

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Mašīnzinību, transporta un aeronautika fakultāte
Transporta institūts

Viktors Ivanovs

Doktora studiju programmas “Transports” doktorants

ANALĪZE PAR SLIEŽU SLĪPĒŠANAS IETEKMI UZ TO STĀVOKLI

Promocijas darbs

Zinātniskais vadītājs
asoc. profesors *Dr. sc. ing*
PĀVELS GAVRILOVS

Konsultants
Dr. sc. ing.
Aleksandrs Boiko

RTU Izdevniecība
Rīga 2021

SAĪSINĀJUMU SARAKSTS

60 E1, AS 68, AREMA 136 RE, R50, R65, R75 - sliežu profilu tipi;

C - ogleklis;

Mn - mangāns;

Si - silīcijs;

V - vanādijs;

Cr - hroms;

N - slāpeklis;

P - fosfors;

S - sērs;

Al - alumīnijs;

Cu - varš;

Ni - niķelis;

Ti - titāns;

W - volframs;

Mo - molibdēns;

Co - kobalts;

Pb - svins;

Zr - cirkonijs;

HNO₃ - slāpekļskābes šķīdums;

76F, 76AF, 90AF, 76HSF, 76HF, 76HAF, 90HAF, R350HT, R350LHT, R260 - tērauda marka;

HB, HBW - cietības vērtības pēc Brunela;

OT370IK - apjoma termostiprinātas, ar paaugstinātu nodilumizturību un kontakta izturību;

OT350 - apjoma termostiprinātas, vispārējās nozīmes;

OT350NN - apjoma termostiprinātas, zemas temperatūras drošuma;

OT350SS - apjoma termostiprinātas, ātrgaitas apvienotajai kustībai;

DT350 - diferencēti termostiprinātas ar velmējuma atsevišķa sakarsējuma, vispārējās nozīmes;

DT350NN - diferencēti termostiprinātas ar velmējuma atsevišķa sakarsējuma, zemas temperatūras drošuma;

DT350SS - diferencēti termostiprinātas ar velmējuma atsevišķa sakarsējuma, ātrgaitas apvienotajai kustībai;

DT350VS - diferencēti termostiprinātas ar velmējuma atsevišķa sakarsējuma, ātrgaitas pasažieru kustībai;

NT320 - netermostiprinātas augstas stiprības, vispārējās nozīmes;

NT320VS - netermostiprinātas, ātrgaitas pasažieru kustībai;

RTU - Rīgas Tehniskā Universitāte;

X 10, 11, 17. 1-2 - slīdes galviņas ritvirsmas defektu kodi;

R - līknes rādiuss m;

h - dziļums mm;
 a - platums mm;
 l - garums mm;
 XX 18, 21, 26.3-4 - sliedes galviņas ritvirsma ļoti bojāto defektu kodi;
 RU1Š-957-G, RV2Š-957-G, RU1-957-G - riteņpāru tipi;
 A, B, C, D, E, F, G, R – gabarītu izmēri mm;
 S - šķērsriezuma laukums cm^2 ;
 W - viena metra sliedes masa kg/m ;
 I_x - sliedes inerces moments, ja ir vērpe cm^4 ;
 Z_x - pretestības moments cm^3 ;
 URR-112/B, URR-48, SPENO RR-40MF2, RŠP-48, RR-16 - sliežu slīpēšanas vilcieni;
 Milj.t.,bruto - caurlaistā tonnāža;
 $P_{\max}$ - maksimālais kontakta spriegums MPa;
 E - elastības modulis MPa;
 F - riteņa un sliedes noslogojuma normālais spēks kN;
 R_e - ekvivalents rādiuss, atkarīgs no riteņa un sliedes mijiedarbības raksturīgākajiem rādiusiem kontakta vietā mm;
 ν - Puasona koeficients;
 A, B, C - kontakta zona;
 Δ, S - kontakta sprauga mm;
 x, y, z - koordinātu sistēmas asis;
 r_{11}, r_{12}, r_1, r_2 - raksturīgie rādiusi;
 A, B - riteņa kontakta punkti ar sliedi;
 α - riteņa uzbraukšanas leņķis uz sliedes;
 θ - sliedes ieslīpuma leņķis;
 V_0 - riteņpāra kustības ātruma vektors;
 C, D - kontakta laukumi;
 I, II, III - kontakta zonas;
 r_1, r_2, r_3 - sliedes galviņas līkumu rādiusi;
 μ - berzes koeficients;
 M - mērogs;
 PŠV (TU 3933-002-060632410-2012) - ceļa bīdmērs;
 H_p - parādītais sliedes nodilums;
 D - velšanās loka diametrs;
 D_a - loka iekšējās virsmas diametrs no riteņa ārpusē;
 D_i - loka iekšējās virsmas diametrs no riteņa iekšpusē;
 B - riteņa loka platums;
 h_u - uzmalas augstums;
 D_{ra} - rumbas ārējās virsmas diametrs no riteņa ārpusē;
 D_{ri} - rumbas ārējās virsmas diametrs no riteņa iekšpusē;
 d - riteņa rumbas cauruma diametrs;

Br - riteņa rumbas garums;
 r - attālums no rumbas gala virsmas līdz loka sānu virsmai no riteņa iekšpusēs;
 Bdl - diska biezums pie riteņa loka;
 Bdr - diska biezums pie riteņa rumbas;
 h - ārējās sliedes pacēlums mm;
 V - kravas vagona kustības ātrums km/h;
 T - temperatūra;
 R_I - riteņa rādiuss kontaktā ar sliedes iekšējo šķautni;
 ΔR_o - riteņa rādiusa novirze sliedes ārējā profila divos kontaktos;
 $[kus]$ - stabilitātes koeficienta pieļaujamā vērtība kravas vagoniem;
 β - slīpuma leņķis, kuru veido riteņa uzmalā ar horizontālo asi;
 μ - slīdes berzes koeficients neuzbraucošam ritenim uz sliedes galviņu, $\mu = 0,25$;
 P_{v1} - uzbraucošā riteņa uz sliedes galviņu reakcijas spēku vertikālā komponente, tf, MPa;
 P_{v2} - neuzbraucošā riteņa uz sliedes galviņu reakcijas spēku vertikālā komponente, tf, MPa;
 P_h - uzbraucošā riteņa uz sliedes galviņu reakcijas spēku horizontālā komponente;
 $Pst(m)$ - vertikālā statiskā slodze, iedarbojas uz ass kakliņu, tf, MPa;
 $kd. s. \dot{s} = 0,25 \overline{Kd.v.}$ - sāniskās šūpošanās dinamikas koeficienta vidējā vērtība;
 H_r - rāmja spēka vidējā vērtība;
 p_a - ass slodze,
 $qr.p.$ - riteņpāra ar buksēm smaguma spēks;
 b - ratiņu asu skaita koeficients;
 δ - koeficients, atkarīgs no pakares elastības kravas vagoniem;
 v - vagona kustības ātrums, m/s;
 $2B_2$ - attālums starp riteņpāra ass kakliņu vidiem;
 a_1, a_2 - attālums no riteņa kontakta punktiem līdz ass kakliņu vidum;
 r - riteņa rādiuss m;
 l - attālums starp riteņa kontakta punktiem ar sliedi;
TAP - tehniskās apkopes punkts.

ANOTĀCIJA

Šajā doktora disertācijā izskatīti sliežu tēraudi saskaņā ar standartiem EN 13674-1:2011 un GOST R 51685-2013. Izanalizēti sliežu tērauda defekti un to rašanās iemesli. Detalizēti izpētīta un izanalizēta bojāto un ļoti bojāto sliežu statistika "Latvijas dzelzceļā" 2011. - 2019. gadu periodā. Savākta un izanalizēta sliežu slīpēšanas vilciena darba statistika "Latvijas dzelzceļā" 2011. - 2019. gadu periodā. Veikta 60 E1 tipa sliežu ritvirsmas cietības, bojātās sliedes ar kodu X 10.1. metāla ķīmiskā sastāva un struktūras izpēte. Tāpat savākta un izanalizēta riteņpāru izbrāķēšanas statistika "Latvijas dzelzceļa" tīklā 2016. – 2019. gadu periodā un riteņu loku defektu skaits Krievijas dzelzceļā. Izskatīti riteņpāru galvenie defekti. Izpētīti riteņa un sliedes faktiskie nodilumi Latvijas un uzrādītie Krievijas dzelzceļos. Iemodelēti remonta profili sliežu galviņas slīpēšanai Latvijas sliežu ceļiem un novērtēta to ietekme uz sānu nodilumu sliežu un riteņu virsmu mijiedarbības rezultātā. Veikts riteņu ar atloka leņķi 66,80 grādi nodilušo profilu noturības koeficienta aprēķins Latvijas sliežu ceļiem atbilstoši uzbraukšanas nosacījumiem uz sliežu profiliem, izstrādātiem šajā disertācijā. Izstrādāta sliežu slīpēšanas metodika. Aprēķinātas riteņpāru remonta un sliežu slīpēšanas ekonomiskās izmaksas.

Piedāvātas rekomendācijas riteņu un sliežu sānu nodiluma mazināšanai. Promocijas darbs uzrakstīts latviešu valodā. Darbā ir 5 nodaļas, secinājumi un rekomendācijas. Literatūras sarakstā ietilpst 65 nosaukumi.

ANNOTATION

The Doctoral thesis “Analysis of the impact of rail grinding on their condition” is developed by Viktors Ivanovs to obtain a doctoral degree in engineering. The scientific supervisor is Dr.sc.ing., assoc. professor Pāvels Gavrilovs.

In this doctoral thesis rail steels are considered according to standards EN 13674 - 1:2011 and GOST R 51685 - 2013. Rail steel defects and reasons for their causes are reviewed. The statistics of damaged and heavily damaged rails in “Latvijas dzelzceļš” within the year period of 2011-2019 is studied and analysed in detail. The statistics of rail grinding train operation in “Latvijas dzelzceļš” within the year period of 2011-2019 is gathered and analysed. A research of 60 E1 type rail running surface's hardness, research of metal chemical composition of the damaged rail with a code X 10.1., and structure analysis was performed. Likewise, statistics of wheelset rejection in the network “Latvijas dzelzceļš” within the year period of 2016-2019 are gathered and analysed, as well as the number of wheel rim defect in the railway of Russian Federation. The main defects of wheelsets are reviewed. The actual wear of wheels and rails in Latvia and the stated wear in the railway of Russia are modelled. Repair profiles of rail head grinding for Latvian rail ways are modelled and their influence on side wear determined due to the rail and wheel surface interaction. Calculations regards wheels with flange angle of 66,80 degrees from worn out profile durability coefficient was performed for Latvian railway according to the entry conditions on rail profiles, developed in this dissertation. Rail grinding method was developed. Wheelset repair and wheel grinding economic expenses were calculates.

Recommendations for wheel and rail side wear reduction were presented. The Doctoral Thesis has been written in Latvian. It consists of an 5 chapters, conclusion and recommendations. The Bibliography contains 65 titles.

SATURS

SAĪSINĀJUMU SARAKSTS	2
ANOTĀCIJA	5
ANNOTATION	6
IEVADS	9
1. SLIEŽU UZDEVUMS, TĀM IZVIRZĪTĀS PRASĪBAS.....	12
1.1. Sliežu materiāls, ķīmiskais sastāvs un sliežu tērauda cietība	13
1.2. Sliežu tērauda defekti	17
1.2.1. Karsēšanas defekti	18
1.2.2. Velmējuma defekti.....	19
1.2.3. Defekti metāla struktūrā.....	25
1.2.4. Pirmās nodaļas secinājumi	27
2. SLIEŽU DEFEKTU ANALĪZE “LATVIJAS DZELZCEĻĀ”	28
2.1. Ļoti bojāto sliežu analīze Latvijas dzelzceļā	34
2.2. Ļoti bojāto sliežu galviņu analīze Latvijas dzelzceļā	35
2.3. Ļoti bojāto sliežu ar kodu XX 18 analīze	36
2.4. Ļoti bojāto sliežu ar kodu XX 21 analīze	37
2.5. Ļoti bojāto sliežu ar kodu XX 26.3, 26.4 analīze	38
2.6. Sliežu un ļoti bojāto sliežu defektu analīzes “Latvijas dzelzceļā” secinājumi	39
2.7. Firmas “Speno” sliežu slīpēšanas vilciena darba statistiskā analīze “Latvijas dzelzceļā”	39
3. 60 E1 TIPA SLIEŽU RITVIRSMAS CIETĪBAS IZPĒTE, BOJĀTĀS SLIEDĒS AR KODU X10.1 IZPĒTE	41
3.1. 60 E1 tipa sliežu ritvirsmas cietības izpēte.....	41
3.2. Bojātās sliedes ar kodu X 10.1 izpēte.....	43
3.3. 60 E1 tipa sliežu ritvirsmas cietības un bojātās sliedes ar kodu X10.1 izpētes secinājumi.....	51
3.3.1. 60 E1 tipa sliežu ritvirsmas cietības secinājumi	51
3.3.2. Bojātās sliedes ar kodu X 10.1 izpētes secinājumi	52
4. IZPĒTES UZDEVUMA NOSTĀDNE ATTIECĪBĀ UZ DZELZCEĻA RITEŅA UN SLIEDĒS MIJIEDARBĪBAS IETEKMES NOVĒRTĒJUMU, GALA REZULTĀTĀ VEICOT ELEMENTU 3D MODELĒŠANU	53
4.1. Riteņu velšanās virsmu un sliežu tipu ritvirsmu izmantojamie profili “Latvijas dzelzceļā” starptautiskajā satiksmē	53

