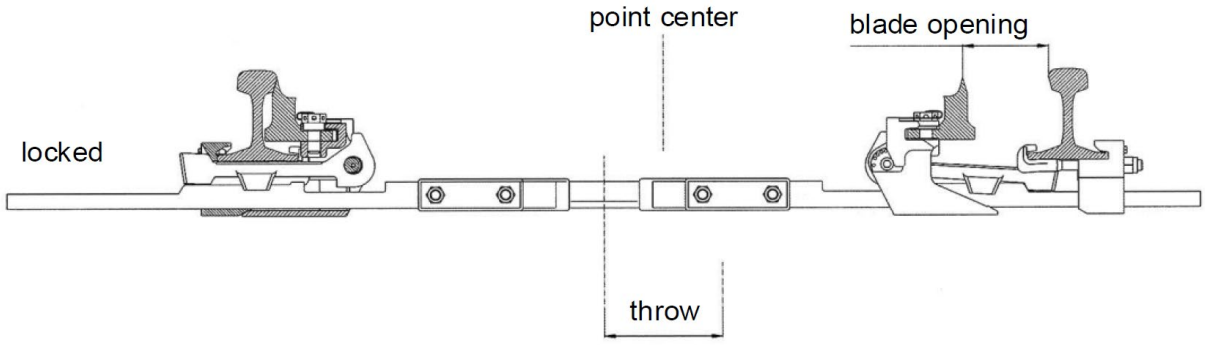
### 2.4.1 Prinsipp for låsemekanimen



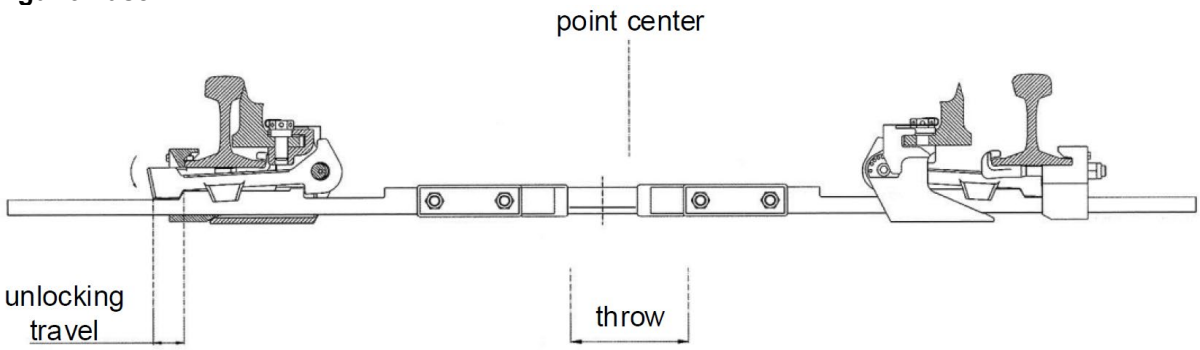
**Figur 8 Låsemekanismen CKA 12**
PAL stengselet låser tilliggende tunge fast med stokkskinne. Låsemekanismen skal tåle mer enn 40 kN. Låsemekanismen CKA 12 har blitt brukt i Norge allerede ifm drivmaskinen S700 og er i kommersiell drift på over 80 000 lokasjoner på verdensbasis.

#### 2.4.1.1 Låsemekanismens bevegelse

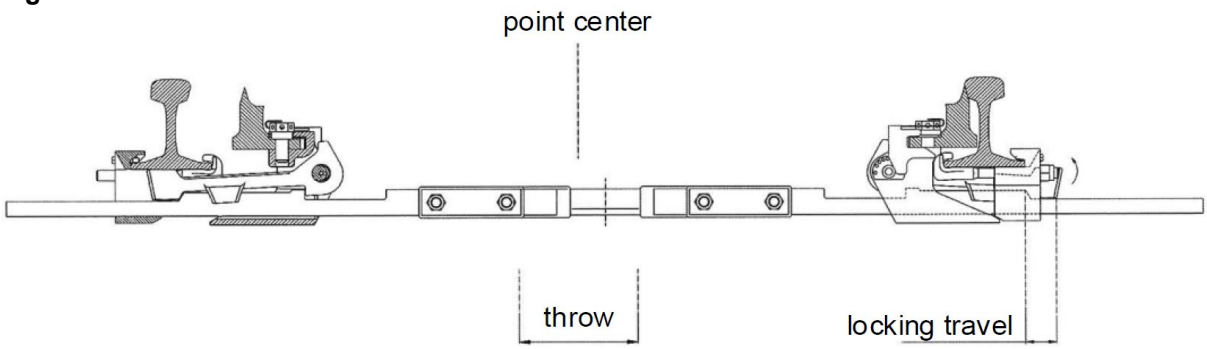
Sekvens for hvordan låsemekanismen beveger seg ved omlegging sees ut ifra følgende figurer [9]



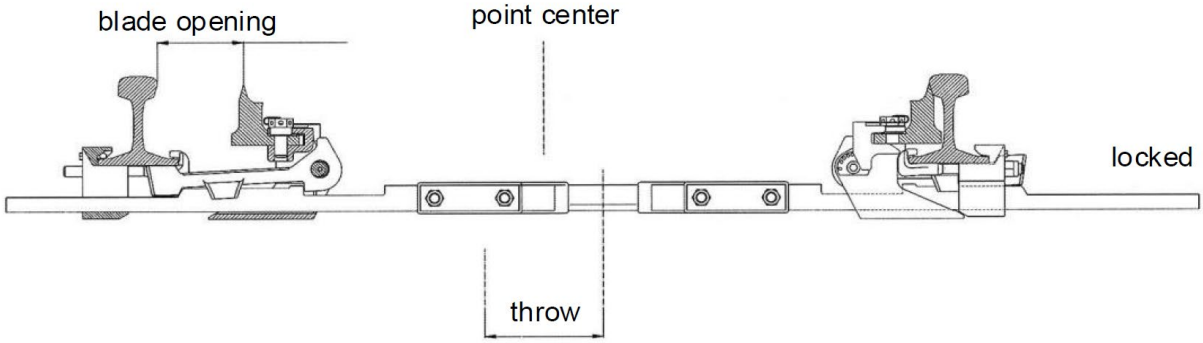

**Figur 9 Fase 1**




**Figur 10 Fase 2**




**Figur 11 Fase 3**




**Figur 12 Fase 4**

#### 2.4.2 Relevante application conditions for ITS 710

Kravet til 58 mm er en betingelse, men det ligger også en mulighet for at dette kan ansees som akseptabelt innenfor sporvekselens hastiget.

| Application ID | Application Rule | Application adress |
|---|---|---|
| POS_VALRep_6515 (was part of | The selection and configuration of point machines for a point must be chosen in | Specific Applica- tion |

| | | |
|---|---|---|
| COND_VAL_POS_0 3) | that way, that the distance between the open switch blade and the stock rail is as a minimum 58mm at any point of application.<br><br>If this is not possible, the minimum distance must be measured, and the customer must decide in that case if this deviation is acceptable under the consideration of the maximum allowed train speed at this point or application. | Customer<br><br>The distances are measured and included in the checklists. Condition is considered in SAV 2. |

**Tabell 1 Relevant Application conditions for ITS 710**

# 3 KRAV

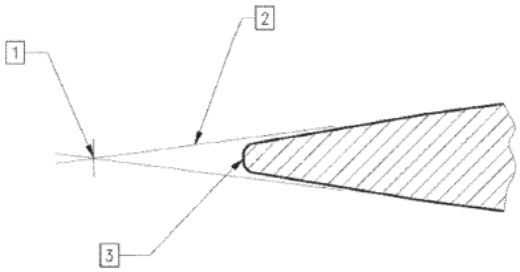
## 3.1 TSI

ERA TSI Infrastruktur krav kapittel 4.2.8.6 a)

4.2.8.6. The immediate action limits for switches and crossings

*Figure 2*

**Point retraction in fixed common crossings**



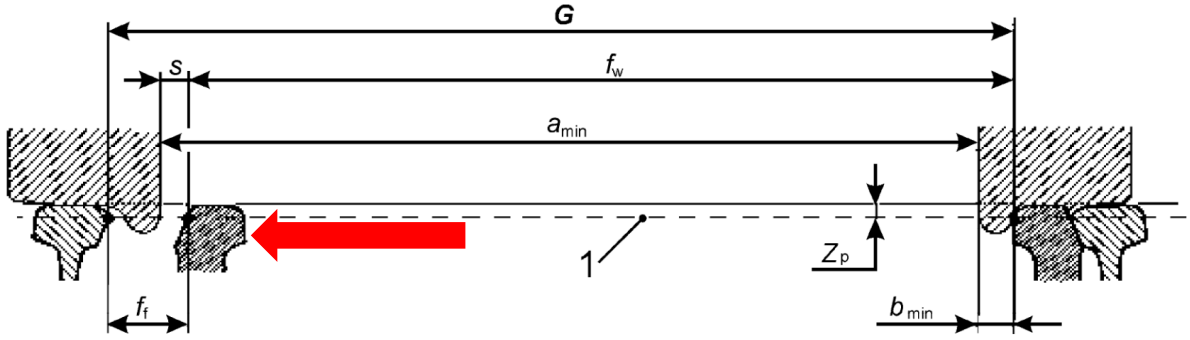

1 Intersection point (IP)
2 Theoretical reference line
3 Actual point (RP)

(1) The technical characteristics of switches and crossings shall comply with the following in-service values:

(a) Maximum value of free wheel passage in switches: 1 380 mm.

This value can be increased if the infrastructure manager demonstrates that the actuation and locking system of the switch is able to resist the lateral impact forces of a wheelset.

TSI standarden beskriver et mål, men EN 13232-4:2005+A1:2011 beskriver tydeligere hva målet representerer. Den målte avstanden $f_w$ beskrevet i figuren nedenfor er tilsvarende mål «Maximum value of free wheel passage in switches» fra TSI kravet.




**Figur 13 Wheel flangeway calculation EN 13232-4:2005+A1:2011**

| | | |
|---|---|---|
| *1* | Gauge reference plane | |
| $f_w$ | With of the free wheel passage area | 1380 mm TSI 4.2.8.6 a) |
| $f_f$ | Minimum flangeway area | $f_f = G - f_w \rightarrow$ *1435 mm – 1380 mm = 55 mm* |
| *G* | Track gauge | 1435 mm EN 13232-1:2003 |
| $a_{min}$ | Minimum back to back | 1360 mm +/-3mm |
| $b_{min}$ | Minimum flange width (worn wheel) | 30 mm (P8 og WPL9) |
| *s* | Margin | |

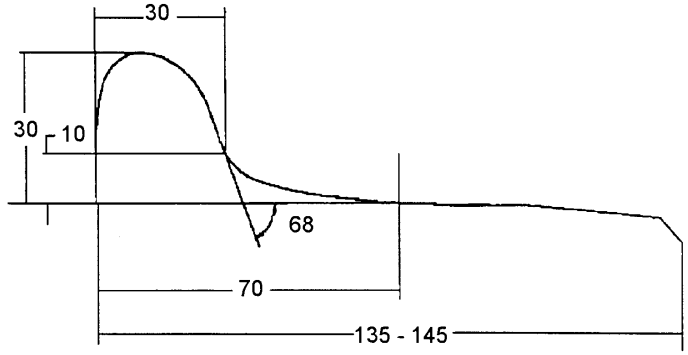
| | | |
|---|---|---|
| $Z_p$ | Distance between gauge reference plane and running surface | Zp ≤ 15 mm |

Forskjellige nasjoner har forskjellige verdier for $f_f$ som er beskrevet i tabellen fra EN 13232-4 nedenfor. Bemerker at for verdier under 55 mm vil ikke TSI verifiseres.

| Country | $f_f$ |
|---|---|
| Austria | 58 mm |
| Belgium | 50 mm |
| Czech Republic | 60 mm |
| Denmark | 60 mm |
| France | 55 mm [1] |
| Germany | 58 mm |
| Portugal | 40 mm |
| Spain | 58 mm |
| Switzerland | 60 mm |
| United Kingdom | 50 mm [2]<br>60 mm [3] |
| [1] for gauge = 1435 mm<br>[2] BS113A FB<br>[3] UIC60 | |

**Figur 14 Commonly used flangeway EN 13232-4:2005+A1:2011**

$b_{min}$ er flensvidden/flenstykkelsen. De mest anvendte hjulprofilene i Norge er WPL9 og P8 og har begge samme mål for $b_{min}$.




Se tegning nr A/2713

### 3.1.1 Guide for application of the INF TSI

Innledende avklaring om anvendelse av TSI INF krav[7]

> *For all the requirements whose mandatory scope of application are new lines, it is understood that these requirements are optional (target parameters) for upgrade or renewal of existing lines. It is expected that, while preparing the project of upgrade/renewal of the existing line, the fulfilment of the target parameters will be considered, when technically and economically possible.*

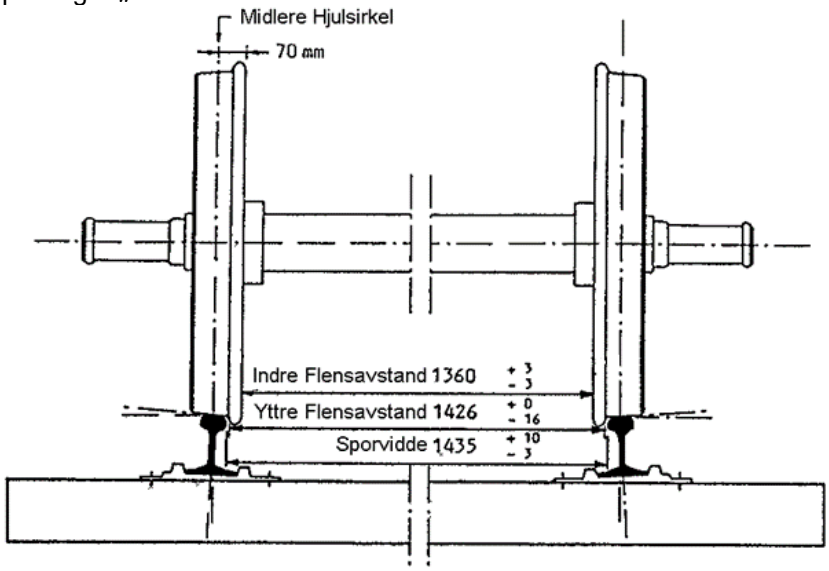
Med dette påpeker guiden at krav er obligatoriske for nye strekninger, men er å anse som opsjon ifm oppgraderinger og fornyelse av eksisterende linjer. Videre beskriver guiden at infrastrukturforvalteren bør ha et vedlikeholdsprogram som gradvis bidrar til overholdelse av TSI krav på sikt. Det er opptil den individuelle infrastrukturforvalteren å bestemme en slik vedlikeholdstilnærming. En slik plan foreslåes det at inkluderes i nye prosjekter som startes.

## 3.2 Forståelse av margin

Marginen ***s*** kan uttrykkes med følgende formel $s = f_f - b_{min}$.
I Bane NOR anvendes $f_f$ = 58 mm som resulterer i en magin på 28 mm gitt sporvidde ***G*** på 1435mm i forhold til hjulflensens bredde mot stokkskinne og fraliggende tunge. Sporveksler har ofte en større sporviddeutvidelse, men ettersom PAL stenger holder avstanden konstant mellom tungene i endepossisjon påvirkers ikke marginen s av sporviddeutvidelsen betraktlig ved drivmaskinene.

### 3.2.1 Forskjell mellom free wheel passage og minimum flangeway area

Minimum flangeway $f_f$ som relaterer seg til 58 mm krav i TRV er enklere å måle enn free wheel passage $f_w$ som TSI kravet referer til.




**Figur 15 Definisjon av viktige parameter for en hjulsats på sporet**

En annen faktor som spiller inn her er hjulsettets indre flensvidde $a_{min}$ på 1360 mm og $b_{min}$ på 30 mm. Avstanden mellom innerside på en side og ytterkant av flens på hjulsettet er $a_{min}$ + $b_{min}$ = 1360 mm + 30 mm = 1390 mm.

Sett opp imot free wheel passage $f_w$ på 1390 mm og + 3 mm toleranse på Indre Flensavstand tilsvarer dette en margin på 7 mm (innside/utside hjulsett - $f_w$ - toleranse (1390 – 1380 – 3 =7)) mellom TSI krav til infrastruktur og TSI krav til Rolling stock. Bane NOR bygger sporvekslene 2 mm videre enn standard Gauge og ytterligere krevet 1 ekstra mm. Sett bort ifra den mest konservative toleransen for hjulsettet er det en 10 mm+1mm margin, mao man kan forvente kontakt mellom fraliggende tunge og bakside av flens ved 47 mm.

Dersom tilliggende tunge ikke ligger inntil stokkskinne samt sporvekselen har sporviddeutvidelse vil måling av Minimum flangeway målet ikke beskrive en korrekt verdi ift hjulsettet. I denne sammenhengen vil da free wheel passage $f_w$ gi et mål som er uavhengig av sporviddeutvidelse noe som kan gi en feilaktig måling sett opp imot togets interaksjon med infrastruktur.

## 3.3 Teknisk regelverk

Nedenfor er de relevante kravene i Teknisk Regelverk [2] for problemstillingen til denne utredningen for både Signal og Overbygning.

