

EG-försäkran om överensstämmelse för driftkompatibilitetskomponent

Trafikverkets ordernummer:

I överensstämmelse med Rådets direktiv 2008/57/EG av den 17 juni 2008 om driftkompatibiliteten hos järnvägssystemet: EG-försäkran om överensstämmelse för driftkompatibilitetskomponent avser

Betongsliper A26

Utfärdad av:

Abetong AB

Box 24

351 03 Växjö

Org. nr: 556055-7356

Med avseende på delkomponentens lämplighet för användning i enlighet med ovan angivna direktiv och förordningar.

Den bifogade förteckningen innehåller den tekniska dokumentationen och användningsvillkor för Betongsliper A26.

EG-kontrollförfarande har utförts enligt Modul CA i Kommissionens beslut den 9 november 2010 om moduler för förfarandena för bedömning av överensstämmelse, bedömning av lämplighet för användning och EG-kontroll som ska användas i de tekniska specifikationer för driftkompatibilitet som antas i enlighet med Europaparlamentets och rådets direktiv 2008/57/EG och enligt Kommissionens förordning (EU) nr 1299/2014 av den 18 november 2014 om tekniska specifikationer för driftkompatibilitet avseende delsystemet Infrastruktur i Europeiska unionens järnvägssystem och ovan angivet direktiv.

Datum för utfärdande: 2020-10-12

Signatur: 

För Abetong AB

Namn: Ann-Sofi Persson

Titel: QHSE-chef

**(Notera att väsentliga krav har blivit kontrollerade mot relevanta standarder.)

Förteckning till EG-försäkran om överensstämmelse för driftkompabilitetskomponent

Driftkompabilitetskomponent
Betongsliper A26

Utfärdande organisation:
Abetong AB

Nedanstående specifikation som styr tillverkningen.

Specifikation	Titel	Datum	Revision
CTM ID 148280 Trafikverket	Tillverkning och leverans av betongsliprar med Pandrol Fastclip FC befästning och slipermatta	2016-10-18	

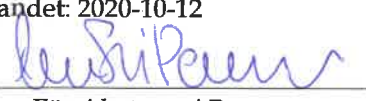
För verifiering av kvalitetsledningssystemet hänvisar Abetong AB till nedanstående certifikat:

- ISO 9001, Certifikat nr. 3948, giltigt till 09.10.2021, utfärdat av SP
- ISO 14001, Certifikat nr. 3948 M, giltigt till 09.10.2021, utfärdat av SP
- TransQ, Certificate of Qualification, No. 200517, utfärdat av Achilles
- Certifikat för tillverknings- och produktionskontroll nr. 2032, giltigt till 31.12.2022, utfärdat av Nordcert AB

För överensstämmelse med kraven i TSD:n refererar vi till nedanstående separata bilagor (bifogas ej):

- Förteckning över olika kombinationer av räler, rärens lutning och typen av rälsbefästningssystem som slipern får användas med
- Översiktlig konstruktions- och tillverkningsritning samt allmän beskrivning av slipern
- Kombinationerna av axellast och tåghastighet som linjeslipern är utformad för att klara enligt teknisk specifikation TRV CTM ID 148280
- Förteckning över standarder och/eller relevanta tekniska specifikationer som ligger till grund för aktuell design
- Konstruktionsberäkningar
- Rapporter från verifieringsprovning
- Slipersritning nr 001-00-226 A, 001-00-227

Datum för utfärdandet: 2020-10-12

Signatur: 

För Abetong AB

Namn: Ann-Sofi Persson

Titel: QHSE-chef

Teknisk kravspecifikation

Tillverkning och leverans av betongsliprar med Pandrol Fastclip FC befästning och slipermatta.

CTM ID 148280

2016-10-18



1 Innehåll

2	SYFTE	5
3	OMFATTNING.....	5
4	ANVÄNDNINGSSOMRÅDE.....	5
4.1	Allmänt	5
5	KONSTRUKTIONSKRAV SLIPER.....	5
5.1	Allmänt	5
5.2	Uppfyllelse enligt SS-EN 13230-1	6
5.3	Tillåten sprickvidd i betong kring befästningen	9
5.4	Sliprar för skyddsräl	10
6	MONTERINGSFÖRUTSÄTTNINGAR.....	10
6.1	Toleranser vid montering.....	10
6.2	Limning av gummimellanlägg.....	10
7	KRAV PÅ SLIPER MED SLIPERMATTA (USP).....	10
7.1	Dimensioner och placering på sliper	11
7.2	Statisk bäddmodul C_{stat} [N/mm ³]:	11
7.3	Vidhäftning:	11
7.4	Livslängd och miljö.....	11
7.4.1	Livslängd	11
7.4.2	Resistens mot andra miljöparametrar:	12
8	ÖVRIGT	12
9	LAGRING AV SLIPRAR	13
10	BESÖK HOS LEVERANTÖREN.....	13

11	BINDANDE REFERENSER.....	13
	BILAGOR	16
1.	Principritning på linjesliper med Pandrol Fastclip befästning 3-801549.....	16
2.	Pandrol ritning 12536.....	16
3.	Pandrol ritning 13048.....	16
4.	Pandrol ritning SK 5915	16
5.	Ritning dymling 4-514520	16
6.	Dimensionerande böjmoment i sliprar till Banverkets sliperspecifikation 2007” Chalmers universitet, rapport nr 2006:09 ISSN 1652-8549.	16

Trafikverket

Postadress: 781 89 Borlänge

E-post: trafikverket@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921

Dokumenttitel: Teknisk kravspecifikation, Tillverkning och leverans av betongsliprar med Pandrol
Fastclip FC befästning och slipermatta

Författare: Anders Hammar, UHtsv

Dokumentdatum: 2016-10-18

Ärendenummer: CTM ID 148280

Version: 1.0

2 Syfte

Detta dokument är framtaget för att Trafikverket ska kunna teckna avtal med leverantör av sliper med förmonterad befästning och slipermatta.

3 Omfattning

Dokumentet innehåller de krav som Trafikverket ställer på produkten och är en del av ett upphandlingsärende.

Detta dokument gäller som tekniskt underlag i anbudsinfordran CTM ID 148280.

Dokumentet vänder sig till tillverkare och leverantörer av produkten.

Kraven numreras löpande i dokumentet enligt formen Kxx, där xx är ett löpnummer. [K01] är alltså krav nummer K01.

Uppfyllande av respektive krav ska på begäran av köparen kunna redovisas av säljaren inom 3 veckor.

4 Användningsområde

4.1 Allmänt

Sliprarnas huvuduppgift är att överföra vertikala-, laterala- och longitudinella krafter från rälen till ballasten via befästningssystem, sliper och slipermatta.

I kombination med befästningssystemet, slipermatta och ballasten skall sliprarna se till att rätt spårvidd och ett bra spårläge upprätthålls. Sliprarna utsätts för stora statiska och dynamiska krafter samt en aggressiv miljö, vilket ställer höga krav på ingående materialkomponenter och tillverkning.

5 Konstruktionskrav sliper

5.1 Allmänt

[K01]	Övergripande krav är enligt TSD infrastruktur (EU) nr 1299/2014 daterad 18 november 2014 och TSFS 2016:96.
-------	--

[K02]	Hållfasthetsberäkning på sliper ska uppvisas efter anmodan.
-------	---

Detta dokument är också anpassat till betongstandard SS-EN 206 och tillhörande svenska standard SS 13 70 03.

I följande kapitel och bilagor redovisas de specifikationer i SS-EN 13230 som har modifierats och/eller förtydligats i syfte att klargöra Trafikverkets tekniska krav. Ritningsunderlag utgör krav avseende geometrisk utformning av betongslipern.

5.2 Uppfyllelse enligt SS-EN 13230-1

I nedanstående tabell specificeras hur SS-EN 13230-1 skall tillämpas. Om stycket inte finns upptaget i tabellen nedan så gäller SS-EN 13230-1 utan undantag. SS-EN 13230-2 gäller utan undantag.

Krav	Stycke i SS-EN 13230-1	Kommentar
[K03]	2	prEN 10138 är inte färdig utan ersätts av nationella regler, se komplettering till 5.7.1 i denna tabell.
[K04]	4.4.2	a) Dimensionerande böjmoment: • $M_{dr} = 22 \text{ kNm}$ • $M_{dcn} = -14 \text{ kNm}$ b) Belastningskoefficienter: • $k_{1s} = 1,8$ • $k_{2s} = 2,5$ • $k_{1d} = 1,5$ • $k_{2d} = 2,2$ c) - d) Enligt punkt 7.3 nedan. e) Ritning på sliper enligt bifogad principritning 3-801549. $L1 \pm 1 \text{ mm}$. f) - g) Min. 5 kΩ enligt SS-EN 13146-5 h) Slipern ska vara anpassad för 50E3- och 60E1-räl.
[K05]	5.2	Cement och bindemedel väljs så att kraven i SS 13 70 03 för exponeringsklass XC4/XF3 uppfylls. Om värmehärdning enligt avsnitt 6.2.3 används ska bindemedel utgöras av något av följande alternativ: • ett CEM I SR3 eller CEM I SR0 enligt SS-EN 197-1 som även uppfyller kraven i SS 13 42 03 (lågalkaliskt) användas. Cementet får kombineras med flygaska klass A som uppfyller SS-EN 450-1 och/eller silikastoft som uppfyller SS-EN 13263-1 upp till de gränser som gäller för XC4/XF3 enligt SS 13 70 03. • ett CEM II/A-V enligt SS-EN 197-1 som även uppfyller kraven i SS 13 42 03 och SS 13 42 04 (lågalkaliskt och sulfatresistent) användas. Cementet får kombineras med flygaska klass A som uppfyller SS-EN 450-1 och/eller silikastoft som uppfyller SS-EN 13263-1 upp till de gränser som gäller för XC4/XF3 enligt SS 13 70 03.

		Leverantören ska kunna påvisa att den värmehärdning som tillämpas med säkerhet inte innebär risk för försenad etringitbildning. Vad gäller alkaliinnehåll se komplettering till 5.3 i denna tabell.
[K06]	5.3	Ballasten ska uppfylla kraven enligt SS-EN 12620 och SS 13 70 03 för exponeringsklass XC4/XF3 och omgivningskategori E3 med följande tillägg: Särskild omsorg ska läggas på att säkerställa att risken för att ballasten reagerar med alkali så att betongen skadas på kort eller lång sikt minimeras. Detta kan påvisas genom följande åtgärder: • Ballast som innehåller flinta, opal, chert eller amorf kvarts får inte användas. • Ballastens alkalisilikareaktivitet ska analyseras med de metoder som anges i not f i Tabell 3 i SS 13 70 03 med tillämpning av de där rekommenderade gränsvärdena. • Om värmehärdning används får undantag från provning enligt SS 13 70 03:2015, 5.2.3.5 inte tillämpas. • Bedömningen av den kvantitativa petrografiska analysen ska göras av en petrograf med erfarenhet av betong.
[K07]	5.4	Vattnet ska uppfylla kraven i SS-EN 1008.
[K08]	5.6	Betongen ska tillverkas enligt SS-EN 206 samt SS 13 70 03. Sliprarnas skall utformas för en förväntad teknisk livslängd på 50 år (L50) i exponeringsklass XC4/XF3. Betongens sammansättning ska uppfylla kraven för exponeringsklass XC4/XF3 enligt SS 13 70 03 med följande tillägg: • Minst acceptabel frostbeständighet skall påvisas genom frostprovning enligt SS 13 72 44, metod B. Provning med metod A får ersätta provning med metod B. Se även krav när det gäller bindemedel enligt komplettering 5.2 i denna tabell och när det gäller ballastens alkalisilikareaktivitet enligt komplettering till 5.3.
[K09]	5.7.1	Spännarmering ska uppfylla kraven i AMA Anläggning 13, EBC.1211 och följande krav: a) Vid leverans av spännarmering ska ringar och knippen eller trådar märkas på ett sådant sätt att materialet kan identifieras i förhållande till provningsattester. b) Lasten vid 1 % töjning ska vara minst 85 % av brottlasten. c) Gränstöjningen ska vara minst 3,5 %

[K10]	5.7.2	Armering ska uppfylla krav enligt SS-EN 10080 och SS 212540 för lägst klass B. Armeringen ska ha genomgått utmattningsprovning.
[K11]	6.1.1	Sliparna skall armeras så att ingjutna befästningsdetaljer inte kommer i kontakt med armeringen. Avståndet mellan ingjuten befästningsdetalj och armering skall vara minst 20 mm. Övriga mått på slipern framgår av bifogad principritning 3-801549.
[K12]	6.1.2	Täckande betongskikt ska uppfylla krav för exponeringsklass XC4 enligt TRVFS 2011:12 med tillägg att för $v_{ct} \leq 0,45$ väljs ett minsta täckande betongskikt för L50 till 10 mm + toleranser + tillägg för korrosionskänslig armering. För underkant sliper gäller dock minst 30 mm täckande betongskikt.
[K13]	6.2.3	Utöver angivna krav ska: • Temperaturförloppet i provkropparna ska registreras under hela härdningsförloppet, inklusive hela avsvalningsperioden. • Temperaturskillnaden mellan betongtemperatur i sliperns mitt och dess yta aldrig överstiga 20 °C under avsvalningsperioden. • Sliparna skyddas mot uttorkning under avsvalnningen. Om temperaturen i någon mätpunkt överstiger maximalt tillåten temperatur underkänns samtliga sliprar i detta produktionsskift. För val av bindemedel, se punkt 5.2.
[K14]	6.3	Sliperns överyta och sidor får ha högst 30 porer som är mellan 5 och 15 mm stora. I rälläget får inga porer större än 5 mm förekomma. En överenskommelse bör ske avseende underytans struktur mellan tillverkare och Trafikverket. Ändytorna får inte ha håligheter som kan inverka negativt på sliperns livslängd eller funktion i spår. Sliprar som ska placeras i vägövergångar eller annan aggressiv miljö ska ytbehandlas med ett preparat som uppfyller kraven på Vattenavvisande impregneringsmedel enligt AMA Anläggning 13, LFB.311. För inverkan på betongens kloridupptagning ska vattenavvisande impregnering dock provas enligt NT Build 515 och uppvisa en filtereffekt (FE25) som är minst 0,60. Vattenavvisande impregneringsmedel ska appliceras enligt tillverkarens anvisningar. Som alternativ till impregnering kan sliprar för aggressiv miljö tillverkas så att de uppfyller kraven för vägmiljö. Detta innebär att: • XD3/XF4 väljs då istället för XC4/XF3 i punkt 5.2, 5.3 och 5.6. • Cementet ska endera var ett CEM I-SR3 enligt SS-EN 197-1 eller ett CEM II/A -NSR enligt SS134203 som även uppfyller kraven på låg alkalitet enligt SS 134203.

		• Om värmehärdning ska utföras får dock inte cementet eller bindemedlet innehålla slagg. • Minst acceptabel frostbeständighet skall då påvisas genom frostprovning enligt SS 13 72 44, metod A. Täckskiktet ska då uppfylla krav för exponeringsklass XD3 enligt TRVFS 2011:12.
[K15]	6.4	Utöver angivna krav ska varje sliper märkas med: • Månad • Tillverkningsdatum Tillverkningsdatumet kan stämpas eller märkas på annat sätt och behöver ej vara beständigt under hela sliperns livslängd. All annan märkning ska vara beständig under hela sliperns livslängd. Om USP (Under sleeper pad) är monterad på slipern ska detta märkas på slipern med beständig märkning. Beställaren anger vilken typ av märkning slipern ska förses med. Under avtalsperioden kan RFID-märkning eller annan typ av märkning komma att införas för att få full spårbarhet.
[K16]	7.3	a) Statisk böjprovning inklusive FrB b) Dynamisk böjprovning c) Utmattningstest ska utföras på slipern.
[K17]	7.5	Utdragningsprov enligt SS-EN 13481-2 och isolationsprovning enligt SS-EN 13146-5 skall utföras innan slipern godkänns av Trafikverket för serieproduktion.

5.3 Tillåten sprickvidd i betong kring befästningen

Erforderliga belastningsprov som ges i EN 13230 och EN 13481 fångar inte samtliga belastningsfall som kan uppstå runt ingjutna befästningskomponenter vid produktion av sliprar, vid montage i spår och trafiksituation i spår.

Vid leverans

[K18]	Leverantör ska säkerställa att inga sprickor med sprickvidd >0,1mm finns runt befästningsdetaljerna vid leverans.
-------	---

I spår

[K19]	Befästningssystem som påför spänningar i slipern vid montage ska innefatta åtgärder som begränsar propageringen av eventuell spricka i spår till maximalt 80 mm.
-------	--

5.4 Sliprar för skyddsräl

[K20]	Sliprar för skyddsräl ska ha ingjutna plastdymlingar enligt principritning 3-801549. De ingjutna plastdymlingarna ska förses med skyddsplugg.
-------	--

6 Monteringsföreskrifter

[BF21]	Pandrol Fastclip FC befästningssystemet monteras enligt bifogad principritning och Pandrols bifogade ritning. De ingjutna plastdymlingarna på sliprar för skyddsräl ska förses med skyddsplugg.
--------	---

6.1 Toleranser vid montering

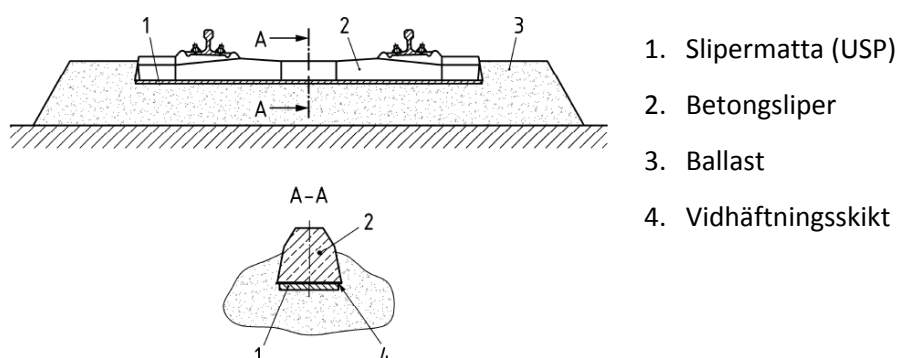
[BF22]	Toleranser enligt Pandrols ritning SK5915 rev. 2 och 12536 rev. C
--------	---

6.2 Limning av gummimellanlägg

[BF23]	Gummimellanlägget limmas på sliper med smältlim Duro-Tak H 1540, Duro-Tak 8673E eller likvärdigt. Minimum 8 gram lim per sliper.
--------	--

7 Krav på sliper med slpermatta (USP)

Slpermatta (USP) – Eng. Under Sleeper Pad. Elastisk matta med ett vidhäftningsskikt som fästs på sliper undersida vid gjutning av sliper. Slpermatta används i första hand till att öka kontaktytan mellan sliper och ballastbädd för ökad spårkvalitet.



Figur 7.1 – Betongsliper med slpermatta i spår

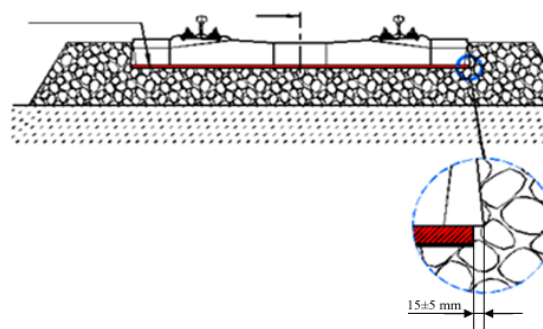
[K34]	Produktdatablad för offererad slpermatta enligt SS-EN 16730:2016 bilaga F.1. Samtliga obligatoriska fält.
-------	---

[K24]	Produktdatablad för offererad slpermatta enligt SS-EN 16730:2016 bilaga F.2. Samtliga obligatoriska fält.
-------	---

7.1 Dimensioner och placering på sliper

[K25]	Tillåten tjocklek 10 mm ± 1 mm (utan vidhäftningsskick)
-------	---

Det är viktigt att slpermattan inte når ut till sliperens kant. Detta kan leda till att tex. spårriktningsmaskiner trycker loss slpermattan från slipern om en stoppagregatet går mot sliperens kant. Dimension och placering vid gjutning av sliper ska medge att slpermattan aldrig når ut till sliperens kant, se figur 7.2.



Figur 7.2 Dimension på slpermatta

[K26]	Slpermattan utformas och placeras så att den ligger inom 15 ± 5 mm in i från sliperkanten på både långsida och kortsida.
-------	--

7.2 Statisk bäddmodul C_{stat} [N/mm^3]:

Statisk bäddmodul C_{stat} mäts enligt SS-EN 16730:2016 avsnitt 5.3.2

[K27]	Statisk bäddmodul, C_{stat} , för vald slpermatta ska vara inom intervallet $0,20 N/mm^3 < C_{stat} < 0,30 N/mm^3$.
-------	--

7.3 Vidhäftning:

Vidhäftning mäts enligt testprocedur beskriven i SS-EN 16730:2016 avsnitt 5.5.2.

[K28]	$\sigma_{mv} \geq 0,5 N/mm^2$ $\sigma_{min} \geq 0,4 N/mm^2$
-------	--

7.4 Livslängd och miljö

7.4.1 Livslängd

[K29]	Slpermattan ska ha samma livslängd som slipern.
-------	---

7.4.2 Resistens mot andra miljöparametrar:

[K30]	- Kemikalier: Slipermattans egenskaper får inte påverkas av kemikalier som används vid sliperproduktionen. Sliperns egenskaper får ej heller påverkas av kemikalier i slipermattan. - Vatten: Vatten (i spåret) får inte påverka slipermattans egenskaper. - Kolväten: Kolväten (i spåret) får inte påverka slipermattans egenskaper. - Ozon: Ozon (i spåret) får inte påverka slipermattans egenskaper. - Brand: Slipermattan får inte vara en del i spåret som snabbt sprider brand och utvecklar giftiga gaser.
-------	---

8 Övrigt

Eftersom Sverige är ett väldigt avlångt land finns det betydande klimatskillnader mellan de norra och södra delarna av landet som måste tas hänsyn till.

[K31]	Offererad produkt ska klara alla förekommande väderförhållandena utan att det leder till driftstörningar, omöjliggör underhållsarbeten eller ger upphov till annat avvikande beteende som påverkar funktion och prestanda.
-------	--

För att få en uppfattning om Sveriges klimat hänvisas till Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut SMHI. (t.ex. <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat-1.6867>)

En översikt över den rådande temperatur- och nederbördsfördelningen från 3 utvalda platser i Sverige finns nedan:

Kiruna (Norra Norrland/Sverige)[SMHI]:

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Högsta medeltemp.	-10	-8	-4	1	7	14	17	14	8	2	-5	-8
Lägsta medeltemp.	-19	-18	-14	-8	-1	5	7	6	1	-5	-12	-17
Nederbörd	30	25	26	27	34	49	86	74	49	47	42	34

temperaturer i °C • månadsnederbörd i mm

Stockholm (Östra Svealand/mellansverige)[SMHI]:

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Högsta medeltemp.	-1	-1	3	9	16	21	22	20	15	10	5	1
Lägsta medeltemp.	-5	-5	-3	1	6	11	13	13	9	5	1	-3
Nederbörd	39	27	26	30	30	45	72	66	55	50	53	46
temperaturer i °C • månadsnederbörd i mm												

Malmö (Skåne, södra Sverige)[SMHI]:

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Högsta medeltemp.	2	2	5	10	16	20	21	21	17	12	7	4
Lägsta medeltemp.	-3	-3	-1	2	7	11	13	12	10	7	3	-1
Nederbörd	49	30	40	38	41	52	61	58	59	57	61	58
temperaturer i °C • månadsnederbörd i mm												

[K32]	Slipern och dess ingående komponenter ska upprätthålla sin funktion i temperaturintervallet mellan – 40°C - +40°C.
-------	--

9 Lagring av sliprar

[K33]	Sliprarna skall lagras på ett sådant sätt att inte dess egenskaper, geometri och ingående komponenter (tex mellanlägg och sliperatta) påverkas.
-------	---

10 Besök hos leverantören

Trafikverket skall vid förfrågan beredas möjlighet att närvara vid tillverkning av sliprar, befästning och sliperatta samt vid provtagning och provning/kontroll. Vidare skall Trafikverket tillåtas delta vid verifiering samt validering av ny sliper eller vid en förändring av denna.

11 Bindande referenser

Denna föreskrift innehåller genom hänvisning regler från andra dokument. Dessa referenser är åberopade i texten och är förtecknade nedan.