4.2. Riteņa un sliedes nodilumi Latvijas un Krievijas dzelzceļos	57
4.3. Sliežu slīpēšanas veidi un periodiskums	65
4.4. Sliežu slīpēšanas zināmie profili un metodika	68
4.5. Riteņa un sliedes kontakta mijiedarbības apraksts	70
4.6. Sliežu slīpēšanas esošie risinājumi un metodika	77
4.7. Izpētes secinājumi un uzdevumi	83
5. IZPĒTES REZULTĀTI	84
5.1. Riteņu un sliežu profila nodiluma faktiskā izpēte “Latvijas dzelzceļā”	84
5.2. Specializēto programmu veidi un izvēle, kuras izmantojamas riteņa un sliedes mijiedarbības aprēķinu veikšanai	86
5.3. Aprēķinu modeļu apraksts, riteņa un sliedes noslogojuma režīmi	92
5.3.1. Aprēķina modeļa testēšana un saņemto modelēšanas rezultātu precizitātes novērtējums	95
5.4. Modelēšanas rezultāti	98
5.4.1. Slīpēšanas profila izstrāde profilaktiskās atkārtotās slīpēšanas veikšanai	100
5.4.2. Slīpēšanas profilu ietekmes uz sliedes un riteņa savienojuma no spriegotā stāvokļa novērtējums	104
5.4.3. Pēc uzmalas ierīpināšanas uz sliedes nosacījumiem piedāvātā slīpēšanas profila ekspluatācijas drošības pārbaude	110
5.4.4. Izstrādātā sliedes slīpēšanas metodika	113
5.4.5. Sliežu slīpēšanas jauno profilu modelēšanas rezultātu secinājumi	114
5.5. Sliežu slīpēšanas un riteņpāra atjaunošanas remonta darbu vai nomaiņas ekonomiskā salīdzināšana	114
5.6. Rekomendācijas riteņu un sliežu sānu nodiluma samazināšanai	116
5.7. Sliežu slīpēšanas ietekmes uz riteņu un sliežu sānu nodiluma vērtējuma secinājumi	117
GALVENIE REZULTĀTI UN SECINĀJUMI	119
LITERATŪRAS SARAKSTS	122
PIELIKUMI	128

IEVADS

“Latvijas dzelzceļš” ir viens no lielākajiem uzņēmumiem Latvijā, kas ir valsts transporta sistēmas nozīmīgs posms. Dzelzceļa sliežu ceļu dārgākie un atbildīgākie elementi, kuru stāvoklis pirmkārt nosaka nepārtrauktu un drošu vilcienu kustību, ir sliedes un riteņpāri. Lai uzturētu sliežu un vagonu saimniecību darbderīgā stāvoklī, ik gadu nepieciešams vairāk nekā 3020 tonnas jaunu sliežu un 700 riteņpāru. Katru gadu “Latvijas dzelzceļā” vidēji 8 defektoskopijas cehos tiek atklātas vairāk nekā 15848 bojātas un 277 ļoti bojātas sliedes. Apkopes punktos un vagonu depo ik gadu vidēji tiek atklāti vairāk nekā 521 bojāts riteņpāris. Savlaicīgi neatklāts riteņpāra bojājums un ļoti bojātas sliedes var novest pie riteņa vai sliedes lūzumiem, kā rezultātā riteņpāra (ratiņu) vai ritošā sastāva nobraukšanai. Perspektīvs virziens šīs problēmas risināšanai ir sliežu slīpēšanas tehnoloģija, izmantojot sliežu slīpēšanas vilcienus, kura ļauj veikt sliežu galviņas mehānisko apstrādi bez to demontāžas sliežu ceļu apstākļos. Sliežu defektu saraksts, kuri likvidējami, veicot slīpēšanu ar šo tehnoloģiju, ir pietiekami plašs un tajā iekļauti: viļņveida nodilumi, mehāniskie bojājumi, metāla saplacināšanās un atslāņošana. Pie tam, viens no galvenajiem slīpēšanas mērķiem ir sliežu šķērsprofila veidošana. Riteņa un sliedes slīpēšanas profila periodiska saskaņota koriģēšana ļaus nodrošināt vislabāko riteņa kontaktu ar sliedi, vienmērīgi sadalīt iekšējos spriegumus pa riteņa un sliedes virsmām, ar to pašu paildzinot ekspluatācijas resursus par 15...20 %. Sliežu ekspluatācijas īpašības tiek noteiktas ar pretdarbību plaisu veidošanās un attīstībai, kontakta noguruma defektu un nodiluma, kuru rašanās ievērojamā pakāpē ir atkarīga no sliedes galviņas un riteņa velšanās virsmas profilēšanas kvalitātes.

Darba mērķi un uzdevumi

Mērķis: 60 E1 un R65 tipa sliežu slīpēšanas ar sliežu slīpēšanas vilcienu efektivitātes izpēte “Latvijas dzelzceļa” sliežu ceļu līklīnijās un taisnajos iecirkņos. Izstrādāt saskaņotu metodiku sliežu remonta un asimetrisku profilu slīpēšanai, lai mazinātu sliedes galviņas sānu un vertikālo nodilumu, kā arī, lai samazinātu riteņu apvirpošanas daudzumu “Latvijas dzelzceļā”.

Uzdevumi:

1. Izskatīt sliežu tērauda tehniskos parametrus pēc to nozīmes, ķīmiskā sastāva un cietības;
2. Pētīt un analizēt sliežu tērauda defektus;
3. Savākt un izanalizēt sliežu bojājumu statistiku “Latvijas dzelzceļā” pēdējos deviņos gados, noskaidrot visbiežāk atklātos defektoskopijas cehos, veikt to novērtēšanu un atšifrēšanu pēc defektu kodiem;
4. Savākt un izanalizēt sliežu slīpēšanas vilciena darba statistiku “Latvijas dzelzceļā” pēdējos deviņos gados;
5. Veikt cietības uz 60 E1 tipa sliežu ritvirsmas un bojātās sliedes ar kodu X 10.1. izpēti, salīdzināt testēšanas rezultātus;

6. Izpētīt dzelzceļa riteņa un sliedes mijiedarbības ietekmes, gala rezultātā veicot elementu 3D modelēšanu;
7. Veikt riteņu un sliežu profila nodilumu faktisko izpēti "Latvijas dzelzceļā";
8. Izstrādāt slīpēšanas profilus profilaktiskajai atkārtotajai sliedes galviņas slīpēšanai;
9. Veikt slīpēšanas profila ietekmes uz sliežu un riteņu savienojumu nospriegotā stāvoklī novērtējumu;
10. Veikt piedāvātā slīpēšanas profila pēc uzmalas ierīpināšanas uz sliedes nosacījumiem ekspluatācijas drošības pārbaudi;
11. Aprēķināt ekonomisko salīdzinājumu starp sliežu slīpēšanas un riteņpāra atjaunošanas remonta darbu vai nomaiņu;

Izstrādāt rekomendācijas:

1. Izstrādāt sliežu slīpēšanas metodiku riteņu un sliežu sānu nodiluma samazināšanai "Latvijas dzelzceļā".

Izpētes metode un metodika

Pētījumos izmantotas eksperimentālās un analītiskās metodes bojātā un ļoti bojātā sliežu tērauda cietības, ķīmiskā sastāva un materiāla struktūras noteikšanai. Gala rezultātā veicot elementu 3D modelēšanu programmā Solid Works Simulation Professional, izmantojot materiālus un "Latvijas dzelzceļā" pielietotos ekspluatācijas nosacījumus, projicēti modeļi attiecībā uz riteņpāru mijiedarbību: jauna sliede ar jaunu riteni, jauna sliede ar nodilušu riteni, nodilusi sliede ar jaunu riteni, nodilusi sliede ar nodilušu riteni, slīpēta sliede ar jaunu riteni un slīpēta sliede ar nodilušu riteni. Prasītā informācija tika iegūta uz faktiskās izpētes, ražošanas dokumentācijas analīzes un citu autoru literatūras avotu, ar analīzes un salīdzināšanas metodi, kā arī atskaišu, tehnoloģisko karšu, tabulu un grafiku pamata.

Zinātniskais jauninājums un izpētes galvenie rezultāti

1. Izstrādāta metodika remontu profilu izveidošanai sliežu galviņas slīpēšanai, kas bāzēts uz reālu riteņu izdilušo profilu izmantošanu. Tas ļāva: palielināt sliežu remonta profilu slīpēšanas precizitāti, precīzāk modelēt vienpunkta kontaktu taisnajā sliežu ceļā vai divpunktu kontaktu līknēs un tādā veidā samazināt riteņa uzmalas defektu skaitu dažādos dzelzceļa sliežu ceļu iecirkņos "Latvijas dzelzceļā".

2. Veikta trīsdimensiju modelēšana riteņa mijiedarbībai ar sliedi, izmantojot izstrādāto sliežu profilu, kas ļāva novērtēt sliežu slīpēšanas ietekmi uz sprieguma līmeni pārī ritenis - sliede.

3. Kā rekomendējamie profili sliežu slīpēšanai izstrādāti sliedes asimetriskie profili ar mazāko riteņa mijiedarbību ar sliedi un mazāko slīpēšanas skaitu. Slīpēšanas pamatleņķi asimetrisko profilu virsmām sasniedz no $2,68^\circ$ līdz $2,41^\circ$ ārējai sliedei un no $2,36^\circ$ līdz $4,61^\circ$ iekšējai sliedei.

4. Sliedes slīpēšanas leņķa izmaiņas ļāva palielināt kontakta zonu un rezultātā samazināt spriegumu uz ārējo sliedi līknē līdz 18% un novirzīt daļu slodzes no riteņu malas nodiluma

zonas uz riteņu uzmalas pamata. Nobīde sasniegusi no 5 līdz 30 mm, riteņu rādiusu starpība sasniedz 5,60 mm vienā riteņpārī, kas uzlaboja riteņpāru iekļaušanos 4 reizes.

5. Ekonomiskā analīze apstiprina nepieciešamību izmantot izstrādātus jaunus un remonta sliežu profilus, veicot slīpēšanu, lai izvairītos no bojāto riteņpāru remonta izdevumiem.

Praktiskā vērtība

Pamatojoties uz izstrādāto rekomendāciju un metode veikto izpēti var ievērojami ļaut pagarināt sliežu un riteņpāru kalpošanas termiņu, ievērojami samazināt vagonu atkabināšanās skaitu no vilcieniem. Rezultātā samazināt daļu virsējo un iekšējo defektu sliedes galviņai, uzlabot ritošā sastāva iekļaušanos līknēs, novērst līkņu iekšējā sliežu pavediena bojājumus, ja notiek riteņa ar maldīgu uzmalu caurbraukšana, vilcienu kustības laidenuma uzlabošanās, bet sliežu ceļu ātrgaitas iecirkņos vilcienu kustības ātruma palielināšanās. Tāpat palielināt kalpošanas laiku sliežu ceļu virsbūves elementiem un ritošā sastāva gaitas daļai.

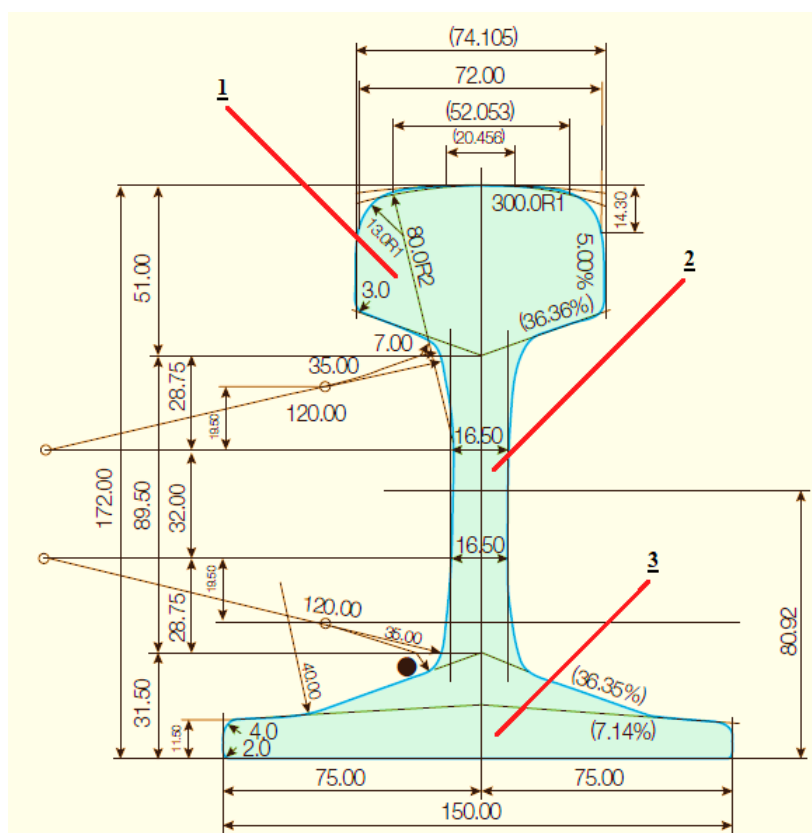
Publikācijas

Pēc pētījumu rezultātiem, veiktiem disertācijas darbā, publicēti 12 raksti.