### 3.3.1 Generelle bestemmelser

#### 3.3.1.1 1 Hensikt og omfang

*Kravene i prosjektering og bygging gjelder for ny infrastruktur og ved oppgradering av eksisterende infrastruktur. Ved fornyelse gjelder regelverket for vedlikehold.*
*Definisjonene for **«oppgradering»** og **«fornyelse»** er hentet fra direktiv 2008/57/EC artikkel 2 avsnitt (m) og (n)*

- ***oppgradering**, et hvert større modifikasjonsarbeid på et delsystem eller delvis undersystem som forbedrer den generelle ytelsen av delsystemet*
- ***fornyelse**, et hvert større utskiftingsarbeid på et delsystem eller delvis undersystem som ikke endrer den generelle ytelsen av delsystemet*

ERTMS programmet er definert som fornyelse og beskrives innledningsvis som dette i brev [12] ERTMS- orientering om regjeringens beslutning, 09/3272, 26.11.2012. Som resultat av denne definisjonen fremkommer det at skal ERTMS programmet forholde seg til vedlikeholdskapittelet ift

krav. Bestykningskrav beskrevet i Prosjekteringskapittelet er derav ikke gjeldende i denne problemstillingen. Dette gjelder alle fornyelsesprosjekter.

### 3.3.2 Signal Prosjektering

#### 3.3.2.1 1 Hensikt og omfang

*Kapittelet beskriver generelle bestemmelser og tekniske krav for signalanlegg. Kravene i dette dokumentet gjelder for nye anlegg og ved funksjonsendringer i eksisterende anlegg.*

*Ved endringer som bare berører et delsystem, skal regelverket for dette delsystemet følges, dersom ikke annet er angitt.*

For eksempel er bytte av en sporveksel å betrakte som en funksjonsendring dersom den nye sporvekselens egenskaper er endret i forhold til den gamle. En ren utskifting eller vedlikeholdsaktivitet er ikke å betrakte som en funksjonsendring. Dette gjelder f.eks. bytte av relé, bytte av kabel eller andre bytter "en til en". Det er heller ikke funksjonsendring å forsterke en funksjon ved for eksempel å montere en ekstra bomlykt på eksisterende bom, flytte innkoblingsfelt eller å erstatte glødelamper med lysdioder.

Gitt av eksemplene over fremkommer det at ITS 710s funksjon er tilsvarende andre drivmaskiner og for eksempel økt fastholdekraft er en forsterkning og ikke en funksjonsendring.

***TRV:05546***

*c) Sporvekselutrustningen skal sikre at kontroll av posisjon kun oppnås når avstanden mellom fraliggende sporvekseltunge og stokkskinne er ≥ 58 mm ved kontrollpunktene.*

Tidligere inneholdt dette kravet følgende unntak som ble fjernet 8. februar 2023. Konsekvensen av denne endringen er at alle eksisterende sporveksler med 1 drivmaskin også må oppfylle kravet selv om dette ikke er fysisk mulig.

1. ***Unntak**: Gjelder ikke i sporveksler utrustet med bare en drivmaskin.*

#### 3.3.2.2 Signal vedlikehold

***TRV:08329***

Når sporveksel legges om skal det ikke kunne oppnås kontroll om det legges imellom passbit på 5 mm ved tungespiss.

Avstand mellom tilliggende tunge og stokkskinne etter at sporveksel er lagt om og i kontroll, skal ikke overstige 3 mm i tungespiss i henhold til overbygningskrav TRV:04419. Dette må også kontrolleres av Signal etter innlegging eller arbeid på drivmaskinen, og ved generiske kontroller.

Ved innlegging av ny drivmaskin og etter arbeid på drivmaskinen må det kontrolleres at TRV:04422 er oppfylt, det vil si at det er minst 58 mm avstand mellom stokkskinne og fraliggende tunge i hele tungens lengde.

### 3.3.3 Overbygning Vedlikehold

***TRV:04422***

*Avstand mellom fraliggende tunge og stokkskinne skal være ≥ 58 mm kontrollert i hele tungens lengde.*

### 3.3.4 Tungelåsing

***TRV:02716***

a) Avhengig av låsesystem for tunger skal ikke hastighet i sporveksler overstige verdier i Tabell: Hastighet avhengig av tungelåsing.

**Tabell: Hastighet avhengig av tungelåsing**

| System for låsing av tunge | Maks tillatt hastighet [km/h] |
|---|---|

| | |
|---|---|
| direkte låsing og direkte deteksjon | ingen hastighetsbegrensning |
| min. 2 drivmaskiner av ikke oppkjørbar type | 160 |
| enkel oppkjørbar drivmaskin (for eksempel type Siemens bsg.antr. 9b) | 130 |
| drivmaskin type EB/LME JEA-30 og med motorsperre utført som snekkedrev | 130 |
| drivmaskiner av andre typer | 100 |
| palstengsel og rigel type DSI | 130 |
| palstengsel og kontrollås etter tegning S.585a | 130 |
| hakestengsel med rigel eller kontrollås | 100 |
| for øvrig | 40 |

### 3.3.5 Sporvidde i sporveksel

***TRV:04442***

a) Toleranser for sporvidde i tungeparti (A5- rett linje, A7 - avvik) og mellomparti (A9 - rett linje, A10 - avvik) er gitt i Tabell: Toleranser for sporvidder ved tungeparti og mellomparti.

Tabell: Toleranser for sporvidder ved tungeparti og mellomparti

| Kvalitetsklasse | Umiddelbar grense (mm) | | Vedlikeholdsgrense (mm) | |
|---|---|---|---|---|
| | minimum | maksimum | minimum | maksimum |
| Q0 | 1432 | 1445 | 1432 | 1441 |
| Q1 | 1432 | 1445 | 1432 | 1441 |
| Q2 | 1432 | 1445 | 1432 | 1441 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Q3 | 1430 | 1450 | 1432 | 1445 |
| Q4 | 1430 | 1455 | 1432 | 1450 |
| Q5 | 1430 | 1465 | 1432 | 1460 |

Bemerker at toleransegrensene beskrevet her er større enn margin angitt for Minimum flangeway $f_f$ se kapittel 3.2.1.

# 4 DETALJERT PROBLEMBESKRIVELSE

I Bane NORs infrastruktur er det en rekke sporveksler som er konfigurert med kun en drivmaskin og en utforming at kravet til 58mm ikke oppfylles. Dette gjelder hovedsakelig 1:9 R300 sporveksler, men også observert på veksler med kortere radius.

Tilsvarende krav i Teknisk regelverk vil utskiftning av drivmaskin i en vedlikeholds sammenheng ikke trigge krav til ombygging av hele sporvekselen.

Vedlikeholdskravene TRV:04422 og TRV:07164 inneholder ingen unntak for sporveksler som er bygget med 1 drivmaskin og skaper en problemstilling der man i mindre grad har muligheten til å oppfylle kravet pga begrensninger i sporvekselens konstruksjon. Dette er uavhengig av ERTMS programmet. Tidligere versjon (før 8. februar 2023) av prosjekteringskravet TRV:05546 inneholder et unntak der sporveksler som er konstruert med kun en drivmaskin kan kravet om 58 mm kontroll fravikes. Det er en utfordring i praksis at det eksisterer vedlikeholdskrav som ikke lar seg oppfylles og må da søkes om dispensasjon fra.

Det er også viktig å differensiere mellom eksisterende sporveksler og de tilfellene der sporvekselen byttes i sin helhet.

## 4.1 Dokumenterte ulykker som har relasjoner med free flangeway

### 4.1.1 Avsporing Toijala, 16 Juni 2009, Finland

I Finland, Toijala [13] sporet et godstog av i en sporveksel av typen 1:9 R300. Sporvekselen er i forbindelse en avvikende sporveksel fra et skifteområde. Sporvekselen er utrustet med Siemens BSG-9 drivmaskin samt fjærvippe (Railex) og posisjonskontakter ved fjærvippe. Denne ulykken har likheter med både Grayrigg i 2007 (kapittel 4.1.4) samt Lichtenberg 2020 (kapittel 4.1.5).

Oppsummert gir ikke rapporten en endelig konklusjon, men følgende indikasjoner til en sannsynlig årsak.

Fjærvippen og tilhørende posisjonsbrytere var justert feil som resulterte i at tilliggende tunge hadde 17 mm avstand til stokskinnen (Residual switch opening). Dette har trolig resultert i en lavfrekvent oscillering av toget som igjen forplantet seg til fraliggende tunge. Disse vibrasjonene har deretter forplantet seg inn til drivmaskinens interne låsemekanime som hadde en fastholdekraft på 6,3 kN. Vibrasjonene har deretter resultert i at drivmaskinens interne låsemekanisme har gitt etter. Dette er dels sammenliknbart med ulykken i Lichtenberg som resulterte i en redesign av ELS 710 til dagens versjon (GS3). Utover at rapporten belyser mangler med vedlikeholdsdokumentsajonen samt en feiljustering av fjærvippen er det lite fokus på vedlikeholdsrutinene i rapporten.

Vedlikeholdsrapportene for sporvekselen hadde mangler. I forkant av ulykken var det innrapportert problemer med at sporvekselen hadde kommet ut av kontroll gjentatte ganger. Fjærvippe kontrollbryterene var også justert 15 mm feil. Dette resulterte i at man oppnådde kontroll selv om avstand mellom tilliggende tunge og stokkskinne var feil.

I granskningsrapporten er det sett på resonansfrekvenser til tungepartiet som funksjon av hastighet. Dette er interessante tilnærminger, men kan ikke direkte overføres ettersom friksjon mot glideplater og bruken av fjærvippe vil påvirke forholdene.



**Figur 16 Sporveksel fra Taijala etter ulykke**

### 4.1.2 Avsporing Vammala, 6 April 2013, Finland

I likhet med ulykken i Toijala har ulykken i Vammala[14] en god relevans ettersom det er en 1:9 R300 sporveksel. Sporvekselen er bestykket med en BSG-9 drivmaskin og fjærvipper. Ingen personer kom til skade. Ulykken skjedde med russiske vogner.

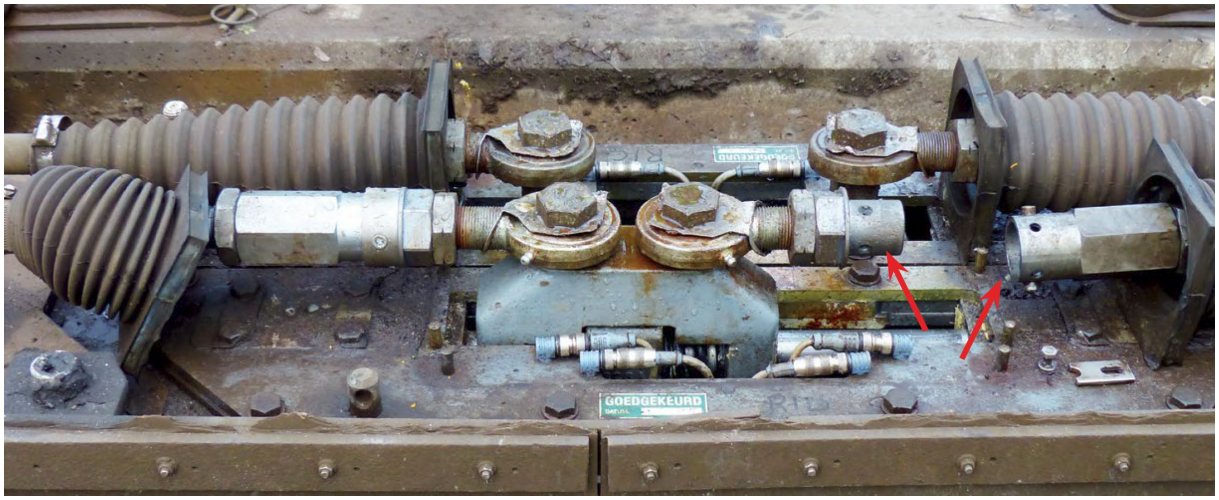
I konklusjonen til denne rapporten beskriver det at alt av prosedyrer var ok på papiret, men ikke gjennomført i praksis. Avvik hadde vært systematisk blitt underrapportert. I granskningen var det funnet at kompetansen for sporvekselinspeksjoner var begrenset og ikke oppdatert. Det er i etterkant overraskende at det er så sterke likheter mellom ulykken i Toijala og Vammala.

Fjærvippen i sporvekselen var justert feil og fraliggende tunge hadde en 10 mm for smal åpning. Dette i kombinasjon med at de russiske vognene har en 5 mm trangere avstand på indre flensavstand (se Figur 15, men annen måleverdi). Sikringsanlegget hadde meldt status «trailed» i over 12 mnd, men meldingene hadde blitt ignorert. Videre hadde kvalitetskontroller på arbeidet vært mangelfulle.

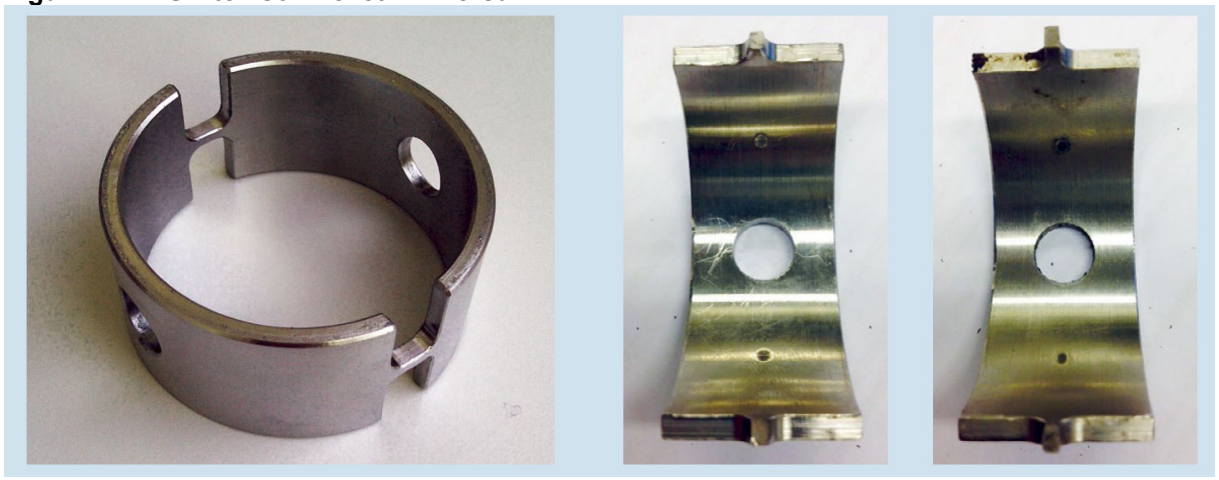
Konstruksjonen til sporvekselen kan sammenliknes mer med et oppsett likt «Figur 40 Kraftretninger på fraliggende tunge med 2 drivmaskiner» der fjærvippen fungerer som drivmaskin nummer to. Det er ikke undersøkt videre forskjeller mellom den interne låsemekanismen til BSG-9 sammenliknet med CKA-12.

### 4.1.3 Avsporing Hilversum, Nederland, ProRail 15. Januar 2014

I 2014 ble det en ulykke i sporveksel 3B utenfor Hilversum i Nederland. Denne ulykken ble grundig gransket og rapporten [4] peker til at årsaksbildet er sammensatt og av flere dimensjoner. Den direkte årsaken var en brytering i drivmaskinen (EBI Switch) som feilet.