Dokumentbenämning	Dokumentbeskrivning
SS-EN 13230-1:2016	Järnvägar – Spår – Betongsliprar för spår och växlar– Del 1: Allmänna krav
SS-EN 13230-2:2016	Järnvägar – Spår – Betongsliprar – Del 2: Förspänd armerad enblocksslipe

SS-EN 13481-1:2012	Järnvägar - Spår - Prestandakrav för befästningssystem - Del 1: Definitioner
SS-EN 13481-2:2012	Järnvägar - Spår - Prestandakrav för befästningssystem - Del 2: Befästningssystem för sliprar av betong
SS-EN 13146-1:2012+A1:2014	Järnvägar - Spår - Provningsmetoder för befästningssystem - Del 1: Bestämning av längsgående inspanning av räler
SS-EN 13146-2:2012	Järnvägar - Spår - Provningsmetoder för befästningssystem - Del 2: Bestämning av vridstyvhet
SS-EN 13146-3:2012	Järnvägar - Spår - Provningsmetoder för befästningssystem - Del 3: Bestämning av dämpning av stötkraft
SS-EN 13146-4:2012+A1:2014	Järnvägar - Spår - Provningsmetoder för befästningssystem - Del 4: Effekter av upprepad belastning
SS-EN-13146-5:2012	Järnvägsanläggningar - Spår - Provningsmetoder för befästningssystem - Del 5: Bestämning av elektriskt motstånd
SS-EN 13146-6:2012	Järnvägar - Spår - Provningsmetoder för befästningssystem - Del 6: Effekter av svåra miljöförhållanden
SS-EN 13146-7:2012	Järnvägar - Spår - Provningsmetoder för befästningssystem - Del 7: Bestämning av klämkraft
SS-EN 13146-8:2012	Järnvägar - Spår - Provningsmetoder för befästningssystem - Del 8: Provning under drift
SS-EN 13146-9:2009+A1:2011	Järnvägar - Spår - Provningsmetoder för befästningssystem - Del 9: Bestämning av styvhet
SS-EN 206:2013	Betong – Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse
SS-EN 197-1:2011	Cement - Del 1: Sammansättning och fordringar för ordinära cement
SS-EN 12620, utg.1+A1:2008	Ballast för betong
SS 13 42 03:2014	Cement - Sammansättning och fordringar för cement med låg alkalihalt (LA)

SS 13 42 04:2014	Cement - Sammansättning och fordringar för för nationella sulfatresistenta ordinära cement (NSR)
SS-EN 450-1 :2012	Flygaska för betong – Del 1: Definition, specifikationer och kriterier för överensstämmelse
SS-EN 13263-1:2005+A1:2009	Silikastoft till betong - Del 1: Definitioner, krav samt kriterier för överensstämmelse
SS 13 70 03:2015	Betong - Användning av EN 206 i Sverige
SS 13 72 44:2005	Betongprovning - hårdnad betong - Avflagning vid frysning
SS-EN 1008, utg. 1	Vatten (inklusive processvatten) för betongtillverkning – Fordringar
SS-EN 10080:2005	Armeringsstål - Svetsbart armeringsstål - Allmänt
SS 212540:2014	Armeringsstål - Svetsbart armeringsstål - Tekniska leveransbestämmelser för stång, coils, svetsat nät och armeringsbalk
AMA Anläggning 13	Allmän material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten, Svensk Byggtjänst
TSD infrastruktur (EU) nr 1299/2014 daterad 18 november 2014	
TSF 2016:96	
SS-EN 16730:2016	Järnvägar – Spår – Betongsliprar med slipermatta
SS-EN 13848-1:2004+A1:2008	Järnvägar - Spår - Spårlägeskvalitet - Del 1: Karakterisering av parametrar för spårläge
TRVFS 2011:12	Trafikverkets föreskrifter om ändring i Vägverkets föreskrifter (VVFS 2004:43) om tillämpningen av europeiska beräkningsstandarder

Bilagor

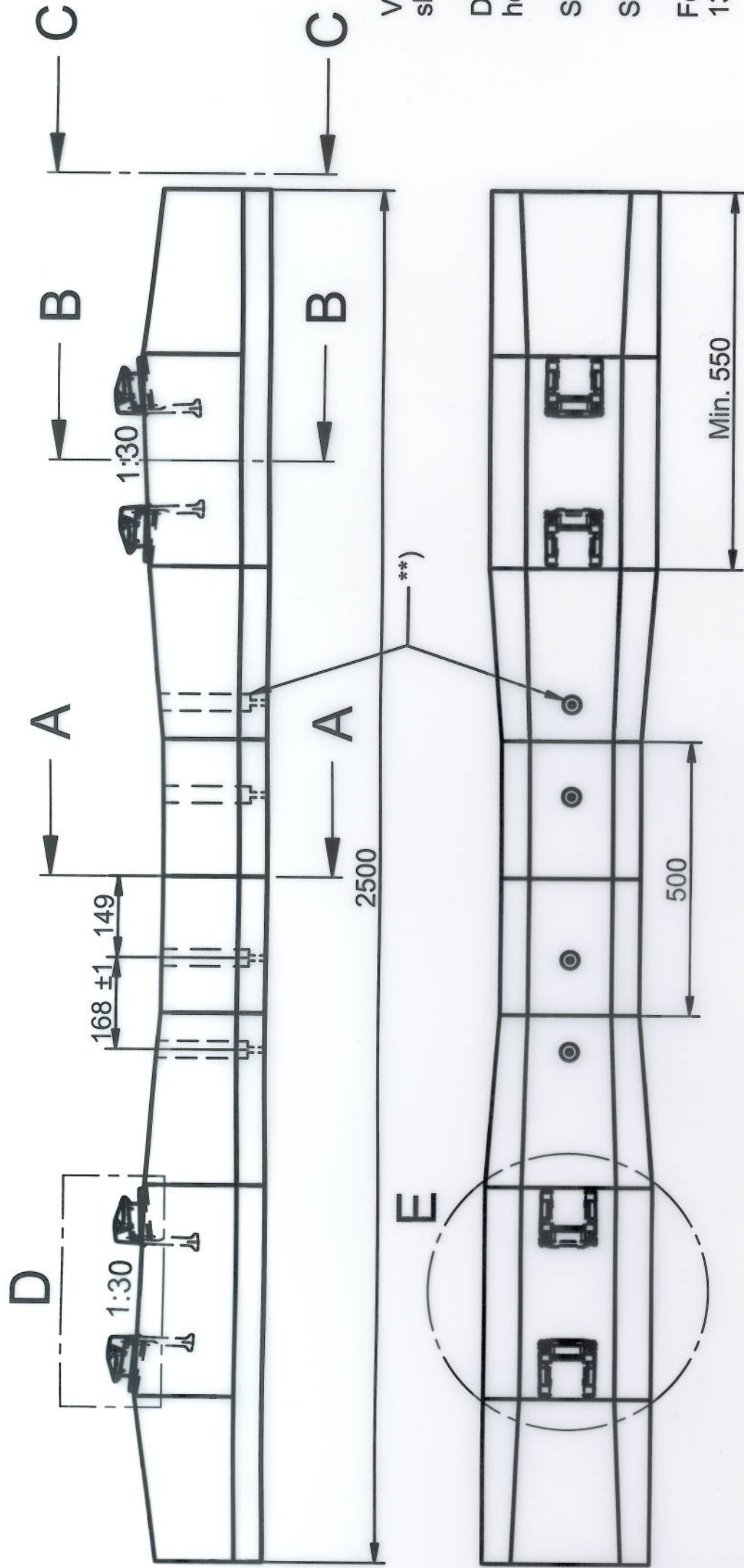
1. ***Principritning på linjesliper med Pandrol Fastclip befästning 3-801549.***
2. ***Pandrol ritning 12536***
3. ***Pandrol ritning 13048***
4. ***Pandrol ritning SK 5915***
5. ***Ritning dympling 4-514520***
6. ***Dimensionerande böjmoment i sliprar till Banverkets sliperspecifikation 2007” Chalmers universitet, rapport nr 2006:09 ISSN 1652-8549.***



TRAFIKVERKET

Trafikverket, 781 89 Borlänge. Besöksadress: Röda vägen 1.
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 99 97

www.trafikverket.se



Vid de båda rällägena får sliperens höjdmått skilja sig inbördes med högst 4 mm.

De ingjutna skuldrornas centra får ligga högst 1,5 mm från sliperens centrumlinje.

Skuldra enl. Pandrol ritn. 8888

Sliperhöjd mäts från plant underlag.

För ej toleranssatta mått, se SS-EN 13230-1 och Pandrol ritn. 12535

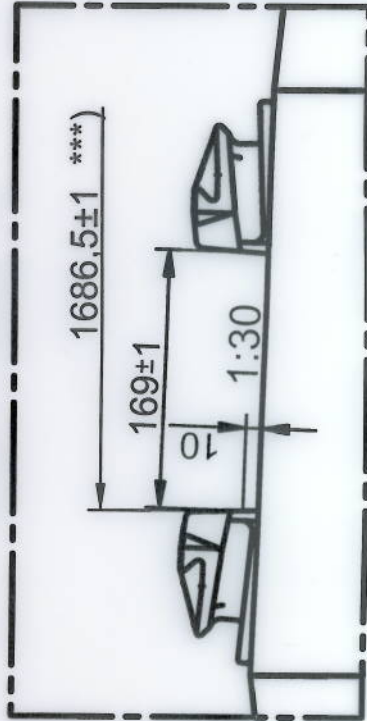
Avvikelser från vissa mått kan eventuellt göras i samråd med beställare.

*) Centrum på räsläget

**) Plastdymling Sdu 9 monteras endast vid tillverkning av slipers för montering av skyddsräl.

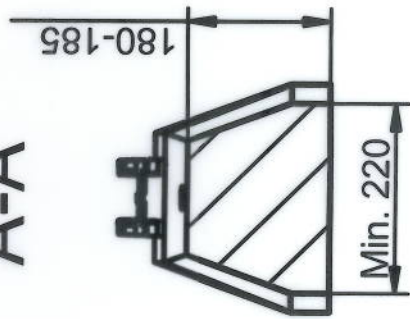
DETALJE

DETALJ D

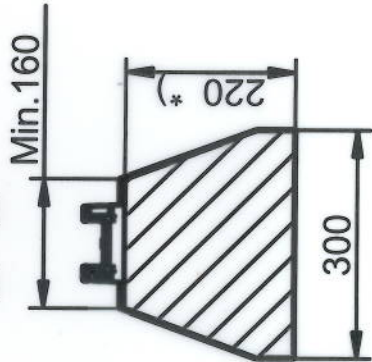


***) Mät punkt 10 mm över plan för räsläget

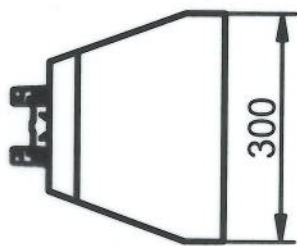
A-A



B-B

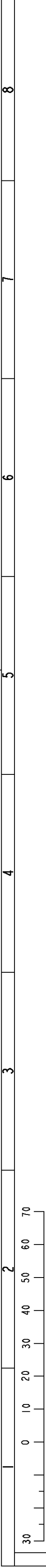


C-C



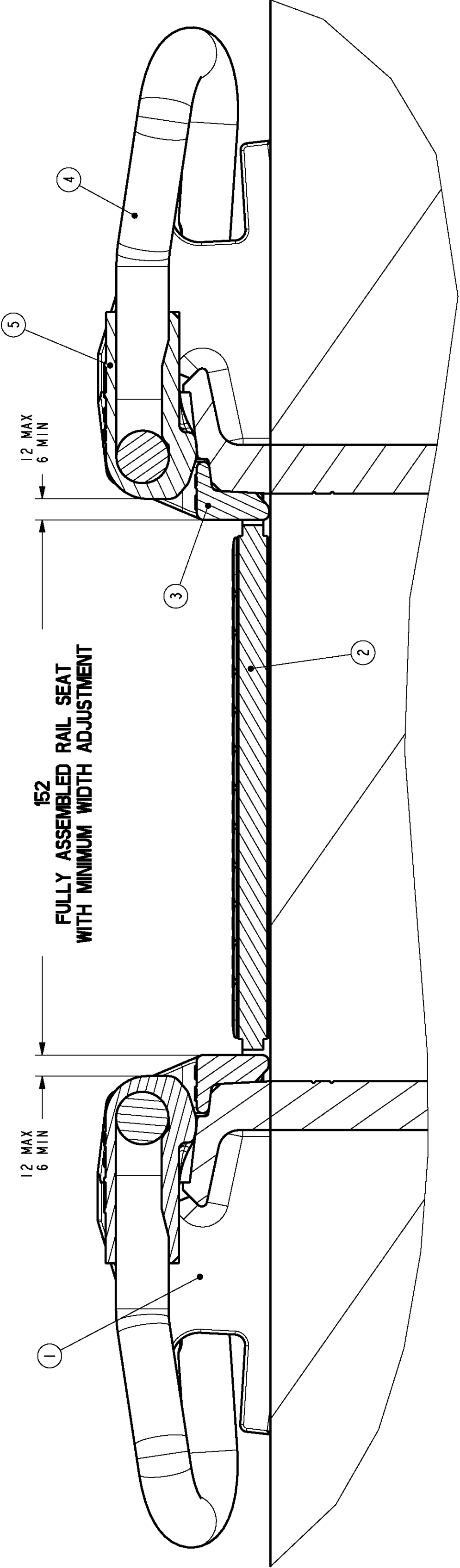
B	Kompleterad med mått.	2011-12-07	FJ	BE	SIGN KONSTR ANSV
A	Mått 1686,5 ± 1 var 1683,3 ± 1	2007-06-18	JEM	BE	
ÄNDR	ÄNDRINGEN	DATUM	GRANSKAD		

BANVERKET	Betongsliper	STATUS	SKALA
Huvudkontoret	Principritning för standard linjesliper	RITNINGSTYP	1:10, 1,5
Järnvägssystem	med fastclip.	DATUM FÖR FASTÄLLANDE	
KONSTR	A. Hammar	GRANSKAD	JEM
FASTSTÄLLD	Bertil Eriksson	HANDLAGGARE	P. Falk
RITNINGSNUMMER	3-801549	BLAD	ÄNDR
			B



PARTS LIST
QUANTITIES ARE PER RAIL SEAT SET

ITEM	DRG No.	DESCRIPTION	QTY	REMARKS
1	13048	SHOULDER SETTING ASSEMBLY	1	
2	13300	RAIL PAD	1	
3	7551	INSULATOR	2	
4	8889	FASTCLIP FC1504	2	THESE 2 COMPONENTS COME
5	8494	TOE INSULATOR	2	PRE-ASSEMBLED



TECHNICAL INFORMATION

ALL DIMENSIONS IN ORIGINAL SCALE

MILLIMETERS1:1

GENERAL TOLERANCES UNLESS OTHERWISE STATED

TO: $\pm$
TO: $\pm$
ANGLES: $\pm$

MATERIAL/FINISH

DRAWN WITH REFERENCE TO BS308
IF IN DOUBT, ASK!

DO NOT SCALE

COPY STATUS

THIS COPY, ALTHOUGH CORRECT AT THE DATE OF ISSUE, WILL NOT BE KEPT UP TO DATE. PANDROL BRAND COMPONENTS ARE UNDER CONTINUOUS DEVELOPMENT. SPECIFIC VARIANTS USUALLY NEED TO BE DEVELOPED TO SUIT SPECIFIC APPLICATIONS AND COMPONENT PARTS WITHIN AN ASSEMBLY NEED TO BE MATCHED TO EACH OTHER TO ENSURE SUCCESSFUL PERFORMANCE. CUSTOMERS AND THEIR PROFESSIONAL ADVISERS INTENDING TO SPECIFY PANDROL BRAND ASSEMBLIES SHOULD REFER TO PANDROL TO CHECK THAT THE DRAWINGS USED AND THE COMPONENTS PROPOSED ARE STILL CURRENT AND CORRECT FOR THE INTENDED APPLICATION. MANUFACTURERS SHOULD CHECK THAT THE DRAWING NUMBER AND ISSUE CODE CORRESPONDS EXACTLY TO THE CODES ON THE PANDROL PURCHASE ORDER.

ISSUE STATUS

UNTIL THIS DRAWING IS SIGNED APPROVED BY AN AUTHORISED SIGNATORY, THIS ISSUE MUST BE REGARDED AS **PROVISIONAL**. RELEASED FOR DISCUSSION AND THE DEVELOPMENT OF SAMPLES ONLY.

ISSUE CODE

REVISED BY

DATE

CHECKED BY

DATE

APPROVED BY

DATE

J. PORRILL

25-09-2007

6644

BY:

P. LOWEN

DATE:

08-02-2006

1D1/ECR NUMBER

ORIGINAL DRAWN BY

6644

P. LOWEN

PANDROL®
RAIL FASTENINGS

PANDROL LTD.
63 STATION RD. ADDLESTONE,
SURREY, KT15 2AR, ENGLAND.
TELEPHONE: 01932 834500
FACSIMILE: 01932 830858
TELEX: 21474 PANERS G

TITLE

**PRE-ASSEMBLY TO
SUIT UIC60 RAIL
AND FASTCLIP FC1504.**

DRAWING NO.

12536

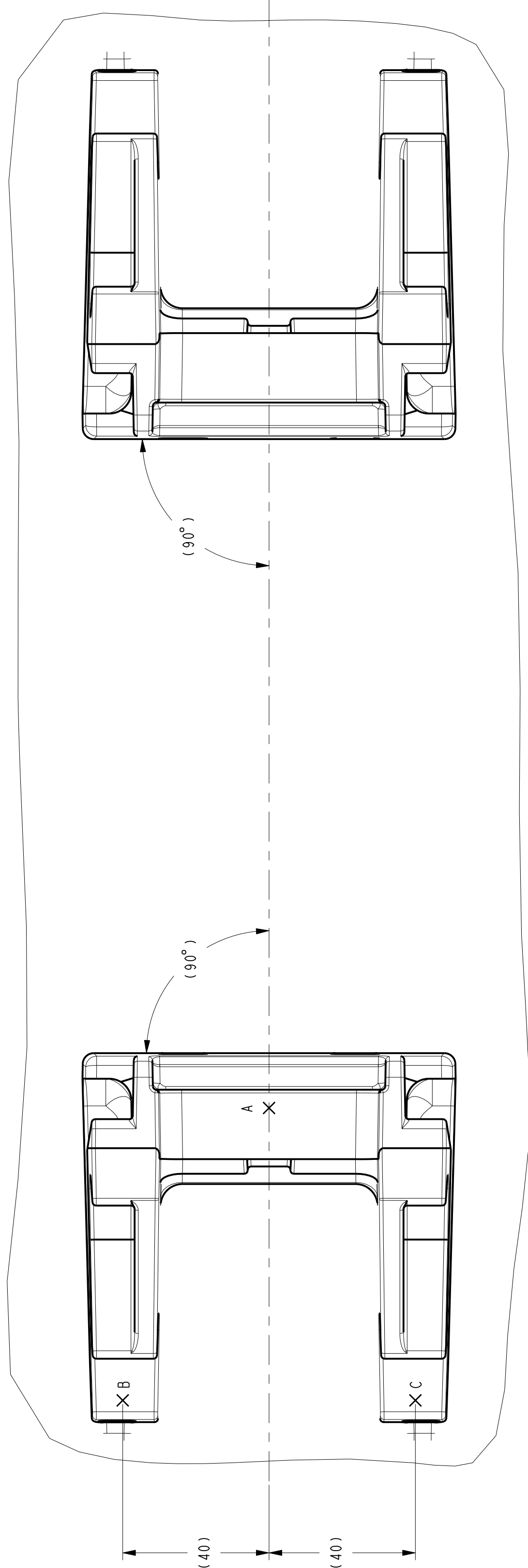
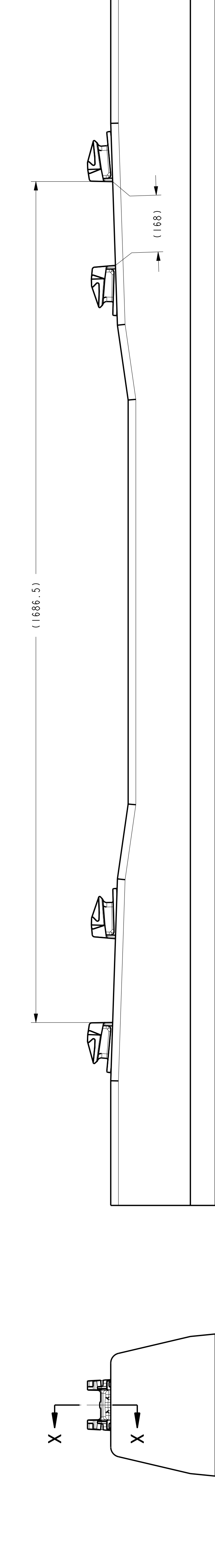
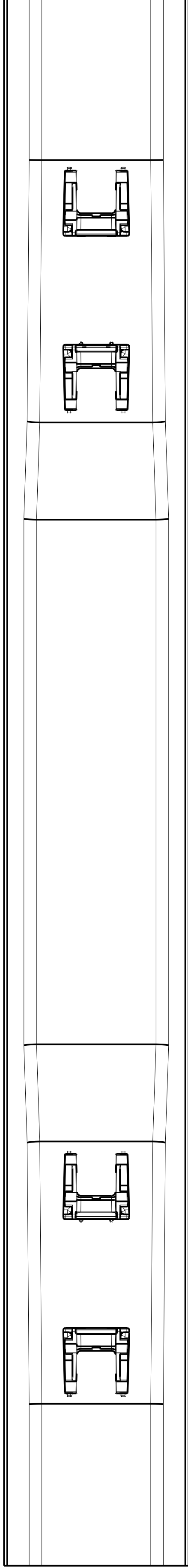
FILE REF. No.

6511

SHEET

1 OF 1

A2



PARTS LIST

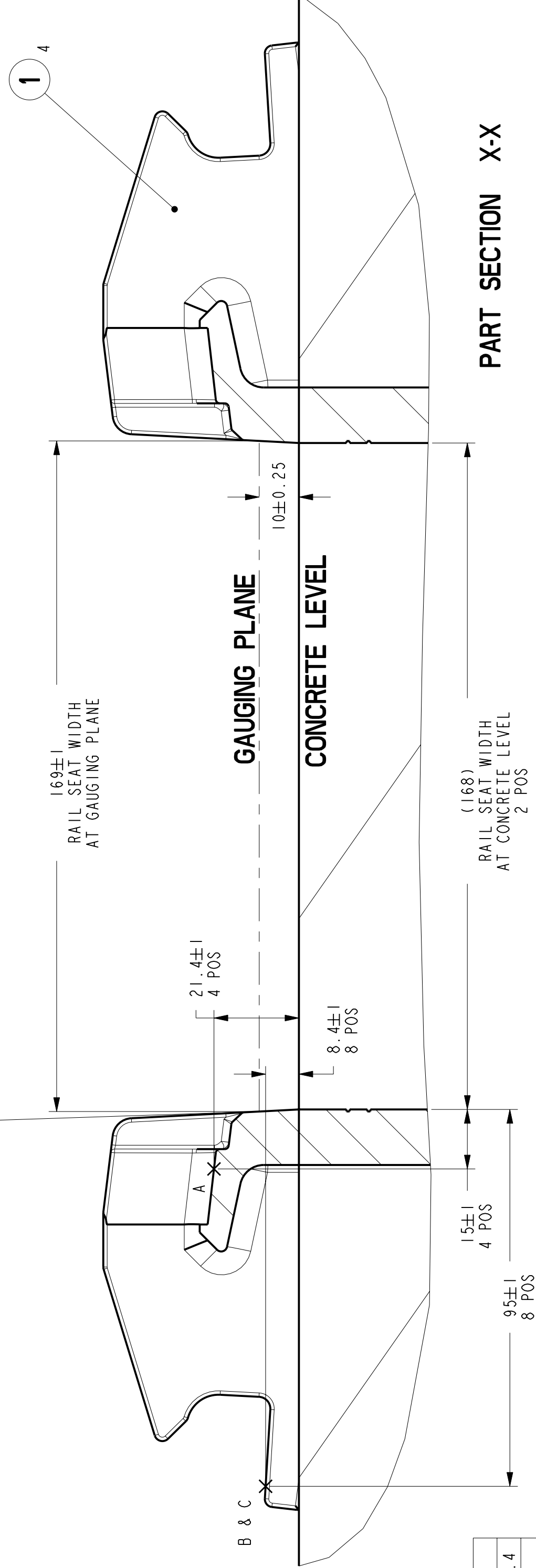
ITEM	DRG. No	DESCRIPTION
1	8888	CAST SHOULD

1686.5 NOMINAL

OUTER TO OUTER SHOULDER DIMENSION MEASURED
AT GAUGING PLANE 10mm ABOVE CONCRETE LEVEL.