Darba struktūra un apjoms. Disertācijas darbs sastāv no ievada, piecām nodaļām, izmantoto literatūras avotu saraksta un pielikumiem. Pavisam satur: 140 lappusi, attēli tekstā ir 92, tabulas - 17, pielikumi - 3. Literatūras sarakstā iekļauti 65 nosaukumi.

1. SLIEŽU UZDEVUMS, TĀM IZVIRZĪTĀS PRASĪBAS

Sliežu ceļu virsbūves galvenais nesošais elements ir sliedes. Sliede sastāv no speciālo šķēsgriezumu tērauda sijām, pa kurām kustas ritošais sastāvs. Standarta un vispārpieņemtās sliedes visiem pasaules sliežu ceļiem ir platpēdas sliedes. “Latvijas dzelzceļā” un Eiropā tiek pielietots standarts EN 13674 - 1:2011 [10], sliedes, kuras paredzētas posmu un vienlaidu dzelzceļa sliežu ceļiem, kā arī pārmiju pārvedu ražošanai. Krievijas dzelzceļos daļēji tiek izmantots standarts GOST R 51685 - 2013 [61], kurš arī tiek izmantots Latvijā (pieņemšanas un nosūtīšanas ceļiem, daļēji galvenajiem ceļiem), Kazahstānā, Baltkrievijā, Ukrainā un citās valstīs. 1.1. attēlā attēlota platpēdas sliede pēc Eiropas standarta EN 13674 - 1:2011, kura ir plaši pielietota “Latvijas dzelzceļā”.



1.1.att. 60E1 tipa platpēdas sliedes šķērsprofils, kur 1.sliedes galviņa, 2.kakliņš, 3.pēda [10].

Sliedes ir sliežu ceļa virsbūves galvenie elementi. Tās paredzētas:

- ✓ izveidot virsmu ar vismazāko pretestību ritošā sastāva riteņiem;
- ✓ tieši uzņemt un elastīgi nodot spēka iedarbību no riteņa uz balstiem (gulšņiem, brusām);
- ✓ novirzīt kustībā ritošā sastāva riteņus;
- ✓ iecirkņos ar autobloķēšanu sliežu pavedieni kalpo kā signālstrāvas vadītājs;
- ✓ iecirkņos ar elektrisko vilci — vilces pretstrāva.

Tāpat sliedēm jābūt šādām īpašībām:

- nodilumizturība;
- noguruma stiprība;
- augstai pretestībai traušlam lūzumam;
- labai metināmībai;
- augstai tērauda tīrībai;
- labai apstrādājamībai;
- zemiem termiskiem spriegumiem;
- precīzai ģeometrijai un taisnvirzieniskumam;
- ilgam kalpošanas laikam.

Sliede ir viena no sliežu ceļu virsbūves neatņemamām sastāvdaļām, augstās prasības, kas tām izvirzītas, liecina par to nozīmību dzelzceļa ritošā sastāva drošā pārvadāšanas procesā [3].

1.1. Sliežu materiāls, ķīmiskais sastāvs un sliežu tērauda cietība

Sliežu tērauds - tas ir oglekļa leģētais tērauds, kas tiek leģēts ar silīciju un mangānu. Sakausējuma fāzes struktūras pamatā ir sīkadatālais perlīts. Metāla izkausēšanai izmanto martenkrāsnis, konvertera un elektriskās krāsnis.

Sliežu tērauda markas iedalās 2 grupās atkarībā no pielietojamā dezoksidanta veida:

1. Pirmajā grupā ietilpst tērauds, kas dezoksidēts ar feromangānu vai ferosilīciju.
2. Otrā iekļauts tērauds ar dezoksidantu uz alumīnija bāzes.

Otrās grupas metālam ir priekšroka, tā kā tas satur mazāku procentu nemetālu piemaisījumu.

Sliežu ķīmisko sastāvu pilnībā regulē Krievijas standarts GOST R 51685 - 2013 [61]. Saskaņā ar to, bez pamatkomponenta dzelzs, sakausējumam jāsaturs šādu elementu komplektu:

- Ogleklis (0,71 - 0,82%) ir jebkura tērauda bāzes komponente. Oglekļa galvenā nozīme - tā ir tērauda sakausējuma mehāniskās raksturlīknes palielināšana. Tas notiek dēļ dzelzs molekulu saistīšanās ar oglekļa daļiņām, kā rezultātā veidojas lielākas, cietākas un vienlaicīgi izturīgas dzelzs karbīdu molekulas. Pie tam, ogleklis ļauj tēraudam papildus stiprināties, iedarbojoties uz to ar paaugstinātu temperatūru. Tādā veidā sliedes cietība un stiprības robeža var tik palielināta vēl par 100%.
- Mangāns (0,25 - 1,25%) ietekmē sliežu mehānisko īpašību uzlabošanu. Pateicoties tā pievienošanai sastāvam, izdodas palielināt triecienstīgrības vērtību vidēji par 20-30%. Cietība un nodilumizturība arī paaugstinās. Bet atšķirībā no oglekļa, šo rādītāju izmaiņas notiek nepasliktinoties tā plastiskajām īpašībām, kas spēlē ne mazsvarīgu lomu sliežu tērauda tehnoloģiskumam.
- Silīcijs (0,25 - 0,60%) aizvāc skābekļa paliekas, ar to uzlabojot iekšējo kristālisko struktūru. Pazemina riska iespējamību izveidoties likvācijai - sakausējuma ķīmiskajam

neviendabīgumam pēc sava ķīmiskā sastāva. Tas viss sniedz iespēju palielināt dzelzceļa sliežu ceļu ilgmūžību 1,3 - 1,5 reizes.

- Vanādijs (0,08 - 0,15%) atbild par sliežu kontakta izturību. Pievienojot to sakausējumam, tas tūlīt saistās ar oglekli, veidojot vanādijs karbīdus. Šim savienojumam ir paaugstināta nodilumizturība un blīvums, tādējādi paaugstinot sakausējuma izturības robežas zemāko sliekšni.
- Slāpekļi (0,010 - 0,020%) attiecas uz kaitīgo piemaisījumu grupu. Tā negatīvā ietekme izpaužas kā tērauda leģēšanas ar vanādijs neitralizēšana. Tas ir, karbīdu vietā veidojas vanādijs nitrīdi. Tiem ir zemas vērtības mehāniskās īpašības. Nav spējīgi termostiprināties. Kopumā dārgā leģēšana ar vanādijs tiek neitralizēta.
- Fosfors (līdz 0,020%) pieder pie nevēlamo elementu sastāva grupas. Tā galvenais negatīvais efekts ir trausluma paaugstināšana. Dzelzceļa klātnē piemīt pietiekama cietība, bet pie tā nav pienācīgas stiprības. Tas viss noved pie lielas varbūtības, ka veidosies plaisas un tam sekojošs slīdes lūzums.
- Sērs (līdz 0,020%) pazemina tērauda tehnoloģiskos parametrus. Sakausējuma pakļāvīgums tā karstās apstrādes laikā strauji krītas. Rodas paaugstināts plaisu veidošanās risks. Slīdes, kuras saņemtas no tāda tērauda, tiek nosūtītas kā brāķis paaugstināta trausluma dēļ [12].

Mūsdienās slīdes velmē tikai no tērauda lietņiem. Tēraudu izgatavo konverteros pēc Besemera paņēmiena vai martenkrāsnīs. Besemera tēraudu iegūst izkausētā čuguna caurpūšanas ar skābekli rezultātā (15 - 18 min.). Tā rezultātā izdeg ogleklis un daļa piemaisījumu. Martentēraudu vāra no čuguna un tērauda lūžņiem lielās krāsnīs ar tilpumu no 200 līdz 1500 tonnām dažu stundu laikā. Šis tērauds ir tīrāks un mazāk aukstlūzens nekā Besemera. Smagā tipa (R65 un R75) slīdes velmē tikai no martentērauda. Sliežu tērauda kvalitāte tiek noteikta pēc tā ķīmiskā sastāva, mikro un makro struktūrām [43]. Tērauda ķīmiskajam sastāvam, kurš tiek noteikts pēc kausa parauga jāatbilst 1.1. tabulā parādītajām vērtībām.

1.1. tabula

Sliežu R50, R65, R75 ķīmiskā sastāva vērtības saskaņā ar
standartu GOST R 51685 - 2013

Tērauda marka	Elementu masas daļa, %								
	C	Mn	Si	V	Cr	N	P	S	Al
	Ne vairāk								
90HAF	0,83-0,95	0,75-1,25	0,25-0,60	0,08-0,15	0,20-0,60	0,010-0,020	0,020	0,020	0,004
76HAF	0,71-0,82	0,75-1,25	0,25-0,60	0,05-0,15	0,20-0,80	0,010-0,020	0,020	0,020	0,004
76HF	0,71-0,82	0,75-1,25	0,25-0,60	0,03-0,15	0,20-0,80	-	0,020	0,020	0,004

76HSF	0,71- 0,82	0,75- 1,25	0,30- 1,10	0,05- 0,15	0,50- 1,25	-	0,020	0,020	0,004
90AF	0,83- 0,95	0,75- 1,25	0,25- 0,60	0,08- 0,15	-	0,010- 0,020	0,020	0,020	0,004
76AF	0,71- 0,82	0,75- 1,25	0,25- 0,60	0,05- 0,15	-	0,010- 0,020	0,020	0,020	0,004
76F	0,71- 0,82	0,75- 1,25	0,25- 0,60	0,03- 0,15	-	-	0,020	0,020	0,004

Piezīmes: Pie tērauda markas apzīmējuma priekšpusē pievieno burtu "K" konverteru krāšņu un burtu "E" elektrokrāšņu tēraudiem, cipari - vidējo oglekļa masas daļu. Burti "F", "S", "H", "A", "T" - tērauda leģēšanu ar vanādiiju, silīciju, hromu, slāpekli, titānu.

Atlikušo elementu masas daļa tēraudā nevar pārsniegt:

- varš - 0,20%;
- niķelis - 0,20% OT350HH, DT350HH, OT350 un DT350 kategorijas sliedēm
- niķelis un varš summāri - 0,27%;
- hroms - 0,20%;
- titāns - 0,010%.

Pie tā norādīto elementu summārās masas daļas un hroma, ja tas ir kā atlikušais elements, jābūt ne vairāk kā 0,40%.

1.2. tabulā attēlotas pieļaujamās atkāpes pēc ķīmiskā sastāva.

1.2. tabula

Pieļaujamās atkāpes sliežu ķīmiskajam sastāvam ir ne vairāk %

C	Mn	Si	V	Cr	N	P	S	Al
±0,02	±0,05	±0,02	+0,02	±0,02	±0,005	+0,005	+0,005	+0,001

Pie tam, kopējā skābekļa masas daļa sliedēs nedrīkst pārsniegt 0,0020% (20 ppm).

Saskaņā ar Eiropas datiem pēc 60 E1 tipa sliežu tērauda ķīmiskā sastāva standarta EN 13674 - 1:2011 parādīti 1.3. tabulā [13].

1.3. tabula

60 E1 tipa sliežu tērauda ķīmiskā sastāva galveno rādītāju vērtības saskaņā ar

Eiropas standartu EN 13674 - 1:2011

Tērauda marka	Elementu masas daļa, %				
	C	Si	Mn	P	S
R350HT , R350LHT	0,72 - 0,80	0,15 - 0,58	0,70 - 1,20	0,020	0,025
R260	0,62 - 0,80	0,15 - 0,58	0,70 - 1,20	0,025	0,025

Piezīmes: R350HT - sliedes no oglekļmangāniskā (C-Mn) tērauda, termiski apstrādāta; R350LHT, R260 - sliedes no mazlēģētā tērauda, termiski nestiprināta [26].

Kā zināms katrs ķīmiskā elementa procentuālais daudzums ir ar savām īpašībām sliežu tēraudā, galvenās no kurām:

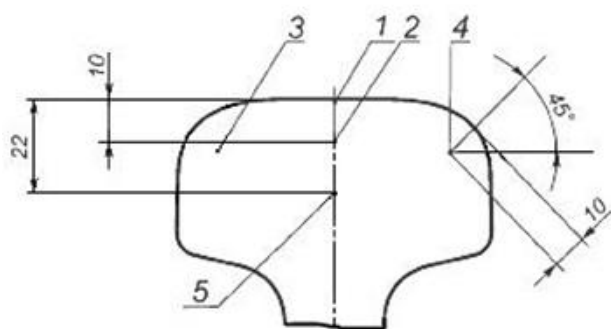
- **Ogleklis** - palielina cietību un nodilumizturību sliežu tēraudam. Tomēr, jo augstāks oglekļa daudzums, jo vairāk pie citiem vienādiem apstākļiem tērauda trauslums palielinās un ir apgrūtināta sliežu aukstā labošana.
- **Silīcijs** - uzlabo tērauda kvalitāti, paaugstinot metāla cietību un tā pretestību nodilumam.
- **Mangāns** - palielina tērauda cietību un nodilumizturību, nodrošinot tam pietiekamu viskozitāti.
- **Fosfors un sērs** - kaitīgie piemaisījumi, tie piedod tēraudam trauslumu: pie liela fosfora daudzuma, sliedes kļūst aukstlūzenas, pie liela sēra daudzuma - sarkanlūzenas.