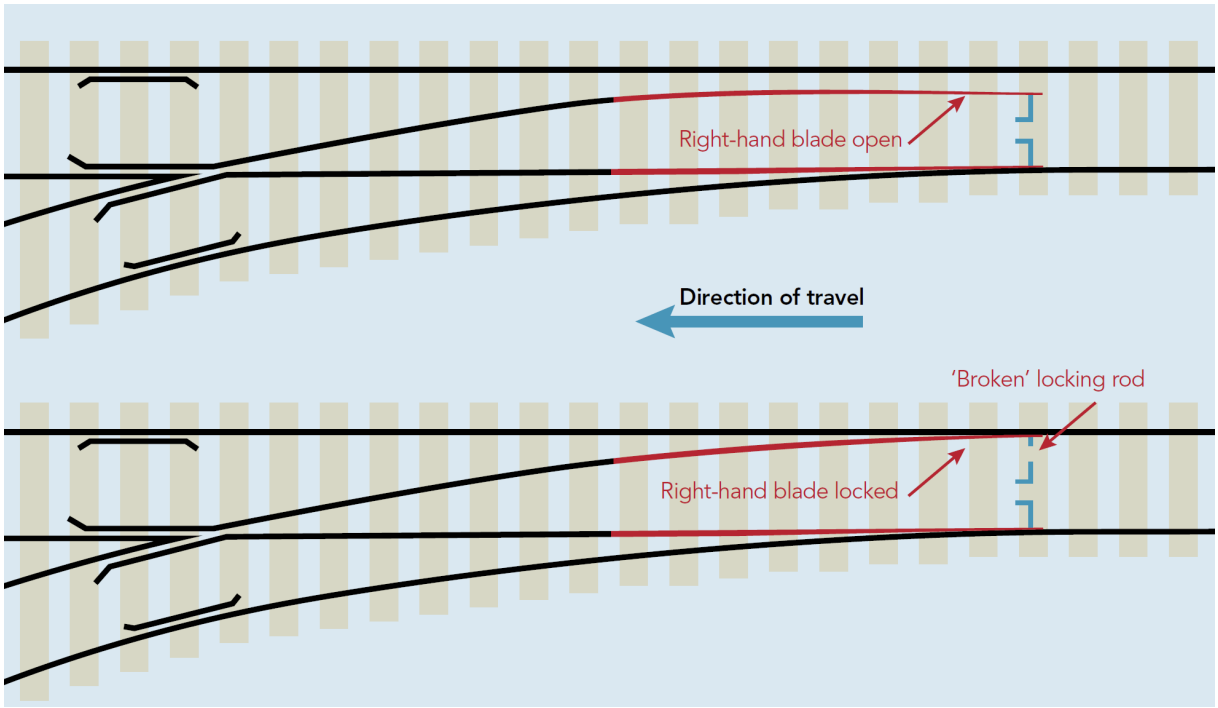

**Figur 17 EBI Switch som feilet i Hilversum**



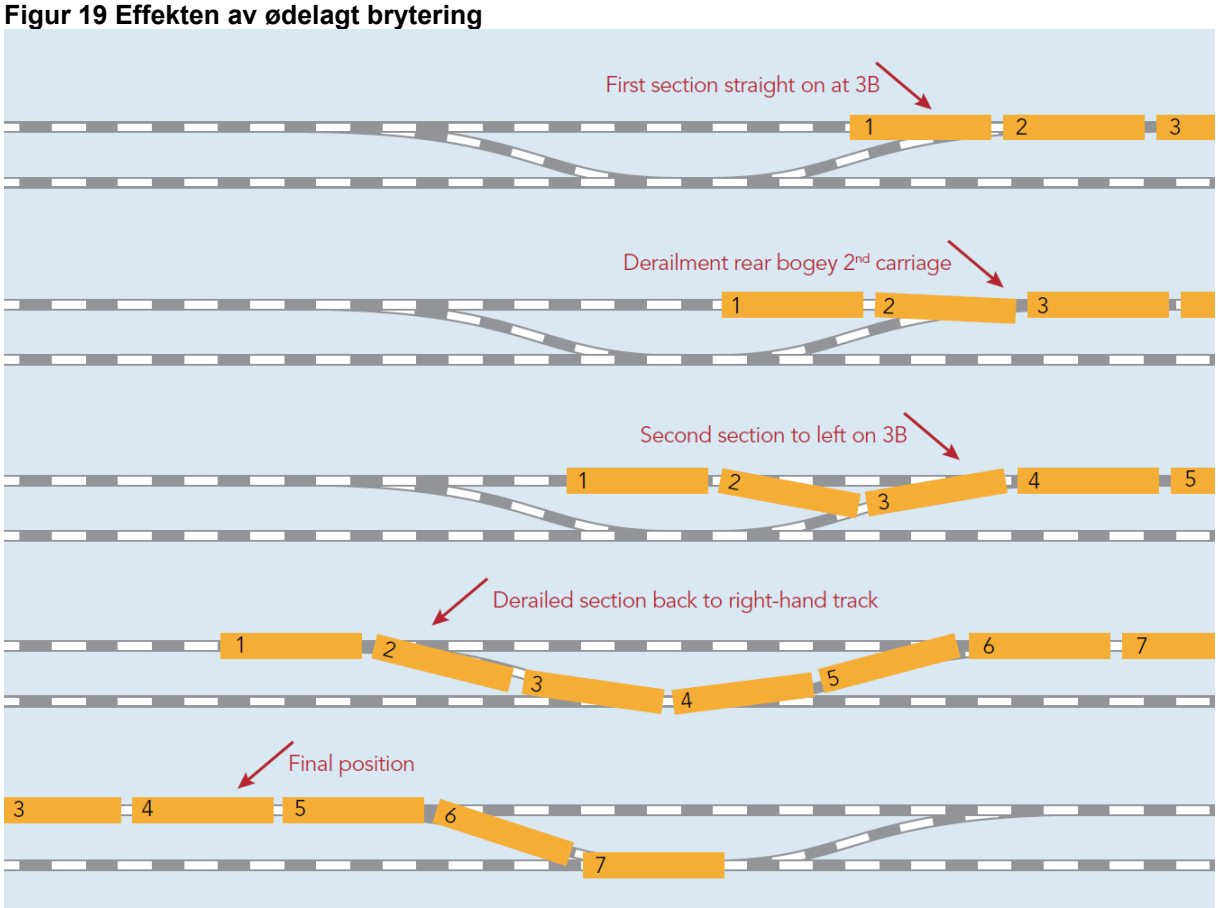
**Figur 18 Brytering som hadde en produksjonsfeil**

#### 4.1.3.1 Ulykke beskrivelse

Figur 20 Togbevegelse, Januar 2014 Hilversum  nedenfor beskriver togets bevegelsesmønster.
Mellom steg 1 og 2 feilet bryteringen som medførte at høyre tunge la seg inntil stokkskinne (Figur 19).




**Figur 19 Effekten av ødelagt brytering**

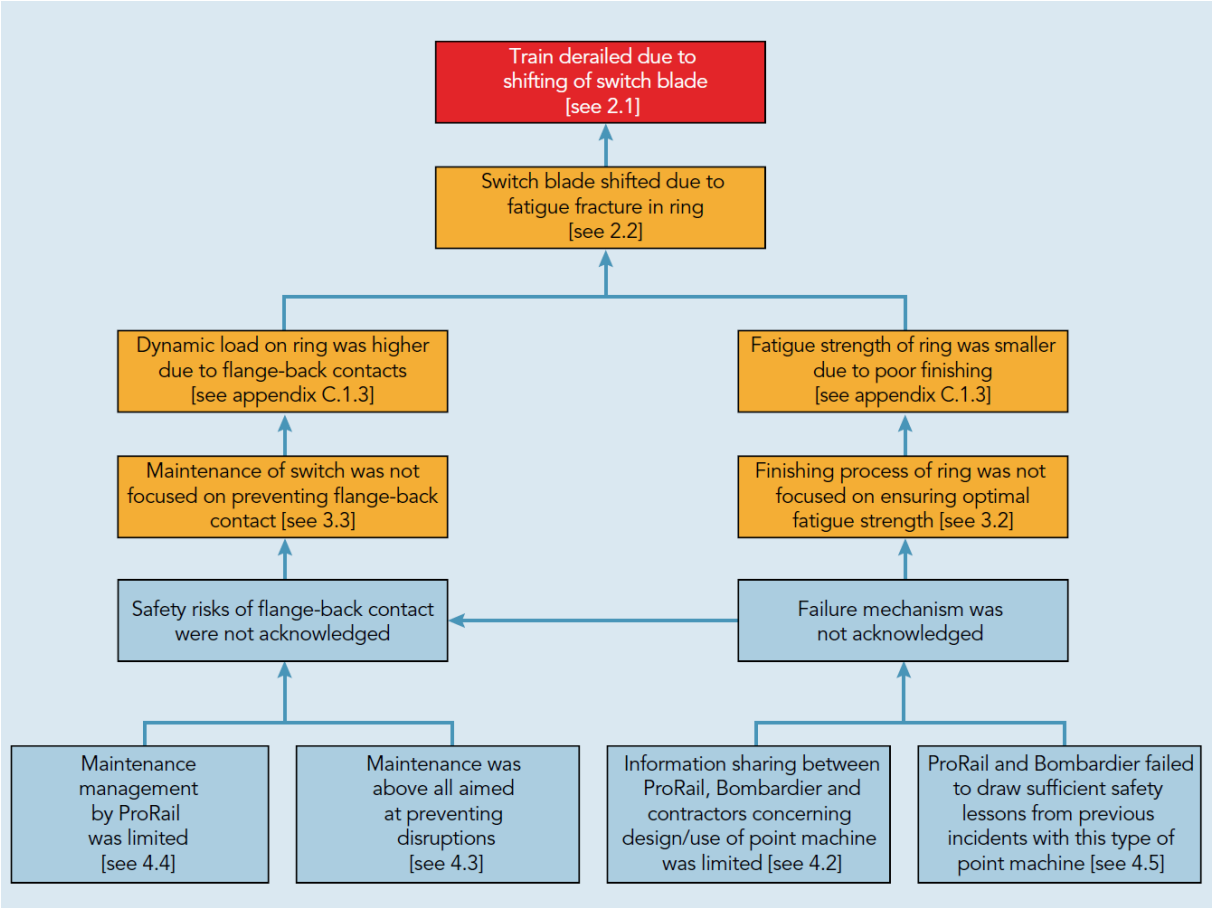



**Figur 20 Togbevegelse, Januar 2014 Hilversum**

#### 4.1.3.2 Årsakssammenheng

a. Manglende vedlikehold og ProRail's kunnskap om infrastrukturens tilstand.
b. Modell for utsettelse av vedlikeholdstjenester med fokus på ytelse og ikke at sporveksel fungerer som en helhet sikkerhetsmessig.

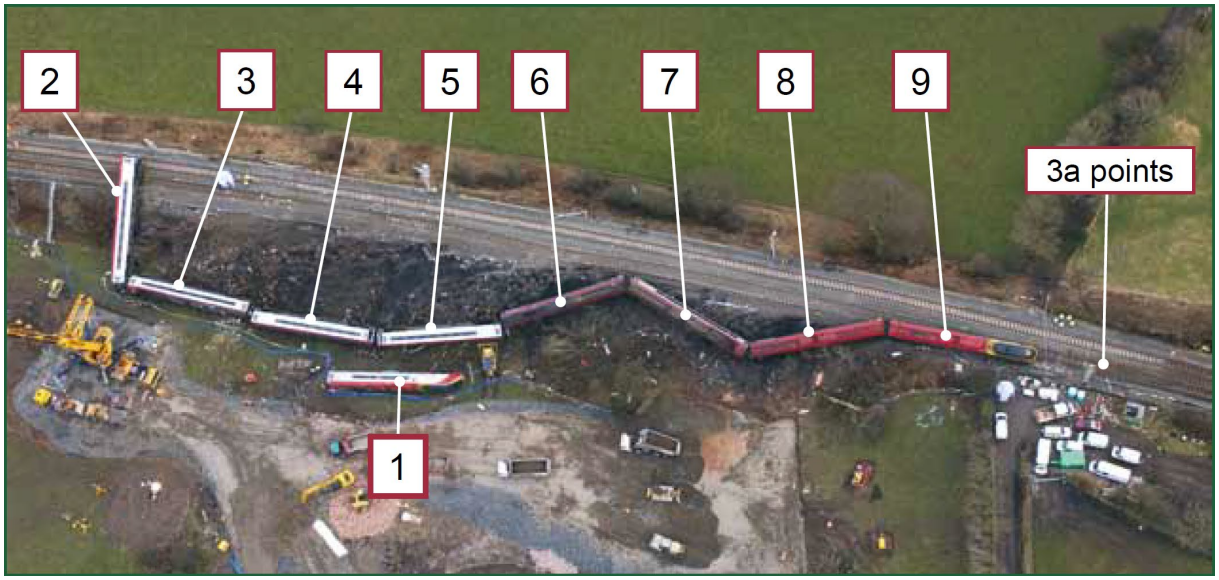
c. EBI Switch (drivmaskinens) konstruksjon der et bryte-element var ikke designet som hensyntar vibrasjoner. Dette bryteelementet hadde produksjonsmangler.
d. Krav til free wheel passage var på det tidspunkt 1396mm hvor TSI krever 1380 mm.
e. Testmetode i Nederlands infrastruktur ga ikke reelt korrekt målt verdi for free wheel passage og ville trolig ikke trigget en vedlikeholdsaktivitet.
f. Sporvekselens glidesko og tungeruller var utslitte og ikke kontrollert og byttet tilstrekkelig ettersom de ikke var ansett som en sikkerhetskritisk funksjon.




**Figur 21 Dynamisk representasjon av feil og underliggende årsak**

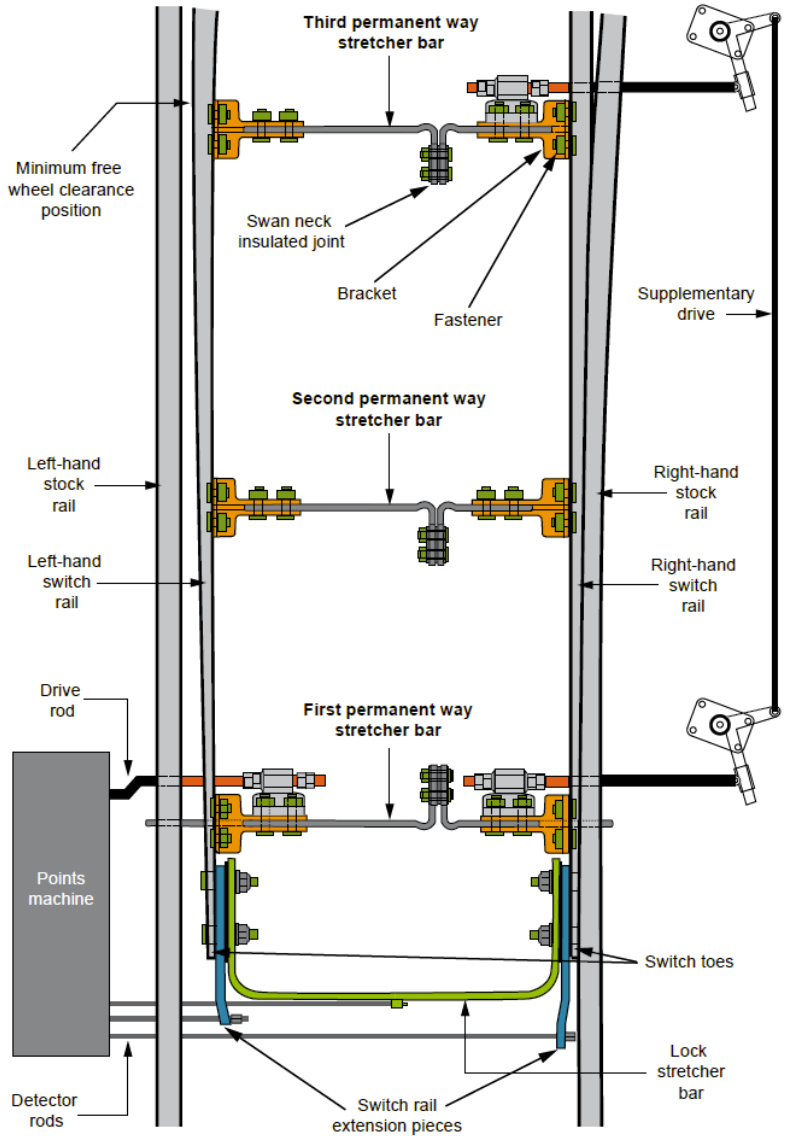
### 4.1.4 Avsporing Grayrigg, UK, Network Rail 23. Februar 2007

Grayrigg I Cumbria, West Coast Main Line (WCML) 20:12 avsporet et passasjertog i sporveksel Lambrigg 2B. 8 vogner skled ned en skråning hvorav 5 vogner veltet. Toget hadde en hastighet på 153 km/t. I ulykken omkom 1 person og 86 mennesker ble hard skadet.

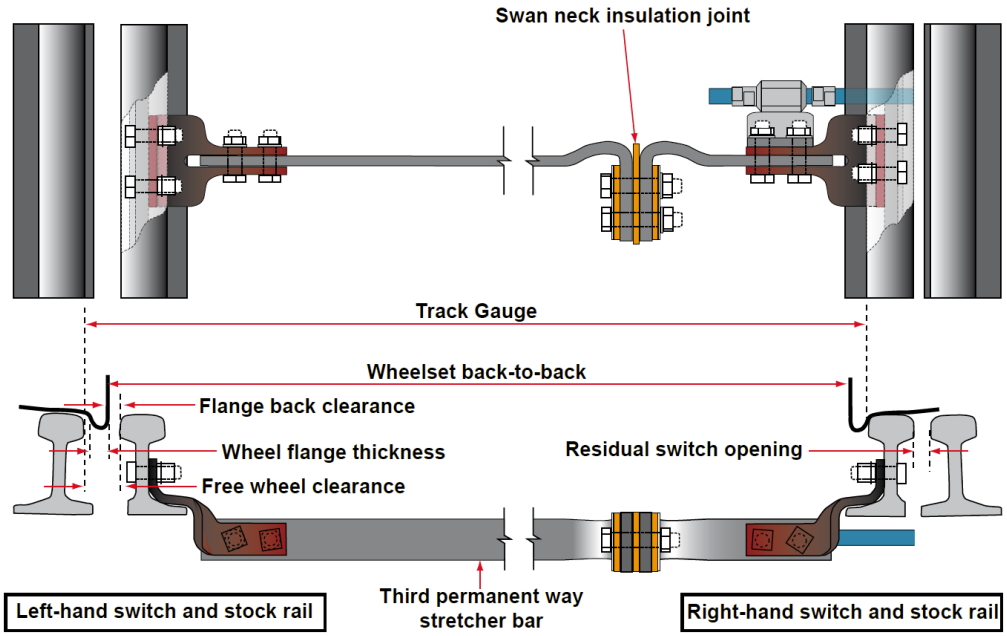



**Figur 22 Flyfoto av Grayrigg, Lambrigg ukykkesstedet**

I likhet med ulykken i Hilversum kap 4.1.1 peker en del av funnene til mangler ved vedlikehold. Konstruksjonen til drivmaskinen i sporvekselen her kan ikke sammenliknes med det som anvendes i Bane NOR.