NOTES:

1. RAIL INCLINATION OF 1:30 IS TO BE INCORPORATED IN THE SLEEPER MOULD.
2. THE OUTER TO OUTER SHOULDER DIMENSION WAS CALCULATED USING NOMINAL GAUGE, INCLINATION AND RAIL SIZE AND INSULATOR POST THICKNESS. ALSO THE RAILS WERE PLACED CENTRALLY IN THE RAIL SEAT.



A	UP- ISSUED TO ALPHA STATUS
2	REF B7 & F7 DIM 1686.5 WERE 1686.4
ISSUE	MODIFICATION

DOCUMENT NO. 1015 ISS. 1

THIS DRAWING HAS COPYRIGHT
WHICH IS OWNED BY PANDROL
LIMITED

NEITHER THIS DRAWING ITSELF NOR THE ARTICLE NOR COMPONENT ILLUSTRATIONS THEREIN MAY BE REPRODUCED IN WHOLE OR IN PART IN ANY FORM WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF THE AUTHORITY HAVING BEEN OBTAINED. THIS DRAWING HAS BEEN DELIVERED ON THE UNDERSTANDING THAT IT IS NOT TO BE USED IN ANY WAY AGAINST THE INTERESTS OF PANOROL AND WILL BE RETURNED ON DEMAND.

"PANOROL" IS A REGISTERED TRADE MARK. "PANOROL" BRAND "PR" CLIPS TYPE "E" CLIPS AND "PANOROL" BRAND "PR" CLIPS TYPE "F" CLIPS ARE THE EXCLUSIVE PROPERTY OF PANOROL LTD. AND ITS SUBSIDIARIES AND ASSOCIATES WORLDWIDE.

TECHNICAL INFORMATION

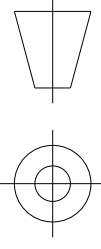
ALL DIMENSIONS IN ORIGINAL SCALE

MILLIMETERS
1:1

~~GENERAL TOLERANCES UNLESS OTHERWISE STATED~~

TO	±	±	±
TO	±	±	±
MATERIAL/FINISH			

DRAWN WITH REFERENCE TO BS. 8888
IF IN DOUBT, ASK!
DO NOT SCALE



COPY STATUS

THIS COPY, ALTHOUGH CORRECT AT THE DATE OF ISSUE, WILL NOT BE KEPT UP TO DATE. PANDROL BRAND COMPONENTS ARE UNDER CONTINUOUS DEVELOPMENT. SPECIFIC VARIANTS USUALLY NEED TO BE DEVELOPED TO SUIT SPECIFIC APPLICATIONS AND COMPONENT PARTS WITHIN AN ASSEMBLY NEED TO BE ADAPTED TO MEET THE REQUIREMENTS OF THEIR CUSTOMERS. THEREFORE, IT IS IMPORTANT TO ENSURE SUCCESSFUL PERFORMANCE. CUSTOMERS AND THEIR PROFESSIONAL ADVISERS INTENDING TO SPECIFY PANDROL BRAND ASSEMBLIES SHOULD REFER TO PANDROL TO CHECK THAT THE DRAWINGS USED AND THE COMPONENTS PROPOSED ARE STILL CURRENT AND CORRECT FOR THE INTENDED APPLICATION. PLEASE CHECK THE DRAWING NUMBER, AND ISSUE CODE CORRESPONDS EXACTLY TO THE CODES ON THE PANDROL PURCHASE ORDER.

[illegible]

ISSUE STATUS

UNTIL THIS DRAWING IS
SIGNED APPROVED BY AN
AUTHORISED SIGNATORY, THIS
ISSUE MUST BE REGARDED AS
PROVISIONAL, RELEASED FOR
DISCUSSION AND THE
DEVELOPMENT OF SAMPLES
ONLY.

ISSUE CODE	REVISED BY	DATE
	S.BAILEY	29-06-2007
A	CHECKED BY	DATE
	N.McA	29-06-2007
	APPROVED BY	DATE
	J.PORRILL	29-06-2007

6510	ORIGINAL DRAWN BY BY: N. LLOYD DATE: 20-03-2007
------	---



PANDROL LTD.
63 STATION RD. ADDLESTONE,
SURREY, KT15 2AR, ENGLAND
TELEPHONE: 01932 834500
FACSIMILE: 01932 850858
TELEX: 21474 PANERS G
E-MAIL: INFO@PANDROL.COM

TITLE

SHOULDER SETTING DETAIL
TO SUIT
CEN 60E1 RAIL

DRAWING No.

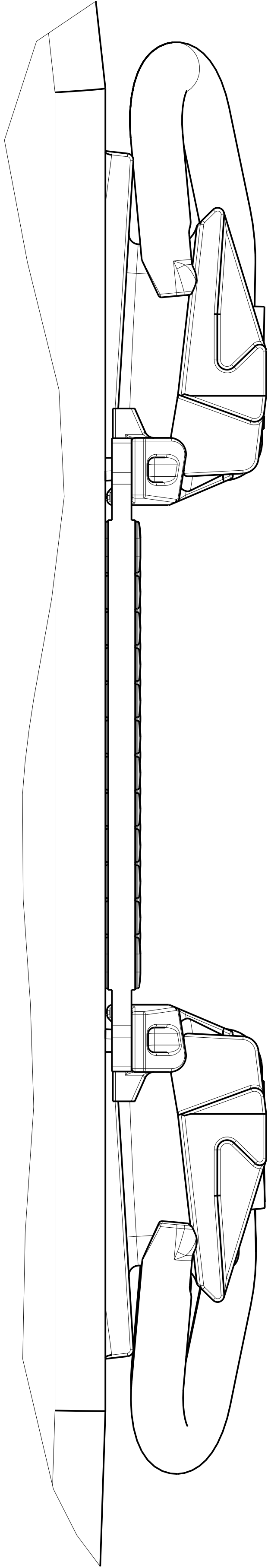
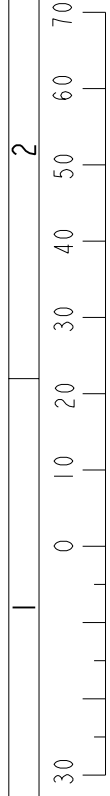
13048

6511

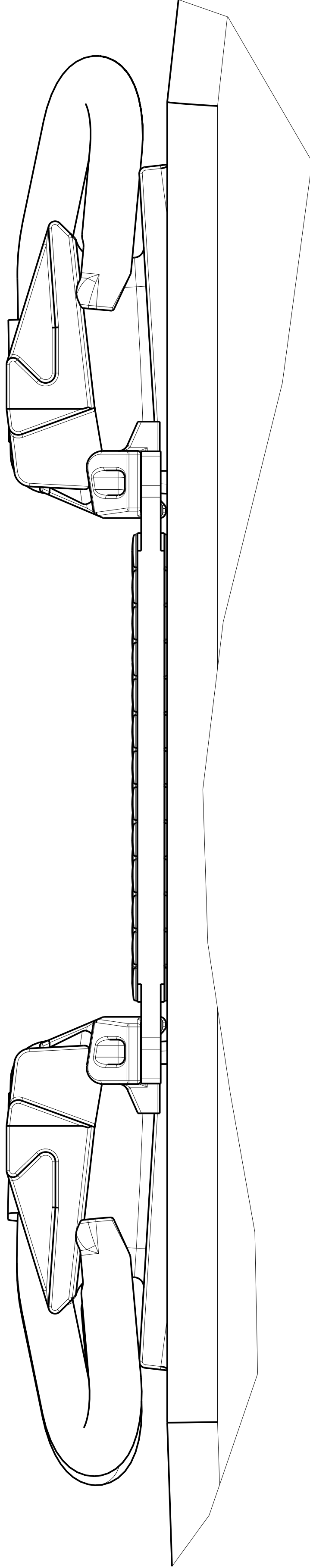
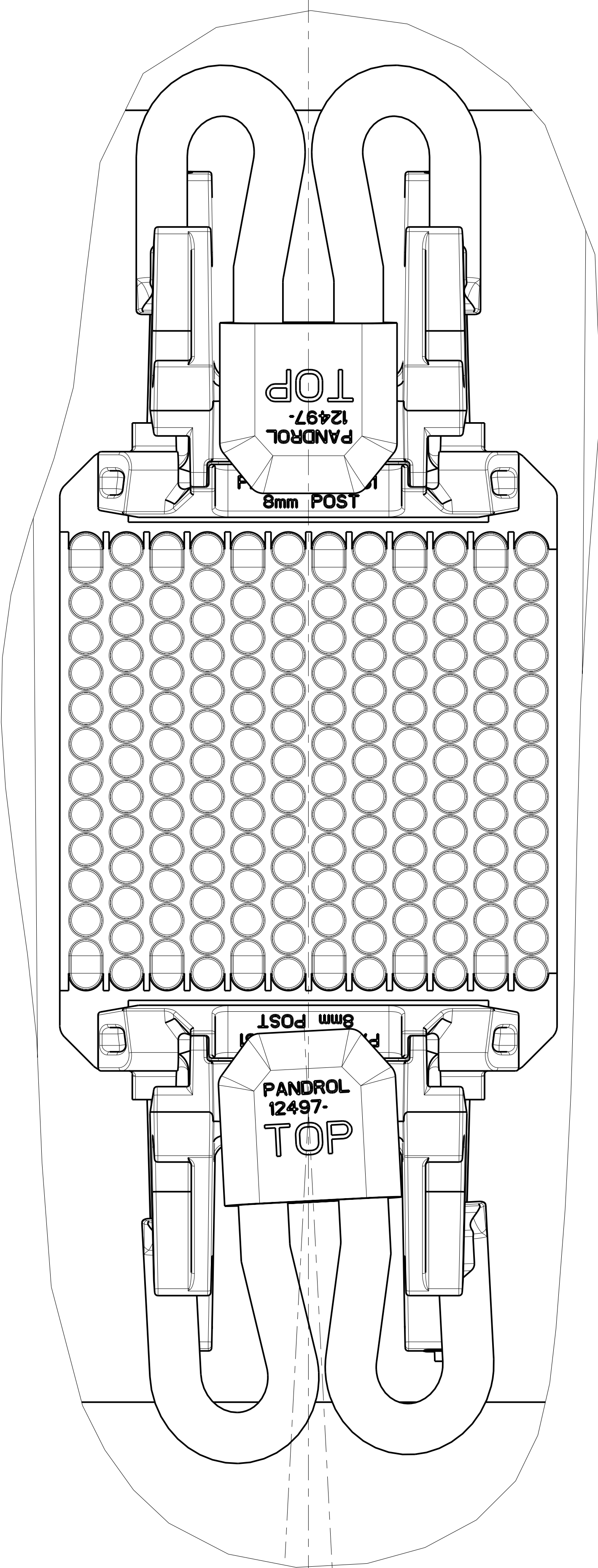
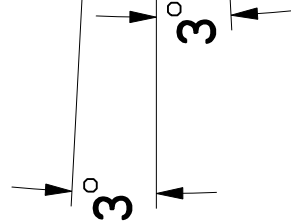
65111 1081 A1

PART SECTION X-X

A PANDROL BRAND RAIL FASTENING ASSEMBLY



Pandrol Sketch
No. SK5915 Issue No. 2
This sketch is for information only,
not for bulk production purposes
and will not be kept up to date.
Components for installation in track
can only be manufactured from sketches
with the written approval from either
the Technical Director or Technical
Development Director.
Drawn by: NIGEL BROWN Date: 14-11-2008



C THIS DRAWING HAS COPYRIGHT WHICH IS OWNED BY PANDROL LIMITED. THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF PANDROL LIMITED AND IS NOT TO BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, WITHOUT PERMISSION IN WRITING FROM PANDROL LIMITED. THIS DRAWING HAS BEEN DELIVERED TO YOU BY PANDROL LIMITED AND IT IS NOT TO BE USED IN ANY WAY AGAINST THE INTERESTS OF PANDROL LIMITED AND WILL BE RETURNED ON REQUEST. "PANDROL" IS A REGISTERED TRADE MARK. "PANDROL" BRAND "PR" CLIPS, FASTCLIP, THE FASTCLIP, AND ALL OTHERS ARE THE PROPERTY OF PANDROL LIMITED, THEIR SUBSIDIARIES AND ASSOCIATES WORLDWIDE.

TECHNICAL INFORMATION

ALL DIMENSIONS IN ORIGINAL SCALE

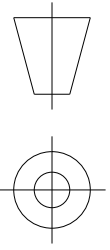
MILLIMETERS 1:1

GENERAL TOLERANCES UNLESS OTHERWISE STATED

TO $\pm$ ANGLES $\pm$

MATERIAL/FINISH

DRAWN WITH REFERENCE TO BS. 8888 IF IN DOUBT ASK!
DO NOT SCALE



COPY STATUS

THIS COPY, ALTHOUGH CORRECT AT THE DATE OF ISSUE, WILL NOT BE KEPT UP TO DATE. PANDROL BRAND COMPONENTS ARE UNDER CONTINUOUS DEVELOPMENT. SPECIFIC VARIANTS USUALLY NEED TO BE DEVELOPED TO MEET SPECIFIC APPLICATIONS. SUB COMPONENT PARTS WITHIN AN ASSEMBLY NEED TO BE MATCHED TO EACH OTHER TO ENSURE SUCCESSFUL PERFORMANCE. CUSTOMERS AND THEIR PROFESSIONAL ADVISERS INTENDING TO SPECIFY PANDROL BRAND ASSEMBLIES SHOULD REFER TO PANDROL TO CHECK THAT THE DRAWINGS USED AND THE COMPONENTS PROPOSED ARE STILL CURRENT AND CORRECT FOR THE INTENDED APPLICATION. CHECK HAVING MADE THE ABOVE, AND ISSUE CODE CORRESPONDS EXACTLY TO THE CODES ON THE PANDROL PURCHASE ORDER.

ISS	ECR	TSS	ECR	TSS	ECR

ISSUE STATUS

UNTIL THIS DRAWING IS SIGNED APPROVED BY AN AUTHORISED SIGNATORY, THIS ISSUE MUST BE REGARDED AS **PROVISIONAL**. RELEASED FOR DISCUSSION AND THE DEVELOPMENT OF SAMPLES ONLY.

ISSUE CODE	REVISED BY	DATE
	N. BROWN	14-11-2008
CHECKED BY	DATE	
APPROVED BY	DATE	
2		

ID/ECR NUMBER	ORIGINAL DRAWN BY
7271	N. BROWN
BY:	DATE:
	05-11-2008



PANDROL LTD
SHEPHERD ROAD, ADDLESTONE,
SURREY, KT15 2AR, ENGLAND
TELEPHONE: 01932 834500
FACSIMILE: 01932 850858
TELEX: 21474 PANERS G
E-MAIL: INFO@PANDROL.COM

TITLE

**FASTCLIP PRE-ASSEMBLY -
ALLOWABLE CLIP
MISALIGNMENT**

DRAWING No.
SK5915
FILE REF. No.
65111
SHEET
1 OF 1
A1



Research report 2006:09

Dimensionerande böjmoment i sliprar till Banverkets sliperspecifikation 2007.

**RIKARD BOLMSVIK
JENS NIELSEN**

Department of Applied Mechanics
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Göteborg, Sweden 2006

Research report 2006:09

Dimensionerande böjmoment i sliprar till Banverkets sliperspecifikation 2007.

av

**RIKARD BOLMSVIK
JENS NIELSEN**

Department of Applied Mechanics
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Göteborg, Sweden, 2006

Dimensionerande böjmoment i sliprar till Banverkets sliperspecifikation 2007.

RIKARD BOLMSVIK, JENS NIELSEN

© RIKARD BOLMSVIK, JENS NIELSEN 2006

Research report 2006:09
ISSN 1652-8549

Department of Applied Mechanics
Chalmers University of Technology
SE-412 96 Göteborg
Sweden
Telephone +46 (0)31 772 1000

Innehållsförteckning

1	Bakgrund och problembeskrivning	5
2	Töjningsmätningar vid tågtrafik gjorda på sliprar i spår	5
2.1	Framtagning av omvandlingsfaktorer töjning-moment	6
2.2	Harrträsk 2006	7
2.3	Svealandsbanan 2000	9
2.3.1	Utfall av rällägesmoment	9
2.3.2	Inverkan av hjulskadetyper	10
2.3.3	Variation längs spåret	11
2.3.4	Utfall av momentet i slipermitt	12
2.4	Furet 2005	13
2.5	Kommentarer till mätresultat	13
3	Beräkningar med DIFF	15
3.1	Jämförelse med mätdata från Svealandsbanan 2000 – axellast 24 ton med hjulskada	15
3.2	Jämförelse mot mätdata från Malmbanan 2006 – axellast 30 ton utan hjulskada	21
3.3	Inverkan av styvhetsfördelning under sliper – axellast 30 ton utan hjulskada ..	24
3.4	Inverkan av styvhetsfördelning under sliper – axellast 35 ton med hjulskada ..	26
3.5	Slutsatser från beräkningar med DIFF	30
4	Inverkan av sprucken sektion på spännlinornas spänningsvidd vid belastning ..	31
4.1	Egenskaper för osprucken och sprucken sektion	31
4.2	Utmattningsegenskaper för spännlinor	33
4.3	Utmattningsrisk för slipermitt i Harrträsk	33
5	Sammanställning av sliprars kapaciteter i delar av Europa och övriga världen ..	36
5.1	Europa	36
5.1.1	Data för existerande slipertyper i Europa	36
5.1.2	Dimensionerande böjmoment enligt EN 13 230	36
5.2	USA och Australien	37
5.2.1	AREMA	37
5.2.2	Australian Standard, AS 1085.14	39
5.3	Sammanfattning	40
6	Diskussion	40
7	Slutsatser	42
8	Referenser	43

1 Bakgrund och problembeskrivning

En ny teknisk standard för betongslipers skall tas fram vilken skall användas som underlag i kommande upphandling. En del i den nya tekniska standarden kommer att vara kravet på att dimensionera betongslipern för 35-ton axellast med en förväntad livslängd på 50 år. Detta krav är föranlett av betongsliperns långa livslängd som innebär att man måste ta hänsyn till eventuella kommande behov redan idag. Önskemålet om ökad axellast har framförallt kommit från svensk industri som ser en ökad möjlighet att förbättra sin konkurrenskraft

Tidigare har en parameterstudie [1] gjorts där förändringen av genererat böjmoment i slipern vid olika tåghastigheter och ballaststyvheter jämfördes för en ökad axellast. Jämförelsestudien visade att tåghastigheten och ballaststyvheten har stor inverkan på genererat böjmoment i slipern. Vidare visade studien att förändringen av böjmomentet i slipern är i stort sett proportionell mot förändringen av axellasten om orsaken till de dynamiska lasterna (t.ex. hjulplattor, rätkorrugering) är den samma. Vid en förändring av förutsättningarna för generering av dynamiska laster kan stora förändringar fås i det resulterande böjmomentet i slipern. Den främsta orsaken till stora dynamiska laster och påföljande böjmoment i slipern är förekomsten av hjulplattor.

De explicita böjmomenten för de olika parameteruppsättningarna kunde ej fastslås i jämförelsestudien då använd spårmodell inte var validerad för sliperreponsen utan endast för hjul-räl krafter och spårets totala respons. För att kunna validera spårmodellen med avseende på sliperns respons gjordes en mätning i spår på en sträcka vid Harrträsk [2] (Malmbanans södra omlopp). Vid mätningarna instrumenterades några sliprar med både accelerometrar och trådtöjningsgivare för att få en detaljerad bild av sliperns respons vid pålagd kraft från passerande tåg.

Resultaten från mätningarna har legat till grund för att uppdatera och validera spårmodellen DIFF som sedan använts för de simuleringar som redovisas i denna rapport.

En stor mängd mätdata från fullskaleprov har även använts för att kvantifiera de böjmoment som genereras i slipern vid förekomst av olika typer av hjulskador. Vid fullskaleprov på Svealandbanan [3] utfördes detaljerade mätningar på sliprar vid passage av ett preparerat tåg (axellast 22-27 ton) med en mängd olika hjulskador.

Det utfall av böjmoment som ges från Svealandbanan och Harrträsk, samt kunskap från studierna med DIFF, ger en plattform för att specificera det dimensionerande böjmoment som bör råda för en sliper som ska användas i spår med trafik som har en axellast upp till 35 ton.

2 Töjningsmätningar vid tågtrafik gjorda på sliprar i spår

Tre olika mätkampanjer har gjorts av PMM på Banverket där trådtöjningsgivare har placerats vid sliperns rälläge och mitt. Trådtöjningsgivarna har använts för att registrera betongens töjning i sliperns ovkant vid tågtrafik. Genom test i laboratorium och FE-analyser har omvandlingsfaktorer erhållits för framtagning av sektionsmoment utifrån erhållna töjningsvärden.

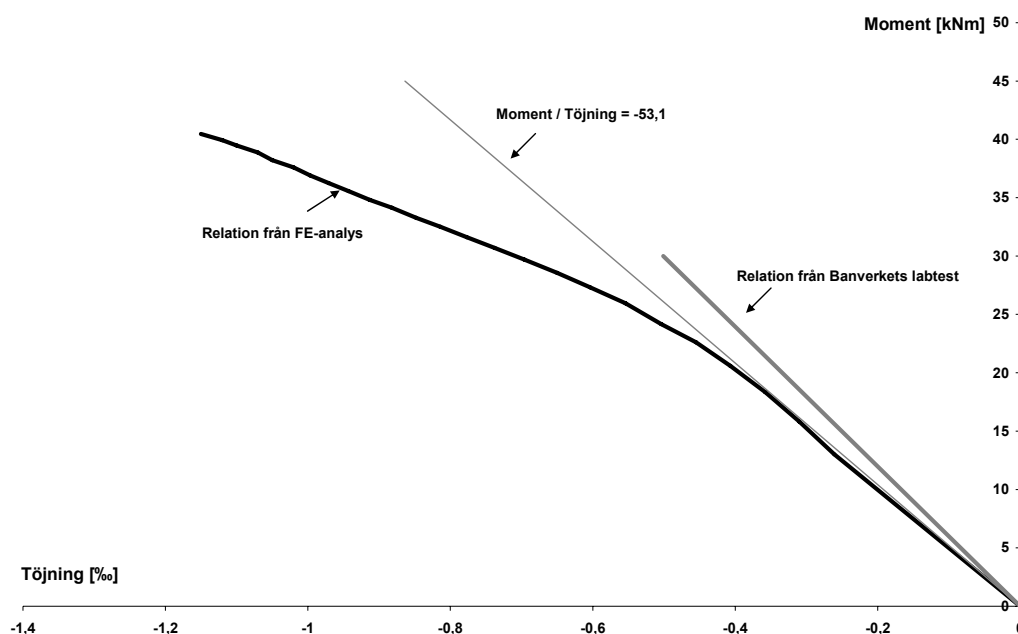
2.1 Framtagning av omvandlingsfaktorer töjning-moment

Inför mätningarna på Svealandsbanan 2000 gjordes böjbelastningstest [4] i laboratorium av aktuell sliper. Vid testerna hade slipern instrumenterats med trådtöjningsgivare på samma sätt som vid senare tester på Svealandsbanan. Trådtöjningsgivarna placerades på sliperns sida mot ovankant vid sliperns räsläge och mitt. Därmed kom trådtöjningsgivarna vid räsläget att huvudsakligen registrera trycktöjningar och givarna i slipermitt dragtöjningar vid en tågpassage.

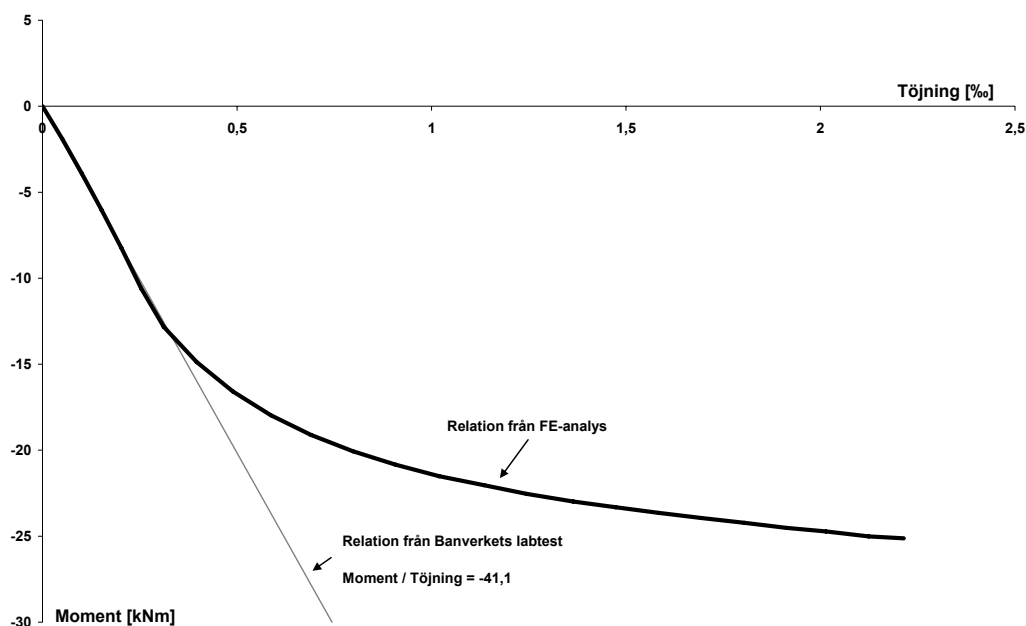
Belastningen som gjordes i laboratorium orsakade drag vid både räsläget och slipermitt. Utgångspunkten för att kunna göra detta är att spännarmeringen har en centrisk placering med avseende på tvärsnittens tyngdpunkt. Detta är fallet för aktuell slipertyp och därmed gav det använda belastningsättet resultat som var applicerbara på mätdata från fält.