Termostiprināto sliežu R50, R65 un R75 tipa galviņā tērauda cietības vērtībai pēc standarta GOST R 51685 - 2013 [61] jāatbilst normām, parādītām 1.4. tabulā, bet 60 E1 tipa sliedēm Eiropas standarta EN 13674 - 1:2011 [10] normām, parādītām 1.5. tabulā. Vienas sliedes ritvirsmas cietības vērtības starpība nedrīkst pārsniegt 30 HB. Cietības mērījumu punkti sliedes galviņai parādīti 1.2. attēlā. Pieļaujamās atkāpes punktu izvietojumam: ± 1 mm, $\pm 3^\circ$.

1.4. tabula

Termostiprināto sliežu R50, R65, R75 cietības vērtības pēc Brunela (HB, HBW) saskaņā ar Krievijas standartu GOST R 51685 - 2013

Noteikšanas vieta	Sliežu cietības kategorijas			
	OT370IK	OT350 OT350NN OT350SS	DT350 DT350NN DT350SS DT350VS	NT320 NT320VS
Uz galviņas ritvirsmas (punkts 1)	370-409	352-405	352-405	321-363
10mm dziļumā no galviņas ritvirsmas pa sliedes vertikālo asi (punkts 2), ne mazāk	363	341	341	321-363
10mm dziļumā no sliedes virsmas (punkti 3 un 4), ne mazāk				
22mm dziļumā no galviņas ritvirsmas pa sliedes vertikālo asi (punkts 5), ne mazāk	352	321	321	321



1.2. att. Sliedes galviņas cietības mērījumu punkti [61].

60 E1 tipa sliedes galviņas sliežu tērauda cietības noteikšana attēlota 1.5. tabulā.

1.5. tabula

60 E1 tipa termostiprinātas sliedes cietības vērtības pēc eiropas standarta EN 13674 - 1:2011

Tērauda marka	Cietības diapazons, HB
R350HT , R350LHT	350 – 390
R260	260 – 300

Krievijas dzelzceļā tiek izmantotas dažādu veidu tēraudu markas pēc saviem raksturojumiem un nozīmēm (GOST R 51685 - 2013). Tomēr pēc ķīmiskā sastāva, cietības ir līdzīgas Eiropas standartam EN 13674 - 1:2011.

1.2. Sliežu tērauda defekti

Pirmsvelmējuma karsēšana un velmēšana ir ne mazāk svarīgas kvalitāti formējošas tehnoloģiskās operācijas kā izkausēšana un tērauda izliešana. Karsēšanas stadijā, ietekmējoties no metalurģiskajiem faktoriem, notiek nepieciešamā plastiskuma veidošanās (spēja deformēties bez sairšanas) un tērauda pretestības plastiskajai deformācijai mazināšana. Karsēšanas galvenie negatīvie faktori ir: intensīva karstuma iedarbība no sakarsēto krāšņu gāzēm uz aukstu sagatavi, veicot tās iekraušanu krāsnī un tērauda atrašanās ilgums augsto temperatūru zonā (900 – 1250 °C) metodiskās krāsns oksidējošā atmosfērā. Velmēšanas laikā notiek metāla plastiskā deformācija. Pie tā ievērojama loma ir temperatūras režīmam, saspiešanas režīmam un veltnišu kalibrēšanai. No to racionālas izvēles ir atkarīga vairākumu defektu evolūcija, radušos tēraudliešanas rezultātā. Īpaši iekšējās plaisas var attīstīties, parādīties virspusē, oksidēties un novest sliežu virsmu līdz brāķim vai arī aizvārties pie plastiskās deformācijas, saglabājot augstas metāla mehāniskās īpašības bijušā defekta zonā. Bez esošo defektu transformācijas velmēšanas pārstrāde ir pašu defektu avots, vairākums no kuriem attiecas uz virsmu kategoriju.

1.2.1. Karsēšanas defekti

Plaisas

Karsējot nepārtraukti lieto sagatavi no aukstās sēžas, īpaši ziemas laikā, ir iespējamība, ka radīsies vienlaidības pārtraukumi, saistīti ar temperatūras spriegumu darbību. Šādos apstākļos rodas aukstās plaisas. No plaisu veidošanās viedokļa bīstams ir temperatūru intervāls 0 – 600 °C, kas atbilst karsējošās krāsns metodiskajai zonai. Pie vēl augstākām temperatūrām, tērauds kļūst plastisks un notiek spriegumu relaksācija. Metāla kvalitātei visiznīcinošākās temperatūras režīma darbības sekas ir sagataves sairšana pa daļām, kas var notikt veicot atdzesēšanu noliktavā vai arī tieši krāsnī, kas tiek pavadīts ar trokšņa efektu (sprādzienu, sprakšķi). Metodiskajās krāsnīs pa daļām sairušās sagataves sakrīt starp kustīgām sijām un izjauc turpmāko tehnoloģisko procesu - metāla virzību pa krāsni. To aizvākšana, likumsakarīgi, ir apgrūtināta. Veicot karsēšanu, metāla virsmas slāņiem ir augstāka temperatūra nekā centrālajiem un tie tiecas uz pagarināšanos. Iekšējie slāņi aizkavē šo procesu. Atbilstoši, virsējos slāņos rodas saspiešanas spriegums, bet ass daļā - stiepes, kas ir bīstamāki no plaisu veidošanās iespējamības skatoties. Atliku spriegumi, kuri rodas nepārtraukti lielās sagatavēs pēc atdzesēšanas, summējas ar īslaicīgiem spriegumiem no karsēšanas un ar to pastiprina iespējamību veidoties plaisām tieši ass zonā nepārtraukti lietajā sagatavē, vājinātu ar porām, mikroplaisām un likvātiem [35].

Iekšējās plaisas var kļūt par iemeslu, lai rastos dobumi, un deformācijas procesā var izveidoties virsmas plaisa. Tas vai cits sairšanas veids var tikt atklāts tikai pēc velmēšanas pabeigšanas.

Oksidēšanās (oksīda kārtiņas veidošanās)

Vispārējā gadījumā, kā tērauda oksidēšanos saprot procesu ar gāzu mijiedarbību (gaiss, degvielas sadegšanas produktiem vai kontrolējamās atmosfēras) ar dzelzi (Fe), kam seko oksīda kārtiņas veidošanās (plāva) uz metāla virsmas. Pielietojot tērauda karsēšanu liesmu krāsnīs, pirms apstrādes ar spiedienu, kā galvenās oksidējošās gāzes ir: ogļskābā gāze (CO₂), skābeklis (O₂), ūdens tvaiks (H₂O), sēra dioksīds (SO₂). Dzelzs oksidēšanas reakcija ir ekzotermiska un notiek šādu formulu veidā (1.1. – 1.7.):





Dzelzs slāņa ar biezumu 1mm oksidēšanās procesā veidojas plāvas kārtiņa biezumā līdz 2,80 mm. Augstas temperatūras oksidēšanās ir skābekļa un metāla atomu pretējās reakciozās difūzijas process caur cieto fāžu kristālisko režģi, no kuriem sastāv plāva [35].

Virnojums - virsmas defekts sīku iedobumu veidā, kuri veido joslas vai tīklu un novērojami pēc velmētās plāvas aizvākšanas (virnojuma dziļums no iespiestās plāvas var sasniegt 1,00 – 1,50 mm);

Iedobes un plāvas - virsmas defekts atsevišķu iedobumu veidā, daļēji izstieptas gar velmējuma virzienu, kuras veidojas, izkrītot velmētajām plāvām (atšķiras no virnojuma ar lieliem izmēriem un mazu skaitu).

Saskaņā ar GOST R 51685 - 2013 sliežu virsmai jābūt bez iedobēm no plāvas un virnojuma [35].

Oksidēšanās (plāva) dod negatīvu ietekmi ne tikai uz metāla produkcijas kvalitāti, bet arī uz karsēšanas krāšņu un velmēšanas iekārtu darbību.

Karsēšanas galvenie defekti ir plaisas un oksidēšanās.

Plaisas veidojas spiedes sprieguma virsējos slāņos, ass - stiepes, kas ir bīstamākas ar iespējamību veidoties plaisām. Atliku spriegumi lietajās sagatavēs pēc dzesēšanas summējas ar īslaicīgajiem spriegumiem no karsēšanas un ar to pašu pastiprina iespējamību veidoties plaisām tieši asu zonā nepārtraukti lietajā sagatavē, vājinātu ar porām, mikroplaisām un likvātiem. Iekšējās plaisas var būt par iemeslu izveidoties dobumiem un deformācijas procesā izveidot virsmas plaisu. Oksidēšanās veido plāvas slāni, kas veido virsmas defektus - virnojumu un iedobes no plāvas.

1.2.2. Velmējuma defekti

Deformācijas ierāvumi

Deformācijas ierāvums - virsmas defekts atvērta plīsuma veidā, izvietota šķērsām vai zem leņķa metāla lielākā stiepuma virzienā, veicot velmēšanu. Deformācijas ierāvumi veidojas tērauda pazeminātā plastiskuma rezultātā. Ievērojot izkausēšanas, izliešanas un karsēšanas tehnoloģiju, sliežu tērauds iegūst pietiekami augstu plastiskumu plašā temperatūras intervālā un tam nav raksturīgs dažādu veidu pazemināts plastiskums. Plastiskuma pazemināšanās, kā likums, rodas, ja netiek ievēroti karsēšanas un velmēšanas temperatūras režīmi, ja ir tērauda pārkaršana, pārdedzinājums, nesasildījums vai pārlieta dzesēšana (sastindzināšana) velšanas deformācijas procesā.

Veicot sliežu profila velmēšanu deformācijas ierāvumi visbiežāk veidojas pēdas malas un galviņas sānu šķautnes zonā, 1.3. attēls.



1.3. att. Deformācijas ierāvums [50].

Mikropieslīpējumos ierāvumu vietās tiek novērots metāla vienlaidības bojājums brīvajā orientācijā. Defekta zonā var atrasties velmētā plāva, elementu likvācijas pēdu trūkst [50].

Velmējuma atlobījums

Velmējuma atlobījums - virsmas defekts, kas izpaužas kā metāla atslāņošanās mēles veida formā 1.4. att. ar vienu pusi savienotam ar pamatmetālu. Velmējuma atlobījumi veidojas velmējuma ierāvumu, nogriezum, defektu nolīdzināšanas pēdu, virsmas rupju mehānisko bojājumu norullēšanas vai rupjas kalibru izstrādes rezultātā.

Mikropieslīpējumos atlobījuma apakšējā virsma parasti ir oksidējusies, metāls zem tā pārklāts ar plāvu un dekarbonizēts.



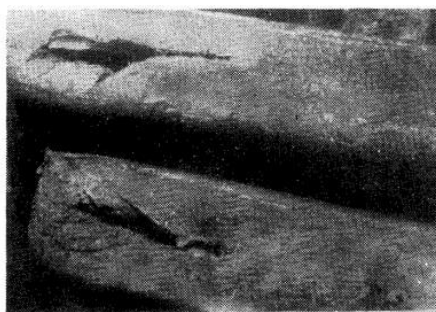
1.4. att. Defekts – velmējuma atlobījums [50].

Mikropieslīpējumos atlobījuma apakšējā virsma parasti ir oksidējusies, metāls zem tā pārklāts ar plāvu un dekarbonizēts [50].

Atradzis

Atradzis - virsmas defekts, kas izpaužas kā garenisks izvirzījums no vienas vai divām pretējām profila pusēm, ar atbilstoša kalibra spraudsavienojumu, 1.5. attēls. Atradzis ir ar ievērojamu garumu (citreiz visā velšanās garumā), veidojas pārpildītā kalibra, nepareizas kalibrēšanas un stāva iestatīšanas, pazeminātas metāla temperatūras rezultātā. Krasi izceltu divpusēju atradzi dažreiz sauc par lampasu.

Piemērojot sliežu velmēšanai, lampasu nosaka kā platu metāla izvirzījumu uz sliedes galviņas gar velmējumu, bet atradzi kā šauru izvirzījumu uz pēdas malas veltnīša jaukšanas vietā.



1.5. att. Virsmas defekts – atradzis [50].

Atradža pāreja pie virsmas parasti ir laidena, mikrostruktūra defekta zonā atbilst pamatmetāla virsmas struktūrai. Metāla struktūrā pa atradža kontūru tiek novērots dekarbonizētā slāņa analogisks dziļums kā pa visu velšanās ārējo virsmu [50].

Aizvelmējums

Aizvelmējums - virsmas defekts, izpaužas kā pievelmēts gareniskais izvirzījums 1.6. att. (metāla uzvelmējums ar līdzenu malu), veidojošos, piemēram, atradža, nogriezuma, nolīdzināšanas pēdu, rišu aizvelmējuma, sagataves nepareizas padošanas kalibrā rezultātā. Defekts ir ar ievērojamu garumu - līdz vairākiem metriem.

Aizvelmējuma garums izvietots zem šaura leņķa pie velmējuma virsmas. Mikroslīpējumos kā raksturīga aizvelmējuma identifikācijas pazīme ir nesazarots spics defekta gals, apliekts ar šķiedru (deformācijas tekstūru). Defekta dobums parasti ir platāks pie virsmas un laideni sašaurinās dziļumā, tā sieniņas ir gludas. Aizvelmējuma zonā tiek novērota dekarbonizācija, sīki oksīdi, velmētā plāva 1.6. att.