**Figur 23 Sporvekselens drivmaskinkonstruksjon Lambrigg 2b**




**Figur 24 Prinsipiell skisse av tverrsnitt av veksel med relevante termer**

I rapporten beskrives det at bolten som holder den tredje forbindelsstangen (Stretcher-bar) til høyre løsnet. Dette resulterte i overdrevet «residual switch opening» og som igjen medførte at venstre tunge ble truffet av baksiden av hjulflensen. Dette resulterte i ekstreme svingninger og medførte at de resterende forbindelssestengene sviktet og tungespisspartiet ble frikoplet (unrestrained). Denne degraderingen skjede over et tidsspenn fra ca 7. Januar 2007 til 21. Februar for forbindelsesstengene 2 og 3. Første forbindelsesstang feilet trolig i tidsrommet 21-23. Februar 2007.

I etterkant av ulykken har Network Rail utført omstendelig kontroller på liknende sporveksler der ingen veksler har hatt liknende symptomer for degradering. Network Rail har forbedret vedlikeholdsinstruksjoner og visuelle inspeksjoner. De har innført et program der «Residial switch opening» korrigeres.

I denne ulykken er free flangeway en sekundær faktor der en underliggende feil medførte en ustabilitet i sporvekselen som igjen muliggjorde at baksiden av hjulflensen kom i kontakt med fraliggende tunge. Som indikert av Figur 23 Sporvekselens drivmaskinkonstruksjon Lambrigg 2ber konstruksjonen signifikant forskjellig sammenliknet med individuelle drivmaskiner med sine eksterne låsemekanismer som anvendes i Bane NOR. Linjehastigheten i Grayrigg var 153 km/t. I forbindelse med forberedende undesøkelser gjort av ERTMS programmet er det funnet fler sporveksler der det er avstand mellom tilliggende tunge og støtteknaster «Residual Switch opening» ref Tor-Arne Trælnes, ERTMS Signalling System, Bane NOR. Dette koples til TRV:04425 og ihht ORE 70 kontrolleres hver 2. mnd se kap 6.1.2.

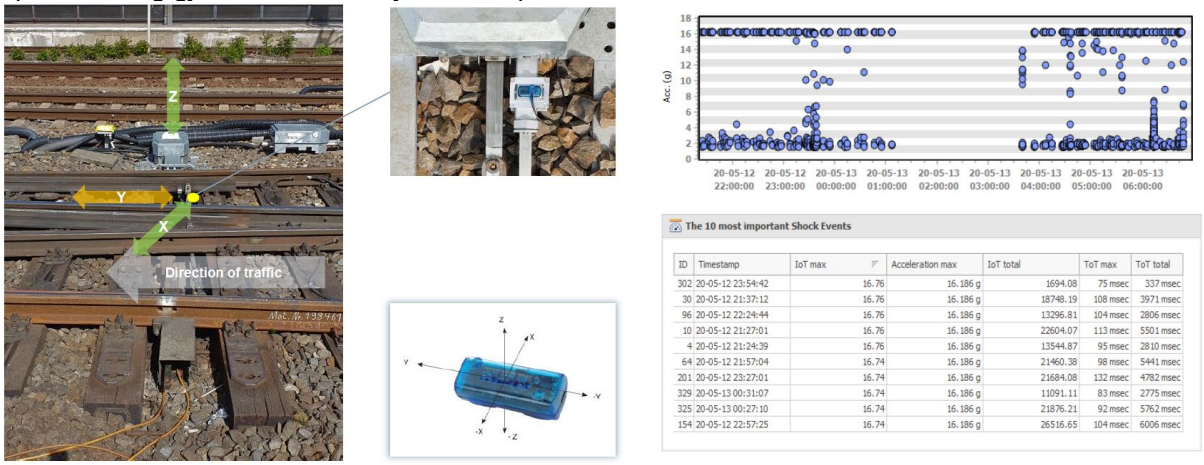
### 4.1.5 Hendelse i Lichtenberg/Berlin, Tyskland 2020

I 2020 var det en ulykke i Berlin/Lichtenberg stasjon der en DKV med ELS710 mistet kontroll og medførte avsporing [5]. Dette er ikke et sammenliknbart scenarie ettersom kreftene var i lengderetningen, men tiltaket har relevans for denne utredningen. Nedenfor beskrives registrerte belastning som er repetert under testing

- Kontinuerlig vibrasjoner i lengderetningen 6 G -10 G/ 5-16ms
- Kombinert med tungespenn på 900 N

Det som imidlertid kan ansees som felles er sterke vibrasjoner. Disse vibrasjonene medførte til en gradvis opplåsning av ELS 710 GS1. Endringene på ELS 710 GS3 er et direkte resultat av denne ulykken, som en forbedret variant der disse vibrasjonene skal ikke lenger ha en innvirkning på låsingen internt i maskinen.

Siemens gjennomførte grundige analyser sammen med DB for å kartlegge vibrasjonsbildet fra tog i en sporveksel og gjennomført vibrasjonstester på holdemekanismen til ELS 710 GS3.




| ID | Timestamp | IoT max | Acceleration max | IoT total | ToT max | ToT total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 302 | 20-05-12 23:54:42 | 16.76 | 16.186 g | 1694.08 | 75 msec | 337 msec |
| 30 | 20-05-12 21:37:12 | 16.76 | 16.186 g | 18748.19 | 108 msec | 3971 msec |
| 96 | 20-05-12 22:24:44 | 16.76 | 16.186 g | 13296.81 | 104 msec | 2806 msec |
| 10 | 20-05-12 21:27:01 | 16.76 | 16.186 g | 22604.07 | 113 msec | 5501 msec |
| 4 | 20-05-12 21:24:39 | 16.76 | 16.186 g | 13544.87 | 95 msec | 2810 msec |
| 64 | 20-05-12 21:57:04 | 16.74 | 16.186 g | 21460.38 | 98 msec | 5441 msec |
| 201 | 20-05-12 23:27:01 | 16.74 | 16.186 g | 21684.08 | 132 msec | 4782 msec |
| 329 | 20-05-13 00:31:07 | 16.74 | 16.186 g | 11091.11 | 83 msec | 2775 msec |
| 325 | 20-05-13 00:27:10 | 16.74 | 16.186 g | 21876.21 | 92 msec | 5762 msec |
| 154 | 20-05-12 22:57:25 | 16.74 | 16.186 g | 26516.65 | 104 msec | 6006 msec |

**Figur 25 Kartlegging av vibrasjoner i sporveksel**

I etterkant av oppgraderingene har Siemens gjennomført vibrasjonstester [11] med belastning på fastholdekraften på 3,5 kN. Resultatene tilsier at vibrasjoner i en dynamisk sammenheng tåler mer enn 3,5 kN, mens enhver drivmaskin av ELS 710 testes statisk i sluttkontroll fra fabrikk med 11 kN fastholdekraft.

Parametrene for vibrasjonstesten er følgende

| ***Kind of test***<br>***Evaluation*** |
|---|
| *Functional test*<br>*Vibration, broad-band random* |
| *DIN EN 60068-2-64*<br>*longitudinal:*<br>*5 Hz 0,4 $(m/s^2)^2/Hz$, 250 Hz 0,3 $(m/s^2)^2/Hz$,*<br>*650 Hz 12 $(m/s^2)^2/Hz$, 2000 Hz 8 $(m/s^2)^2/Hz$,*<br>*Effektivwert 119$(m/s^2)_{rms}$*<br>*transversal:*<br>*5 Hz 0,4 $(m/s^2)^2/Hz$, 250 Hz 0,35 $(m/s^2)^2/Hz$,*<br>*450 Hz 4 $(m/s^2)^2/Hz$, 2000 Hz 2 $(m/s^2)^2/Hz$,*<br>*Effektivwert 74$(m/s^2)_{rms}$*<br>*vertical:*<br>*5 Hz 0,4 $(m/s^2)^2/Hz$,*<br>*850 Hz 40 $(m/s^2)^2/Hz$, 2000 Hz 6 $(m/s^2)^2/Hz$,*<br>*Effektivwert 176$(m/s^2)_{rms}$*<br>*300 minutes (100 minutes each axis)* |
| *Functional test*<br>*bump, half sinuously* |
| *DIN EN 60068-2-29*<br>*horizontal:*<br>*Shocks 250m/s², 6 ms*<br>*Vertical:*<br>*Shocks 300m/s², 8 ms*<br>*6000 shocks (1000 shocks per axes and direction)* |

**Figur 26 Vibrasjonstest av GS3[11] i henhold til DIN 60068-2-64**

## 4.2 Fellestrekk mellom ulykker

Flere av granskningsrapportene todeler årsaken der den direkte årsaken er komponentsvikt, men bakenforliggende årsak peker til svikt i vedlikehold. Avvikene i vedlikehold tilskrives underrapportering, kompetanse, outsourcing etc. Det ville være naivt å tro at Bane NORs vedlikeholdsrutiner er bedre enn andre europeiske land. Dette underbygges av egne interne observasjoner som rapport fra ERTMS undersøkelser [15].

Rent mekanisk har flere av ulykkene har inntruffet som resultat i at toget oscillerer som resultat at det er for stor avstand mellom tilliggende tunge og stokkskinne. Disse vibrasjonene har igjen resultert i at hjulflensen kommer i kontakt med fraliggende tunge. Det er minimalt med informasjon om

sporviddeutvidelse som også vil resultere i at marginen for åpningen mellom fraliggende tunge og stokksinne. Det er også kun ulykken i Lichtenberg som omtaler tungespenn.

# 5 MATEMATISKE MODELLBEREGNIGER OG VIBRASJONSTESTING

Høsten 2023 ble Vossloh bedt om å gjennomføre statiske beregninger som skulle indikere kreftene som påvirker låsemekanismen. Dette sammenliknes senere mot vibrasjonstester som Siemens har gjennomført på deres GS3 variant av ITS 710, se kap 4.1.5.

## 5.1 FEM analyse for tunge-drivmaskin belastning

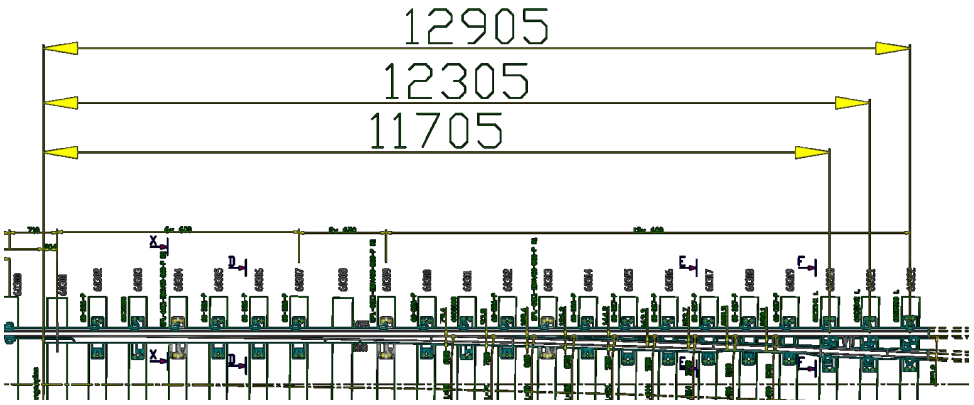
Vossloh brukte Afry for å gjennomføre beregningene. Alle simuleringer ble gjennomført på sporvekseltypen 1:9 R300 (EV-60E-300-HV) som er den samme sporvekseltypen som har størst utfordring med oppfyllelsen av 58 mm kravet. I Figur 27 beskrives en påtrykt kraft i den retning som er kritisk for opplåsing. Dette er i motsatt retning av hva et direkte slag fra hjulflensen og må da ansees som en rekyl fra et slag.




**Figur 27 Indikering av Applied load i sammenheng med 1st drive for fraliggende tunge**

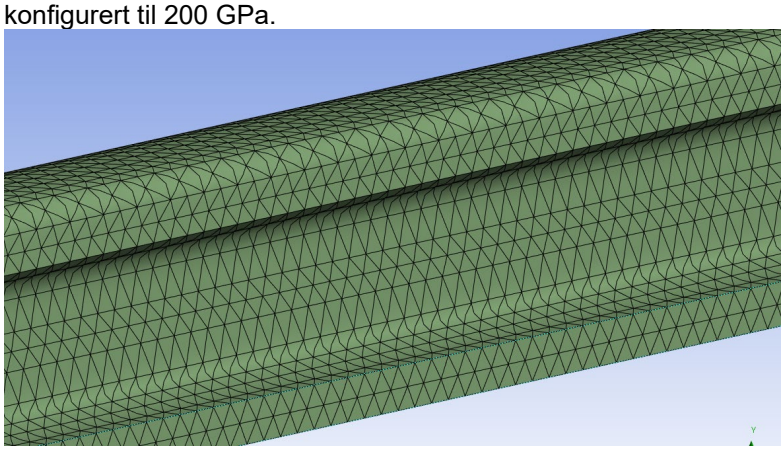
### 5.1.1 Oppsett

Sporvekselens relevante lengder av tungeparti er beskrevet i Figur 28 som er brukt som grunnlagsdata til FEM analysemodellen.



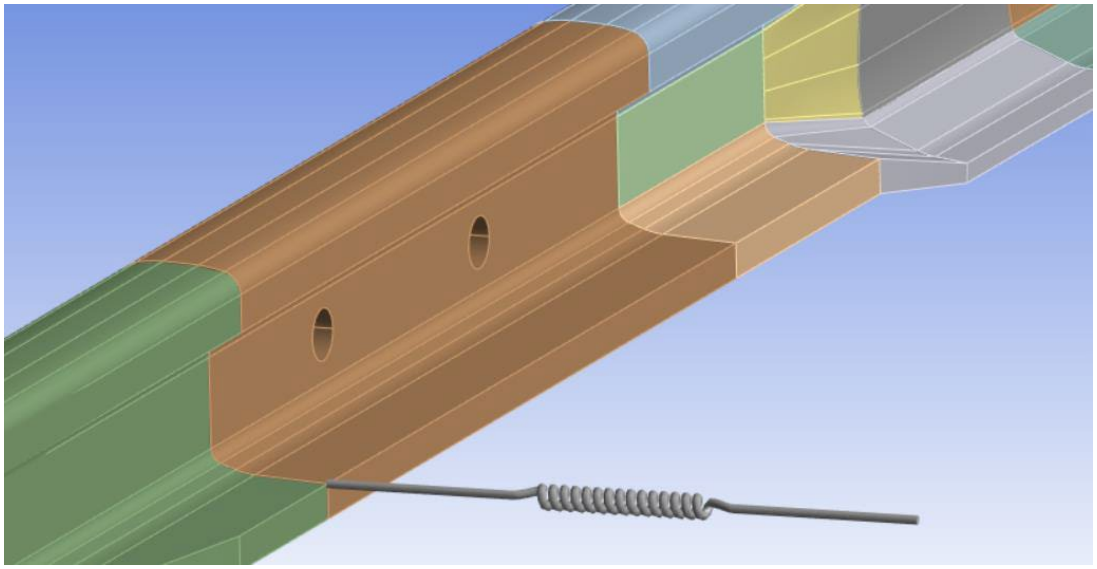

**Figur 28 Sporvekseltegning EV-60E-300-HV som grunnlag til beregninger**

Finite Element oppsett. Bare tunge-elementet er en del av analysen. Materialets E-modul er konfigurert til 200 GPa.

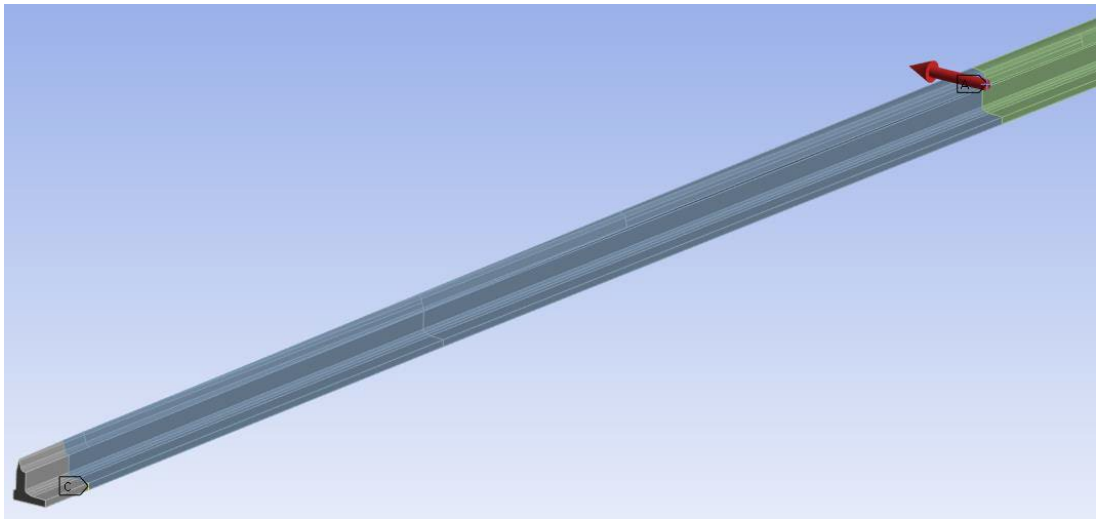


**Figur 29 Tetrahedral element**

Det er ikke inkludert friksjon mellom tunge og glidesko. Dette er en forenkling som resulterer i mer konservative resultater.