Vid belastning i räsläget användes två olika spännvidder mellan upplagen, 600 respektive 800 mm. Resultatet från testen med spännvidden 800 mm har använts då inverkan av "höga balk effekten" minskar med ökad spännvidd. "Höga balk effekten" innebär att en del av den pålagda kraften förs ner till upplagen utan att orsaka böjning av slipern. Detta innebär att beräknat moment utifrån pålagd kraft inte följer teorin $M=PL/4$. För att erhålla det moment som verkligen genererades i räsläge- och mittsektionen gjordes även FE-analyser av aktuell sliper och provuppställning. FE-analyserna utfördes med FE-programmet DIANA [5].

Resultaten från Banverkets tester och FE-analyserna visas i Figur 1a,b nedan. Maximalt töjningsvärde för linjär respons är också angiven.



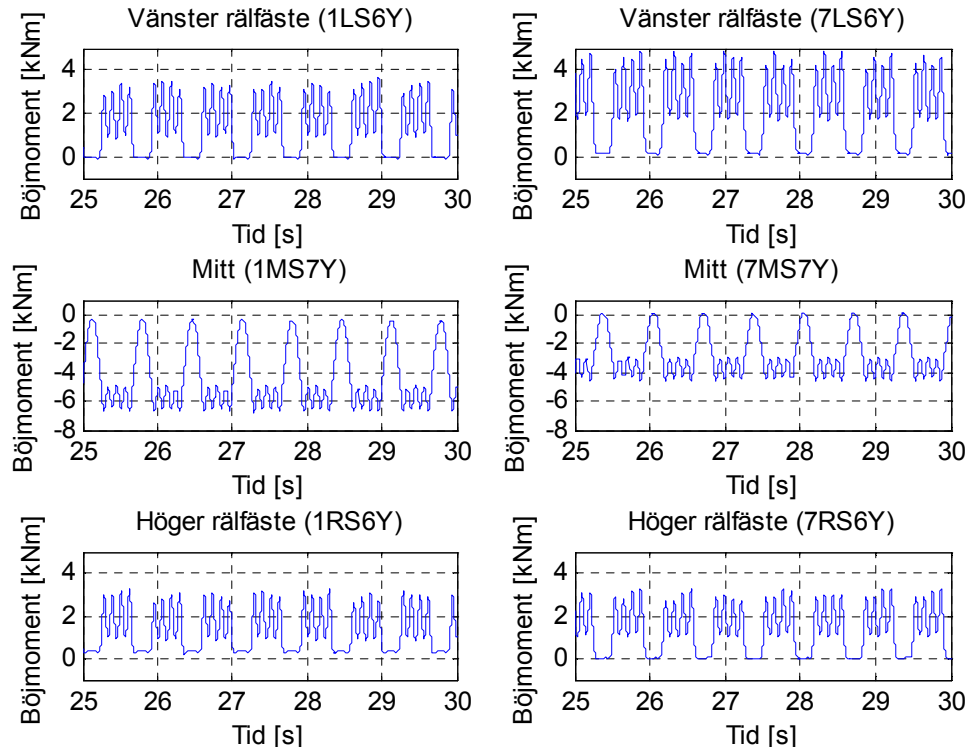
Figur 1a Moment-töjningsrelation vid sliperns räsläge för sliper S71. Resultat både från Banverkets tester 2000 [4] samt FE-analyser. En viss inverkan av höga balk effekten erhöles uppenbarligen vid test i räsläget. Den framtagna moment-töjningsrelationen som gavs av FE-analyserna har använts i resten av rapporten.



Figur 1b Moment-töjningsrelation vid slipermitt för sliper S71. Resultat både från Banverkets tester 2000 [4] samt FE-analys.

2.2 Harrträsk 2006

I Harrträsk var två sliprar instrumenterade med trådtöjningsgivare i rälsläget och i slipermitt. Sliprarna var placerade med fem oinstrumenterade sliprar emellan. Resultat från en tågpassage med 30 tons axellast visas i Figur 2.



Figur 2 Böjmoment i sliper 1 (vänster) och sliper 7 (höger) vid tågpassage 9959. Mätningar lågpasfilterade med gränshfrekvens 45 Hz. Tåghastighet 52.7 km/h, axellast 30 ton, oskadade hjul. Mätning vid Harrträsk station i september 2006.

Figur 2 visar exempel på registrerade böjmoment i två mätsliprar vid Harrträsk station på Malmbanans södra omlopp. Varje hjulpassage genererar en tydlig topp i böjmomentet. Böjmomenten är lågpasfilterade med gränsfrekvens 45 Hz eftersom mätsignalen innehöll störningar från elektriska signaler vid 50 Hz (och vid multiplar av 50 Hz). Det är alltså bara det kvasistatiska bidraget till böjmomenten som visas i figuren, vilket innebär att effekter av eventuella hjulplattor är bortfilterade.

Böjmomenten M_r vid vänster och höger rälsäte av sliper 1 uppgår till cirka 3.5 kNm, medan absolutbeloppet av mittmomentet M_c är i storleksordningen 7 kNm. Detta innebär en kvot $M_c/M_r = 2$. För sliper 7 är momentet vid vänster rälsäte cirka 5 kNm medan motsvarande moment vid höger rälsäte är cirka 3 kNm. Absolutbeloppet av mittmomentet i sliper 7 är drygt 4 kNm. Dessa jämförelser tyder på att en del sliprar på Malmbanan belastas ojämnt mellan vänster och höger sida och framförallt att böjmomentet M_c vid slipermitt är i samma storleksordning som, eller till och med större än, rälsätesmomenten M_r .

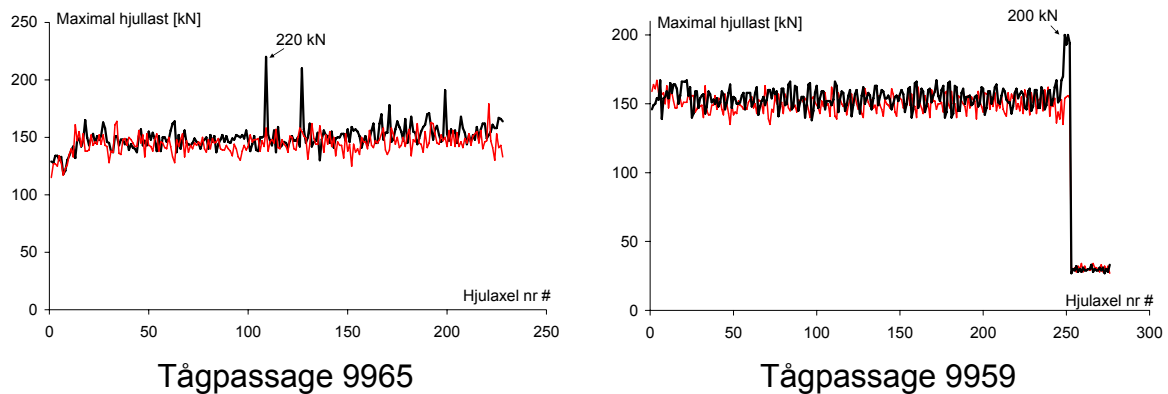
Då mätsignalen är lågpasfilterad framgår inte maximalt genererat moment i sliperns rälläge och mitt. Det kan dock konstateras att aktuell sliper EJ har dimensionerats för att ta lika mycket eller till och med mer moment i slipermitt än i rälsläget. Aktuell sliper har en sprickintiering i slipermitt vid ca 8 kNm. Det är därmed troligt att sprickinitiering kan ske vid överbelastning av t.ex. en hjulplatta.

Detta styrks av de visuella observationer som gjorts runt om i norra regionen. Dessa visar att sprickor i slipermitt, enligt Figur 3, är relativt vanligt förekommande. Samtliga av dessa sträckor trafikeras av Malmtåg. Sprickor av denna typ har inte rapporterats från andra delar av Sverige.



Figur 3 Typisk placering och utseende på sprickor i slipermitt vid Harrträsk

I Figur 4 nedan visas två av de utfall av hjullaster som registrerades av hjulskadedetektorn i Harrträsk för de tågpassager som studerats. Det är tydligt att merparten av hjulaxlarna för malmtågen 9965 och 9959 ger en hjullast som är i nivå med den statiska lasten (150 kN) dock orsakar enstaka hjulplattor överbelastningar som är upp till 50% större än den statiska hjullasten.



Figur 4 Hjulast för samtliga axlar vid passage av tåg 9965 och 9959 vid hjulskadedetektorn i Harrträsk.

Ovanstående mätresultat ger därmed en möjlig förklaring till den relativt vanliga förekomsten av sprickor i slipermitt längs de spår som trafikeras av malmtåg.

2.3 Svealandsbanan 2000

På Svealandsbanan utfördes ett fullskadetest [3] för att undersöka sambandet mellan typ av hjulskada och genererad kontaktkraft mellan hjul och räl. Ett tåg med 6 vagnar (12 boggier) bestyckades med hjul som hade olika typer av skador. Skadornas storlek och placering i tåget dokumenterades väl. Tåget benämndes "Skräcktåget".

Vid detta fullskadetest instrumenterades sliprar med trådtöjningsgivare i rälläget och i slipermitt. Totalt 6 sliprar (placerade efter varandra) registrerade därmed genererat böjmoment i rälläget och i slipermitt vid varje passage av skräcktåget. Tre tågpassager utfördes vid varje vald hastighet. Hastigheten varierades från 5-100 km/h.

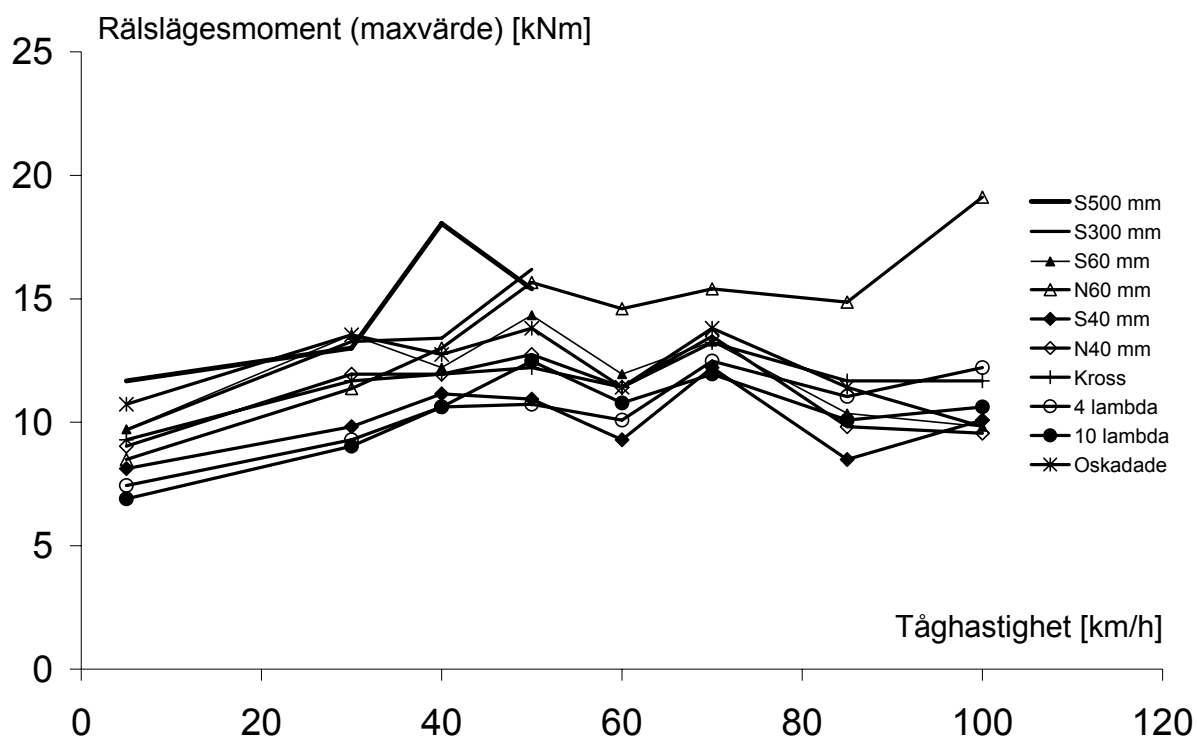
2.3.1 Utfall av rällägesmoment

En liknade studie som den på Svealandsbanan utfördes runt 1975 [6] i Tyskland. Vid denna mätning registrerades endast kontaktkraften mellan hjul och räl och de tåg som passerade var reguljära tåg som inte preparerats på något sätt. Utifrån resultaten ifrån denna mätning utarbetades en empirisk beräkningsmetod som numera accepterats av merparten av de Europeiska järnvägsbolagen.

Metoden syftar till att uppskatta det dynamiska tillskottet och ger ett samband mellan tåghastighet och genererad kontaktkraft mellan hjul och räl. Metoden antar att utfallet ifrån en mängd tågpassager är normalfördelat. Vidare anges att medelvärde plus 3 standardavvikelser bör användas vid beräkning av krafter på sliprar då de utgör en väsentlig del av spåret. Om denna tillämpning används ges en 99,7% sannolikhet för att alla tänkbara lastutfall beaktas.

En genomgång av utfallet från Svealandsbanan visade dock att resultaten ej kunde anses vara normalfördelade. För att få en konservativ utvärdering av mätresultaten användes istället den maximala töjningen som erhållits för en given hjulskada vid varje tåghastighet. Mätresultaten från Svealandsbanan visar att använda hjulplattor med 22-27 tons axellast och god packningsfördelning av ballasten resulterar i ett

utfall av genererade moment i räsläget som gör att en nivå av cirka 15 kNm (maxvärden) bör beaktas vid dimensionering av en slipers rälläge vid 22-27 tons axellast, se Figur 5. De böjmomentvärden över 15 kNm som visas i Figur 5 orsakas av orimligt stora hjulskador eller av tåghastigheter över 80 km/h.



Figur 5 Utfallet av räslägesmoment i slipern orsakad av samtliga hjul på "skräcktåget", Svealandsbanan 2000, med 22-27 tons axellast.

2.3.2 Inverkan av hjulskadetyper

Då storlek och placering av de olika hjulskadorna var väldokumenterade möjliggörs att genererat moment av en specifik hjulskadetyper kan jämföras vid olika tåghastigheter, se Figur 5. Jämförelsen visar att de långa hjulskadorna (S500, S300mm) gav höga värden på räslägesmomentet redan vid tåghastigheter under 50 km/h. Genererat räslägesmoment av den naturliga hjulplattan (N60 mm) är den hjulskadetyper som genererar högst moment vid en hastighet över 50 km/h. Det är även värt att notera att de två hjulen med långvågiga skador (4 och 10 lambda) genererar böjmoment som är i samma storleksordning som de för en 40 mm hjulplatta.

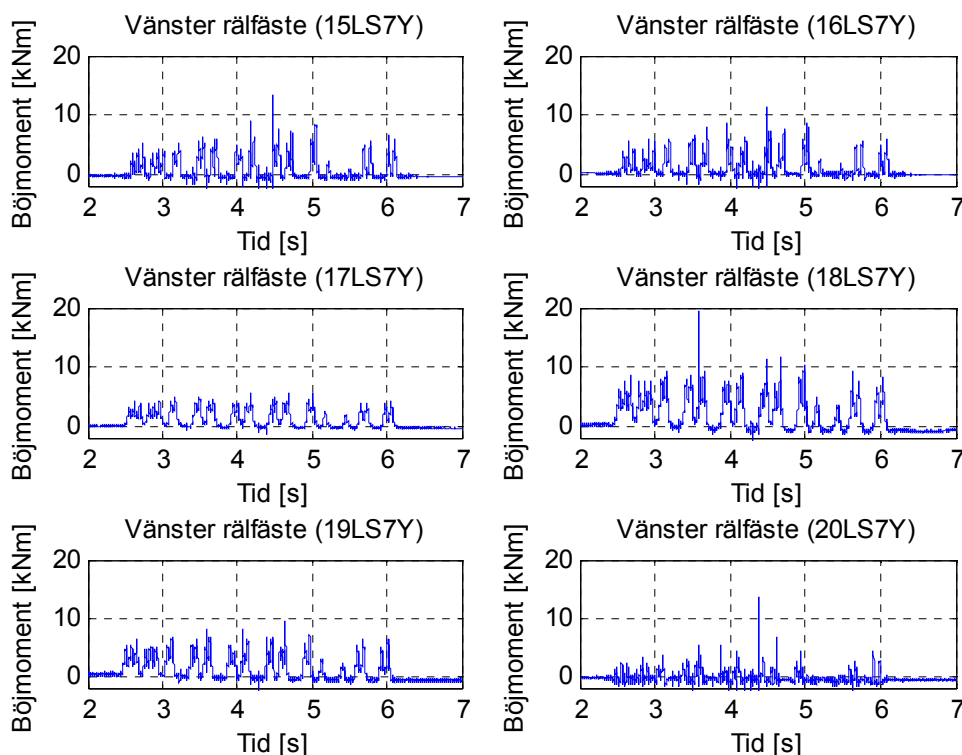
En orsak till en del av variationen för resultaten i Figur 5 är att de olika hjulskadetyperna inte träffade exakt likadant över studerad sliper. Det vill säga en hjulskada kan ha träffa rakt över en sliper medan en annan kan ha träffat några centimeter innan eller efter en sliper. Dock var 6 sliprar efter varandra instrumenterade och det som redovisas ovan är det maximala värdet från dessa sliprar under tre passager med samma hastighet.

En annan orsak är att de fullastade vagnarna ej hade exakt samma axellast. Mätningarna visade att axellasten varierade mellan 22-27 ton. Denna variation är ej kompenserad för i Figur 5 men en jämförelse av genererade max moment av de olika hjulskadetyperna anses ändå vara berättigad.

2.3.3 Variation längs spåret.

Från mätdata kunde även variationen av genererat moment längs spåret studeras genom att jämföra de olika påföljande sliprarnas respons vid en passage av "skräcktåget".

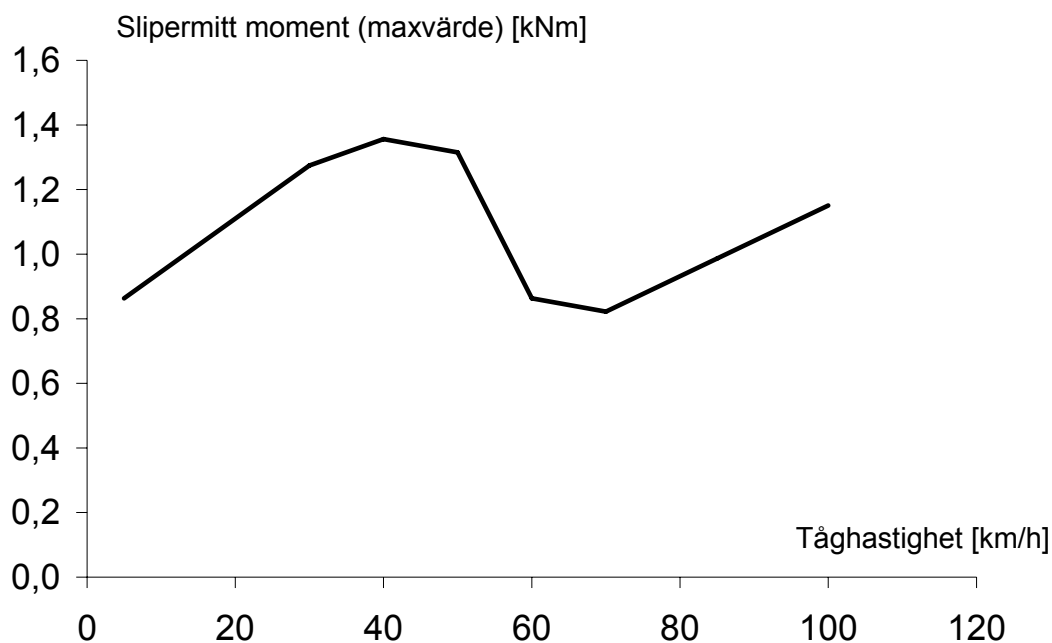
Då den kvasistatiska responsen i Figur 6 jämförs för de sex olika sliparna erhålls stora skillnader. För sliper 18 är det kvasistatiska rärlägesmomentet cirka 7 kNm medan för sliper 20 är motsvarande böjmoment endast cirka 2 kNm. Orsaken till detta är troligen variationer i ballastkroppen och undergrundens styvhet längs spåret. Denna typ av variation har även konstaterats vid mätningar på andra ställen i Sverige [7].



Figur 6 Böjmoment i sliper 15, 16, 17, 18, 19 och 20 vid godstågpassage (lastfall 6047). Mätning på Svealandsbanan med godståg arrangerat med hjulskador i maj 2000. Tåghastighet 100 km/h, axellaster för godsvagnar i intervallet 22-27 ton. Böjmoment vid rälsätet visas för samtliga sex instrumenterade (efterföljande) sliprar för hela "skräcktågspassagen". Responserna är ofiltrerade eftersom inga väsentliga störningar finns med i dessa mätsignaler. Maximalt rälsätessmoment ca 19 kNm (se 18LS7Y) är orsakat av hjulplatta N60 (HAB727, axellast 26 ton). Böjmomenten på ca 13 kNm (15LS7Y och 20LS7Y) är orsakade av en annan hjulplatta N60 (HAB638, axellast 24 ton).

2.3.4 Utfall av momentet i slipermitt

Mätresultaten för moment i slipermitt visar att mycket låga böjmoment genererats för alla hjulskadetyper och hastigheter, se Figur 7. Den mest troliga orsaken till detta är att Svealandsbanan hade en packningsfördelning under varje sliper som var fullgod. Vid fullgod packningsfördelning har slipern mer eller mindre inget upplag vid mittsektionen varvid ingen eller mycket ringa momentupptagning sker.

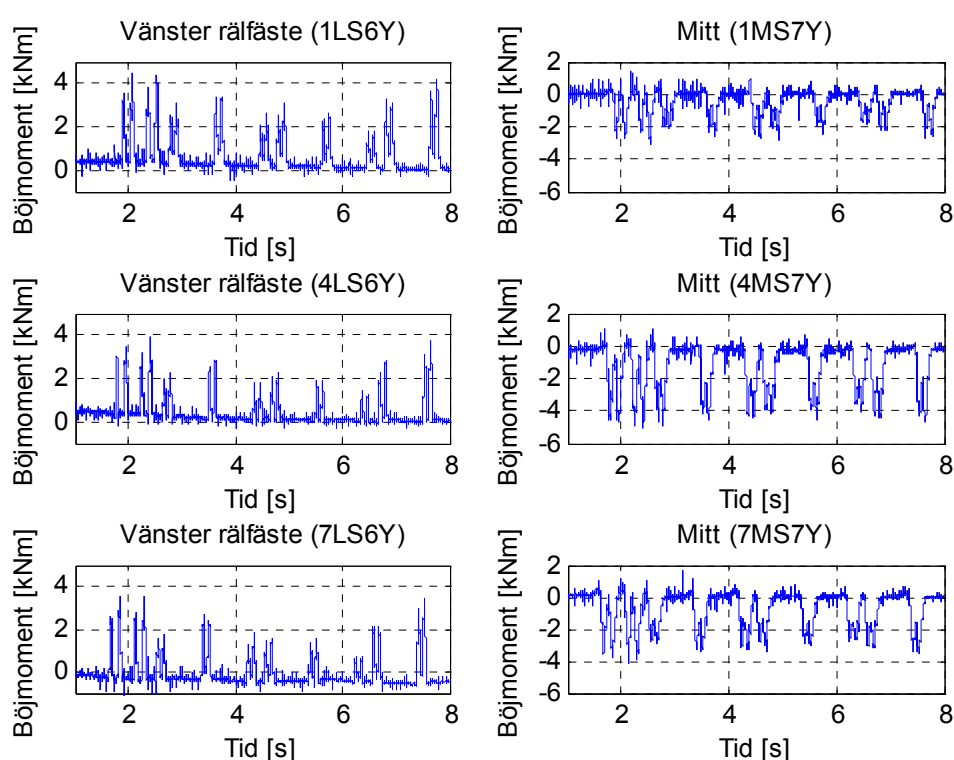


Figur 7 Utfallet av slipermittsmoment i slipern orsakad av samtliga hjul på "skräcktåget", Svealandsbanan 2000, med 22-27 tons axellast.