1.6. att. Virsmas defekts – aizvelmējums [50].

Veicot atradža iespiešanu, aizvelmējums var atrasties perpendikulāri metāla virsmai un tam var būt sirpjveida gals. Elementu likvācija defekta zonā nav [50].

Rise (ieskrambājums)

Rise (ieskrambājums) - virsmas defekts rievās veidā bez malas izvirzījuma ar noapaļotu vai plakānu (kausveida) dibenu. Defekta veidošanos saista ar velmējuma virsmas skrāpējumu nolietota velmējuma stiegrojuma dēļ. Defekta izvietojums pa sliežu profila perimetru ir brīvs. Uz sliežu profila virsmas var būt vairākas rises, paralēli cita citai un velmējuma asij.

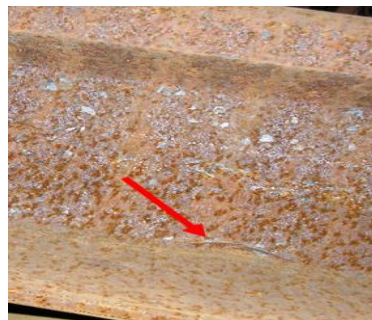


1.7. att. Virsmas defekts - rise sliedes kakliņā [50].

Mikroslīpējumos rises dobums ir perpendikulārs virsmai, raksturīga rises pazīme ir neass plats gals 1.7. att. Rises ir bez struktūras izmaiņām, nesatur nemetāliskus ieslēgumus un elementu likvāciju [50].

Nospiedumi (iespiedumi)

Nospiedumi (iespiedumi) - virsmas defekts, kas izpaužas kā iedobumi vai izciļņi, izvietoti pa visu garumu (parasti ar noteiktu periodiskumu) vai atsevišķos velmējuma iecirkņos 1.8. att. [50]. Mikrostruktūras izmaiņas apkārt defektam nav novērotas vai arī vērojama daļēja dekarbonizācija. Elementu likvācija defekta zonā nav. Defekta veidošanās saistīta ar izciļņu esamību vai iedobumiem uz velmējuma veltnīšiem, veidojot nospiedumus velmējumā.

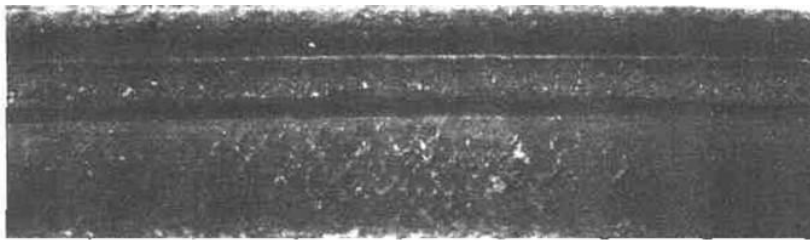


1.8. att. Virsmas defekts - iespiedums, kakliņa pārejas vietā uz pēdu [50].

Defekta veidošanās saistīta ar izciļņu esamību vai iedobumiem uz velmējuma veltnīšiem, veidojot nospiedumus velmējumā.

Krunka

Krunkas - virsmas defekts kā secīgu garenisko iedobumu un izciļņu grupa, kuri parasti izveidojas visā velšanās garumā, kā likums, zonā, atbilstoši veltnīša spraudsavienojumam. Defekta dziļums reti pārsniedz 1,00 mm, 1.9. att.



1.9. att. Virsmas defekts – krunkas [50].

Raksturīgas krunku pazīmes uz šķērseniskā mikroslīpējuma ir iedobumi ar gludām sienām un neasiem galiem, daļēji aizpildīti ar plāvu. Krunku virsmas dekarbonizētā slāņa biezums atbilst (dažos gadījumos nedaudz vairāk) velmējuma virsmas dekarbonizētā slāņa biezumam. Elementu likvācija defektu zonā nav [50].

Sprieguma plaisa

Sprieguma plaisa - aukstās plaisas, kuras rodas metāla velmēšanas vai dzesēšanas pēc tās procesos. Velmējumā plaisas var rasties ar temperatūras vai mehāniskiem spriegumiem. Sprieguma plaisas parasti ir līkumainas, ar mazu platumu, izvietotas zem taisna leņķa pie virsmas (1.10. att.) un laideni sašaurinās dziļāk, tām var būt atzarojumi vai dubultgals. Plaisas gals ir plāns, iet pa graudu robežu, 1.10. att.

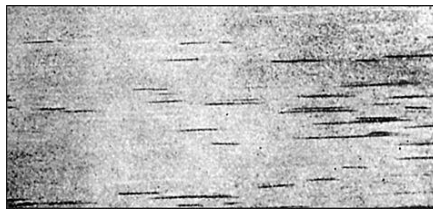


1.10. att. Sprieguma plaisa [12].

Atkarībā no rašanās temperatūras, plaisas dobumi var būt nedaudz oksidēti un dekarbonizēti. Nemetālisku ieslēgumu un likvātu sakrāšanās plaisas zonā nav [12].

Sīkplaisas

Sīkplaisas - defekti kā diegveidīgo nevienlaidību matveidīgie metālā, izvietoti gar deformācijas virzienu un novērojami pārtrauktu vai vienlaidu diegveidīgu virsmas plaisu formā 1.11. att. Iekšējās sīkplaisas tiek atklātas ar negraujošas kontroles metodi vai makroslīpējumos.

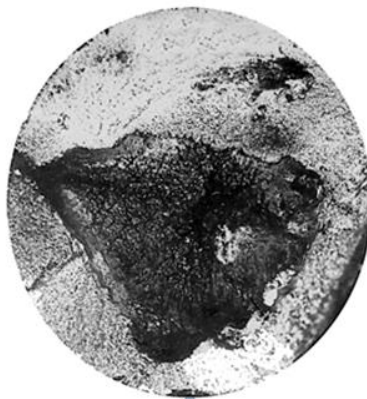


1.11. att. Sīkplaisas uz loksnes virsmas, atklātas ar kodināšanu, tērauds; ārējais skats ar X20 palielinājumu [35].

Sīkplaisas deformētā metālā ir sekas metāla izkausēšanas un izliešanas tehnoloģijas (metāla ar paaugstinātu piesārņotību un gāzu piesātinājumu izliešana) un lietņa apstrādes temperatūras un deformācijas tehnoloģijas neievērošanai [35].

Dobums

Dobums - defekts metāla rombiska plīsuma veidā ar platu atvērumu 1.12. att. Tiem ir nogludinātas un oksidētas sienīņas, kuras iziet uz velmējuma sānu virsmu un presētiem pusfabrikātiem. Makroslīpējumos un lūzumos dobums ir nevienlaidu skats metālā. Defekta vietā tiek novērota paaugstināta oksidēšanās, bet tēraudos - metāla virsējā slāņa dekarbonizācija.



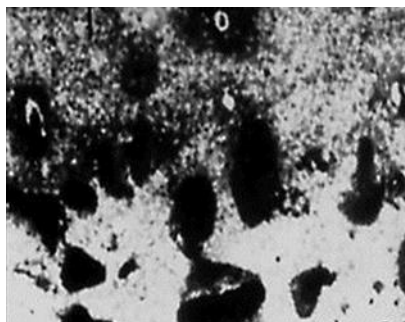
1.12. att. Dobums kā trīsstūra piltuve, velmējums, tērauds, lūzums [35].

Defekts rodas iekšējo plaisu (ieplēsumu) metālā atklāšanas rezultātā tā karstās deformācijas laikā. Dobuma rašanos stimulē lietņu nepietiekama sakarsēšana, kas samazina plastiskumu metāla centrālajiem slāņiem pie karstās deformācijas. Lielāka nosliece veidoties dobumiem ir augstlēģētiem tēraudiem un sakausējumiem [35].

Gāzes pūslītis

Gāzes pūslītis - tas ir dobums, kam ir noapaļota vai izstiepta forma, ar nogludinātu virsmu, atrodošos lietnī vai lējumā (slēgts pūslītis) vai izejošs uz virspusi (atvērts pūslītis). Atvērts gāzes pūslītis ir ar tumšu oksidēto virsmu, slēgtais - var būt kā ar tumšu oksidēto, tā arī ar

gaišu neoksidēto virsmu 1.13. att. Gāzes, kuras izdalās no metāla pie tā sacietēšanas, veido slēgtus vai atvērtus gāzes pūslītus. Gāzes, ieviesušās metālā no ārpuses - atvērtu gāzes pūslīti.



1.13. att. Gāzes pūslītis [35].

Gāzes pūslīši veidojas: paaugstināta gāzes satura metālā dēļ uz mitru šihtas materiālu rēķina, paaugstināta mitruma pūsmas un degviela, vārīšanās un kausējuma rafinēšanas režīmu neievērošana, nepietiekama tērauda un sakausējumu dezoksidēšana, metāla aizsardzības neesamība pie atgāzēm un iepildīšanas, gāzu veidošanās reakcija metālam sacietējot lietņos un lējumos [50].

Velmēšanas defekti ir: deformācijas ierāvums, velmējuma atlobījums, atradzis, aizvelmējums, rise, nospiedums, krunka, sprieguma plaisa, sīkplaisas, dobumi, gāzes pūslītis. Visi šie defekti veidojas metāla nepareizas velmēšanas un attīšanas rezultātā. Kā arī nepareizi kalibrējot mehānismus, kuri iesaistīti sliežu tērauda velmēšanas un velšanās procesos. Galvenie no tiem ir veltnīši (izciļņi, iedobumi, ieskrambājumi), uz veltnīša ritvirsmas rada šos defektus. Nepareiza tīrīšana, skrambas uz velmējuma virsmas ar nolietotu velmēšanas stiegrojumu, nolietota forma, lietņu nepietiekama karsēšana, karsēšanas un noliešanas formā tehnoloģijas neievērošana arī ir šīs defektu rindas rašanās iemesls [35].

1.2.3. Defekti metāla struktūrā

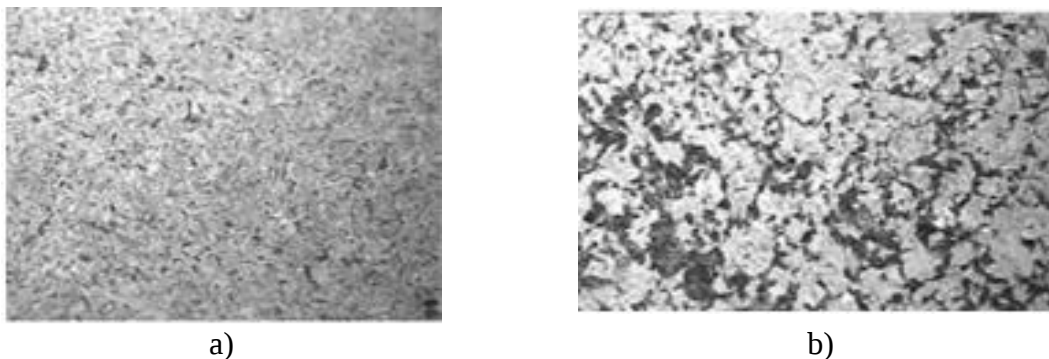
Virsmas izdrupšana

Galviņas ritvirsmas metāla lokālā apjoma nošķēlums, veidojot vietējo negludumu ar lielu laukumu ir sliedes virsmas izdrupšana 1.14. att.



1.14. att. Virsmas izdrupšana un sliedes galviņas nošķēlums [35].

Sliedes galviņas nošķēluma mikrostruktūra ar palielinājumu X500 attēlota 1.15. att.



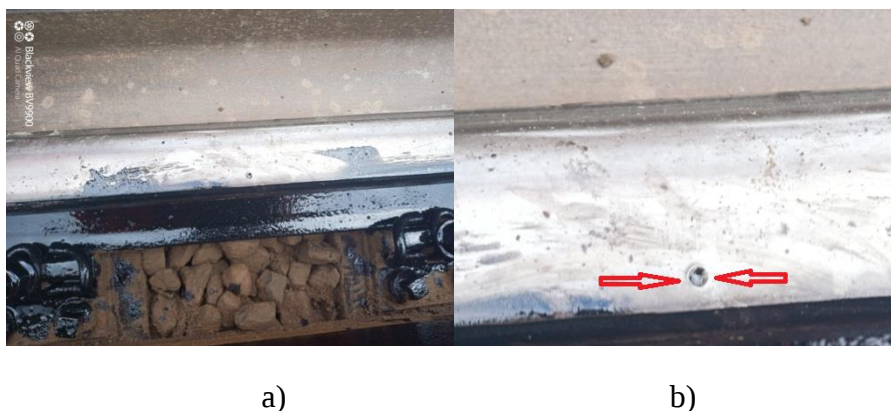
1.15. att. Sliedes galviņas mikrostruktūra ar X500 palielinājumu

a - martensīts; b - martensīts ar troastītu [35].

Defekts var attīstīties sliežu galviņas virsējā slāņa termiskās apstrādes tehnoloģijas neievērošanas rezultātā, var veidoties martensīta klases rūdīta struktūra, kas noved pie plaisu veidošanās, to attīstības ritošā sastāva riteņu iedarbības rezultātā uz sliežu galviņas ritvirsmu, ja ir metāla izdrupšana [35].