**Figur 30 Introdusert fjær med stivhet 75 kN/mm for at modellen skal være mer reel mot en tilsvarende fysisk konstruksjon**



**Figur 31 Boundary conditions 1 st drive og retning av external force (z-axis)**

Ekstern kraft som påtrykkes er 4,5m fra tungespiss. Drivmaskinens omleggingskappasitet har ingen relevans i denne sammenhengen ettersom sporvekselen er i låst endeposisjon.

### 5.1.2 Resultater fra beregninger

| 1st drive force [kN] | Simple support – K = 75 kN/mm | | Simple support – K = 50 kN/mm | |
|---|---|---|---|---|
| | External force [kN] | Z-deflection @ Applied force [mm] | External force [kN] | Z-deflection @ Applied force [mm] |
| 3.5 | 7.30 | 109.9 | 7.28 | 110.2 |
| 11 | 22.93 | 345.4 | 22.88 | 346.3 |

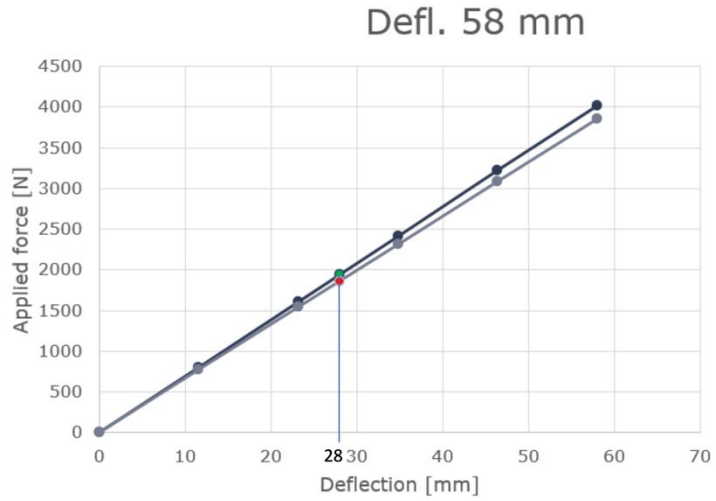
**Figur 32 Resultater fra beregninger med utgangspunkt i ITS 710 ytelsesdata for fastholdekraft 11 kN og vibrasjonstesting 3,5 kN**

Etter redesign av interne komponenter i drivmaskinen ELS 710 (GS3) ble det gjennomført vibrasjonstesting med kontinuerlig påkjenning på fastholdekraften med 3,5 kN. Figur 32 beskriver hva den teoretiske avbøyningen måtte være for å se dette i sammenheng med vibrasjonstestingen (dynamisk) 3,5 kN samt sluttkontrolltesting (statisk) på 11 kN.

| Fully fixed | | Simple support | | Z-deflection @ Applied force [mm] | X-deflection @ 1st drive [mm] |
|---|---|---|---|---|---|
| Applied force [N] | 1st drive reaction force [N] | Applied force [N] | 1st drive reaction force [N] | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 804.4 | 378.6 | 770.1 | 369.6 | 11.6 | -0.6 |
| 1608.9 | 757.1 | 1540.2 | 739.3 | 23.2 | -1.2 |
| **1941.7** | **913.8** | **1858.8** | **892.2** | **28** | **-1.5** |
| 2413.3 | 1135.7 | 2310.3 | 1108.9 | 34.8 | -1.8 |
| 3217.8 | 1514.3 | 3080.4 | 1478.6 | 46.4 | -2.4 |
| **4022.2** | **1892.8** | **3850.5** | **1848.2** | **58** | **-3.0** |

**Figur 33 Resultater fra beregninger med utgangspunkt i avbøyning av tunge for 28 mm og 58 mm**

I praksis vil avbøyningen ikke kunne bli større enn 28 mm når hjulflensens bredde på 30 mm innkalkulleres.




| Deflection [mm] | 1st drive reaction force [N] | |
|---|---|---|
| | Fully fixed | Simple support |
| 28 | 913.8 | 892.2 |
| 58 | 1892.8 | 1848.2 |

Fully fixed support
Simple supported

**Figur 34 Resulterende krefter ved 1st drivmaskin mot påtrykt kraft**

## 5.2 Sammenlikning av FEM analyse fra Vossloh/Afry mot vibrasjonstesting fra Siemens

En avbøyning i kritisk retning på 28 mm vil resultere i en påkjenning fastholdekraften til ELS 710 på 892.2 N. Denne verdien kan sees i forhold til ELS 710 variantenes ytelse på henholdsvis 11 kN for ikke oppkjørbare og 8,5 kN for oppkjørbare.

Sammenliknes testnivået for vibrasjonstesting (dynamisk) er belastningen godt innenfor 3500 N > 892 N. Dette må også sees i sammenheng med tretthet i materialer som ikke er inkludert her. ITS 710 som system har en konstruksjon som ikke har en brytekomponent i motsetning til drivmaskinen som var anvendt i Hilversum (4.1.3).

Varigheten av vibrasjonstestingen beskrevet i Figur 26 er ikke en testvarighet som i seg selv utfordrer tretthetsdannelser i et lenger tidsrom.

# 6 GENERISKE KONTROLLRUTINER

## 6.1 Kontrollrutiner overbygning

Erfaringene fra ulykkene beskrevet i kap 4.1 er meget relevant for Bane NOR. I Bane NORs Generiske vedlikeholdsrutiner (KO-SPV-0000-01) beskrives følgende.

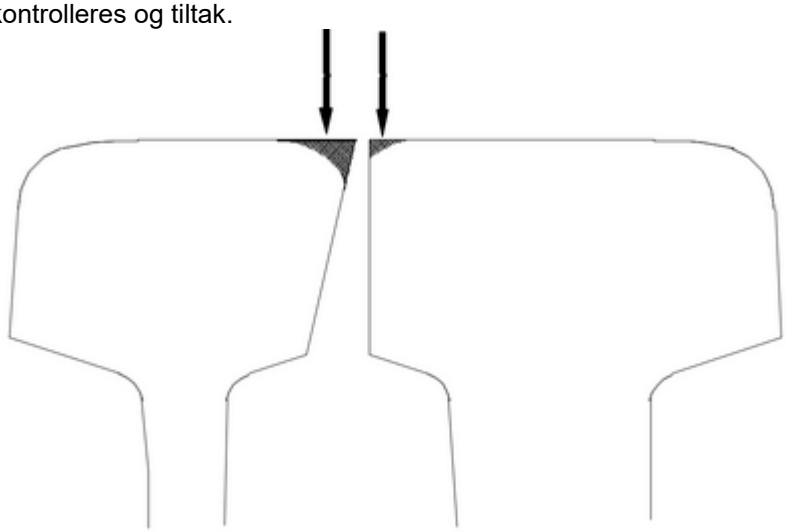
### 6.1.1 Bakside av tunge

Aktivitetsnr.: 1170

| | |
|---|---|
| **Arbeidsbeskrivelse** | Kontroller bakside av tunge for nebb eller graddannelser, ORE70 (4) |
| **Kommentar** | Kapittel 11.a. ORE 70 Undersøkelse 4 |
| **Dokumentreferanse** | https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Vedlikehold/Sporveksler |
| **Intervall** | 4 |
| **Myndighetsnivå** | L |
| **Sportilgang** | J |
| **Type FV** | TK-M |

**Figur 35Kontroll av bakside av tunge for nebb eller graddannelser, ORE70 (4), [3]**

Frekvensen for denne kontrollen er hver 4. mnd. Undersøkelse Nr. 4 beskriver mer detaljert som kontrolleres og tiltak.



**Figur 36Generisk undersøkelse av tungens bakside**

I tiltaket som beskrives dersom det detekteres nebb- eller graddannelser er at skadene fjernes ved avslipning. Her bemerkes det at det er ingen videre rapportering av skaden. Oppsummert er det positivt at det eksisterer en generisk kontroll av baksiden av tungepartiet, men omfanget av kontrollen er begrenset og det rapporteres ikke videre som en sikkerhetskritisk feil som kan for eksempel trigge kontroll av drivmaskinens låsemekanisme.

Utover kontroll av baksiden beskriver Hilversum rapporten manglende kontroller av glidesko.

### 6.1.2 Kontroll av Residual switch opening

Aktivitetsnr.: 1050

| | |
|---|---|
| **Arbeidsbeskrivelse** | Kontroller tilpassing mellom tunge og tungestøtter |
| **Kommentar** | Avstand maksimalt 2 mm ved tilliggende tunge |
| **Dokumentreferanse** | https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Vedlikehold/Sporveksler |
| **Intervall** | 2 |
| **Myndighetsnivå** | H |
| **Sportilgang** | J |
| **Type FV** | TK-M |

Dette kravet koples mot TRV:04425.

Det bemerkes her at i ERTMS programmet har blitt gjennomgått befaring ifm planlegging av installasjon av ITS 710. Det er i de tilfellene observert til tider store avvik. Dette er ikke en del av kontrolloppgaven til ERTMS berfaringen, men det mest ekstreme tilfellet som er observert er på Myrdal V1 ble det observert 27mm avstand mellom tilliggende tunge og stokkskinne, (ref Tor-Arne Trælnes Oslo Infrastruktur/Prosjekter 30.01.2024). Slike undersøkelser er dekket på Overbyning (Sporvekselskjemaet).

## 6.2 Kontrollrutiner signal

I SA-DRV-0000-09 beskriver vedlikeholdsaktiviteter for selve drivmaskinens komponenter. Det er en rekke funksjonelle tester som også trolig ville avdekke svakheter og skader, men aktivitet 1320 med intervall på 12 mnd er trolig den mest relevante kontrollen som vil kunne avdekke skader på komponenter.

Aktivitetsnr.: 1320

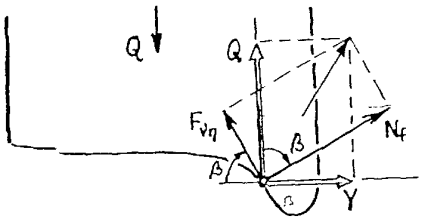
| | |
|---|---|
| **Arbeidsbeskrivelse** | Visuell inspeksjon av drivmaskinens enkelte komponenter. |
| **Kommentar** | Utfør en visuell inspeksjon for å fastslå om de enkelte komponentene i sporvekseldrivmaskinen er skadet. Utløser: skade på komponenter oppdaget. Resulterende aktivitet: bytt skadet komponent / overordnet komponent (LRU) (se korrektiv vedlikeholdstabell for mer informasjon) |
| **Dokumentreferanse** | |
| **Intervall** | 12 |
| **Myndighetsnivå** | L |
| **Sportilgang** | J |
| **Type FV** | TK-V |

# 7 FARE

Risikobildet kan deles i to:

## 7.1 $f_f < b_{min}$

Dersom $f_f < b_{min}$ kan det være en risiko for klatring av hjulflensen mot fraliggende tunge og med avsporing som konsekvens. Flensklatring oppstår når de laterale kreftene ***Y*** er større enn vertikallasten ***Q***.



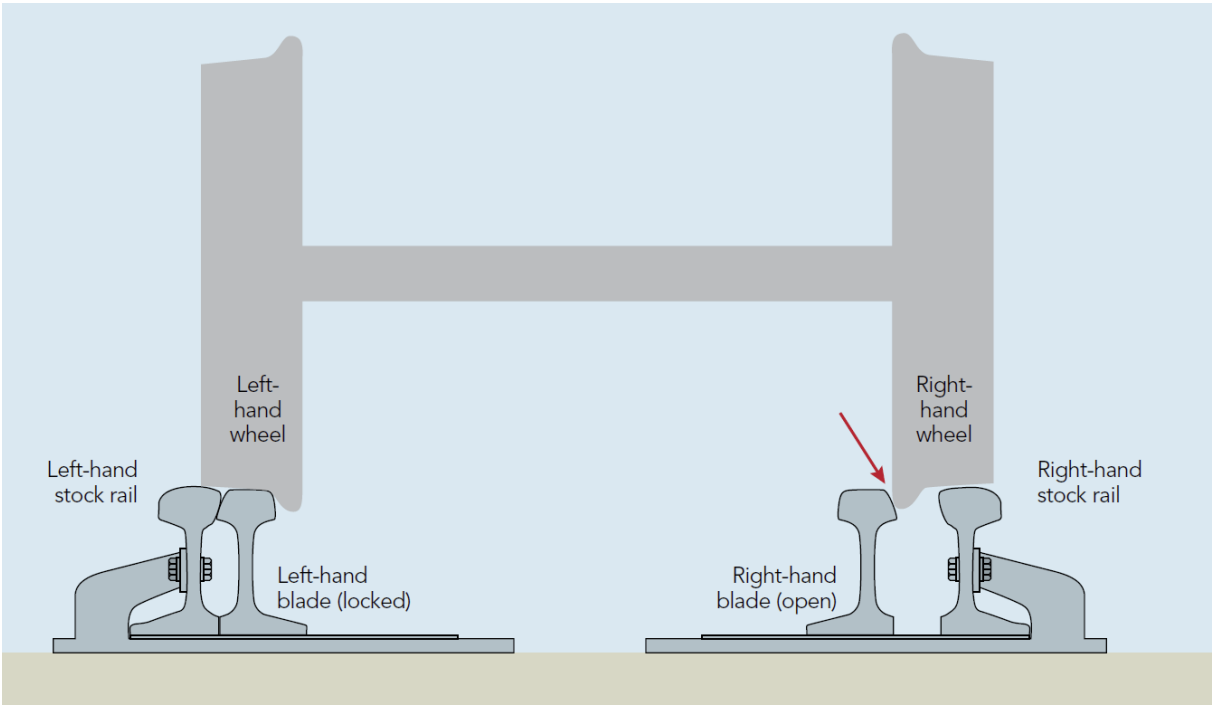

**Figur 37 Vertikale og laterale krefter for flensklatring**

Faren for flensklatring kan oppstå dersom Minimum flangeway er mindre enn flensvidden, $f_f < b_{min}$. For en 1:9 sporveksel R300 med én drivmaskin vil fraliggende tunges nærmeste avstand til stokkskinne være relativt langt bak i sporvekselen. Avstand mellom tungerot og angrepspunktet til drivmaskinen er > 12 meter. Nærmeste punkt vil være rundt 4-6 m fra tungespiss litt avhengig av friksjon på bla glidesko. Med så lang avstand mellom tungens fastholdepunkter er det forventet at tungen vil flekse fremfor å løfte hjulflensen.

Dette er også baksiden av hjulflensen og det i seg selv kan ansees som nærmere usannsynlig at skal inntreffe og vurderes ikke videre i dette dokumentet.

## 7.2 Slag og vibrasjoner

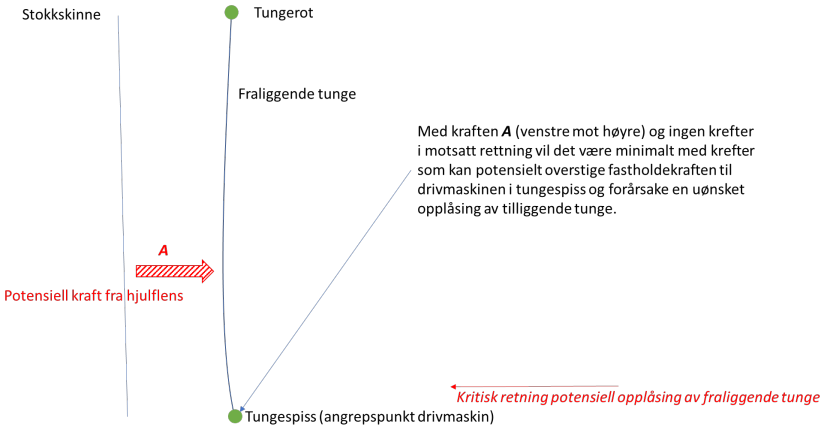
Dersom baksiden av hjulflensen kommer i kontakt med fraliggende tunge vil det være potensiale for at vibrasjoner forplanter seg fremover mot låsemekanismen.



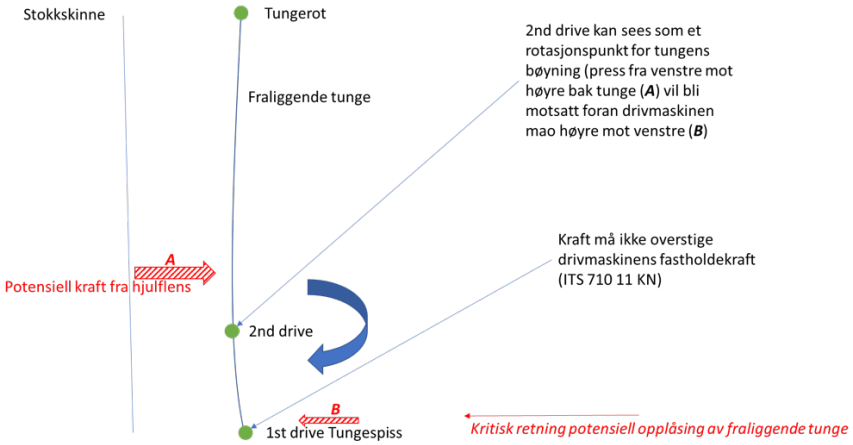

**Figur 38 Innside av hjulflens i kontakt med fraliggende tunge**

Slag og vibrasjoner kan påvirke låsingen av selve tungens posisjon. Med hensyn på slag og vibrasjoner må man derfor se på hvilken retning av presset gir ift mulighet for opplåsing. I denne sammenhengen er det nødvendig å differensiere mellom sporveksler med 1 drivmaskin eller sporveksler med 2+ drivmaskiner.