2.4 Furet 2005

I Furet, Halmstad, gjordes mätningar 2005 [8] likt de ovanstående inför inläggning av Under Sleeper Pads, USP. Ballasten i Furet var mycket dåligt underhållen. Ballasthöjden var maximalt 150 mm och "förorenad" av grus och sand. Vid tidpunkten för mätningen hade spåret hårda mellanlägg.

I Figur 8 visas genererat moment i rälläget och slipermitt vid en passage av ett godståg. Det framgår tydligt att förhållandet mellan genererat böjmoment i rälläget och slipermitt är likt det förhållande som erhöles vid mätningarna i Harrträsk. Kvoten för maximalt genererat moment i sliper 4 (4MS7Y/4LS6Y) är $4,3/4=1,1$. Således tar mittsektionen mer last än rällägessektionen vilket inte var förutsättningen vid dimensionering av slipern.



Figur 8 Böjmoment i sliper 1 (överst), sliper 4 (mitten) och sliper 7 (nederst) vid godstågspassage (lastfall 546006). Hjullaster i intervallet 70-130 kN. Respons från lok och närmaste efterföljande vagnar visas. Responserna är ofiltrerade eftersom inga väsentliga störningar finns med i dessa mätsignaler. Mätning vid Furet (Halmstad) i november 2005 före åtgärd med Under Sleeper Pads.

2.5 Kommentarer till mätresultat

Resultaten ifrån ovanstående mätningar ger indikationer om både inverkan av olika hjulskador och betydelsen av riktig packningsfördelning av ballasten längs sliperns längd. Även undergrundens betydelse för genererat moment framgår av mätresultaten.

Resultaten från Svealandsbanan visar att packningsfördelningen var närmast idealisk. Trots 22-27 tons axellast och närvaro av en mängd stora hjulskador så genererades endast mycket låga böjmoment i slipermitt.

Utfallet för alla hjulskadetyper (utom N60 mm) vid mätningarna på Svealandsbanan uppnådde en platå för genererat böjmoment då tåghastigheten ökades över 50 km/h. Orsaken till utfallet för N60 är inte utredd i detalj men beteendet påminner om det som erhöles vid en liknande kanadensisk studie [9] där ett hjul var feltillverkat och axeln satt ocentriskt.

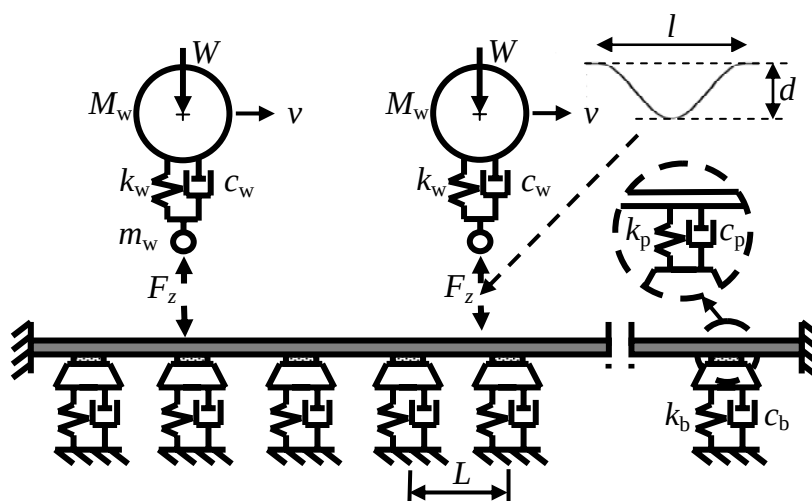
3 Beräkningar med DIFF

Ett flertal beräkningar har utförts med CHARMECs datorprogram DIFF. Målsättningarna är (1) att jämföra beräkningsresultat med tillgängliga mätresultat med syfte att validera DIFF, och (2) studera hur fördelningen av ballaststyvhet längs slipern och en hjulplattas storlek inverkar på böjmomenten vid rälsäte respektive vid mittsektionen av slipern.

3.1 Jämförelse med mätdata från Svealandsbanan 2000 – axellast 24 ton med hjulskada

Resultat från simuleringar med datorprogrammet DIFF jämförs med resultat från Banverkets mätningar på Svealandsbanan 2000. Kontaktkraft mellan hjul och räl, böjmoment i räl mitt mellan två sliprar och böjmoment i sliper vid rälsätet orsakade av en hjulplatta (hjulpar HAB638 med axellast 24 ton) studeras. En detaljerad beskrivning av mätningarna ges i referenserna [3,10].

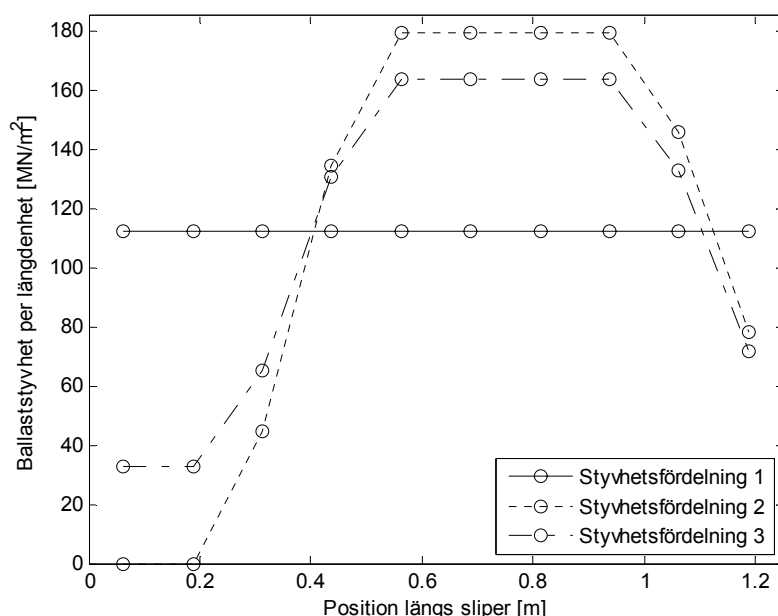
Utnyttjad modell för simulering av tåg-spår interaktion visas i Figur 9. Lasten på spåret (inklusive effekter av hjulplattor) och själva spårstrukturen antas vara symmetriska med avseende på spårmitt. Detta betyder att det är tillräckligt att modellera en räl och ena halvan av sliprarna med symmetriska randvillkor vid slipermitt. Räl och sliprar är modellerade med FEM enligt Rayleigh-Timoshenko balkteori. Indata för UIC60 rälen är: böjstyvhet $EI = 6.4 \text{ MN}\cdot\text{m}^2$, skjuvstyvhet $kGA = 250 \text{ MN}$, massbeläggning $m = 60 \text{ kg/m}$ och rotationströghet $mr^2 = 0.24 \text{ kg}\cdot\text{m}$. Inom varje sliperspann används 8 balkelement för rälen och 10 element för varje halv sliper. Indata för sliprarna ges i Tabell 1. Varje sliperelementlängd är 0.125 m. Antalet sliperspann i hela spårmodellen är 70 stycken med konstant sliperavstånd $L = 0.65 \text{ m}$. Spårmodellen är helt linjär.



Figur 9 Principiell skiss av tåg och spårmodeller i DIFF. Relativ förskjutning mellan hjul och räl motsvarande en cosinusformad hjulplatta med längd l och djup d .

Tabell 1 Indata för FEM modell av Abetong sliper [11]. Element 1 är placerat längst ut på sliperändan, element 10 är placerat vid slipermitt.

Element #	EI [MN·m ²]	kGA [MN]	m [kg/m]	mr^2 [kg·m]
1	6.75	622	113	0.435
2	6.75	622	113	0.435
3	7.25	637	116	0.460
4	7.25	637	116	0.460
5	6.69	587	107	0.424
6	6.69	587	107	0.424
7	4.73	498	90.6	0.305
8	4.73	498	90.6	0.305
9	3.59	438	79.7	0.232
10	3.59	438	79.7	0.232



Figur 10 Tre exempel på fördelning av ballaststyvhets. Total styvhets per halv sliper = 140 MN/m. Position längs sliper räknas från sliperns mittsektion.

Varje mellanlägg (10 mm tjockt mellanlägg från Pandrol) modelleras som en diskret fjäder med styvhets $k_p = 120$ MN/m och en viskös dämpare med dämpning $c_p = 16$ kNs/m. Ballast och mark under varje sliper modelleras som en visköst dämpad Winklerbädd med total styvhets $K_b = 140$ MN/m och dämpning $C_b = 165$ kNs/m per halv sliper. Inverkan av tre olika styvhetsfördelningar med samma totalstyvhets har studerats, se Figur 10. En av fördelningarna antar en homogen ballastbädd med samma styvhets per längdenhet längs hela slipern. De två andra fördelningarna tar hänsyn till att ballasten har blivit packad så att styvhetsen under mitten av slipern är låg. Fördelningen av dämpning antas vara proportionell mot styvhetsfördelningen.

Båda (halva) hjulparsen i en boggi är modellerade med oavfjädrad massa $M_w = 1185/2$ kg. Varje hjulparsmodell inkluderar även en mindre massa $m_w = 3$ kg, fjäder $k_w = 2.4$ GN/m och viskös dämpare $c_w = 35.8$ kNs/m. Dessa tre senare indata är

valda endast för att anpassa hjulparets dynamiska flexibilitet så att den påminner om motsvarande flexibilitet beräknad för en detaljerad FE modell av hjulparet. Statisk axellast $W = 24$ ton. Tåghastigheten varieras inom intervallet 20 – 100 km/h.

Djupet d och längden l_0 hos en färsk hjulplatta (hjul med radien R) är korrelerade enligt kordasatsen

$$d = R - \sqrt{R^2 - \frac{l_0^2}{4}} \quad (1)$$

Plastisk deformation av plattans kanter leder dock till att plattans längd ökar medan plattans djup är i stort sett oförändrad. I utförda simuleringar antas den plasticerade (rundade kanter) plattans längd l vara 50 % längre än den färskas plattans längd medan djupet på plattan antas vara oförändrad. Inverkan av en hjulplatta modelleras i DIFF genom att föreskriva en relativ förskjutning x_{irr} mellan hjul och räl enligt, se Figur 9,

$$x_{irr} = \frac{d}{2} \left\{ 1 + \cos\left(\frac{2\pi x}{l}\right) \right\} \quad -\frac{l}{2} \leq x \leq \frac{l}{2} \quad (2)$$

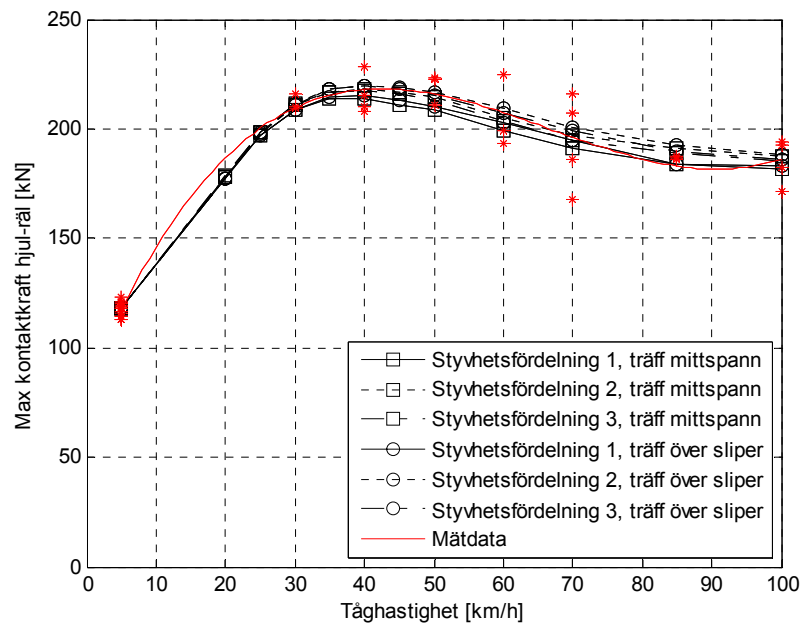
För mätningarna på Svealandsbanan har plattans längd och djup uppskattats till $l = 100$ mm respektive $d = 0.9$ mm (hjulpar HAB638). Tillgängliga mätresultat från Svealandsbanan är kontaktkraft mellan hjul och räl registrerad av en töjningsgivarbaserad hjulskadedetektor, böjmoment i räl mitt mellan två sliprar (baserad på töjning mätt på rälfoten) och böjmoment i sliper vid rälsätet (baserad på töjning mätt på sidan av slipern 20 mm under ovankant). Maximala responser orsakade av hjulplattan jämförs i Figurerna 11-13. Mätdata indikeras med asterisker. Eftersom positionen för var hjulplattan träffar rälen inom ett sliperspann varierar har två fall simulerats. Antingen träffar plattan mitt i ett sliperspann (ett halvt sliperspann från den studerade slipern) eller så träffar den rakt över den studerade slipern.

I Figur 11 ses att styvhetsfördelningen under slipern och positionen för var plattan träffar har mycket begränsad inverkan på magnituden av maximal kontaktkraft mellan hjul och räl. Överensstämmelsen mellan mätdata och beräkningar är god. Styvhetsfördelningen under slipern har liten inverkan också på böjmoment i räl mitt mellan två sliprar, se Figur 12. Även här får överensstämmelsen mellan mätdata och beräkningar anses vara god.

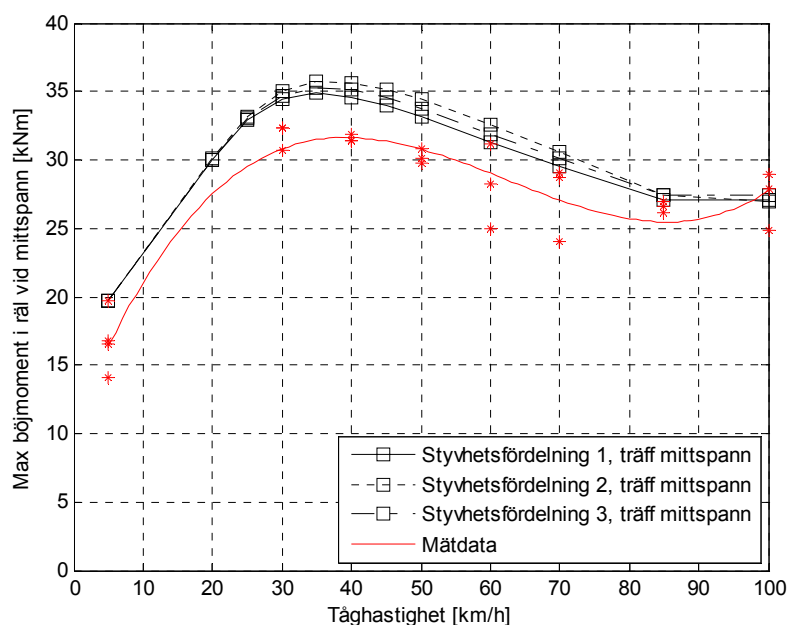
Böjmoment i sliper vid rälsäte visas i Figur 13. Mätdata är hämtade från sliparna 15 och 16, se Figur 6, eftersom dessa sliprar belastas med kvasistatiska böjmoment i intervallet 4.2–6.4 kNm då hjulparen HAB638 (axellast 24 ton) och HAB727 (axellast 26 ton) passerar. Motsvarande beräknade böjmoment för 24 ton axellast är 5.5–6.5 kNm för de tre studerade ballaststyvhetsfördelningarna. En stor spridning i mätdata kan noteras i Figur 13. Detta beror på att plattan träffar olika långt bort från den studerade slipern. Mätdata i Figur 13 inkluderar dock endast de fall där någon av de två plattorna träffar i omedelbar närhet till någon av de två studerade sliparna. Detta illustreras i Figur 14: plattan på hjulparet HAB638 träffar rakt över sliper 15 och orsakar ett böjmoment 13.5 kNm (vid tid cirka 4.5 s). För samma tågpassage genererar plattan på hjulparet HAB727 ett böjmoment på endast drygt 6 kNm (vid tid

cirka 3.7 s) eftersom plattan träffar relativt långt från sliper 15. Det senare böjmomentet har därför ej inkluderats i Figur 13. Båda hjulparen HAB638 och HAB727 har hjulplattor med liknande storlek [12]. Spiken vid cirka 4.2 s är orsakad av en slipad platta med längd 40 mm.

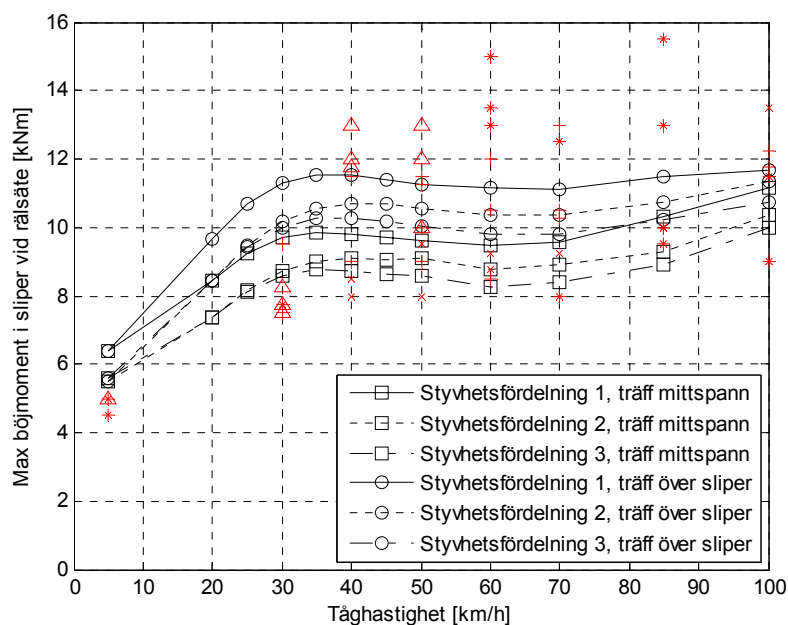
Överensstämmelsen mellan simulering och mätning av böjmoment i sliper är acceptabel. Notera dock att de högsta uppmätta böjmomenten motsvarar de fall då hjulplattan träffar rakt över en sliper. Även om detta värsta fall har simulerats så uppnår aldrig beräknade böjmoment lika höga nivåer som de högst uppmätta. För det nya spåret på Svealandsbanan 2000 är troligen styvhetsfördelningen 2 eller 3 mer trolig än fördelning 1. Slutsatsen är därför att simuleringarna leder till en viss underskattning av böjmoment i sliper orsakade av en hjulplatta. Observera att samma indata till spårmodellen har använts för beräkningar av resultaten i figurerna 11-13.



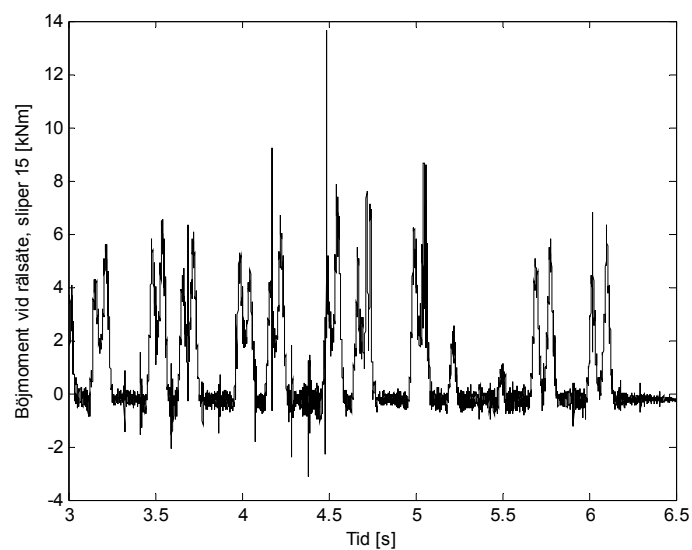
Figur 11 Max kontaktkraft mellan hjul och räl som funktion av tågets hastighet. Mätresultat från Svealandsbanan 2000 (*) jämförs med resultat från DIFF. Total styvhet per halv sliper $K_b = 140$ MN/m men fördelningen av ballaststyvhet varierar enligt Figur 10. I simuleringarna träffar hjulplattan antingen mitt i sliperspannet eller rakt över en sliper.



Figur 12 Max böjmoment i räl mitt i sliperspänn som funktion av tågets hastighet. Mätresultat från Svealandsbanan 2000 (*) jämförs med resultat från DIFF. Total styvhet per halv sliper $K_b = 140$ MN/m men fördelningen av ballaststyvhet varierar enligt Figur 10. I simuleringarna träffar hjulplattan mitt i sliperspänn.



Figur 13 Max böjmoment i sliper vid rälsäte som funktion av tågets hastighet. Mätresultat från Svealandsbanan 2000 (HAB638 sliper 15: x, HAB638 sliper 16: +, HAB727 sliper 15: *, HAB727 sliper 16: Δ) jämförs med resultat från DIFF. Total styvhet per halv sliper $K_b = 140$ MN/m men fördelningen av ballaststyvhet varierar enligt Figur 10. I simuleringarna träffar hjulplattan antingen mitt i sliperspänn eller rakt över den studerade slipern.



Figur 14 Böjmoment i sliper 15 vid godstågpassage (lastfall 6047). Tåghastighet 100 km/h, axellaster för godsvagnar i intervallet 22-27 ton, skadade hjul. Hjulplatta (100 mm, 0.9 mm djup) på hjulpar HAB638 passerar vid ca 4.5 s, hjulplatta med liknande storlek på hjulpar HAB727 passerar vid ca 3.7 s. Hjulpar med kortare hjulplatta passerar vid ca 4.2 s.

3.2 Jämförelse mot mätdata från Malmbanan 2006 – axellast 30 ton utan hjulskada

Mätningar av böjmoment i sliprar på Malmbanan (Harrträsk) [2] visar att momenten vid slipermitt är i samma storleksordning eller större än momenten vid rälsätena, se Figur 2. Detta indikerar att ballasten under sliprarna inte har korrekt packning och att ballaststyvhetsfördelningen under mitten av slipern troligen är högre än styvhetsfördelningen vid rälsätena.

Låt K_b vara total styvhet [N/m] under en halv sliper med längd L_s ($= 1.25$ m), och k_{bc} = ballaststyvhet per längdenhet [N/m²] under sliperelement 10 (dvs vid slipermitt). Inför

$$y = \frac{k_{bc} L_s}{K_b} \quad (3)$$

och antag att ballastens styvhetsfördelning längs slipern kan tecknas med en kvadratisk funktion. Med villkoren att ballaststyvhet vid slipermitt skall vara given av y , och total styvhet under hela slipern skall vara given av K_b fås följande uttryck för ballaststyvhet k_b under respektive sliperelement

$$k_b = \frac{K_b}{L_s} \left\{ y + 3(1-y) \left(\frac{x}{L_s} \right)^2 \right\}, \quad 1.0 \leq y \leq 1.5$$

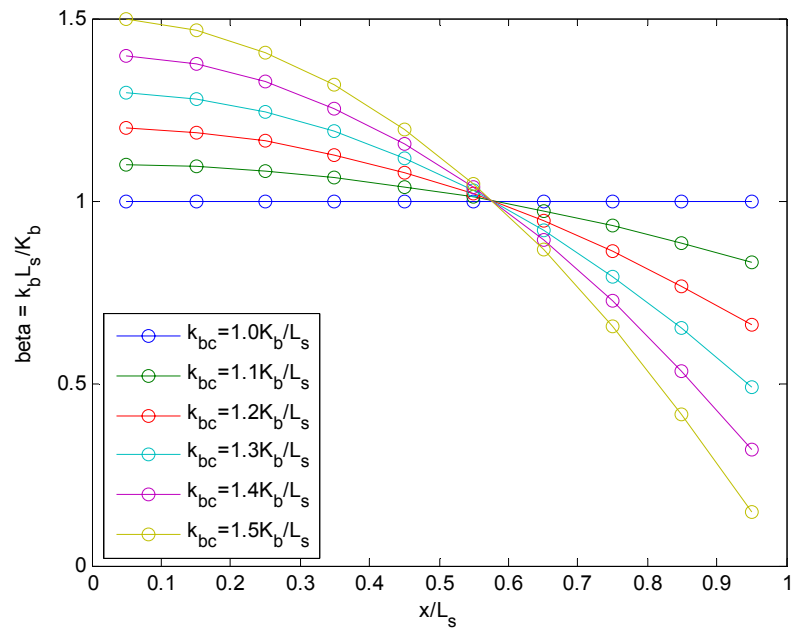
där x innebär en koordinat längs slipern ($x = 0$ vid slipermitt och $x = L_s$ vid sliperände). Konstant styvhet under hela slipern fås då $y = 1.0$. Om $y > 1.5$ fås att slipern blir hängande i luften vid sliperändan. Sex olika styvhetsfördelningar (med samma totalstyvhet K_b) visas i Figur 15. Cirkelarna visar hur stor andel av kvoten K_b/L_s som skall tilldelas k_b under varje sliperelement.