Mehāniskie bojājumi

Nošķēluma iespaidumi, mehāniskie bojājumi uz sliedes virsmas rodas mehāniskās iedarbības rezultātā 1.16. att.



1.16. att. Vispārējais skats a), b) - triecienu pēdas uz sliedes galviņas virsmas

Defekts rodas mehāniskās iedarbības rezultātā (triecieni u.c.) uz sliedi.

Metāla struktūras galvenie defektu veidi ir: virsmas izdrupšana un mehāniskie bojājumi. Šo defektu veidu rašanās kā likums saistīta ar sliežu termiskās apstrādes tehnoloģijas neievērošanu. Tāpat arī mehāniskā iedarbība uz sliedi (triecieni u.c.) ir rezultāts tam, ka sliedē rodas un attīstās defekts.

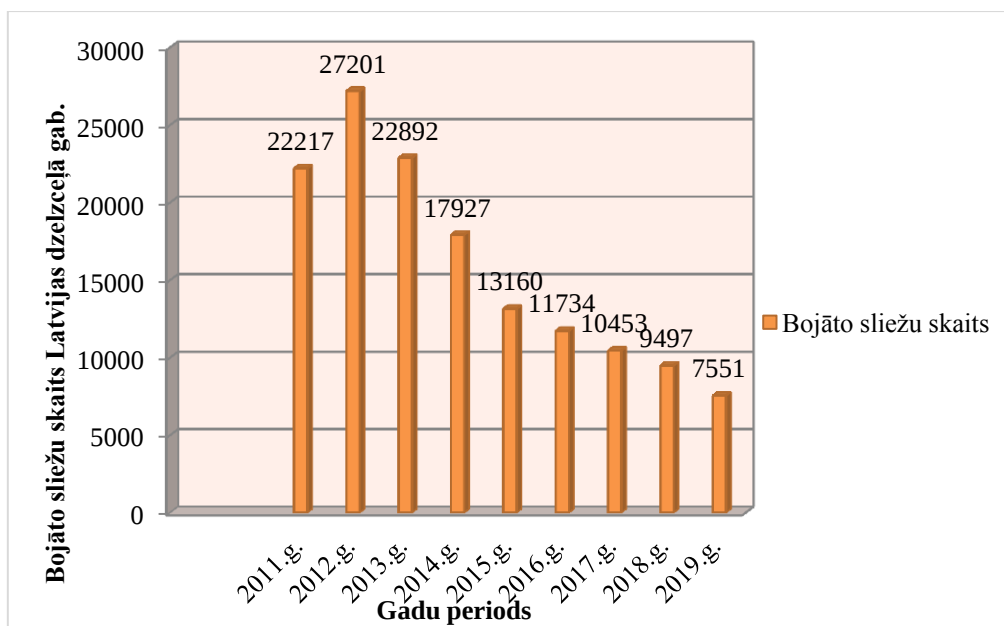
1.2.4. Pirmās nodaļas secinājumi

Sliedes ir neatņemama sliežu ceļa virsbūves daļa, augstās prasības, raksturojumi un īpašības, kas tām izvirzītas, liecina par to nozīmību drošā dzelzceļa ritošā sastāva pārvadājumu procesā. Sliežu tērauds sastāv no vairākiem ķīmiskajiem elementiem, kuru galvenie rādītāji ir oglekļa, silīcija, mangāna un kaitīgo piemaisījumu, kā fosfors un sērs, daudzums. Sliežu tērauda cietība ir viens no svarīgākajiem rādītājiem drošai ritošā sastāva caurbraukšanai pa tām, kurām jāatbilst esošajiem standartiem (GOST R 51685 - 2013, EN 13674 - 1:2011), kuri noteikti valstī, kurā tie pielietoti. Tomēr Krievijas GOST R 51685 - 2013, pielīdzināts pēc ķīmiskā sastāva un cietības, ir līdzīgi Eiropas standartam EN 13674 - 1:2011 pēc savām vērtībām.

No sliežu tērauda defektu analīzes novērots: ka karsēšanas defekti rodas augstu temperatūru un sliežu tērauda pārkaršanas rezultātā, velmēšanas defekti veidojas metāla nepareizas velmēšanas, velšanas rezultātā. Tāpat arī nepareizas mehānismu, kuri piedalās sliežu tērauda velmēšanas un velšanas procesā, kalibrēšanas dēļ. Nepareiza tīrīšana (rises), skrambas uz velmējuma virsmas nolietotā velmējuma stiegrojuma, nolietota forma, nepietiekama lietņu karsēšana, kausēšanas, kā arī izliešanas formās tehnoloģiju neievērošana arī ir iemesls, lai rastos rinda šo defektu. Metāla struktūras defekti kā likums saistīti ar sliežu tērauda tehniskās apstrādes tehnoloģijas neievērošanu un mehānisko iedarbību uz sliedi.

2. SLIEŽU DEFEKTU ANALĪZE “LATVIJAS DZELZCEĻĀ”

“Latvijas dzelzceļā” periodā no 2011.gada līdz 2019.gadam (2.1. att.) veikta statistiskā analīze savāktajai informācijai par bojātajām sliedēm [1].



2.1. att. Bojāto sliežu kopējā skaita statistika “Latvijas dzelzceļā” periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam.

No veiktās analīzes par bojātajām sliedēm (2.1. att.) periodā no 2012. gada līdz 2019. gadam redzams, ka “Latvijas dzelzceļā” ievērojami samazinājies bojāto sliežu skaits no 27201 līdz 7551 gb. Šajā laikā vislielākais bojāto sliežu skaits 27201 apmērā bijis 2012. gadā. 2013. gadā defektu skaits samazinājās līdz 22892 gabaliem. No 2014. gada līdz 2019. gadam defektu skaits ievērojami samazinājās no 17927 līdz 7551 defektiem, liecinot par to, ka “Latvijas dzelzceļā” prioritāte ir droša un nepārtraukta vilcienu kustība ar noteiktajiem kustību ātrumiem. Tomēr, neskatoties uz bojāto sliežu skaita samazināšanos, problēma paliek aktuāla “Latvijas dzelzceļā”. Galvenie I grupas defekti ir: metāla atslāņošanās un izdrupšana uz ritvirsmas [1].

Uz sliedes galviņas ritvirsmas visizplatītākie ir šādi defekti:

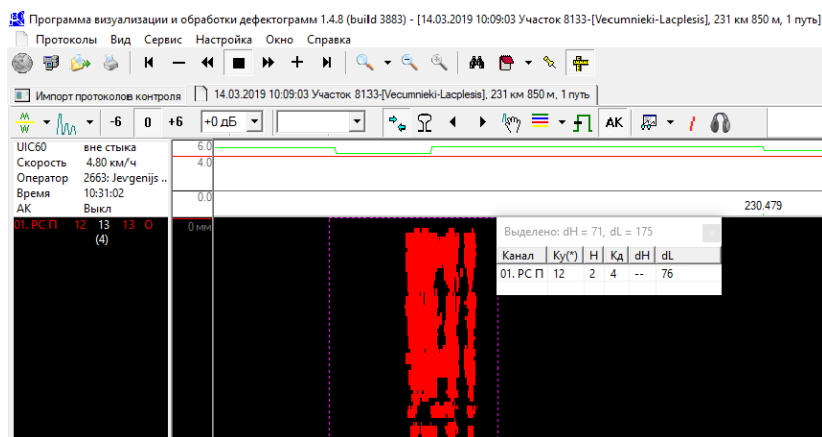
- X 10.1-2 metāla atslāņošanās un izdrupšana uz ritvirsmas;
- X 11.1-2 izdrupšana galviņas darba veidgriezumā metāla kontakta noguruma stiprības nepietiekamības dēļ;
- X 17.1-2 metāla izdrupšana un atslāņošanās uz sliedes galviņas rūdītā slāņa virsmas.

Metāla atslāņošanās un izdrupšanas plaisas uz ritvirsmas ar kodu X 10.1-2 parasti rodas, ja ir pārkāpta sliežu izgatavošanas tehnoloģija (aizvelmējums, sīkplaisas, atlobījums u.c.) [4]. Šādi bojājumi labi atklājas vizuālās apskates laikā 2.2. att.



2.2. att. Atklātais defekts sliežu ceļa posmā Menta - Daudzeva 256 km 6 pk.

Tāpat šis defekts tiek kontrolēts ar mēraparātiem - lineālu, bīdmēru ar dziļummērītāju, kā arī ultraskaņas defektoskopija ir galvenā un perspektīvā metode, lai atklātu un kontrolētu šo defektu. 2.3. att. attēlots atšifrētais defekts vizualizācijas un defektogrammu apstrādes programmā 1.4.8.



2.3. att. Atšifrētais defekts ar kodu X 10.2 uz Lāčplēša stacijas galvenā sliežu ceļa.

No atšifrētās diagrammas redzams, ka defekta ieguluma dziļums ir 2 mm, bet defekta garums - 76 mm. Šis defekts iereģistrēts un iekļauts plānotajā nomaiņā. Tomēr, atklājot agrākā stadijā un nelielā dziļumā, līdz 1,50 mm, šo defektu var novērst, veicot slīpēšanu. Nodaļā 3.2. veikts detalizēts pētījums par šo bojāto sliedi ar kodu X 10.1., kurā sīkāk sniegti iemesli, kādēļ radās un attīstījās šis defekts, atklāšanas paņēmieni un norādījumi par ekspluatāciju.

Defekts ar kodu X 11.1-2, metāla plaisas un izdrupumi uz galviņas sānu darba veidgriezuma vai vidējās daļas, radušies no iekšpuses, vietējo nemetālisko ieslēgumu sakrāšanās dēļ, izstieptiem gar velmēšanas virzienu celiņa - rindiņas veidā vai radušies no sliedes ārējās virsmas sliežu metāla nepietiekamas kontakta noguruma stiprības dēļ, pēc

garantijas tonnāžas caurlaišanas [4], ir galvenais problemātiskais defekts kā “Latvijas dzelzceļā”, tā arī dzelzceļa transportā pasaulē.

Rašanās un attīstības iemesli

Sliežu tērauda metalurģiskās kvalitātes trūkumi (vietējo nemetālisko ieslēgumu sakrāšanās, izstieptiem gar velmēšanas virzieniem), nosaka metāla nepietiekamo kontakta noguruma stiprību. Visbiežāk tiek bojāta ārējo pavedienu darba šķautne sliežu ceļu līkņu iecirkņos ($R = 400 - 1000 \text{ m}$) 2.4. att. Izdrupšana sākas ar kontakta noguruma iekšējo garenisko plaisu veidošanos un attīstību sliedes galviņas darba veidgriezuma zonā. Kontakta noguruma plaisas tāpat veidojas no ritvirsmas uz sliedes galviņas vidējo daļu, pakāpeniski iedziļinoties zem ritvirsmas, veidojot izstieptas horizontālas kontakta noguruma plaisas. Bieži defekts rodas uz ārējo sliežu darba šķautņu veidgriezuma līknēs ar mazu rādiusu, var tikt pavadīts ar sānu nodilumu. No nedziļām kontakta noguruma virsējām paralēlām plaisām dažreiz rodas gareniska plaisa, kas iedziļinās visā attīstības laikā [52].

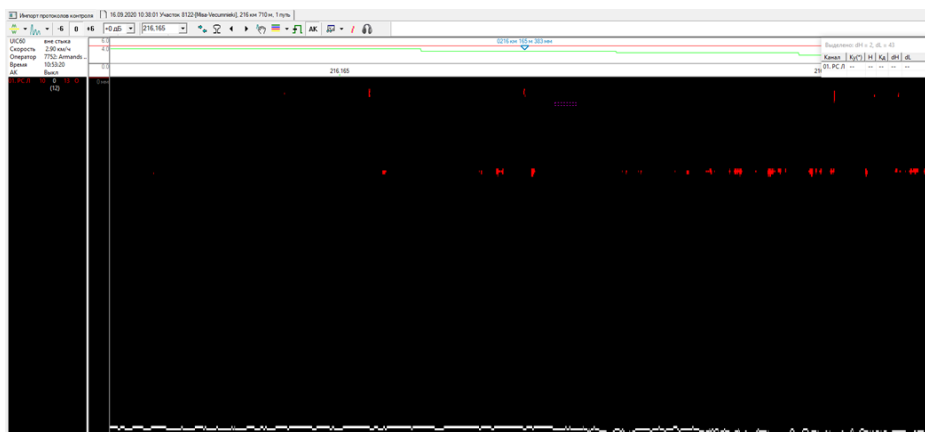


2.4. att. Atklātais defekts līknē $R = 708 \text{ m}$ Vecumnieku stacijas 1. galvenajā ceļā.

Defektam 11.1-2 būtu jāattiecinā gareniskās plaisas ar novietojuma dziļumu līdz $8,00 \text{ mm}$. Kontakta noguruma garenisko plaisu attīstība noved pie izdrupumu veidošanās. Lielāku bīstamību rada no defekta 11 (gareniskā plaisa) iespējamās šķērseniskās noguruma plaisas rašanās (defekts 21.1-2).