I figuren nedenfor vises en prinsipptegning for sporveksel utrustet med 1 drivmaskin. Den beskrives her med tungens innfesting, låsemekanisme og hjulets potensielle kraftretning. Dette er kontrollert av leverandør Siemens (Per Even Holen, 2022, Systemekspert Point operating system, Siemens) og relevant for eksternlåsing med PAL. Sporvekselen BSG9 har en internlåsing, men mekanismen kan ansees som tilnærmet liknende (Ref. Kjell Holter,2023, Sakkyndig leder, BaneNOR).




**Figur 39 Kraftretninger på fraliggende tunge med 1 drivmaskin**




**Figur 40 Kraftretninger på fraliggende tunge med 2 drivmaskiner**

## 7.3 Tretthetsdannelser/Utmattningsbrudd i komponenter

Generelt kan gjentakende slag og vibrasjoner resultere i tretthet over tid. Tretthetsbrudd kommer stort sett der det er en geometriforandring som for eksempel innfestinger og overganger mellom komponenter. Tretthetsdannelser er generelt ikke synlige før det er like før brudd. Er en sprekkdannelse synlig er brudd er nært forekommende.

For ulykken i Grayrigg se kapittel 4.1.4 fra første feil oppstod som resulterte i økte vibrasjoner tok det ca 3 måneder til det ble tretthetsbrudd som resulterte i avsporing. Det bemerkes at i dette tilfellet var linjehastigheten over 130 km/time.

# 8 TIDLIGERE VURDERINGER OM OMBYGGING

I ERTMS programmet ble det gjort en tidlig evaluering for hvilke sporveksler som skulle bygges om. Dette er bla beskrevet i dokumentet 201402866-2 der 1:9 sporveksler for hastigheter under 130 km/t med kun en drivmaskin ikke trenger å bygges om. Denne evalueringen ble gjort i samråd med Ronald Hortman / Teknologi i 2014. Problemstillingen har på nytt oppstått ifm uklarhet om hvilke krav som er gjeldende for sporvekselkontrollørene.

## 8.1 Kommunikasjon med Statens Jernbanetilsyn

Reglene for samsvar til TSI kravet har ikke tilbakevirkende kraft og ved kun utskiftning av drivmaskin eller tunge (ikke sporveksel) trigger dette ikke et krav til at infrastrukturen må bygges om for å tilfredsstille TSI kravet. ERTMS programmet har vært i dialog med Statens jernbanetilsyn vedrørende melding på Bergensbanen (201601737-71). Følgende migrasjonsaktiviteter i eksisterende delsystem vil medføre søknad om tillatelse til å ta i bruk:

- Veisikringsanlegg
- Switch over facility (SOF)
- Andre aktiviteter som ikke tidligere er utført i anleggstypen eller aktiviteter med et begrenset erfaringsgrunnlag.

Dersom alle 1:9 R300 sporveksler med 1 drivmaskin må bygges om til 2 drivmaskiner er det nesten 400 sporveksler som krever ombygning.

# 9 RISIKOANALYSE OG MITIGERENDE TILTAK

De refererte ulykkene kan konklusjonene deles i to kategorier;

A. Manglende vedlikehold
B. Konstruksjon

I utredningen er det innhentet informasjon fra 5 ulykker som belyser både aspekter ved vedlikehold og konstruksjon. Det er videre forsøkt å beskrive hvordan disse ulykkenes årsaks beskrivelser korrelerer med den situasjonen Bane NOR har med både vedlikeholdsrutiner og konstruksjon. Dette kapittelet vil vurdere en risiko i kombinasjon av mitigerende tiltak som kan gjøres.

Resultatet av risikoanalysen skal besvare det spørsmålet beskrevet i formålet til utredningen (kapittel 1.2).

> *Denne utredningen har til formål besvare om Bane NOR bør iverksette en systematisk ombygging av alle sporveksler som ikke oppfyller 58 mm krav eller om det er tilstrekkelig å inkludere dette i en drivmaskinstrategi der ombygging skjer når sporveksel byttes/fornyes til å vedlikeholde seg mot TSI krav.*

## 9.1 Deltakere risikoanalysemøte avholdt (21.02.2024)

| Navn | Stilling/rolle | Bedrift/enhet |
|---|---|---|
| Joachim Ferdinand Bertelsen | Systemspesialist ERTMS | Bane NOR / Signalteknologi/ ERTMS |
| Trond Daling | RAMS-rådgiver Signalling | Bane NOR / RAMS |
| Frode Teigen | Fagspesialist | Bane NOR / Sporteknikk |
| Celine Marie-Cecilie Chapelier | Fagspesialist | Bane NOR / Sporteknikk |
| Tor-Arne Trælnes | Fagspesialist | ERTMS /Oslo infrastruktur |
| Kjell Ivar Ødegård | Fagligansvarlig infrastruktur | Bane NOR |
| Egil Dahl | Teknisk regelverk signal | Bane NOR / Signalteknologi |
| Sverre Nilsen | Teknisk regelverk signal | Bane NOR / Signalteknologi |
| Stig Kristian Opstad | Leder Signalteknologi | Bane NOR / Signalteknologi |
| Per Even Holen | Systemekspert ITS 710 | Siemens |
| Morten Øyvåg | | Siemens |
| Andreas Ryden | | Vossloh |
| Ralf Kruger | | Vossloh |

# 10 AKSEPTKRITERIER OG METODE

## 10.1 Akseptkriterier

Risikovurderingen følger Retningslinje for Risikostyring trafikksikkerhet innen Sikkerhetsstyring [17] og CSM-RA [18]. For farer som følger risikoakseptprinsippet detaljert risikoanalyse, gjelder følgende risikoakseptkriterier:

1. Samfunnsrisikoen for transport skal gjennom nybygg og endringer (av varig art) reduseres i forhold til eksisterende risikonivå, målt mot aktivitetsnivå.
2. Samfunnsrisikoen for nye strekninger skal ikke overstige 0,15 døde pr million togkilometer. Hvis det er stor usikkerhet om man er innenfor grensen, skal beslutning om risikoaksept tas av Jernbanedirektøren.
3. For eksisterende strekninger samt for nybygg skal risikoen for mest utsatte individ (passasjer eller tredje part) ikke overstige en dødsrisiko på $1x10^{-4}$ pr år.
4. For egne ansatte, ansatte i andre jernbaneselskaper samt underleverandører skal risikoen ikke overstige FAR=12,5.
5. For eksisterende strekninger samt for nybygg skal et hvert mulig risikoreduserende tiltak gjennomføres med mindre tiltaket vil medføre urimelige store forsinkelser, komplikasjoner, gjennomføringsvansker og/eller kostnader sammenlignet med potensiell risikoreduksjon (ALARP-prinsippet). For miljøskader er det kostnaden ved å reparere skaden (tilbakeføre miljøet til slik det var før skaden) som skal sammenlignes med kostnaden ved tiltaket.

Vurdering av akseptkriterier:

- Kriteriet 1) kommer til anvendelse.
- Endringen gjelder bytte av drivmaskiner for eksisterende sporveksler og bestykning av nye sporveksler. Kriteriet 2) for samfunnsrisiko for nye strekninger kommer derfor ikke til anvendelse
- Kriteriet 3) kommer til anvendelse.
- Endringen medfører ikke endring for egne ansatte, ansatte i andre jernbaneselskaper samt leverandørers ansatte. Kriteriet 4) kommer derfor ikke til anvendelse.
- Kriteriet 5) (ALARP-prinsippet) benyttes i analysen. Miljøskader vurderes ikke.

## 10.2 Metode

Risikovurderingen er gjennomført i henhold til Felles sikkerhetsmetode for risikovurderinger slik denne er beskrevet i Retningslinje for Risikostyring trafikksikkerhet innen Sikkerhetsstyring [17] og Krav til utførelse av risikovurderinger innen trafikksikkerhet [19].

I forkant av analysemøtet har forfatterne utarbeidet utkast til risikoanalyserapport vedrørende deteksjon av sporvidde reduksjon. Dette utkastet ble sendt ut til deltagerne i forkant av møtet slik at de fikk anledning til å sette seg inn i innholdet.

Risikovurderingen ble gjennomført i et analysemøte 21.02.2024 med arbeidsgruppen som angitt i kapittel 9.1. I analysemøtet ble rapporten gjennomgått og innspill/kommentarer ble notert. Scenarier for sporvidde reduksjon ble gjennomgått og vurdert av arbeidsgruppen. Deretter ble det gjort en spesifikk fareidentifisering og risikoestimering.

Oppdatert rapport ble så sendt på høring til alle i arbeidsgruppen før den endelige versjonen ble formelt kontrollert og godkjent i ProArc.

# 11 FAREIDENTIFISERING, KLASSIFISERING OG RISIKOESTIMERING

## 11.1 Sporveksler av type 1:9 R250-400

I Banedata er det per dags dato registret 943 sporveksler av type 1:9 R250-400 (heretter benevnt R300). Av disse så er det registrert 378 sporveksler med 1 drivmaskin. Tabell under viser hvordan disse fordeler seg mellom hovedspor (hastighet ≤ 130 km/t), sidespor, sporveksel med betongsviller og sporveksel med tresviller.

| Sporvekselplassering | Antall | Fordeling |
|---|---|---|
| Antall sporveksler av typen 1:9 R250-400 med 1 drivmaskin | 378 | |
| I hovedspor (hastighet ≤ 130 km/t) | 293 | 77,5 % |
| - I hovedspor med betongsville | 126 | 43,0 % |
| - I hovedspor med tresville | 167 | 57,0 % |
| I sidespor (hastighet ≤ 40 km/t) | 85 | 22,5 % |

**Tabell 2 Sporveksler av type 1:9 R250-400 - Antall og plassering**

## 11.2 Fareidentifisering avsporing

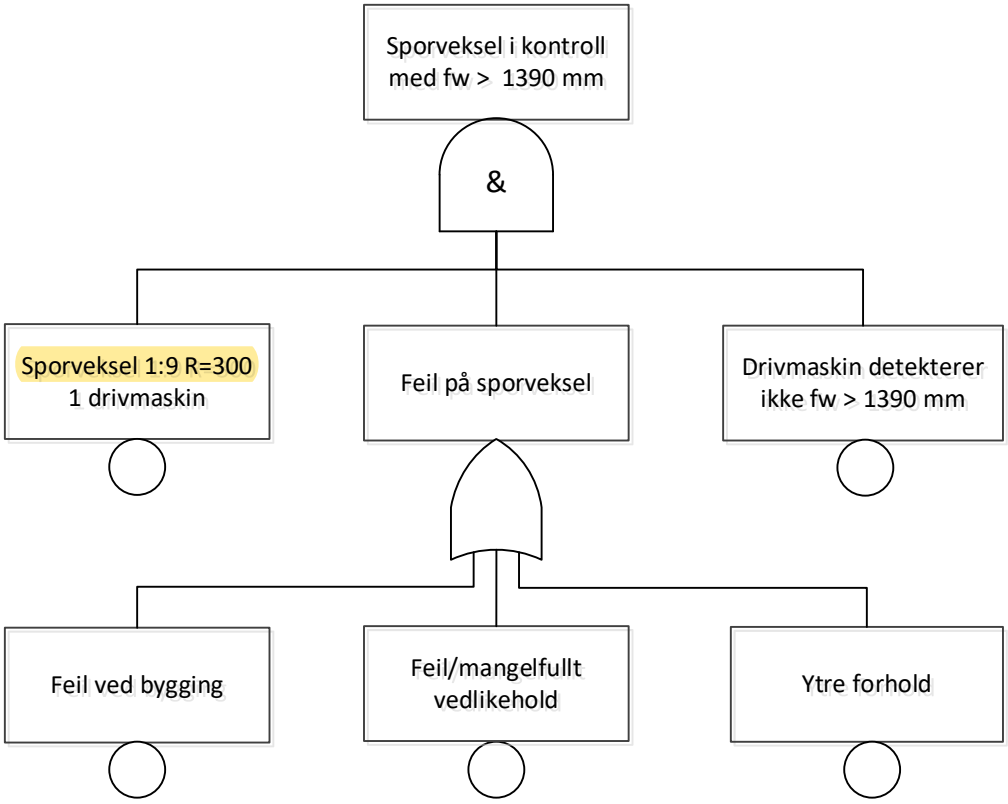
Analysen vurderer sannsynligheten for at det skal foreligge en $f_W$ som er økt slik at det utfører en fare. Det antas at $f_W$ > 1390 mm representerer en potensiell fare. For denne risikovurderingen så er det derfor identifisert fare for avsporing dersom $f_W$ er større enn 1390 mm.
Følgende forhold kan medføre at $f_W$ > 1390 mm:

- Feil ved bygging:
  - Dårlig pakking
  - Tungespenn
  - Færre drivmaskiner enn forutsatt i design
  - Skade på veksel ved løfting
  - Manglende kompetanse

- Feil/mangelfullt vedlikehold av:
  - Feil ved glideplater (rensing og smøring av glideplater, spesielt bakover i sporveksel. Høydeforskjell på glideplater)
  - Tungespenn
  - RSO
  - Sporviddeutvidelse/skinnebefestigelse
    - Sporveksel med betongsviller
    - Sporveksel med tresviller
  - Tungeruller
  - Dårlig pakking
  - Manglende kompetanse
  - Underrapportering på sporviddeutvidelse
  - Registrerte målinger følges ikke opp

- Ytre forhold:
  - Temperatur
  - Snø og is
  - Objekter i spor
  - Strøsand på glideplater

Basert på identifisert forhold så er det satt opp et feiltre som viser sammenheng mellom feil og topphendelsen sporveksel i kontroll med $f_W$ > 1390 mm, se Figur 41.



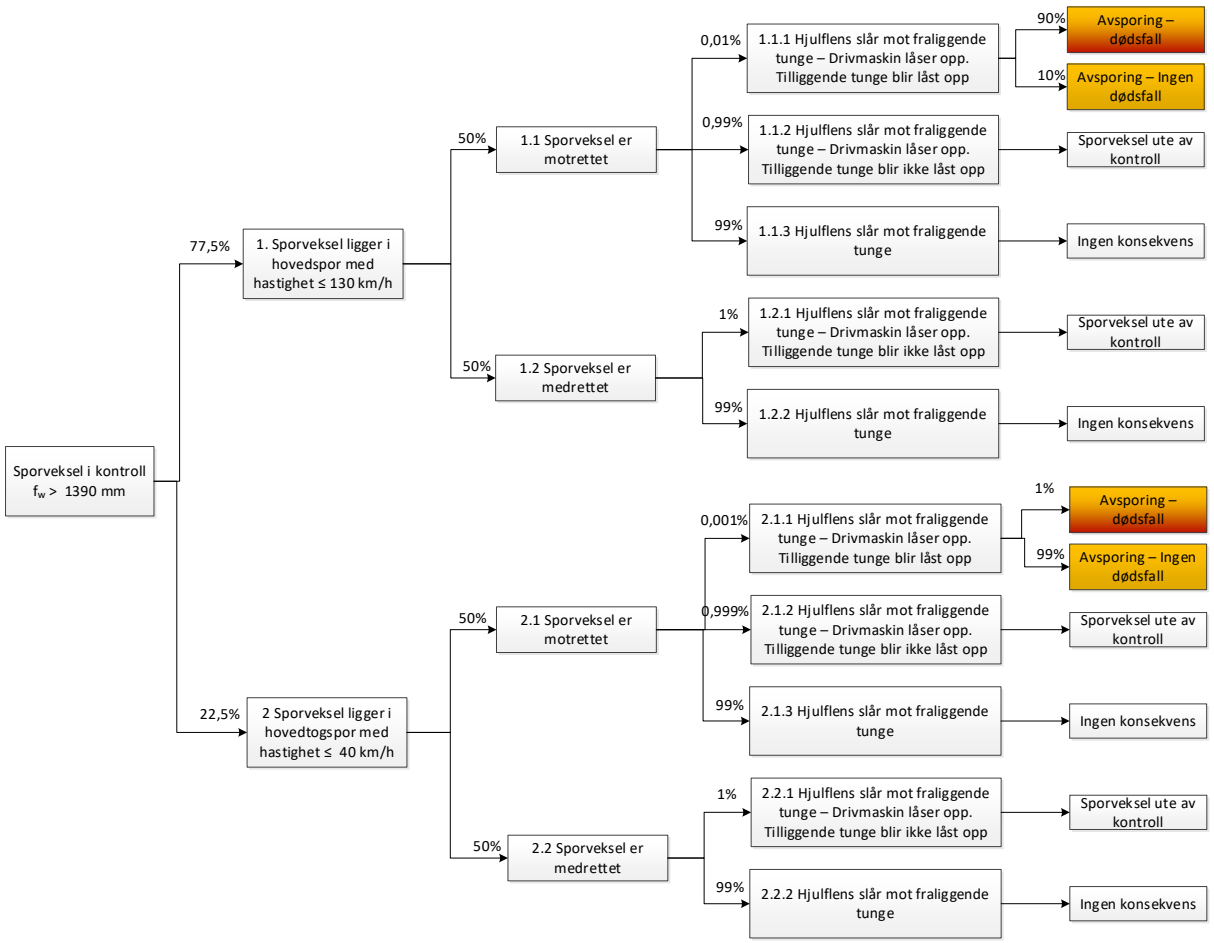

**Figur 41 Feiltre for sporveksel i kontroll med $f_W$ > 1390 mm**

Hendelser i feiltre er vanskelig å kvantifisere. Etter diskusjoner i analysegruppen ble det nevnt at det kan ha vært en avsporing som kan skyldes $f_W$ > 1390 mm i den siste 40 års perioden, uten at dette er sikkert dokumentert. Dette er lagt til grunn for estimert sannsynlighet er gitt i Tabell 3.

| Vurdering av analysegruppen | Antagelse |
|---|---|
| Tidsperiode for registrerte hendelser | 40 år |
| Gjennomsnittlig antall sporveksler med 1 drivmaskin i denne perioden.<br>I Banedata så er det nå registret totalt 943 sporveksler av type 1:9 R250-400 av disse er 378 sporveksler med 1 drivmaskin. I den siste 40 årsperioden så antas det da at det gjennomsnittlig har vært 600 sporveksler med 1 drivmaskin | 600 |
| Hendelser/avsporinger i perioden.<br>Det er registrert en hendelse i denne perioden som kan skyldes $f_W$ > 1390 mm.<br>**NB:** Denne hendelsen medførte avsporing, men i denne analysen er det antatt at dette er frekvens for $f_W$ > 1390 mm. | 1 |
| Det vurderes som større sannsynlighet for at $f_W$ > 1390 mm vil oppstå med sporveksler med tresviller. Det er derfor her antatt en sannsynlighet på 0,1 at dette skjer på sporveksel med betongsviller og 0.9 på sporveksel med tresviller. | Betongsviller 0,1<br>Tresviller 0,9 |
| Sannsynlighet for sporveksel i kontroll med $f_W$ > 1390 mm - Tresviller | $7{,}76*10^{-09}$ |
| Sannsynlighet for sporveksel i kontroll med $f_W$ > 1390 mm - Betongsviller | $4{,}76*10^{-10}$ |

**Tabell 3 Vurdering av sannsynlighet for sporveksel i kontroll med $f_W$ > 1390 mm**

For topphendelsen sporveksel i kontroll med $f_W$ > 1390 mm så er det etablert et hendelsestre, se Figur 42, og sannsynligheter estimert av analysegruppen er vist i Tabell 4.