Lastfallet med tåg 9959 (axellast 30 ton, hjulparets massa 1100 kg, tågshastighet 52.7 km/h och oskadade hjul) på Malmbanan, se Figur 2, har simulerats i DIFF. Beräknade böjmoment vid rälsäte och vid slipermitt visas i figurerna 16-17. Figur 16 visar att böjmomentet vid rälsätet minskar med ökande y , det vill säga då styvhetsfördelningen under slipermitt ökar samtidigt som styvhetsfördelningen under rälsätet minskar. Samtidigt visar Figur 17 att absolutbeloppet av böjmomentet vid slipermitt ökar med ökande y . Slutligen visar Figur 18 kvoten mellan böjmomenten vid slipermitt och vid rälsätet.

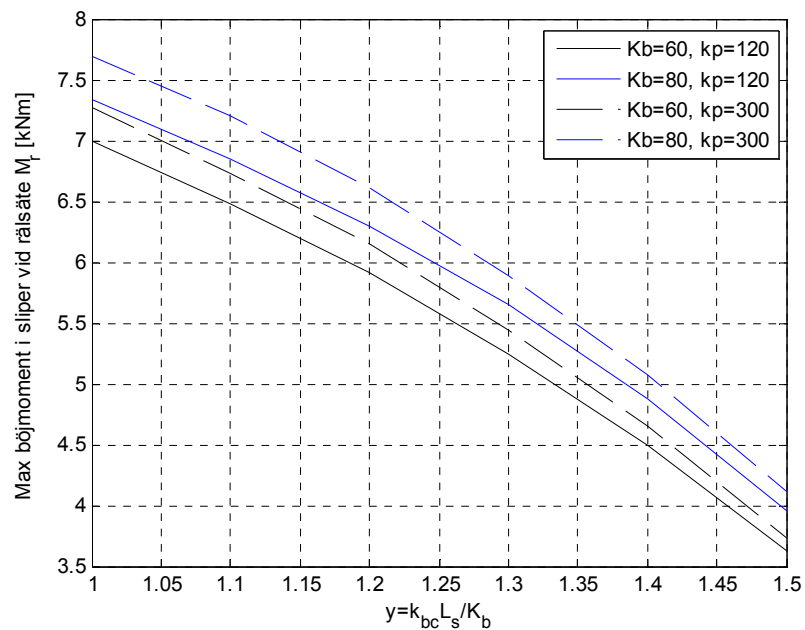
Notera i Figur 17 att kvoten $M_c/M_r = 2.0$ för $y \approx 1.4$ (för total ballaststyvhet = 80 MN/m och styvhet i mellanlägg 120 MN/m). Motsvarande $M_r = 4.8$ kNm och $M_c = 9.0$ kNm (jämför 3.5 kNm respektive 7.0 kNm för sliper 1 i Harrträsk). Överensstämmelsen mellan mätning och beräkning får anses vara acceptabel. Beräkningen visar att sliper 1 i Harrträsk vilar på en ballastskuldra vid mitten av slipern.

För sliper 7 i Harrträsk registrerades ett mittmoment på cirka 4.0 kNm medan momenten vid rälsätena var i intervallet 3-5 kNm. Vid $y = 1.1$ fås $M_c/M_r = 0.8$, $M_r = 6.8$ kNm och $M_c = 5.7$ kNm.

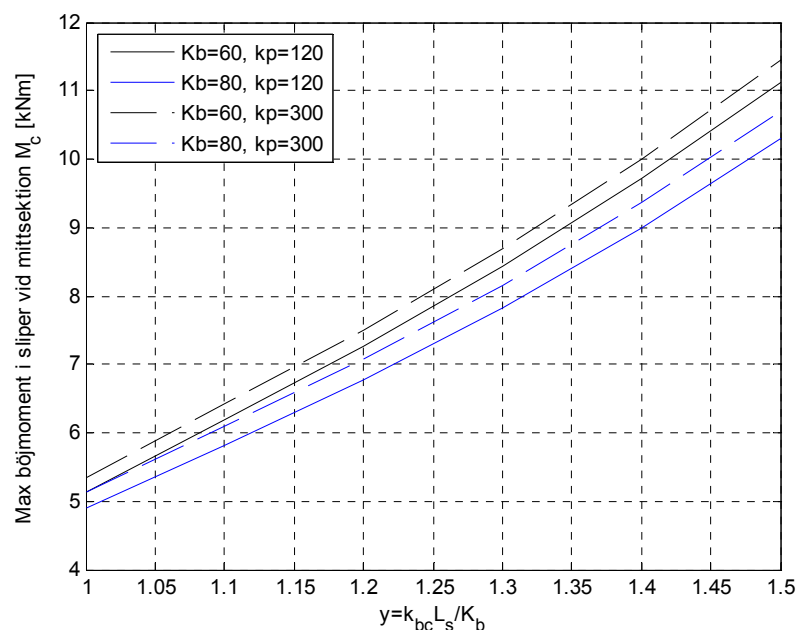
Vidare ses i figurerna 16-17 att böjmoment vid rälsätet ökar med ökande total ballaststyvhet och ökande mellanläggstyvhet. Absolutbeloppet av böjmomentet vid mittsektionen ökar med minskande total ballaststyvhet och ökande mellanläggstyvhet.



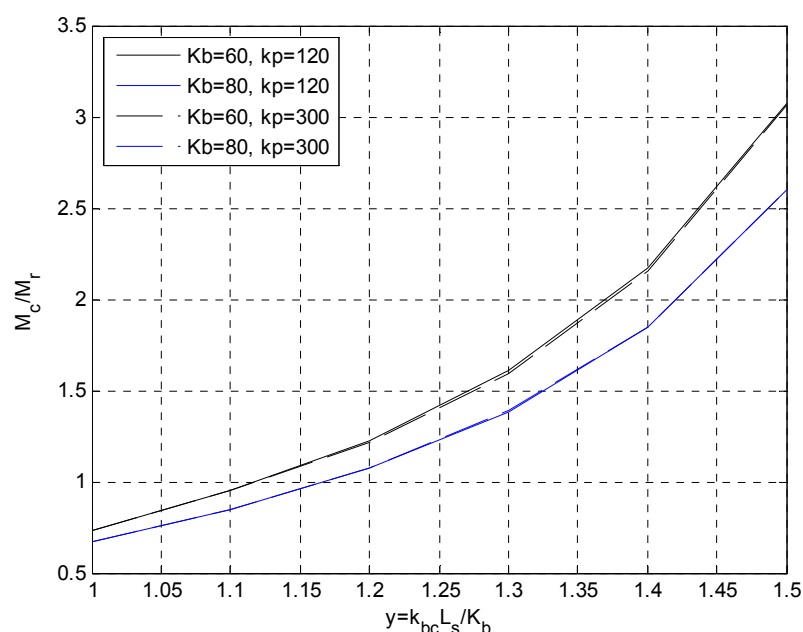
Figur 15 Modell av kvadratisk styvhetsfördelning under halv sliper. Samtliga styvhetsfördelningar ger samma totala styvhets K_b .



Figur 16 Beräknade maximala böjmoment i sliper vid rälsåte som funktion av ballaststyvhets k_{bc} vid slipermitt. Axellast 30 ton, tåghastighet 52.7 km/h och oskadade hjul. Inverkan av styvhets k_p i mellanlägg och total ballaststyvhets K_b visas.



Figur 17 Absolutbelopp av beräknade maximala böjmoment i sliper vid slipermitt som funktion av ballaststyvhets vid slipermitt. Axellast 30 ton, tåghastighet 52.7 km/h och oskadade hjul. Inverkan av styvhets k_p i mellanlägg och total ballaststyvhets K_b visas.



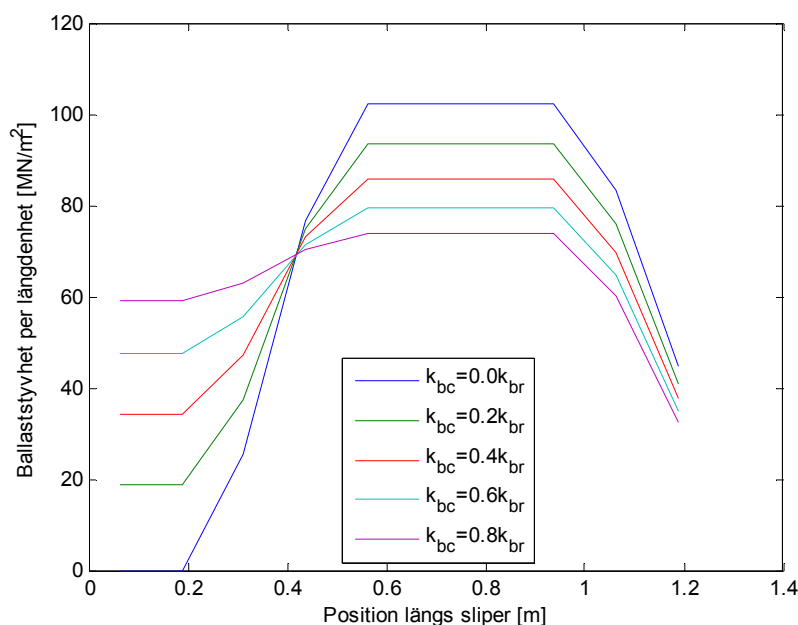
Figur 18 Beräknad kvot mellan maximala böjmoment i sliper vid slipermitt och vid rälsäte som funktion av ballaststyvhets vid slipermitt. Axellast 30 ton, tåghastighet 52.7 km/h och oskadade hjul. Inverkan av styvhets k_p i mellanlägg och total ballaststyvhets K_b visas.

3.3 Inverkan av styvhetsfördelning under sliper – axellast 30 ton utan hjulskada

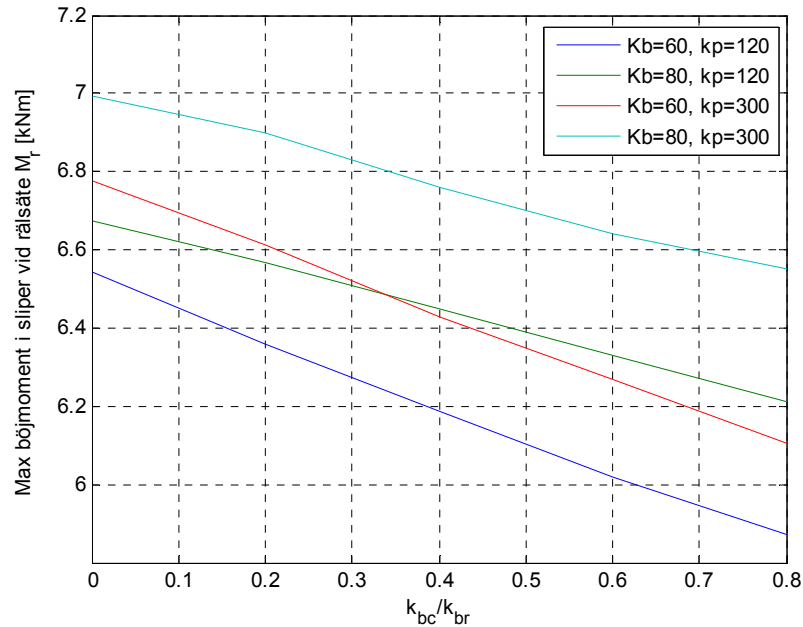
Ytterligare, alternativa, ballaststyvhetsfördelningar visas i Figur 19. I samtliga fall är total styvhet K_b under slipern konstant. På var sida om rälsätet har 0.25 m tilldelats en homogen styvhet per längdenhet k_{br} (sliperelementen 3, 4, 5 och 6). Som indata till styvhetsfördelningen sätts styvheten k_{bc} under mitten (0.25 m, sliperelement 9 och 10) av slipern till en given fraktion av k_{br} . Styvheterna per längdenhet för elementen 7 och 8 tilldelas var sitt värde baserat på antagandet att styvheten ökar linjärt mellan k_{bc} och k_{br} . Styvheten per längdenhet för element 1 antas vara 0.25 k_{br} . Styvheten per längdenhet för element 2 ges av att styvheten antas variera linjärt mellan sliperändan och rälsätet. Notera att en av dessa styvhetsfördelningar innebär att styvhet = 0 under slipermitt, vilket skall motsvara att ballasten under slipern är packad på ett korrekt sätt.

Beräknade böjmoment vid rälsäte och vid slipermitt visas i figurerna 20-21. Figur 20 visar att böjmomentet vid rälsätet minskar med ökande styvhet under slipermitt, det vill säga då styvheten under slipermitt ökar samtidigt som styvheten under rälsätet minskar. Samtidigt visar Figur 21 att absolutbeloppet av böjmomentet vid slipermitt ökar med ökande styvhet under slipermitt (böjmomentet ≈ 0 då styvhet under slipermitt = 0). Slutligen visar Figur 22 kvoten mellan böjmomenten vid slipermitt och vid rälsätet.

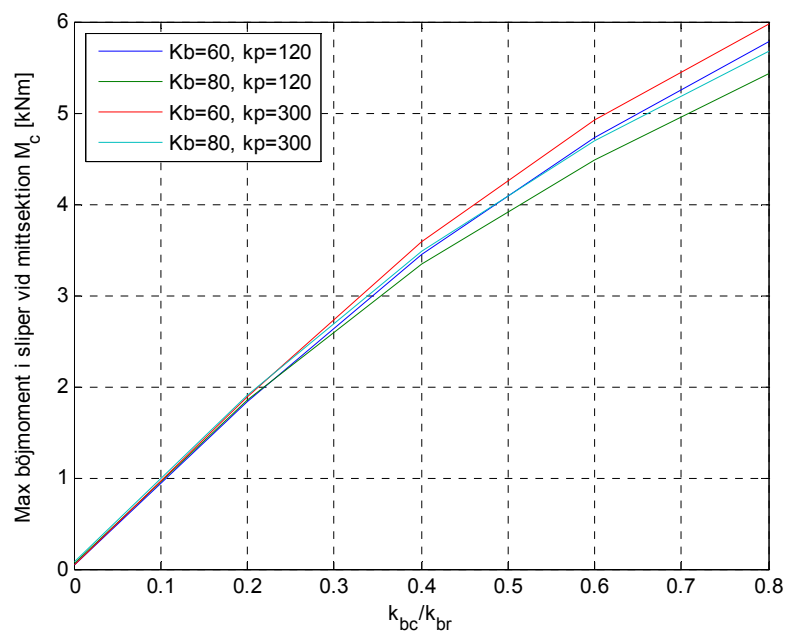
En jämförelse med de beräknade momenten i 3.2 visar framförallt hur stor inverkan ballaststyvhetsfördelningen har på böjmomentet vid sliperens mittsektion. En korrekt packad ballast ger mycket låga mittmoment.



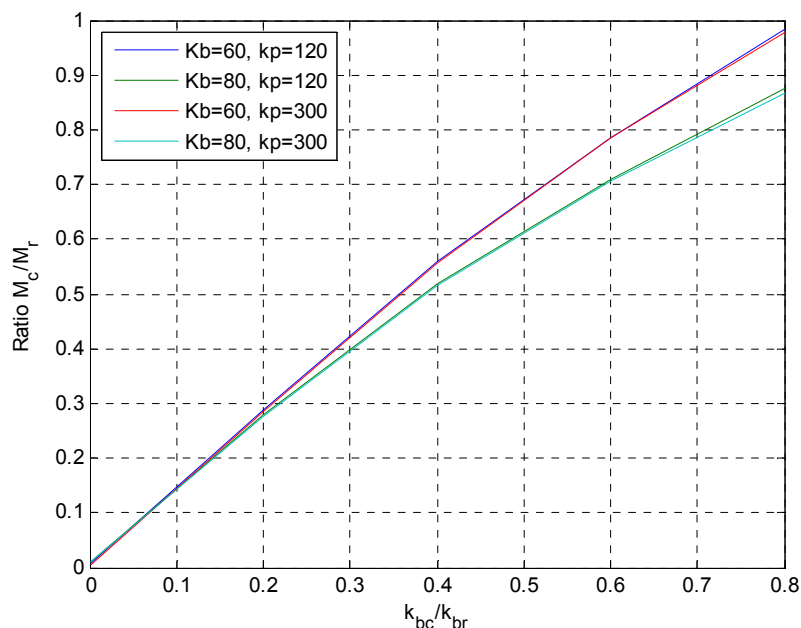
Figur 19 Modell av linjärt varierande ballaststyvhet under halv sliper. Samtliga styvhetsfördelningar ger samma totala styvhet $K_b = 80$ MN/m.



Figur 20 Beräknade maximala böjmoment i sliper vid rälsäte som funktion av kvot mellan ballaststyvheter vid slipermitt och rälsäte. Axellast 30 ton, tågshastighet 52.7 km/h och oskadade hjul. Inverkan av styvhet k_p i mellanlägg och total ballaststyvhet K_b visas.



Figur 21 Absolutbelopp av beräknade maximala böjmoment i sliper vid slipermitt som funktion av kvot mellan ballaststyvheter vid slipermitt och rälsäte. Axellast 30 ton, tågshastighet 52.7 km/h och oskadade hjul. Inverkan av styvhet k_p i mellanlägg och total ballaststyvhet K_b visas.



Figur 22 Beräknad kvot mellan maximala böjmoment i sliper vid slipermitt och vid rälsäte som funktion av ballaststyvhets vid slipermitt. Axellast 30 ton, tågshastighet 52.7 km/h och oskadade hjul. Inverkan av styvhets k_p i mellanlägg och total ballaststyvhets K_b visas.

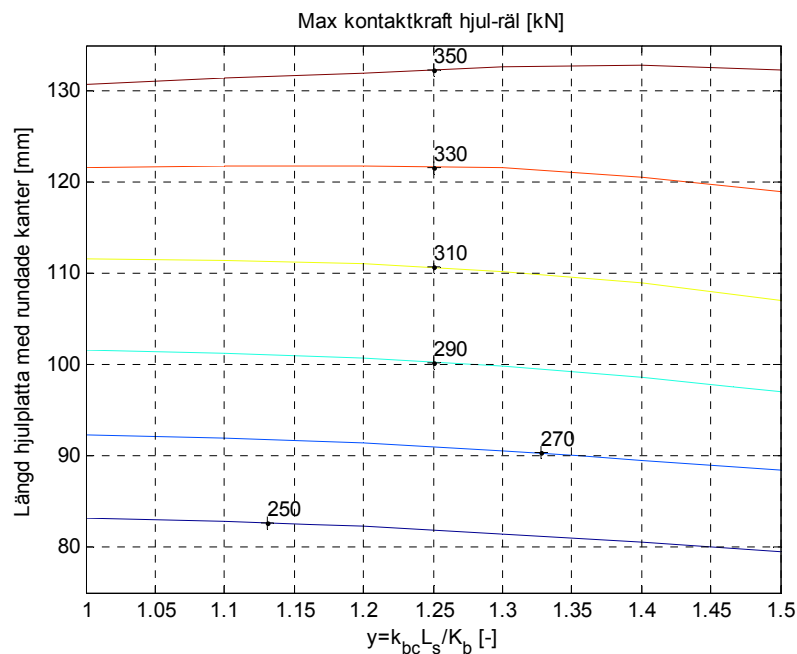
3.4 Inverkan av styvhetsfördelning under sliper – axellast 35 ton med hjulskada

Inverkan av hjulplatta med olika storlekar (rundade plattor modellerade enligt 3.1) på maximal kontaktkraft mellan hjul och räl och maximala böjmoment i sliper vid rälsäte och vid slipermitt har beräknats med DIFF. Hjulplattan antas träffa rakt över den studerade slipern. Axellast antas vara 35 ton, hjulparets massa är 1100 kg och tågshastighet är 60 km/h. Total ballaststyvhets under en halv sliper antas vara 80 MN/m och styvhets i mellanlägg är 120 MN/m.

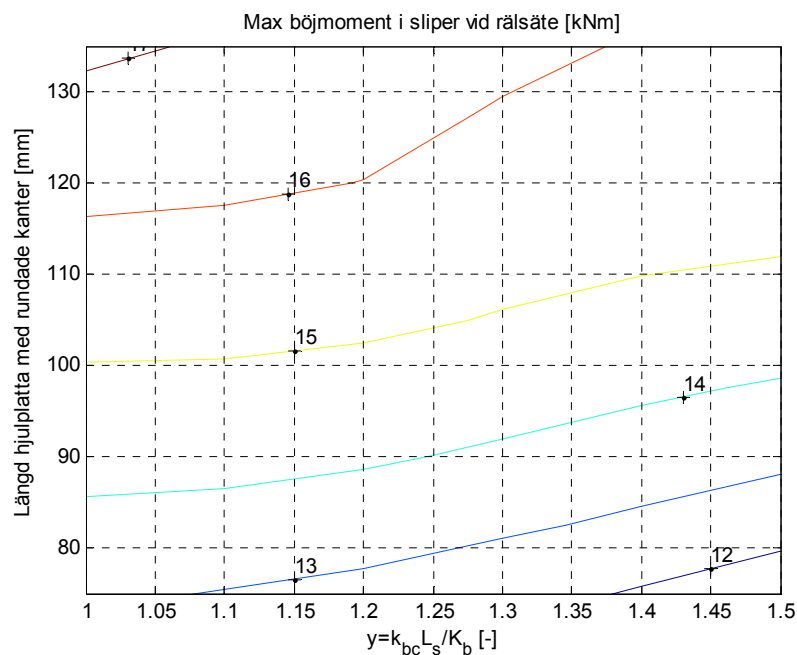
Figur 23 visar maximal kontaktkraft som funktion av hjulplattans (med rundade kanter) storlek (längd vid färsk platta = rundad plattas längd / 1.5). Ballaststyvhetsfördelningar enligt 3.2. Maximal kontaktkraft ökar kraftigt med ökande storlek på hjulplattan, men inverkan av styvhetsfördelningen på maximal kontaktkraft är försumbar. Med antagna indata fås maximal kraft = 290 kN (nuvarande hjulskadekriterium) för rundade plattor med längd cirka 100 mm och djup 1.2 mm.

Figurerna 24-25 visar maximala böjmoment i sliper vid rälsätet respektive vid mittsektionen. Böjmomentet vid rälsätet ökar med ökande storlek på hjulplattan men minskar med ökande styvhets vid mittsektionen (ökande värden på y). Notera att denna trend är tvärtom vad som visas i Figur 16, men kan förklaras av dynamiska effekter som inträffar vid en hjulplatta. Absolutbeloppet av böjmomentet vid mittsektionen ökar kraftigt som förväntat både med ökande storlek på hjulplattan och ökande styvhets vid mittsektionen. Mycket höga böjmoment vid mittsektionen kan noteras i Figur 25.