Atklāšanas paņēmieni

Ārējā apskate, sliedes galviņas lineāro izmēru kontrole ar mēraparātiem (lineāls, bīdmērs ar dziļummērītāju, universālo šablonu mēru Izmeron 00316 modelis u.c.), ultraskaņas defektoskopija robežās $\pm 300 \text{ mm}$ no varbūtējā defekta griezuma. 2.5. att. parādīts šis defekts kā atšifrētā defektogramma [4].



2.5. att. Slides ārējā pavediena izdrupumi pa visu veidgriezuma griezumam.

Veicot ultraskaņas defektoskopiju, nepieciešams pārliecināties par šķērseniskās plaisas neesamību zem izdrupumiem vai zem horizontālās plaisas.

Norādījumi par ekspluatāciju

Kustības ātrumam 140 km/h un mazāk, slides ar defektu 11, dziļumu **h** vairāk kā 2,00 mm ar garumu **l** (gar sliedi) vairāk kā 25,00 mm un platumu **a** (šķērsām slidei) mazāk kā 35 mm (**«šaurie»**), kā arī ar dziļumu **h** vairāk kā 1,00 mm ar garumu **l** (gar sliedi) vairāk kā 25,00 mm un platumu **a** (šķērsām slidei) 35,00 mm un vairāk (**«platie»**) un bez tam, ar dziļumu vairāk kā 6,00 mm (līdz 8,00 mm) ar garumu līdz 25,00 mm (**«īsie»**), uzskata par bojātām [52].

Ar mērķi attālināt defekta 11 veidošanās sākumu un samazināt tā dziļumu, garumu un platumu, jāveic slides galviņas profila periodiskā slīpēšana atbilstoši esošajiem Tehniskajiem norādījumiem slīpēšanai.

Pēc slīpēšanas veikšanas tiek uzlaboti sliežu defektoskopijas apstākļi, pazeminās citu analogisku defektu veidošanās galviņā un šķērsenisko plaisu, kuras attīstās defekta 11 aizsegā, iespējamība. Līdz defekta novēršanai ar slīpēšanu vai uzkausēšanu, vai arī (ja nav iespējams vai nav mērķtiecīgi to veikt), līdz bojātās slides nomaiņai jābūt ierobežotam kustības ātrumam pa to atkarībā no defekta dziļuma **h**:

«šaurajiem» defektiem - kustības ātrums ne vairāk kā -

- 120 km/h pie $2,00 < h \leq 3,00$ mm,
- 100 km/h pie $3,00 < h \leq 4,00$ mm,
- 70 km/h pie $4,00 < h \leq 6,00$ mm un nomaiņa plāna kārtībā,
- 40 km/h pie $6,00 < h \leq 8,00$ mm un nomaiņa pirmkārt,
- 25 km/h pie $8,00 < h$.

«platajiem» defektiem - kustības ātrums ne vairāk kā -

- 120 km/h pie $1,00 < h \leq 2,00$ mm,
- 100 km/h pie $2,00 < h \leq 4,00$ mm,
- 70 km/h pie $4,00 < h \leq 6,00$ mm un nomaiņa plāna kārtībā,
- 40 km/h pie $6,00 < h \leq 8,00$ mm un nomaiņa pirmkārt,

- 25 km/h pie $8,00 < h$.

«Īsajiem» defektiem - kustības ātrums ne vairāk kā -

- 40 km/h pie $6,00 < h \leq 8,00$ mm un nomaiņa pirmkārt,
- 25 km/h pie $8,00 < h$.

Defekta dziļumu un platumu izmēra tā lielākās attīstības vietā, bet garumu - pa šā defekta garumu gar sliedes galviņu. Ja no atsevišķiem defektiem izveidojusies ķēdīte, defekta garumam tiek iekļauti tie no blakus defektiem, kuri atrodas attālumā, mazākā par vismazākā garumu no diviem blakus defektiem. Ja horizontālā plaisa (gar sliedi) ir vairāk kā 70,0 mm, kuru vērtē pēc dibensignāla pazušanas ultraskaņas kontroles veikšanas gaitā, sliedi uzskata par ļoti bojātu un tai jābūt nomainītai nekavējoties. Defekta attīstības novērošanu veic kārtējās sliežu pārbaudes laikā. Atklājot šķērsenisko plaisu (defekts 21) defekta 11 izveidošanās vietās, jārikojas atbilstoši sliežu ar defektiem 21 ekspluatācijas nosacījumiem [4].

Defekts ar kodu X 17.1-2 tiek atšifrēts kā izdrupumi un metāla atslāņojums uz metāla virsmas sliedes galviņas rūdītā slāņā, kuras rodas un attīstās sliežu rūdīšanas neapmierinošas kvalitātes dēļ [4].

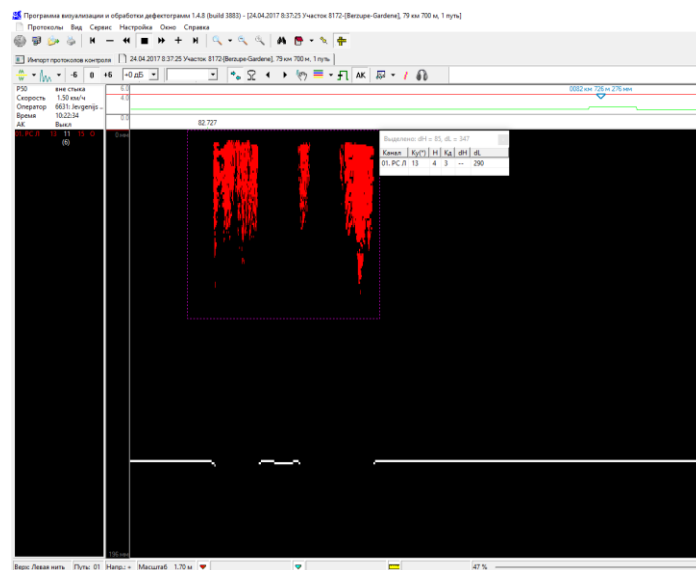
Rašanās un attīstības galvenie iemesli

Neievērojot sliežu rūdīšanas tehnoloģiju, rūdītajā slānī var rasties martensīta zona vai arī vietējās nevienmērīgās pārejas zonas pēc cietības no metāla rūdītā slāņa uz nerūdīto slāni. Ekspluatācijas procesā, iedarbojoties ritošajam sastāvam, šajās zonās rodas sliežu metāla atslāņošanās un izdrupšana 2.6. att. Defekta parādīšanās paātrinājumu stimulē sliežu galu izlocījums.



2.6. att. Izdrupumi uz sliedes galviņas virsmas Vecumnieku stacijā.

Šī defekta atklāšanas galvenie paņēmieni ir analogiski iepriekš minētajiem defektiem. Tas ir: ārējā apskate, kontrole ar mēraparātiem, ultraskaņas defektoskopija. 2.7. att. attēlota atšifrētā defektogramma defektam ar kodu X 17.2.



2.7. att. Spilgti izteikts sliedes galviņas ritvirsma metāla atslāņojums.

No defekta atšifrējuma var secināt, ka šis defekts atrodas ārpus salaidnes 4 mm dziļumā un 290 mm garumā.

Vadoties pēc ekspluatācijas norādījumiem jāveic:

Ar mērķi attālināt defekta 17 rašanās sākumu un tā dziļuma, garuma un platuma samazināšanai, tiek rekomendēts, pēc iespējas īsākā laikā pēc jaunu sliežu likšanas sliežu ceļā, kā arī turpmākā sliežu ekspluatācijā, veikt periodisku sliežu galviņas ritvirsma slīpēšanu. Lai samazinātu dinamisko slodzi, it īpaši sliežu salaidumu vietās, nepieciešams nodrošināt gulšņu epīras, salaidnes spraugu izmērus, savlaicīgi nodrošināt bojāto sastiprinājumu nomaiņu un nosēšanās novērošanu. Sliedes galviņas slīpēšana samazina defekta 17.1-2 garenisko plaisu rašanās un attīstības iespējamību [52].

Sliedes, kurām ir metāla izdrupumi uz ritvirsma attiecina uz bojātām, ja garums izdrupumam ir vairāk kā 25 mm un dziļums vairāk kā 1,00 mm.

Līdz sliežu slīpēšanas veikšanai vai, ja nav iespējams to veikt, atkarībā no garuma **l** un dziļuma **h**, metāla izdrupumam uz galviņas ritvirsma, līdz sliežu plānveida nomaiņai vai bojātā iecirkņa izgriešanai un ieliktna atjaunošanai ar metināšanu, kustības ātrums nedrīkst pārsniegt:

L > 25 mm

- ✓ 120 km/h pie $1,00 < h \leq 3,00$ mm,
- ✓ 100 km/h pie $3,00 < h \leq 4,00$ mm,
- ✓ 70 km/h pie $4,00 < h \leq 6,00$ mm.

Neatkarīgi no garuma

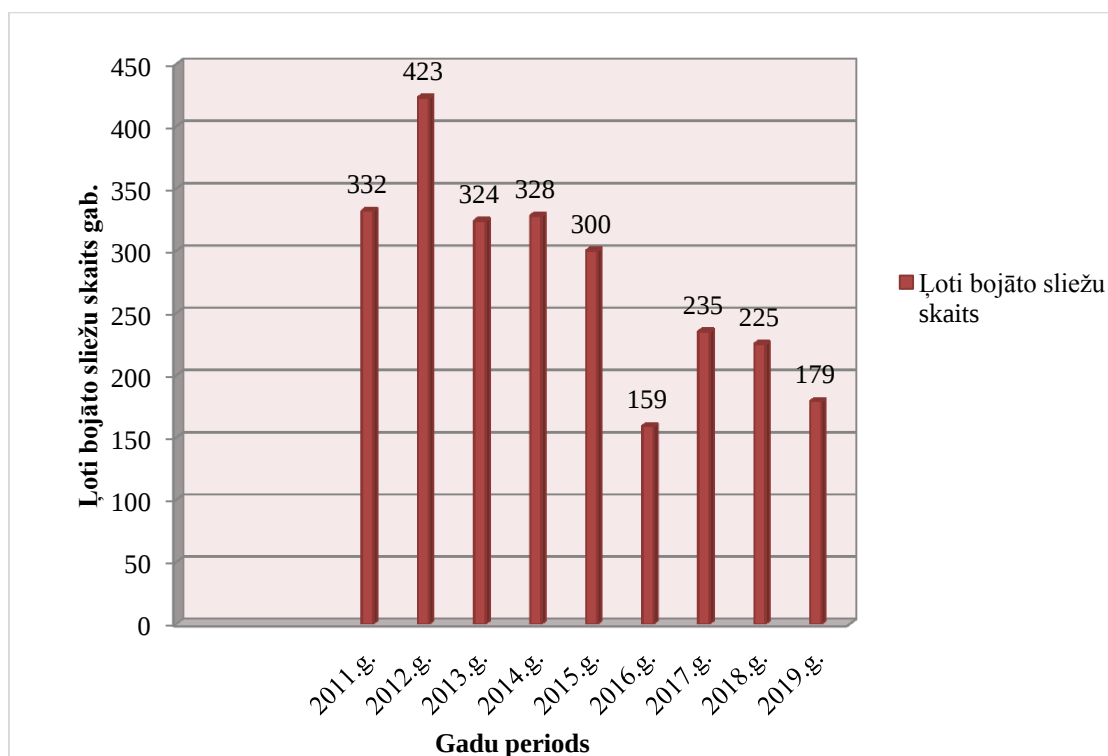
- ✓ 40 km/h pie $6,00 < h \leq 8,00$ mm,
- ✓ 25 km/h pie $8,00 < h$.

Defekta attīstības novērošanu veic kārtējās sliežu pārbaudes laikā. Defekta dziļuma mērījumus veic izdrupuma lielākā dziļuma vietā. Atklājot šķērseniskās plaisas metinātās sliežu salaidnes zonā, tās attiecina uz ļoti bojāto kategoriju un nomaina nekavējoties [4].

„Latvijas dzelzceļa” Ceļu pārvalde pielieto dažādas metodes bojāto vietu skaita samazināšanai. Viena no šīm metodēm ir periodiska sliežu slīpēšana ar sliežu slīpēšanas vilcienu.

2.1. Ļoti bojāto sliežu analīze Latvijas dzelzceļā

No 2011. gada līdz 2019. gadam Latvijas dzelzceļā veikts ļoti bojāto sliežu statistiskās analīzes pētījums. Katra atklātā ļoti bojātā sliede pirmkārt ir draudi ritošā sastāva kustības drošībai. Tātad, saskaņā ar esošo instrukciju C-010 [4], šī ļoti bojātā sliede jānomaina pirmkārt 5 stundu laikā no atklāšanas momenta. Attēlā 2.8. parādīta atklāto ļoti bojāto sliežu diagramma Latvijas dzelzceļa tīklā.



2.8. att. Ļoti bojāto sliežu kopīgā skaita statistika Latvijas dzelzceļā no 2011. gada līdz 2019. gadam.