**Figur 42 Hendelsestre for sporveksel i kontroll med $f_W$ > 1390 mm**

| Nr. | Hendelse | Sannsynlighet | Vurdering av analysegruppen |
|---|---|---|---|
| 1 | Sporveksel ligger i hovedtogspor med hastighet ≤ 130 km/h | 77,5 % | Se sporvekseloversikt i **Tabell 2** Det differensieres ikke på om sporveksel passeres i rettspor eller til avvik. |
| 1.1 | Sporveksel er motrettet | 50 % | Antar lik fordeling mellom motrettet og medrette sporveksler. |
| 1.1.1 | Hjulflens slår mot fraliggende tunge – Drivmaskin låser opp. Tilliggende tunge blir låst opp | 0,01 % | Det vurderes som 0,01% sannsynlighet for at tilliggende tunge låser opp og det medfører avsporing. |
| 1.1.2 | Hjulflens slår mot fraliggende tunge – Drivmaskin låser opp. Tilliggende tunge blir ikke låst opp | 0,99% | Det vurderes som 0,99% sannsynlighet for drivmaskin låser opp og sporveksel kommer ut av kontroll. |
| 1.1.3 | Hjulflens slår mot fraliggende tunge | 99% | Hjulflens slår mot fraliggende tunge ingen konsekvens. |
| | Avsporing – dødsfall | 90 % | Ved avsporing i hastighet ≤ 130 km/t så vurderes det som 90% sannsynlighet for at dette kan føre til dødsfall. |
| 2 | Sporveksel ligger i hovedtogspor med hastighet ≤ 40 km/h | 22,5 % | Se sporvekseloversikt i **Tabell 2** Det differensieres ikke på om sporveksel passeres i rettspor eller til avvik. |
| 2.1 | Sporveksel er motrettet | 50 % | |
| 2.1.1 | Hjulflens slår mot fraliggende tunge – Drivmaskin låser opp. Tilliggende | 0,001 % | Det vurderes som 0,01% sannsynlighet for at tilliggende tunge låser opp og det |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | tunge blir låst opp | | medfører avsporing. |
| 2.1.2 | Hjulflens slår mot fraliggende tunge – Drivmaskin låser opp. Tilliggende tunge blir ikke låst opp | 0,999 % | Det vurderes som 0,99% sannsynlighet for drivmaskin låser opp og sporveksel kommer ut av kontroll. |
| 2.1.3 | Hjulflens slår mot fraliggende tunge | 99% | Hjulflens slår mot fraliggende tunge ingen konsekvens. |
| | Avsporing – dødsfall | | Ved avsporing i hastighet ≤ 40 km/t så vurderes det som lite sannsynlig at dette fører til dødsfall. Sannsynlighet settes derfor til 1%l. |

**Tabell 4 Vurdering av sannsynligheter i hendelsestre**

Basert på disse vurderingene og hendelsestre så får vi følgende sannsynligheter for avsporing med dødsfall og avsporing uten dødsfall:

- Sporveksel med betongsviller
  - S-1B: Sannsynlighet for avsporing med dødsfall $1,7*10^{-14}$
  - S-2B: Sannsynlighet for avsporing ingen dødsfall $7,1,14*10^{-13}$
- Sporveksel med tresviller
  - S-1T: Sannsynlighet for avsporing med dødsfall $1,5*10^{-13}$
  - S-2T: Sannsynlighet for avsporing ingen dødsfall $6,4*10^{-12}$

# 12 RISIKOEVALUERING

## 12.1 Fare for avsporing

Det er i risikovurderingen identifisert fare for avsporing som følge av $f_W$ > 1390 mm som ikke detekteres av sporvekselutrustningen.
Det er gjennomført kvantitativ risikoestimering og sannsynlighet for avsporing med dødsfall og uten dødsfall:

- Sporveksel med betongsviller
  - S-1B: Sannsynlighet for avsporing med dødsfall $1{,}7*10^{-14}$
  - S-2B: Sannsynlighet for avsporing ingen dødsfall $7{,}1{,}14*10^{-13}$
- Sporveksel med tresviller
  - S-1T: Sannsynlighet for avsporing med dødsfall $1{,}5*10^{-13}$
  - S-2T: Sannsynlighet for avsporing ingen dødsfall $6{,}4*10^{-12}$

| Probability | Consequence | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Insignificant** | **Minor** | **Moderate** | **Critical** | **Catastrophic** |
| | Possibly minor injuries in first aid treatment | Minor injuries in need of medical attention | Severe injuries in need of medical treatment | Single fatality and/or several severe injuries | Several fatalities. Likely more than about 10 |
| **Probable** Will occur several times. The event can be expected to occur Often | | | | | |
| **Occasional** Likely to occur several times. The event can be expected to occur several times | | | | | |
| **Rare** Likely to occur sometime in the system life-cycle. The event can reasonably be expected to occur | | | | | |
| **Improbable** Unlikely to occur. It can be assumed that the event may exceptionally occur | | | | | |
| **Highly improbable** Extremely unlikely to occur. It can be assumed that the event will not occur | | | | S-2T S-2B | S-1T S-1B |

**Figur 43 Risikomatrise for eksplisitt risikoestimering**

## 12.2 Vurdering av fare for avsporing

Det er i risikovurderingen identifisert fare for avsporing som følge av $f_W$ > 1390 mm som ikke detekteres av sporvekselutrustningen.
Det er gjennomført kvantitativ risikoestimering og sannsynlighet for avsporing med dødsfall (S-1T og S-1B) er plottet i ERTMS-programmets risikomatrise vist i **Figur 43**.

***Akseptkriterium 1)*** *Samfunnsrisikoen for transport skal gjennom nybygg og endringer (av varig art) reduseres i forhold til eksisterende risikonivå, målt mot aktivitetsnivå.*

Ved bygging av nye sporveksler eller bytte av sporveksel 1:9 R300 så vil det bli brukt to sporvekseldrivverk (drivmaskiner). Eksisterende risikonivå isolert sett bli redusert, og vi får en gradvis endring fra en til to sporvekseldrivverk på de enkelte sporvekslene. Dette medfører en økt sannsynlighet for å detektere $f_W$ > 1390 mm. Akseptkriteriet for samfunnsrisiko kan ikke vurderes pr sporveksel, men må vurderes i et større perspektiv. Med en gradvis økning til to sporvekseldrivverk i sporvekslene så vil risikonivået totalt sett være uendret eller lavere. Akseptkriteriet vurderes derfor som oppfylt.

***Akseptkriterium 3)*** *For eksisterende strekninger samt for nybygg skal risikoen for mest utsatte individ (passasjer eller tredje part) ikke overstige en dødsrisiko på $1x10^{-4}$ pr år.*

I Sikkerhetsanalysen [20] er det definert en del forutsetninger i forbindelse med THR-beregninger for farer relatert til sporveksler. Det er bl.a. definert antall sporvekselpasseringer for mest utsatte individ.

- Mest utsatte individ passerer 100 sporveksler daglig
- Mest utsatte individ reiser 230 dager i året

Med utgangspunkt i dette så antas det konservativt at 60 av sporvekslene er 1:9 R300 med 1 drivmaskin og at 27 av disse er sporveksler med betongsviller og 33 er sporveksler med tresviller.

Med en beregnet sannsynlighet for avsporing med dødsfall på $1,7*10^{-14}$ for sporveksel med betongsviller (S-1B) og $1,5*10^{-13}$ for sporveksler med tresviller og 23.000 sporvekselpasseringer pr. år så får mest utsatte individ en dødsrisiko som skyldes $f_W$ > 1390 mm på $1,2*10^{-9}$ pr. år.
Dette bidraget til total individuell dødsrisiko vurderes som neglisjerbart og akseptkriteriet er oppfylt.

***Akseptkriterium 5)*** *For eksisterende strekninger samt for nybygg skal et hvert mulig risikoreduserende tiltak gjennomføres med mindre tiltaket vil medføre urimelige store forsinkelser, komplikasjoner, gjennomføringsvansker og/eller kostnader sammenlignet med potensiell risikoreduksjon (ALARP-prinsippet).*

Formålet med risikovurderingen har vært å vurdere endret praksis for etterlevelse av krav til deteksjon av $f_W$ > 1390 mm. Risikoreduserende tiltak beskrives i kapittel 13.

# 13 USIKKERHET VED RISIKOVURDERINGEN

Kvalitative vurderinger og kvantitative sannsynligheter er gjennomgått og estimater av arbeidsgruppen. Gjennomførte kvantitative beregninger synes rimelig robust ift. akseptkriterium. Det vurderes derfor som om usikkerhet ved risikovurderingen er relativt lav.

Det er størst usikkerhet knyttet til sannsynlighet for sporveksel i kontroll med $f_W$ > 1390 mm. Estimat for denne topphendelsen er knyttet opp mot en avsporing i løpet av en 40 års periode hvor det var antatt at dette kunne være årsaken.
Dersom vi som "worst-case" vurderer at dette kan ha oppstå 1000 ganger i løpet av siste 40 årsperiode så vil sannsynlighet for avsporing med dødsfall og uten dødsfall være tre dekader høyere:

- Sporveksel med betongsviller
  - S-1B: Sannsynlighet for avsporing med dødsfall $1,7*10^{-11}$
  - S-2B: Sannsynlighet for avsporing ingen dødsfall $7,1,14*10^{-10}$
- Sporveksel med tresviller
  - S-1T: Sannsynlighet for avsporing med dødsfall $1,5*10^{-10}$
  - S-2T: Sannsynlighet for avsporing ingen dødsfall $6,4*10^{-9}$

Tilhørende dødsrisiko for mest utsatte individ vil være $1,2*10^{-6}$ pr. år og det vil fortsatt være god margin i forhold til akseptkriterium c) vedrørende dødsrisiko for mest utsatte individ.

## 13.1 Registrerte hendelser med avsporing i sporveksler

Ifølge Statens Havarikommisjon for Transport er det i perioden 2002 til 2016 registrert 31 avsporinger i sporveksler. Ingen av de 31 avsporingene har medført dødsfall eller alvorlig personskade. Bare 2 av de 31 avsporingene var forårsaket av falsk kontroll. De to avsporingene som oppsto på grunn av falsk kontroll var:

- følge av at tungene lå feil grunnet kabelfeil i det ene tilfellet
- forriglingsfeil i det andre tilfellet.

Det er ikke kjent blant analysegruppens medlemmer at avsporing i sporveksel har oppstått på grunn av for liten sporvidde i tungepartiet.

Dette datagrunnlaget kan ikke brukes som argumentasjon for at estimert sannsynlighet for avsporing på grunn av sporvekselreduksjon er riktig, men indikerer at estimat ligger på riktig nivå.

# 14 VURDERING AV RISIKOREDUSERENDE TILTAK

I forbindelse med utredningen er det identifisert risikoreduserende tiltak, men disse er ikke tatt inn i beregningsmodellen av risikoanalysen. Nedenfor er det oppsummert forslag til tiltak.

Sammenliknet med inntrykket av mangler i Finland, ProRail og Network Rail er det klart at svikt i rutiner skjer og kan også skje i Bane NOR, det er derfor viktig at de rutinene som beskrives er tydelige og systematisert i vedlikeholdsverktøy. Listen over foreslåtte tiltak kan da ansees som bidrag til å redusere faren.

## 14.1 Tiltak 1 Kople funn fra ORE 70 kontroll 4 Bakside av tunge til Signal

I vedlikeholdsrutinen ORE 70 kontroll 4 (se kapittel 6.1.1) beskriver inspeksjon av baksiden av tungen, men adresserer ikke fullt ut konsekvensen av slag på baksiden til de signaltekniske komponentene samt granskning av den bakenforliggende rotårsaken til hvorfor det er skader på baksiden. Dagens aktivitet beskriver kun at sårdannelsene fjernes.

Forslag til tiltak er at rutinen utdypes med forklaring hva en eventuell rotårsaker kan være samt trigge en kontrollrutine for inspeksjon av drivmaskinenes låsemekanisme.

## 14.2 Tiltak 2 Kontroll av høydeforskjell mellom glidesko

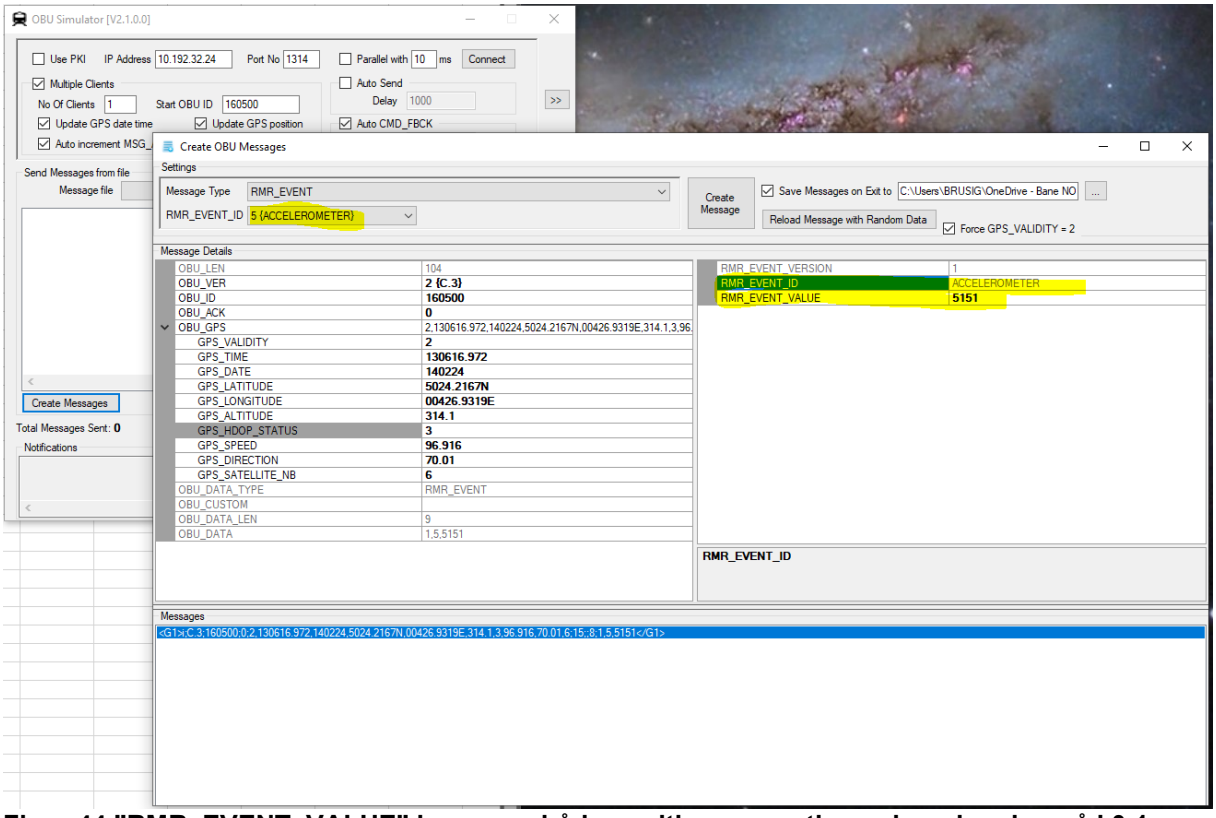
Det er ingen tydelige kontrollrutiner som kontrollerer jenvn høyde mellom glidesko og at tungen glir gjevnt på glideskoene. Stor høydeforskjell mellom glidesko forårsaker økt friksjon mot tunge og at tungen ikke tilstrekkelig beveger seg fritt for å sikre at fraliggende tunge beveger seg tilstrekkelig. En slik måling kan gjøres med laser eller målerobot.