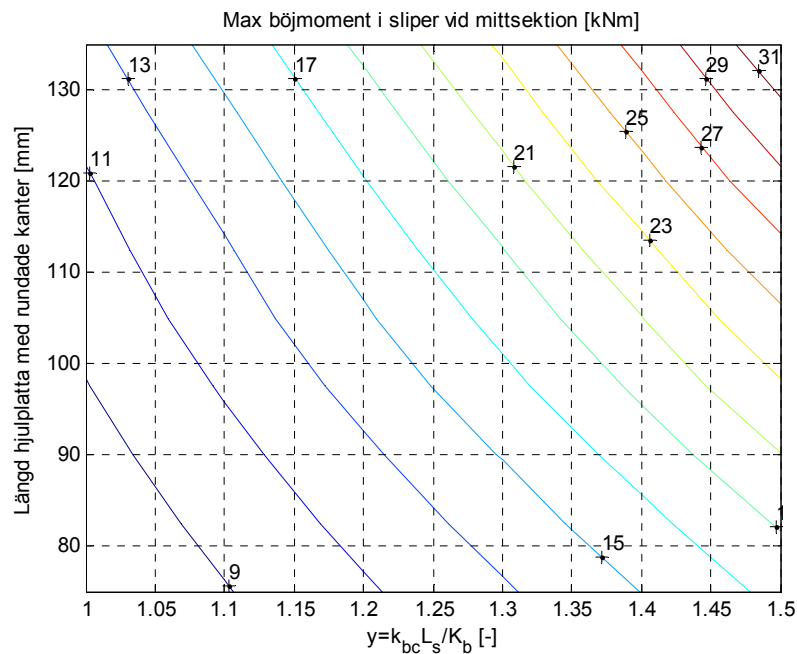
Figurerna 26-28 visar maximala kontaktkrafter och böjmoment på samma sätt som i figurerna 23-25, men nu med linjär ballaststyvhetsfördelning enligt 3.3. Att resultaten i figurerna 23 och 26 är så lika visar återigen att inverkan av styvhetsfördelning på maximal kontaktkraft är försumbar så länge som total ballaststyvhetsfördelning är konstant. Böjmomentet vid rälsätet ökar med ökande storlek på hjulplattan och ökande styvhetsfördelning vid mittsektionen. Absolutbeloppet av böjmomentet vid mittsektionen ökar med ökande storlek på den rundade hjulplattan. Inverkan av styvhetsfördelningen är mer diffus, men magnituderna vid den linjära, mer gynnsamma, ballaststyvhetsfördelningen är mycket lägre jämfört med motsvarande moment vid kvadratisk styvhetsfördelning.



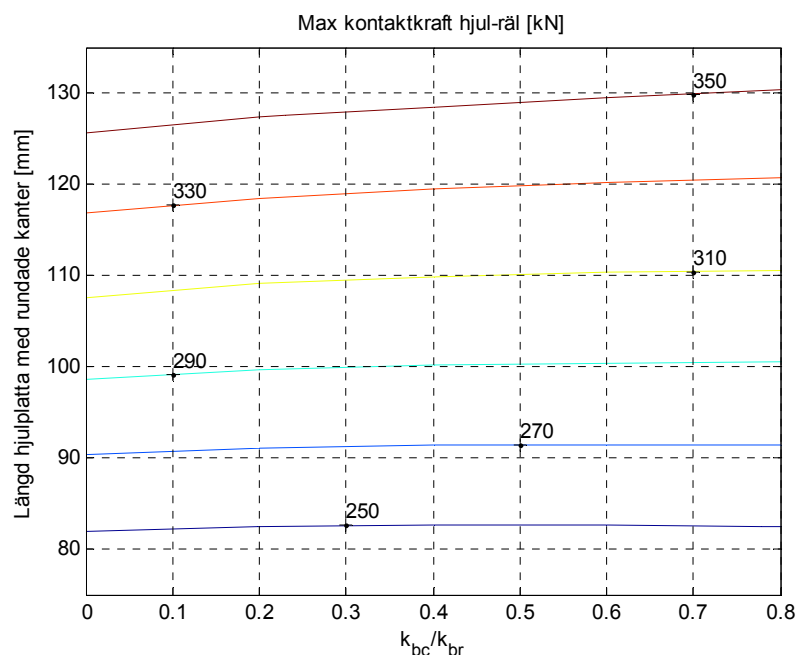
Figur 23 Konturplott av beräknade maximala kontaktkrafter mellan hjul och räl som funktion av ballaststyvhetsfördelning och storlek på hjulplatta med rundade kanter. Kvadratisk styvhetsfördelning enligt 3.2. Axellast 35 ton, tågshastighet 60 km/h, total ballaststyvhetsfördelning under halv sliper 80 MN/m, styvhetsfördelning i mellanlägg 120 MN/m.



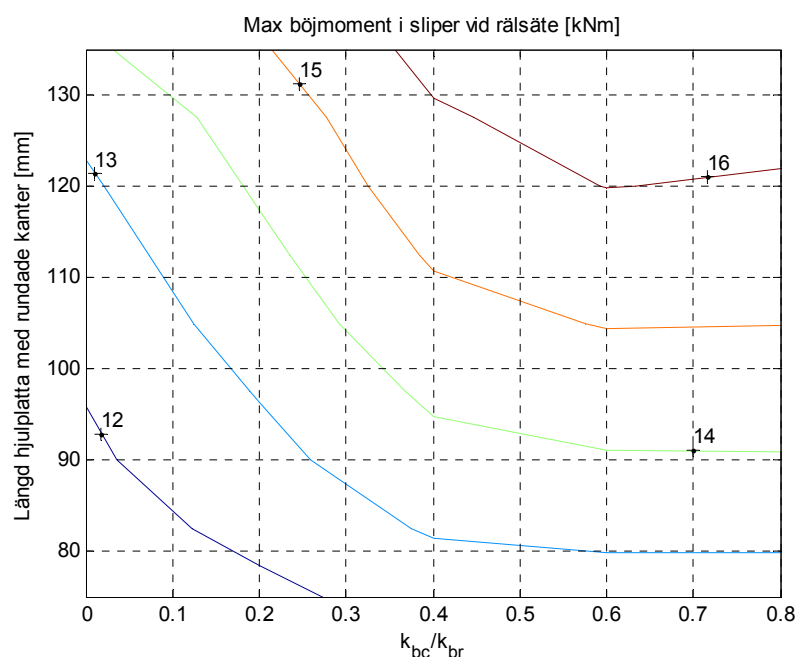
Figur 24 Konturplott av beräknade maximala böjmoment i sliper vid rälsäte som funktion av ballaststyvhetsfördelning och storlek på hjulplatta med rundade kanter. Kvadratisk styvhetsfördelning enligt 3.2. Axellast 35 ton, tåghastighet 60 km/h, total ballaststyvhet under halv sliper 80 MN/m, styvhet i mellanlägg 120 MN/m.



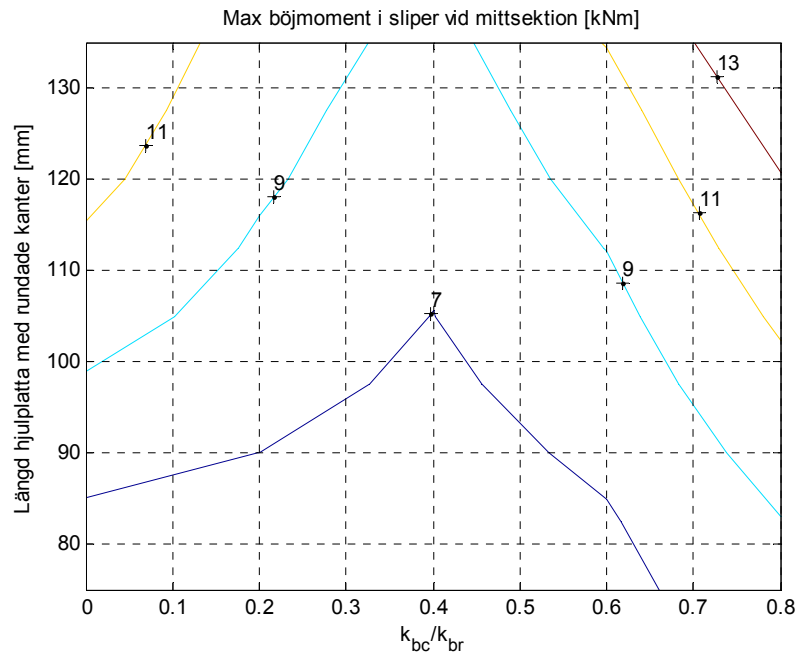
Figur 25 Konturplott av beräknade maximala böjmoment (absolutbelopp) i sliper vid mittsektion som funktion av ballaststyvhetsfördelning och storlek på hjulplatta med rundade kanter. Kvadratisk styvhetsfördelning enligt 3.2. Axellast 35 ton, tåghastighet 60 km/h, total ballaststyvhet under halv sliper 80 MN/m, styvhet i mellanlägg 120 MN/m.



Figur 26 Konturplott av beräknade maximala kontaktkrafter mellan hjul och räl som funktion av ballaststyvhetsfördelning och storlek på hjulplatta med rundade kanter. Linjär styvhetsfördelning enligt 3.3. Axellast 35 ton, tåghastighet 60 km/h, total ballaststyvhet under halv sliper 80 MN/m, styvhet i mellanlägg 120 MN/m.



Figur 27 Konturplott av beräknade maximala böjmoment i sliper vid rälsäte som funktion av ballaststyvhetsfördelning och storlek på hjulplatta med rundade kanter. Linjär styvhetsfördelning enligt 3.3. Axellast 35 ton, tåghastighet 60 km/h, total ballaststyvhet under halv sliper 80 MN/m, styvhet i mellanlägg 120 MN/m.



Figur 28 Konturplott av beräknade maximala böjmoment (absolutbelopp) i sliper vid mittsektion som funktion av ballaststyvhetsfördelning och storlek på hjulplatta med rundade kanter. Linjär styvhetsfördelning enligt 3.3. Axellast 35 ton, tåghastighet 60 km/h, total ballaststyvhet under halv sliper 80 MN/m, styvhet i mellanlägg 120 MN/m.

3.5 Slutsatser från beräkningar med DIFF

Ett flertal beräkningar har utförts med CHARMECs datorprogram DIFF. Jämförelser med mätdata med (Svealandsbanan) och utan (Malmbanan) hjulskador har redovisats. Samma indata till DIFF som ger god överensstämmelse för max kontaktkraft mellan hjul och räl och böjmoment i räl mitt mellan två sliprar ger acceptabel överensstämmelse för böjmoment i sliper vid rälsätet.

Inverkan av hjulskada, total ballaststyvhet, fördelning av ballaststyvhet längs slipern och mellanläggsstyvhet på böjmoment i slipern har studerats. Studien visar att hjulskadans storlek och styvhetsfördelningen under slipern är viktiga parametrar. Mycket höga böjmoment vid sliperns mittsektion har noterats då ballaststyvheten under mitten av slipern är hög jämfört med styvheten vid rälsätena (ballastskuldra vid mitten av slipern).

4 Inverkan av sprucken sektion på spännlinornas spänningsvidd vid belastning

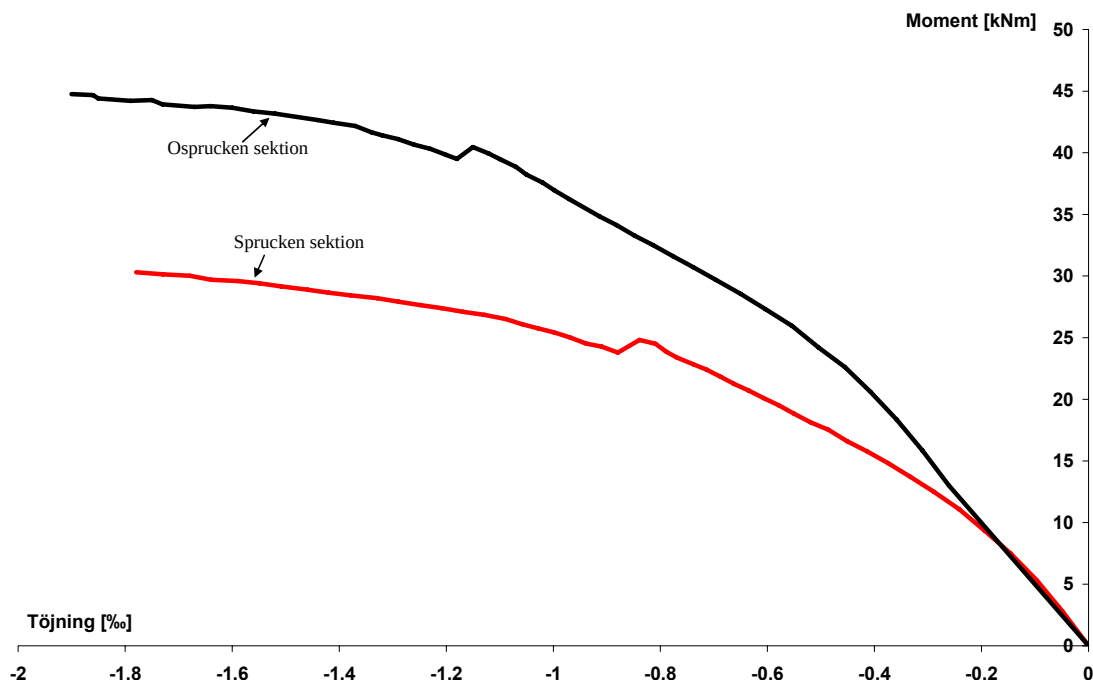
Med hjälp av etablerad FE-modell av aktuell sliper i Harrträsk har genererad spänningsvidd i det mest utsatta lagret av spännlinor tagits fram för olika belastningsnivåer. Spänningsvidden är en viktig parameter då sliperns kapacitet med avseende på utmattningsbrott ska beräknas.

Data från hjulskadedetektorn i Harrträsk [13] har använts för att få en uppfattning om förekomsten av eventuella överlaster som orsakar spänningsvidder i spännlinorna som kan ge förkortad livslängd för en sliper på grund av utmattningsbrott.

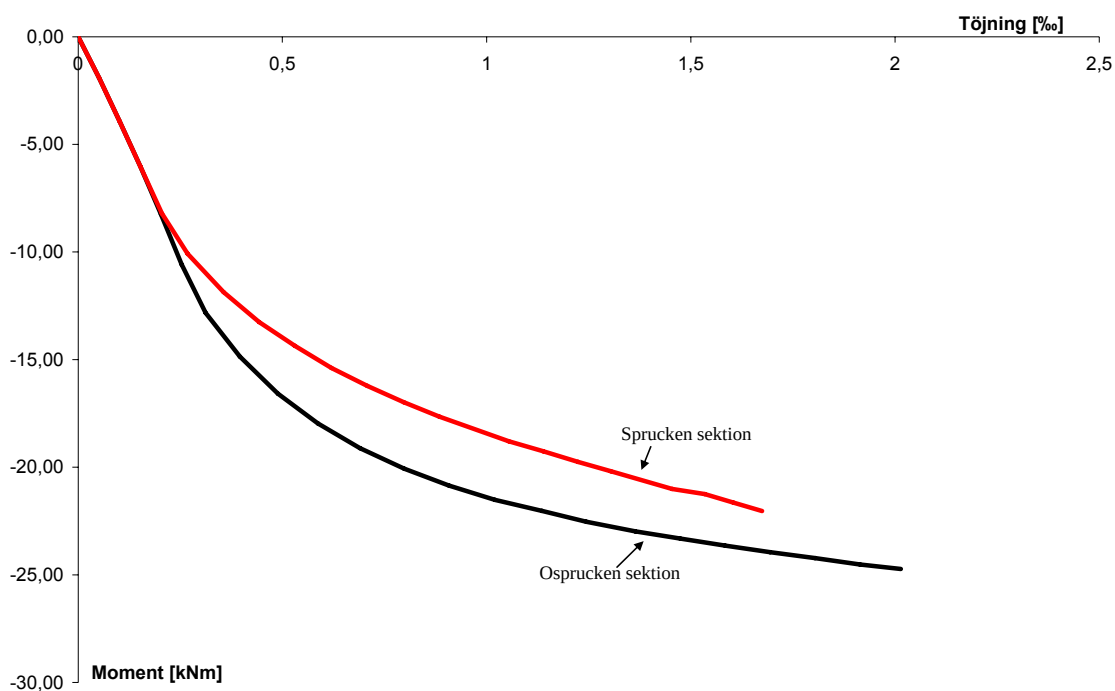
4.1 Egenskaper för osprucken och sprucken sektion

Vid FE-analys av sprucken sektion har betongens draghållfasthet satts till 0,5 MPa istället för 2,9 MPa som använts vid analys av osprucken sektion. Det framgår tydligt från Figur 29 och 30 nedan att sliperns initiella kapacitet är i stort sett identisk oavsett om slipern är sprucken eller osprucken. Detta beror på att en betydande del av sliperns initiella kapacitet utgörs av den normalkraft som skapas av de förspända spännlinorna. Det är först när de tryckspänningar som skapas i sektionen av normalkraften överskrids som bidraget från betongens draghållfasthet blir betydande, vilket gör att det är då som inverkan av sprucken sektion blir tydlig.

Vid belastning av givna dimensionerande böjmoment för aktuell sliper (15, -9kNm), är tryckspänningarna orsakade av förspänningen borta både i rälsläget och i slipermitt.

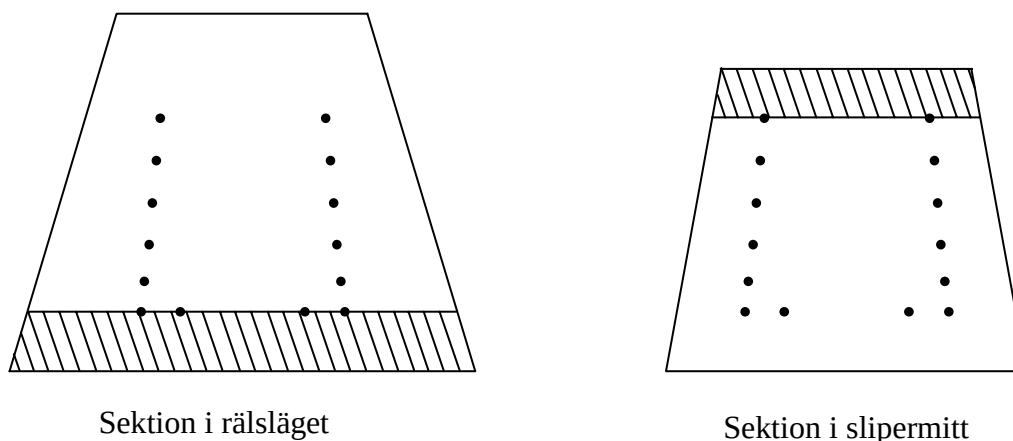


Figur 29 Moment-töjnings relation i sliperns räsläge med osprucken och sprucken sektion. (Resultat från FE-analys).



Figur 30 Moment-töjnings relation i slipermitt med osprucken och sprucken sektion. (Resultat från FE-analys).

Av Figur 29-30 framgår att avsaknad av betongens dragkapacitet ger större effekt på genererad spänningsvidd i spännlinorna vid räsläget jämfört med slipermitt. Detta beror på att betongytan under respektive över första armeringslagret är större vid räsläget än vid slipermitt, se Figur 31.

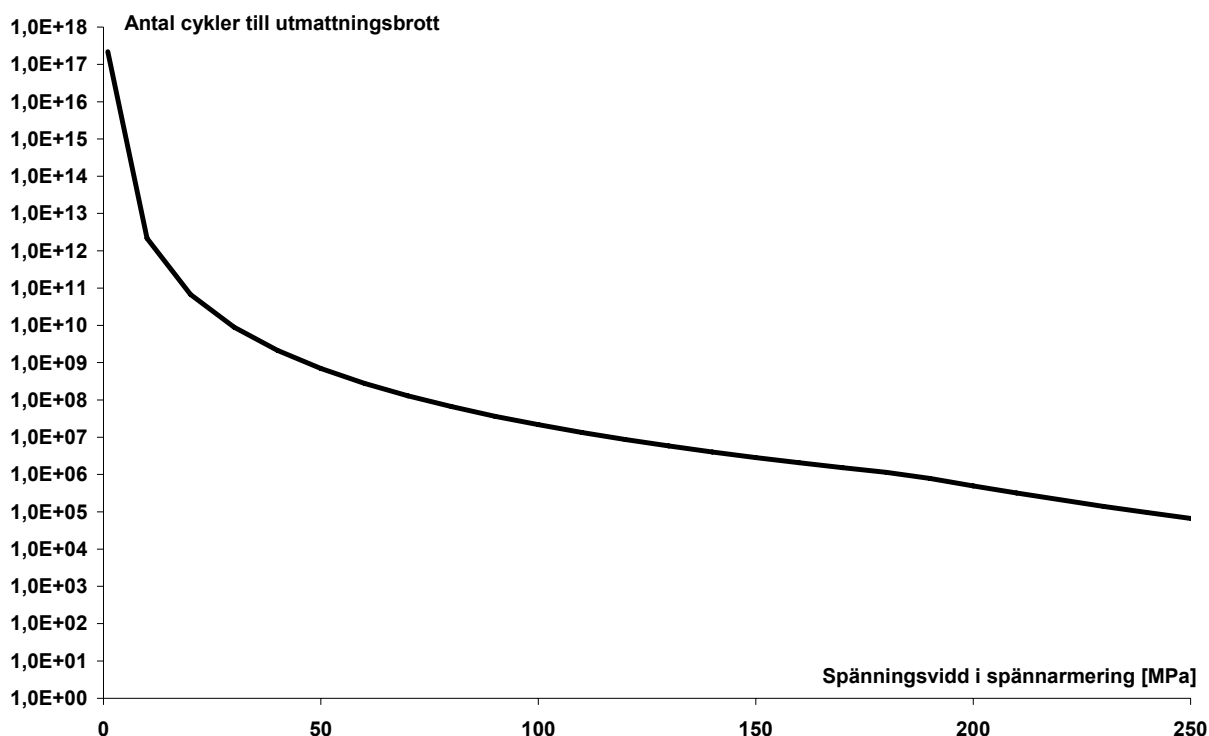


Figur 31 Principiell skillnad av storlek på tvärsnittsyta som inte har någon dragkapacitet vid sprucken sektion.

Detta betyder att en sprucken sektion i räsläget ger större risk för utmattningsbrott än en sprucken sektion i slipermitt. Dock visar resultaten från nämnda fullskaleprov och DIFF analyser att den belastningsfördelning som normalt används för beräkning av dimensionerande rällägesmoment fångar den maximala belastningen i räsläget varvid sliperns sektion vid räsläget är väl rustad för att klara av genererade moment i spår.

4.2 Utmattningsegenskaper för spännlinor

Samband ges i [14] för hur många cykler som aktuell spännlina klarar vid olika spänningvidder innan utmattningsbrott. Sambandet gäller för enskilda belastningsnivåer. Den sammanlagda skadan av flera olika belastningsnivåer kan adderas genom skadeteori. Spännlinorna har en brytpunkt i den karakteristiska utmattningshållfasthetskurvan vid en spänningvidd större än 185 MPa. Antalet cykler innan utmattningsbrott som funktion av spänningvidd visas i Figur 32.

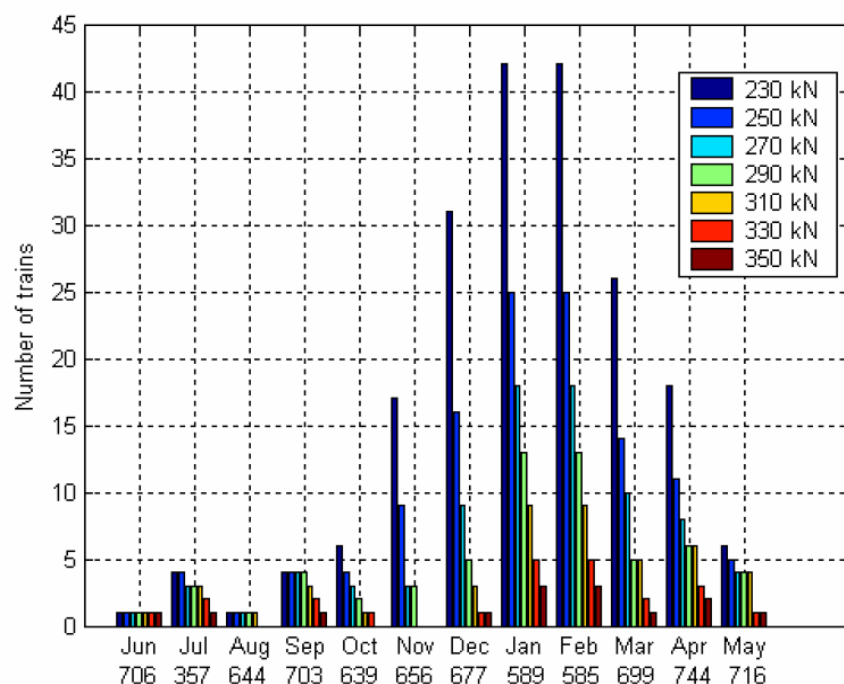


Figur 32 Antalet cykler innan utmattningsbrott som funktion av spänningvidd för spännlinor.

4.3 Utmattningsrisk för sliper mitt i Harrträsk

Vid mätningar (2006) med trådtöjningsgivare på sliprar med placering vid Harrträsk på Malmbanans södra omlopp visade det sig att sliprarna till stor del förde ner lasten till ballasten via sliperns mittdel. Utfallet av det genererade mittmomentet i sliprarna visade att slipern med stor sannolikhet kan vara uppsprucken i sliper mitt, se kapitel 2.2.

Vid mätningarna som gjordes 2006 var maximalt uppmätt last 220 kN. Statistik från hjulskadedetektorn i Harrträsk mellan Juni 2002 och Maj 2003 visar att betydligt högre hjullaster registrerats under vinterhalvåret. Statistiken visar också frekvensen av dessa överbelastningar. I Figur 33 nedan visas antalet tågpassager där minst ett hjul orsakat en last över ett givet värde. Maximalt uppmätt hjullast var således 350 kN eller högre under aktuell period.



Figur 33 Statistik månad för månad (Juni 2002 till Maj 2003) för antal tåg med minst ett hjul som orsakar en hjullast över ett visst värde. Det totala antalet tåg är även givet på x-axeln. Resultat från Hjulskadedetektorn I Harrträsk på Malmbanans södra omlopp. Från [13]

Under aktuell period passerade 7715 tåg varav 482 genererade en last högre än 230 kN. Fördelningen av antal passager med olika lastnivåer under ett år samt tillhörande böjmoment i slipermitt, enligt DIFF (se Figur 25) och genererad spänningsvidd i spännlina enligt FE-analys framgår av Tabell 2 nedan. För att få fram värdena i Tabell 2 har en ballastfördelning likt den i Harrträsk använts ($y=1,35$) i Figur 23 för att få relationen mellan hjulplattans storlek och genererade kontaktkraft mellan hjul och räl. Därefter har genererat böjmoment i slipermitt vid olika storlekar bestämts då $y=1,35$. Med hjälp av FE-analysen av sliperns mittsektion har genererad spänningsvidd vid varje framtaget böjmoment i slipermitt bestämts.

Tabell 2 Fördelningen av antal passager med olika lastnivåer under ett år samt tillhörande böjmoment i slipermitt och genererad spänningsvidd i spännlina.

Maximal hjullast [kN]	Antal tåg passager	Genererat moment (DIFF) och tillhörande spänningsvidd i spännlina (FE-analys) [kNm: MPa]
< 230	7233	11 : 49
230	187	13,5 : 75
250	108	16 : 110
270	70	17 : 140
290	40	18,5 : 165
310	42	20,5 : 215
330	20	23 : 280
350	15	25 : 300

Sliperns livslängd med avseende på utmattningsbrott är helt beroende av hur stor andel av ovanstående överbelastningar som träffar en enskild sliper. Livslängden vid olika antagna frekvenser av överbelastningar framgår av Figur 34 nedan.

Totalt antal axlar/tåg 230					
Moment	σ [MPa]	Antal passager	Belastningscykler	Cykler till brott	Delskada
11	49	7233	1663590	7,7E+08	2,2E-03
13,5	75	188	43240	9,1E+07	4,7E-04
16	110	108	24840	1,3E+07	1,8E-03
17	140	70	16100	4,0E+06	4,0E-03
18,5	165	40	9200	1,8E+06	5,2E-03
20,5	215	42	9660	2,6E+05	3,7E-02
23	280	20	4600	2,4E+04	1,9E-01
25	300	15	3450	1,3E+04	2,7E-01
Andel av hjulplattor som träffar en enskild sliper och tillhörande livslängd [år]					
		Andel [%]	Livslängd [år]		
		100	2		
		50	4		
		20	10		
		10	20		
		5	39		
		1	196		

Figur 34 Livslängd av spännlina i översta lagret i slipermitt vid olika antagna frekvenser av överbelastning och genererat moment och tillhörande spänningsvidd enligt DIFF och FE-analys av sprucken sektion.

De genererade momenten i slipermitt enligt Figur 34 utgår ifrån att överbelastningen sker rakt ovanför en enskild sliper. I spår belastas sannolikt inte en och samma sliper av samtliga överbelastningar som registrerats vid hjulskadedetektorn. Ett antagande har därför gjorts att fallet då 5% eller färre av alla hjulplattor träffar rakt över aktuell sliper motsvarar alla fall där hjulplattan träffar rakt över eller i närheten av aktuell sliper. Med detta i beaktande är det rimligt att anta att befintlig sliper i Harrträsk med upplagsförhållande (slipern "rider" på mitten) och förekomst av överbelastning enligt ovan har en livslängd på 40-200 år med avseende på utmattningsbrott i slipermitt.

5 Sammanställning av sliprars kapaciteter i delar av Europa och övriga världen

Trenden med ökad axellast och tåghastighet återfinns i flera länder runt om i världen. För att kunna placera den nya sliperspecifikationen i relation till andra existerande slipers och resultatet av rådande sliperstandarder har data för några Europeiska sliprar samlats nedan. Resultatet av den beräkningsgång som används i sliperstandarden i USA och Australien är också framtagna nedan. Samtliga beräkningar är gjorda för 35 tons axellast och maximal hastighet 100km/h.

5.1 Europa

5.1.1 Data för existerande slipertyper i Europa

I flertalet av Europas länder är maximal axellast 25 ton. Specifierade krav på böjmoment i räsläget, (M_r), och slipermitt, (M_c), samt resulterande armeringsmängd och spännkraft ges i Tabell 3 nedan.

Tabell 3 Maximal axellast och givna böjmomentskrav för några existerande sliprar i Europa.

JVG	Axellast [ton]	Typ	Armering	Spännkraft [kN]	M_r [kNm]	M_c [kNm]
Banverket	25	A13,S71	12Ø3x3	355	15	-7
ÖBB	25	L2	14Ø6	427	20	-13,5
SBB	22,5	B91	14Ø5	340	16	-12
DB	25	B70	14Ø5	?	22	-15
DB	30	B01*	?	?	26	-28

* Sliper B01 finns med i BN 918 143 men har inte ersatt B70 utan är fortfarande på teststadiet. Slipern är beräknad för hastigheter över 200 km/h. Mittmomentet är ej beräknat enligt rekommendationer i ORE D 170.

5.1.2 Dimensionerande böjmoment enligt EN 13 230

Den Europeiska sliperstandarden EN 13230 [15] ger riktlinjer för beräkning av positivt rärlägesmoment. Nedanstående beräkningar är gjorda för 35 tons axellast.

Positivt rärlägesmoment:

$$M_{r+} = Q \cdot \varphi \cdot A \cdot \chi \cdot \psi \cdot \lambda / 2$$

Q: Statisk hjullast [kN]

φ : Dynamisk förstöringsfaktor som tar hänsyn till vertikala ojämnheter i spåret.

$$V \geq 200 \text{ km/h} \quad \varphi = 1.75$$

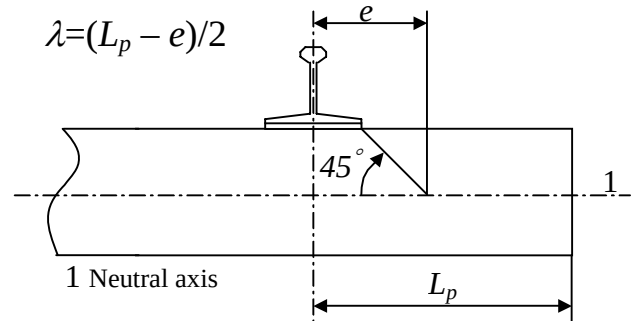
$$V < 200 \text{ km/h} \quad \varphi = 1.50$$

A: Lastfördelningskoefficient [0.5]

χ : Dynamisk förstöringsfaktor som tar hänsyn till fel i ballastupplaget (ex hålrum i ballasten). [1.35]

ψ : Dynamisk förstöringsfaktor som tar hänsyn till ojämnheter längs spåret (oregelbundet slipersavstånd). [1.6]

λ : Hävarm enligt Figur 35.



Figur 35 Definition av hävarmen som används vid beräkning av det dimensionerande rärlägesmomentet.

Resultterande positivt rärlägesmoment:

$$M_{r+} = (350/2) \cdot 1.5 \cdot 0.5 \cdot 1.35 \cdot 1.6 \cdot 0.16/2 = 22,7 \text{ kNm}$$

Enligt rekommendation i ORE rapport D 170 kan mittmomentet beräknas utifrån relationen nedan. För Abetong sliper A13 är kvot mellan tröghetsmomenten i mittsektion och rärlägessektion 0,51.

$$M_c = 1,2 \cdot M_{r+} \cdot I_c / I_r \rightarrow M_c = 1,2 \cdot 22,7 \cdot 0,51 = -13,8 \text{ kNm}$$

5.2 USA och Australien

Enligt informationsavdelningen på LKAB kommer den samlade transporten för både södra och norra omloppet av Malmбанan att öka ifrån dagens 23 till cirka 30 miljoner bruttoton (MGT) år 2009.

För att undersöka vad sliperstandarden i USA, AREMA [16], skulle ge för böjmomentkrav utgår nedanstående beräkningsexempel ifrån en sliper mellan Kiruna och Malmberget (där norra och södra omloppet går omlott) som kan tänkas utsättas för totalt 30 MGT år 2009.

5.2.1 AREMA

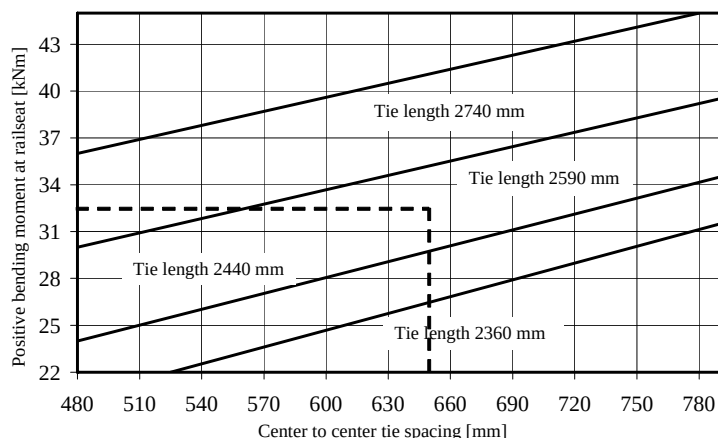
AREMA utgår ifrån tre faktorer då böjmomentkraven beräknas.

$$M = B V T$$

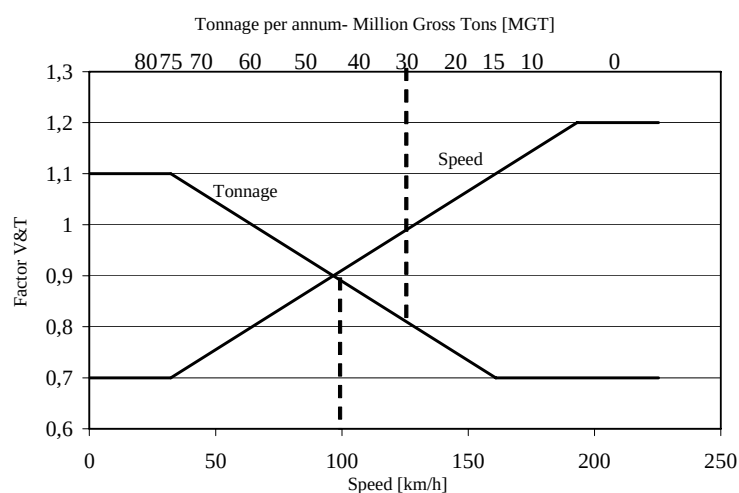
B : Grundböjmoment Figur 36.

V : Hastighetsfaktor Figur 37.

T : Lastfaktor Figur 37.



Figur 36 Grundböjmoment som funktion av sliperavstånd och sliperlängd.



Figur 37 Last och hastighetsfaktor som funktion av tåghastigheten.

Resultande positivt rärlägesmoment M_r : $32,5 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 23,4$ kNm. De övriga böjmomentkraven ges som en faktor multiplicerad med M_r , se Tabell 4.

Tabell 4 Resultande böjmomentkrav utifrån AREMA.

	Rälläget Negativt		Mitt Negativt		Mitt Positivt	
Sliperlängd	Faktor	Moment	Faktor	Moment	Faktor	Moment
2500	-0,51	-11,9	-0,65	-15,2	0,45	10,5

Det kan noteras att enligt [17] gör AREMA ingen reduktion av rärlägesmomentet på grund av den lastspridning som skapas av rälfoten och sliperns geometri. Det beräkningsexempel som visas i [17] ger att lastspridningseffekten skulle reducera rärlägesmomentet med cirka 30%. Det framgår dock inte om man valt att göra på detta sätt i AREMA för att få en extra säkerhetsmarginal eller om andra orsaker ligger bakom. Någon reduktion med 30% har inte gjorts i denna jämförelse

5.2.2 Australian Standard, AS 1085.14

Den Australiska slipernormen [18] utgår ifrån den statiska hjullasten. Det resulterande böjmomentet är främst beroende av upplagsförhållandet och sliperfördelningen längs spåret. Nedanstående beräkningar är gjorda för 35 tons axellast.

$$M_{r+} = R \cdot (a)/8$$

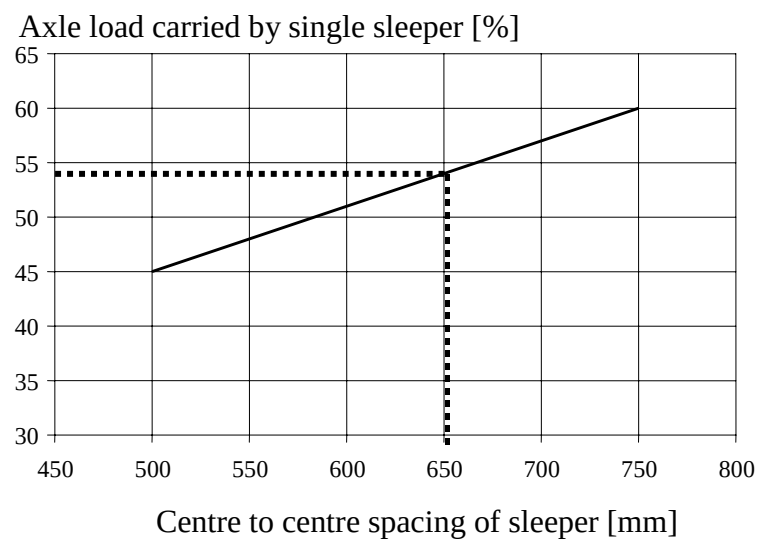
R: Räslägeskraft (på slipern) [kN]

$$R = j \cdot Q \cdot (DF/100)$$

j: Dynamisk design last factor, ≥ 2.5

Q: Statisk hjullast

DF: Fördelningsfaktor enligt Figur 38.



Figur 38 Fördelningfaktor som relation av sliperfördelningen, DF

a: Längd av ballast upplag under varje räsläge [m]

$$a = L - g \quad g > 1.5\text{m (standard eller bredspår)}$$

$$a = 0.8 \cdot (L - g) \quad 1.5\text{m} > g > 1.0\text{m (smalspår)}$$

L: Sliper längd [m]

g: Spårvidd [m]

Resulterande positivt räslägesmoment M_{r+} : $(350/2 \cdot 2.5 \cdot 0.54 \cdot (2.5 - 1.5))/8 = 29.5 \text{ kNm}$.

Övriga moment ges av nedanstående uttryck.

$$M_{r-} = 0.67 M_{r+} = -19.8 \text{ kNm}$$

$$M_{c+} = 0.05 R (L - g) = 0.05 \cdot 236 \cdot (2.5 - 1.5) = 11.8 \text{ kNm}$$

$$M_{c-} = R (2g - L)/4 = 236 \cdot (2 \cdot 1.5 - 2.5)/4 = -29.5 \text{ kNm}$$

5.3 Sammanfattning

Erhållna kapaciteter och krav från ovanstående studier har sammanställts i tabell 5 nedan.

Tabell 5 Sammanställning av samtliga dimensionerande moment för medtagna slipertyper och sliperstandarder.

JVG/standard	Axellast [ton]	+M _r [kNm]	-M _r [kNm]	+M _c [kNm]	-M _c [kNm]
Banverket	25	15			-7
ÖBB	25	20			-13,5
SBB	25	20			-14
DB (B70)	25	16			-12
DB (B01)	30	26			-28
EN 13 230	35	22,7			-13,8
AREMA	30 (MGT)	23,4	-11,9	10,5	-15,2
AS 1085	35	29,5	-19,8	11,8	-29,5

Ovanstående genomgång visar att inget av de studerade länderna i Europa har sliprar som är gjorda för mer än 30 tons axellast. Kapaciteten för de sliprar som är framtagna tillsammans med resultaten från studerade sliperstandarder ger att böjmomentkapaciteten för en sliper i rälsläget vid 35 tons axellast bör vara kring 22-30 kNm. Erforderlig böjmomentkapacitet i slipermitt varierar mycket (-14 – -30 kNm). Orsaken till detta kan vara skillnader i den "värsta" ballaststyvhetsfördelning som beaktats vid beräkning av böjmoment i slipermitt. Inverkan av ballaststyvhetsfördelningen längs sliperns längd visas i kapitel 3.

6 Diskussion

Fältmätningar av utfallet av samtliga hjulskador på det så kallade "skräcktåget" indikerar att en sliper bör ha en kapacitet av 15 kNm för positivt moment i rälläget vid 22-27 tons axellast (se Figur 5, max hastighet 80 km/h och exklusive långa hjulskador S300mm och S500mm) då ballastfördelningen är korrekt justerad (endast packad ballast vid sliperns rällägen).

Nuvarande designkrav (axellast 25 ton) för positivt rällägesmoment är 15 kNm (mjuka mellanlägg). I kravspecifikationen framgår inte vilka böjmoment som förväntades genereras av nuvarande tågtrafiksituation. Det går därmed inte att ta fram vilken säkerhetsfaktor som valdes mellan faktiskt genererade böjmoment och givna dimensioneringskrav. En jämförelse mellan nuvarande designkrav för positivt rällägesmoment (15 kNm) och nivån som ges av utfallet med 22-27 tons axellast visar dock att dagens sliper klarar den belastningen som gavs av "skräcktåget".

Det verkar därmed inte orimligt att dagens designkrav för positivt rällägesmoment definierades med tanke på att hjulskador av den storlek som fanns på skräcktåget kan förekomma på tåg i reguljär trafik (undantaget de långa skadorna S500mm och S300mm).

I tidigare utförd parameterstudie [1] visade simuleringar med DIFF att en given typ och storlek på en hjulskada resulterar i en höjning av sliperns böjmoment (vid rälläge

och slipermitt) som är i stort sett proportionell mot höjningen av axellasten (detta betraktelsesätt ger konservativa resultat som är på "säkra sidan").

Detta innebär att om axellasten ökas från 24,5 ton $((22+27)/2)$ till 35 ton, och med samma typer av hjulskador som fanns på skräcktåget, ökar det genererade böjmoment i sliperns rälläge med motsvarande $(35/24,5=1,43)$ 43%. Dimensionerande positivt rällägesmoment bör då vara $1,43 \times 15 = 21,5$ kNm. Det bör dock noteras att om ballastfördelningen ej är korrekt, d.v.s. om en stor del av en given total ballaststyvhets flyttas från rälläget till mitten av slipern, kan dynamiska laster ge upphov till ökade moment även i rälläget då ballasten under sliperns rälläge inte dämpar lika mycket som vid korrekt ballastfördelning. En användning av hårdare mellanlägg (istället för de mjuka Pandrol mellanlägg som har antagits i denna rapport) ger även en viss ökning av genererade böjmoment i sliperns rälläge och mitt.

Studien av maximalt genererat moment i slipermitt, se Figur 25, ger mycket höga värden vid en ballastfördelning som ej är korrekt (likt den i Harrträsk $y=1,35$). Det bedöms dock inte vara rimligt att dimensionera en sliper så att den förblir sprickfri vid sådana höga mittmoment. Därmed måste sprickinitiering tillåtas i slipermitt för enstaka överbelastningar då en ballastfördelning likt den i Harrträsk råder.

Utmattningsstudien i avsnitt 4.3 är baserad på statistik från hjulskadetektorn i Harrträsk vid nuvarande trafiksituation med 30 tons axellast, en ballastfördelning liknande den som noterades under mätningarna vid Harrträsk station, och en sprickinitieringskapacitet för dagens sliper på ca -9 kNm. Troligen kommer frekvensen av överbelastningar att öka när axellasten höjs till 35 ton. För att erhålla tillräcklig kapacitet i slipermitt och samtidigt en rimlig slipergeometri föreslås att slipern ska vara sprickfri för alla hjullaster ≤ 230 kN (vilket motsvarar en överlast på 30 %). Samtidigt ska mittsektionen klara en ökad frekvens av överbelastningar utan att risken för utmattningsbrott blir större än vad den är för dagens sliper vid 30 tons axellast. Utifrån resultaten i Figurerna 23 och 25 (där ballastfördelningen är dålig likt den vid Harrträsk station) framgår att en sprickinitieringskapacitet på -14 kNm krävs för att slipern ska förbli sprickfri för alla hjullaster ≤ 230 kN.

Baserat på utmattningsanalysen av dagens sliper (med sprickinitiering i slipermitt vid ca -9 kNm) är bedömningen att en sliper med sprickinitiering vid -14 kNm får tillräcklig utmattningstidslängd med avseende på de spänningsvidder som genereras i yttersta armeringslagret vid uppskattad frekvens av hjullaster över 230 kN.

De rekommenderade böjmomenten (i rälläget och slipermitt) som ges av ovan gjorda studier är relativt låga i förhållande till de krav och kapaciteter som gäller i andra länder i Europa och i övriga världen. Bedömningen är dock att tillförlitligheten för rekommenderade värden är hög eftersom de är baserade på en kombination av i fält uppmätta slipertöjningar och simulerade tågpassager där en konservativ och kritiskt utvärdering gjorts för att erhålla erforderliga kapaciteter för en sliper vid 35 tons axellast.

7 Slutsatser

På bas av i denna rapport beaktade studier föreslås följande dimensionerande böjmoment för tågtrafik med axellast 35 ton och maximal hastighet 80 km/h.

Sliper sektion	Maximalt positivt moment [kNm]	Maximalt negativt moment [kNm]
Rälläge	22	
Mitt		-14

8 Referenser

- [1] Bolmsvik, R. och Nielsen, J. Sleeper for 30 tonnes axle load, Part II – extended studies, 2005, 17 pp.
- [2] Jansson, F. Fältmätningar v.637 i Harrträsk för projekt TS9 "Spärdynamik och sliprar", PMM 06/13, 2006, 14 pp.
- [3] Eric Johansson, "Mätrapport: CHARMEC projekt våren 2000 TS – samverkan tåg/spår VB – vibrationer och buller", Banverket, Järnvägssystem, rapport nr BM 00/01, november 2000, 29 sidor + 17 bilagor.
- [4] Lundfeldt, L och Abrahamsson, S. Rapport från statisk belastning av sliper typ S7 från Svealandsbanan, Provdatum 2000-11-01.
- [5] TNO Building and Construction Research. *DIANA Finite Element Analysis, User's Manual* release 8.1, 2002.
- [5] Fastenrath F.: "Die Eisenbahneschiene" Chapter 2: J. Eisenmann: "Die Schiene als Träger und Fahrbahn", Verlag W. Ernst, Berlin, 1977.
- [7] Oscarsson, J F.: "Dynamic Train-Track Interaction: Linear and Non-linear track models with property scatter.", Verlag W. Ernst, Berlin, 1977.
- [8] Jansson, F. Fältmätningar för CHARMEC projekt TS10, PMM 05/22, 2005.
- [9] Rhodes, D. CNR Tangent tie test, Report No. 110, 1985, ? pp.
- [10] Anders Johansson och Jens Nielsen, "Out-of-round railway wheels – wheel-rail contact forces and track response derived from field tests and numerical simulations", *Proc Instn Mech Engrs Part F – Journal of Rail and Rapid Transit*, vol 217, pp 135-146, 2003.
- [11] Tore Dahlberg och Jens Nielsen, "Dynamic behaviour of free-free and in-situ concrete railway sleepers", *Proc International Symposium on Precast Concrete railway Sleepers*, Madrid, Spain, 1991.
- [12] Lennart Andersson, "Mätrapport: Tågsammansättning och hjulstatus vid prov av hjulskadedetektorer i Sannahed sommaren 1997", Banverket, Järnvägssystem, rapport nr BM 98/00, september 1998, 28 sidor.
- [13] Berggren E., (Statistics from wheel impact load detectors 2002-01 – 2003-09, in Swedish), The Swedish National Rail Administration (Banverket), BBS report 2003-10-20.
- [14] EN 1992-1-1:2004 (E) kapitel 6.84
- [15] EN 13 230, Annex E
- [16] AREMA

- [17] Freudenstein, S and Haban, F. Prestressed concrete sleepers, European railway review, p. 73-79, issue 4, 2006.
- [18] AS 1085.14