## 14.3 Tiltak 3 Gjennomgå rutiner for Residual switch opening

Det er under forberedende analyser i regi av ERTMS programmet oppdaget at tilliggende tunge i flere tilfeller ikke er ihht TRV:04425 se kapittel 4.1.4. Det er dessverre ikke registrert systematisk avvikene i befaringene fra ERTMS programmet, men det bør påpekes et ettersyn om det er svikt i rutinene.

## 14.4 Tiltak 4 Vibrasjonsdata fra tog

Med ERTMS programmet jobbes det med å hente analysedata fra togene (Landside diagnostics). Her er det foreløpig ikke inkludert, men informasjon om vibrasjoner i toget når togene kjører igjennom en sporveksel vil kunne bidra til å sette en referanse for sporvekseltype, individuell sporveksel, togtype og kunne detektere en endring. Dataene er tilgjengelige på toget, men det må initieres en systematisk analyse. Ved bruk av slike metoder vil man trolig også kunne detektere andre problemer i infrastrukturen som ikke andre verktøy vil kunne utføre like enkelt. Dette er bekreftet tilgjengelig for Alstoms ombordutstyr, men ukjent hva andre leverandører kan levere av informasjon. Akslerometeret er montert i racket sammen med ombordutstyret og ikke på boggien. Det er derfor usikkert om hvor mye vibrasjoner som dempes fra boggiens oppheng. Dette må testes ut nærmere.



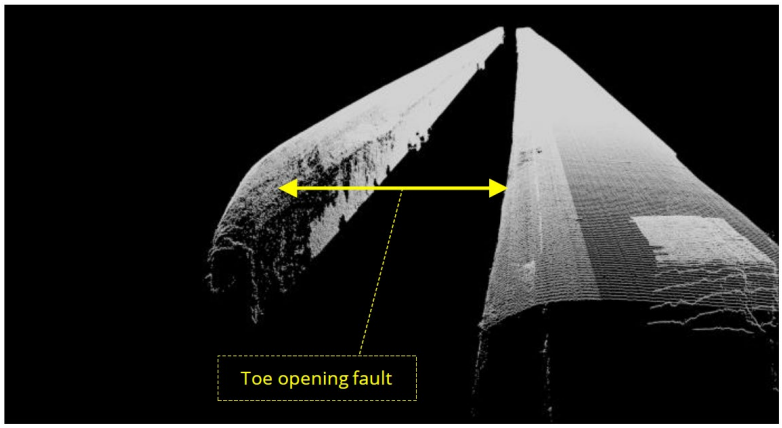

**Figur 44 "RMR_EVENT_VALUE" kan være både positiv og negativ med oppløsning på i 0,1 m/s2 i følge Alstom**

Slike vibrasjonsdata kan brukes til å lage en referanse for både sporvekseltype og den unike sporvekselen. Signaturen fra vibrasjoner for forskjellige hastigheter kan da sammenliknes og se på endringen i amplitude over tid for å trigge vedlikehold.

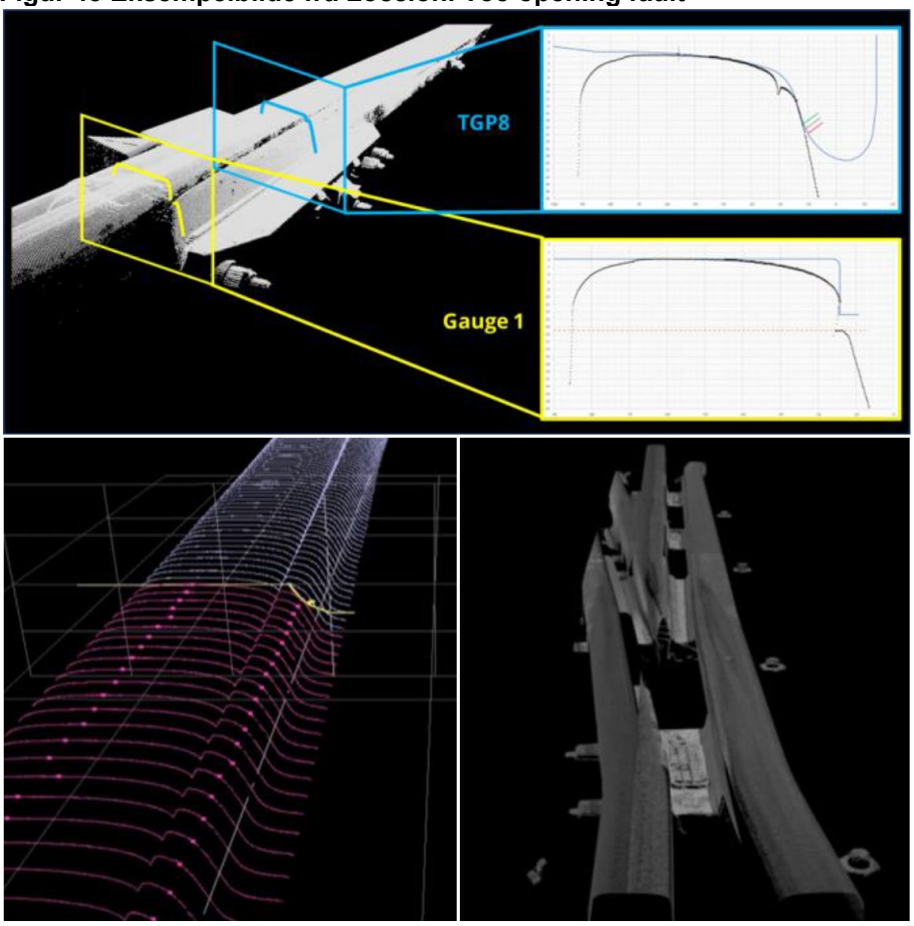
Alternativt kan det installeres sensorer i sporet for å måle vibrasjoner tilsvarende det som ble gjort i granskningen av ulykken i Lichtenberg se Figur 25.

## 14.5 Tiltak 5 Automatisere innmåling av sporveksel med robot

Med hensyn på kompleksiteten av målinger og erfaringer fra granskede ulykker (se kapittel 4.1) vil et tiltak med å automatisere målinger gi mere konsistent og personavhengige/kompetanseuavhengig registrering av infrastrukturens tilstand. Selve 58 mm målet kan fort bli misvisende dersom det er samtidig sporviddeutvidelse og at tilliggende tunge ikke ligger tilstrekkelig inntil stokkskinne. Se kapittel 3.2.1 og 4.2. Med en robot som kartlegger detaljene ved sporvekslene vil kunne ha mer objektive data på sporvekselens tilstand. En objektiv forståelse for tilstanden til infrastrukturen er en forutsetning, men selve vedlikeholdet må også gjennomføres.




**Figur 45 Eksempelbilde fra Loccioni Toe opening fault**




**Figur 46 Eksempelbilde fra Loccioni analyseverktøy**

# 15 ANBEFALING

Det er i dag rundt 400 sporveksler av typen 1:9 R300 bestykket med kun 1 drivmaskin. Kostnadsmessig kan man anta at det vil medføre en kostnad for Bane NOR på over 200 millioner kroner. Gevinsten (nytte/kost) i forhold til økt sikkerhet må sees i forhold til faren i risikoanalysen som er vurdert til å være allerede innenfor TRV:05637 for ITS 710. TSI Inf kravet representerer en reel fare og Bane NOR bør etterstrebe etterlevelse av kravet, men kan gjøres innenfor en gradvis utskiftning av sporveksler.

Drivmaskinstrategien bør oppdateres for tydelig adressere en forutsigbar metode for å oppnå i fremtiden en infrastruktur som oppfyller TSI kravet.

Det er en sterk oppfordring i å oppdatere Teknisk Regelverks vedlikeholdskrav for 58 mm med å beskrive unntak for de tilfeller der infrastrukturens konstruksjon ikke vil kunne oppfylle kravene ettersom det kan resultere i en systematisering av underrapportering. Krav som ikke lar seg oppfylle vil undergrave holdningen til etterlevelse og øker faren for topphendelser.

Nedenfor er det beskrevet forslag til tiltak som vil med relativt begrensede kostnader adressere risikoreduserende tiltak.

## 15.1 Oppdatere drivmaskinstrategi

Det anbefales at den reviderte drivmaskinstrategien belyser anbefalingen gitt i TSI Application guideline at man skal ha en vedlikeholdsplan som gradvis fornyer infrastrukturen til å oppfylle TSI krav, men med forutsigbarhet for etablerte prosjekter.

Et forslag til en slik strategi kan være at ved utskiftning av sporveksler skal de bestykkes etter gjeldende krav i TRV/Signal/prosjekteringskapittelet. Dette vil sikre en gradvis fornyelse som beveger infrastrukturen i å oppfylle TSI krav. En slik tilnærming vil måtte bemerkes som fotnote eller liknende i innledende kapitler i Teknisk Regelverks Generelle beskrivelser omhandlende oppgradering og fornyelse.

Det anbefales at i arbeidet med drivmaskinstrategien ser på en mulig løsning der ERTMS programmet forbereder anlegget med 2 drivmaskiner for 1:9 R300 sporveksler og bruker simuleringsplugg frem til sporvekselen byttes. Hensikten med dette er å se på kostnadsdifferansen mellom en objektkontroller mot re-engineering og dokumentasjon.

## 15.2 Oppdatering av krav i Teknisk Regelverk

Utgangspunktet for sporveksler av typen 1:9 R300 var at disse skulle bygges med 2 drivmaskiner, men har i utstrakt grad blitt bygget med en (1) drivmaskin de siste 20-25 årene. Slik de er bygget medfører at krav om 58 mm ikke oppfylles. Det er derav motstridende å stille 58 mm vedlikeholdskrav for disse sporvekslene som er bygget med 1 drivmaskin.

Teknisk regelverk bør oppdateres med å kreve en ytelse tilsvarende kalkulasjonene fra Vossloh [16] som er 49 mm.

Videre bør det vurderes om målemetode bør ha en mer direkte relasjon til hjulsettets mål, mao måle free wheel passage ($f_w$) og ikke free flangeway ($f_f$). Denne målingen bør gjøres når tilliggende tunge ligger i kontakt med støtteknaster. På denne måten ungår man at man får falske målinger ift den reelle faren som knyttes til hjulsettets kontakt med infrastrukturen.

### 15.2.1 Innspill til avviksbehandling

Ved behandling av avvik fra 58 mm krav bør graden av sporviddeutvidelse og residual switch opening vurderes ettersom free flangeway ($f_f$) ikke alene er tilstrekkelig for å indikere graden av fare. Her vil måling av free wheel passage ($f_w$) gi et riktigere mål å kunne vurdere mot samt residual switch opening påvirker togets oscillering. Justering av sporvidden kunne påvirke sannsynligheten for at hjulflensen kommer i kontakt med fraliggende tunge.

#### 15.2.2 Vedlikehold

Oppdatere kravene TRV:04422 og synkronisere med TRV:08329 med å beskrive et unntak for sporveksler med kun 1 drivmaskiner kan tillate en $f_f$ på 50 mm. Verdien $f_f$ på 50 mm er basert på at det fortsatt er en 20 mm margin til hjulets flensvidde.

For sporveksler bestykket med kun 1 drivmaskin og måleverdier $f_f$ under 50 mm bør utbedrende tiltak/vedlikeholdsaktiviteter gjennomføres.

#### 15.2.3 Nye krav til høydeforskjell mellom glidesko

For stor høydeforskjell på glideskoene medfører økt friksjon mot tunge og at tungen da henger igjen og ikke like lett følger en omlegging som sørger for at fraliggende tunge oppnår maksimalt mulige free wheel passage

#### 15.2.4 Bestykningskrav

For områder der det foregår togbevegelser under 40 km/t og ikke passasjerer, for eksempel hensettningsspor og skifteområder, kan vurderes om bestykning med 1 drivmaskin er tilstrekkelig. Dette ville muliggjøre bruk av oppkjørbare sporveksler som ikke skal ta skade ved oppkjøring samt redusere investerings og driftskostnader.

### 15.3 Risikoreduserende/Mitigerende tiltak

Tiltakene beskrevet i kapittel 0 anbefales å gjennomføres.

#### 15.3.1 Vurdering av Safety

Faren for flensklatring eller opplåsing er marginal. Gitt marginen ***s*** er 28 mm og tungens lengde mellom fastholdepunkter er >12 meter samt at det ville være baksiden av flensen som i så fall skal klatre. Figurene 4 og 5 illustrerer mulighet for opplåsing. Dette er teoretisk sett mindre sannsynlig for sporveksler med kun 1 maskin. Sannsynligheten for at vibrasjoner påvirker låsemekanismen er en mer relevant problemstilling som kan deles i 2 parter:

- Direkte slag som gir umiddelbar opplåsing
- Tretthetsdannelser over tid

Faren med direkte slag som resulterer i opplåsing vurderes til å være minimal basert på drivmaskinens egenskaper sammenliknet med FEM analyse gjennomført.

For fremtidens infrastruktur med ITS 710 GS3 (ny drivmaskintype med 11 kN fastholdekraft) og PAL låsing er faren ytterligere redusert ift dagens situasjon ettersom den har en økt fastholdekraft og endret konstruksjon sammenliknet med for eksempel BSG9 (6 kN i fastholdekraft).

Tiltak 4 anbefales å utrede grundigere separat ettersom anvendelsespotensiale for denne data er mye større enn bare avdekke 58 mm.

#### 15.3.2 Vurdering av økonomiske forhold

Kostnadene ifm tiltak 1, 2 og 3 kan ansees som mindre og har i dette tilfellet en stor nytte ift økt sikkerhet.

TSI Application guideline uttrykker at det er hensiktsmessig med en gradvis tilnærming for å oppfylle TSI krav i eksisterende infrastruktur. Det anbefales derfor at ved skifte av sporveksler prosjekteres slik at krav om 58 mm oppfylles. Dette vil gi en forutsigbarhet for både banesjef og prosjekter.

#### 15.3.3 Vurdering av vedlikeholdsrutiner

Ved implementering av tiltak 1, 2 og 3 vil man i sterk grad ta tak i noen av indikasjonene fra ulykkesgranskningene fra Hilversum og Grayrigg, nemlig vedlikeholdsrutinene.

# 16 DOKUMENTINFORMASJON

## 16.1 Endringslog

| Rev. | Beskrivelse av endring | Dato | Utført av |
|---|---|---|---|
| 001 | Oppdatering av dokument etter tilbakemeldinger fra første høringsrunde<br>Lagt til kapitler fra risikoanalyse og sammendrag | 29.05.2024 | BERJOA1 |
| 000 | Første utgave før risikoanalyse | 19.02.2024 | BERJOA1 |

## 16.2 Terminologi

| | | |
|---|---|---|
| Residual switch opening | Tungeåpning for tilliggende tunge | Tilliggende tunge ligger ikke inntil stokkskinne |
| ERTMS | European Rail Traffic Management System | |

## 16.3 Referanseliste

[1] III-EI-592 rev.4 DESIGN REPORT OBSTACLE DETECTION TURNOUTS BANE NOR
[2] Teknisk regelverk Overbygning, Sporveksler
[3] Bane NOR Generiske vedlikeholdsrutiner for Sporveksel KO-SPV-0000-01
[4] Train derailment Hilversum, Dutch safety board, Januar 2014
[5] Intermediate results of ELS710 – Analysis, Siemens , T. Pannier 2020
[6] TSI Infrastructure
[7] Guide for the application of the INF TSI, 29.04.2010
[8] Simulations of a tongue rail EV 60E 300 HV, 28.11.2023, Jonas Stoltze, AFRY, 5061017446 rev 02
[9] Technical Dossier Switchguard ITS 710, Siemens, 1000000133 rev 002
[10] Compliance Matrix Switchguard ITS 710, Siemens, 1000000059 rev 006
[11] Type Test Certificate ELS 710, Siemens, A6Z00040630848 rev B
[12] ERTMS- orientering om regjeringens beslutning, 09/3272, 26.11.2012
[13] Derailment of ten carriages of a freight train in Toijala, June 16, 2009, ISBN 978-951-836-307-4
[14] Derailment of 13 wagons of the freight train at the Vammala trafficstation, April 6, 2013, ISBN 978-951-836-430-9
[15] Forslag til endringer i TRV 06.12.2022[100].pdf, Tor-Arne Trælnes
[16] Switch flexture analysis Norway 1:9 R300 1 drive, Vossloh Cogifer, 13.02.2024
[17] ID-R004P4: Retningslinje for Risikostyring trafikksikkerhet innen Sikkerhetstyring, Bane NOR
[18] CSM RA - EU Regulation No 402/2013, Common safety method for risk evaluation and assessment and repealing Regulation
[19] ID-R004K6: Krav til utførelse av Risikovurdering innen trafikksikkerhet, Bane NOR
[20] ERP-A0-Q-00003_01E, SIG – General – Safety Analysis Report, Bane NOR

## 16.4 Liste over vedlegg

1. N/A