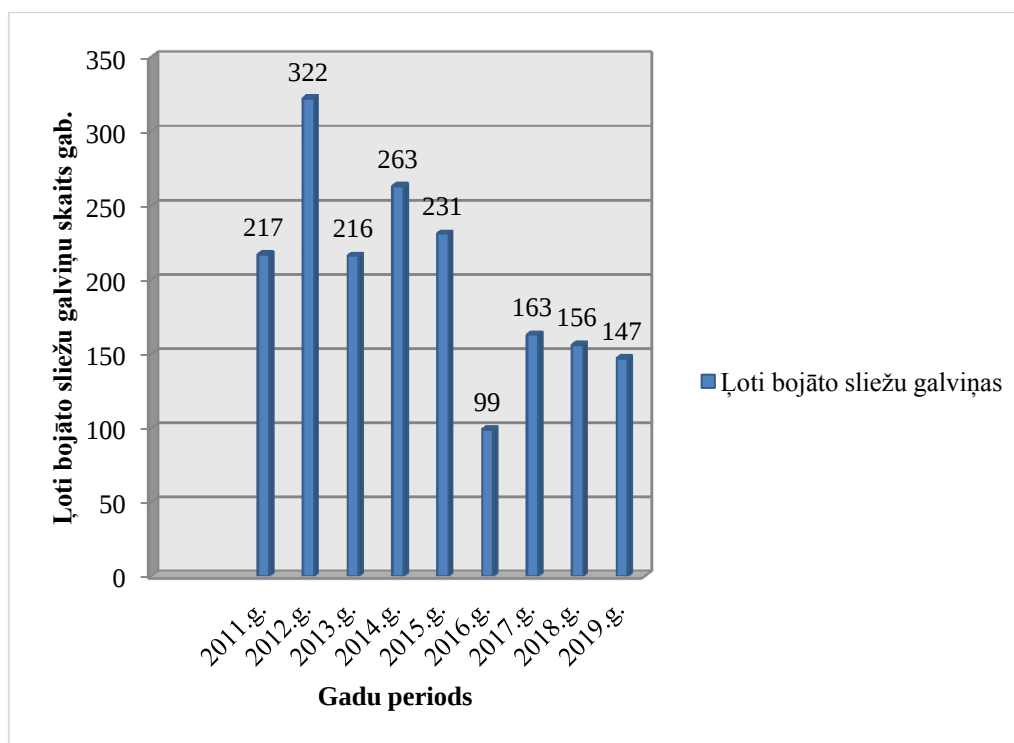
Statistiskā diagramma periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam atklāja 2495 ļoti bojātu sliežu, kuras apdraud ritošā sastāva kustību [1]. No tām vislielākais skaits ļoti bojātu sliežu bija piefiksēts 2012. gadā un bija 423 gab. 2013. gadā ļoti bojāto sliežu skaits bija 324 gab., turpretī 2014. gadā šis skaitlis nedaudz palielinājās un bija 328 gab. No 2015. gada līdz 2016. gadam atklāto ļoti bojāto sliežu skaits strauji samazinājās no 300 līdz 159 defektiem. 2017. gadā ļoti bojāto sliežu skaits palielinājās līdz 235 gab. salīdzinājumā ar 2016. gadu. 2018.

gadā ļoti bojāto sliežu skaits, atklātas defektoskopijas cehos, bija 225 gab., kas ir par 10 ļoti bojāto sliežu gadījumu mazāk kā 2017. gadā. 2019. gadā ļoti bojāto sliežu skaits samazinājās līdz 179 gab.

Šī statistiskā analīze par ļoti bojātām sliedēm pierāda ļoti bojāto sliežu aktuālo problēmu “Latvijas dzelzceļā”.

2.2. Ļoti bojāto sliežu galviņu analīze Latvijas dzelzceļā

Slīdes galviņa ir viens no svarīgākajiem slīdes konstrukcijas elementiem, kuras virsējā daļa tieši uzņem ritošā sastāva riteņpāru spiedienu. Slīdes galviņa tāpat virza riteņu kustību, kuriem ir bandāža ar speciālu uznavu no slīdes galviņas iekšējās darba puses. Ļoti bojātu sliežu galviņu atklāšana ir defektoskopijas cehu darbinieku pirmkārt darāmais uzdevums. 2.9. att. parādīta ļoti bojāto sliežu galviņu diagramma periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam [1].



2.9. att. Ļoti bojāto sliežu galviņu kopējo skaitu statistika “Latvijas dzelzceļā” no 2011. gada līdz 2019. gadam.

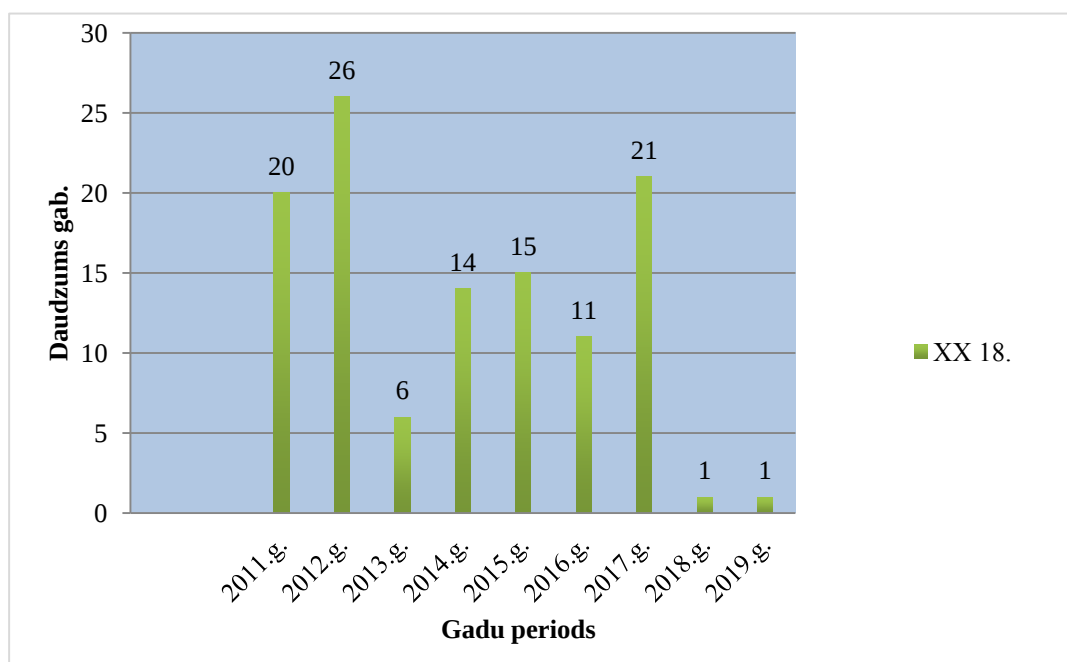
Vairāk kā 21 defekts attīstās sliežu galviņā ar to pašu ieņemot pirmo vietu ļoti bojāto sliežu tēraudu atklāšanā. No 2.9. att. diagrammas redzams, ka ļoti bojāto sliežu galviņu atklātais skaits periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam bija 1814 gab. [1], tā kļūstot par 68,10% no atklāto ļoti bojāto sliežu galviņu kopējā skaita. Vislielākais skaits atklāto ļoti bojāto sliežu galviņu bija 2012. gadā un tas bija 322 gab. 2013. gadā ļoti bojāto sliežu galviņu skaits pazeminājās līdz 216 gab. Turpretī 2014. gadā atklāto ļoti bojāto sliežu galviņu skaits pieauga par 47 gadījumiem un bija 263 ļoti bojāto sliežu galviņu. No 2015. gada līdz 2016.

gadam atklāto ļoti bojāto sliežu galviņu skaits ievērojami samazinājās no 231 gadījumu līdz 99, vairāk nekā par 132 gadījumiem. Atklāto ļoti bojāto galviņu skaits no 2016. gada līdz 2017. gadam palielinājās par 64 gab. un bija 163 ļoti bojāto sliežu galviņu. 2018. gadā ļoti bojāto sliežu galviņu skaits samazinājās līdz 156 gab. 2019. gadā atklāto ļoti bojāto sliežu galviņu skaits bija 147 gab.

Izpētītā statistika par ļoti bojāto sliežu galviņām pierāda, ka ir liels atklāto ļoti bojāto defekta vietu skaits galviņām, ar to apliecinot, ka ir nepieciešams veikt papildus kontroli (vizuālā apskate, defektoskopēšana) par sliežu galviņu stāvokli. Tāpat arī kā plānotie piesardzības pasākumi, lai paildzinātu sliedes galviņas kalpošanas laiku, var kalpot sliežu frēzēšana vai slīpēšana ar sliežu slīpēšanas vilcienu. Apskatīsim galvenos ļoti bojāto sliežu defektus, kuri ir aktuāli Latvijas dzelzceļā.

2.3. Ļoti bojāto sliežu ar kodu XX 18 analīze

Šis defekts klasificējas kā izdrupums uzkausētajā slānī uz sliežu galviņas ritvirsmas [4]. 2.10. att. parādīta diagramma atklāto ļoti bojāto sliežu defektu ar kodu XX 18.



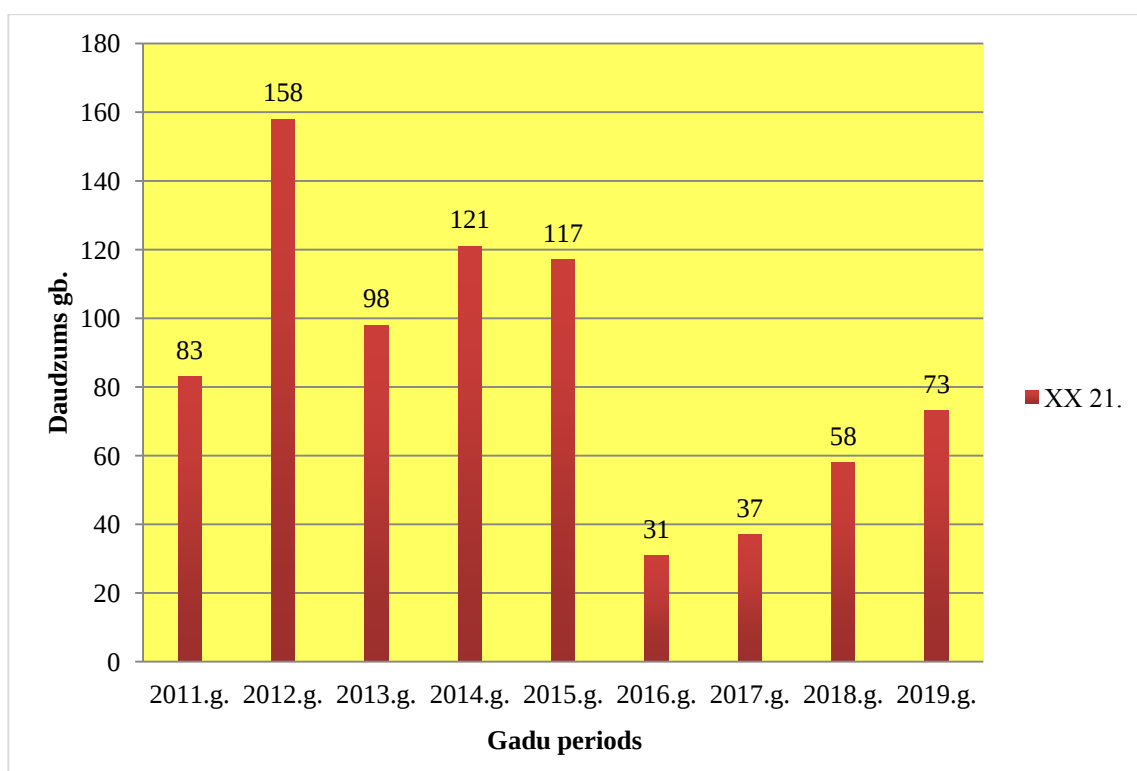
2.10. att. Ļoti bojāto sliežu ar kodu XX18 skaitliskā diagramma periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam.

Šī veida defekta kopējais skaits no 2011. gada līdz 2019. gadam Latvijas dzelzceļā bija 115 gab. [1]. Lielākais skaits ļoti bojāto sliežu 26 gabalu apmērā tika atklāts 2012. gadā. 2013. gadā ļoti stipro defektu skaits uzkausētajā slānī samazinājās līdz 6 gab. No 2014. gada līdz 2015. gadam šī veida defektu skaits nedaudz pieauga no 14 gab. līdz 15 gab. Ļoti bojāto sliežu skaits 2016. gadā samazinājās līdz 11 gab., turpretī 2017. gadā ievērojami palielinās no 11 līdz 21 gab. 2018. gadā un 2019. gadā šo defektu skaits samazinājās līdz 1 gadījumam.

Var paredzēt, ka šī veida defekta samazināšanās un palielināšanās saistīta ar sliežu galviņu periodisko uzkausēšanu, kā laikā sliežu galviņas metāls vairākkārtīgi tiek pakļauts karsēšanai un atslādināšanai rūdītajā slānī. Tā rezultātā sliežu tērauds zaudē savas sākotnējās īpašības.

2.4. Ļoti bojāto sliežu ar kodu XX 21 analīze

Šī veida ļoti bojātās sliedes defekts visbiežāk attiecināms uz rūpnīcas brāķi, izgatavojot sliežu tēraudu. Ļoti bojātās sliedes defekti klasificējas kā šķērseniskās plaisas galviņā gaišo vai tumšo plankumu veidā un lūzumi, kuri rodas metāla nepietiekamas kontakta noguruma stiprības rezultātā kā salaidnes zonā ar ciparu 1, tā arī ārpus salaidnes ar ciparu 2 [4]. 2.11. att. attēlo statistikas diagrammu ļoti bojātajām sliedēm ar kodu XX 21 periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam.



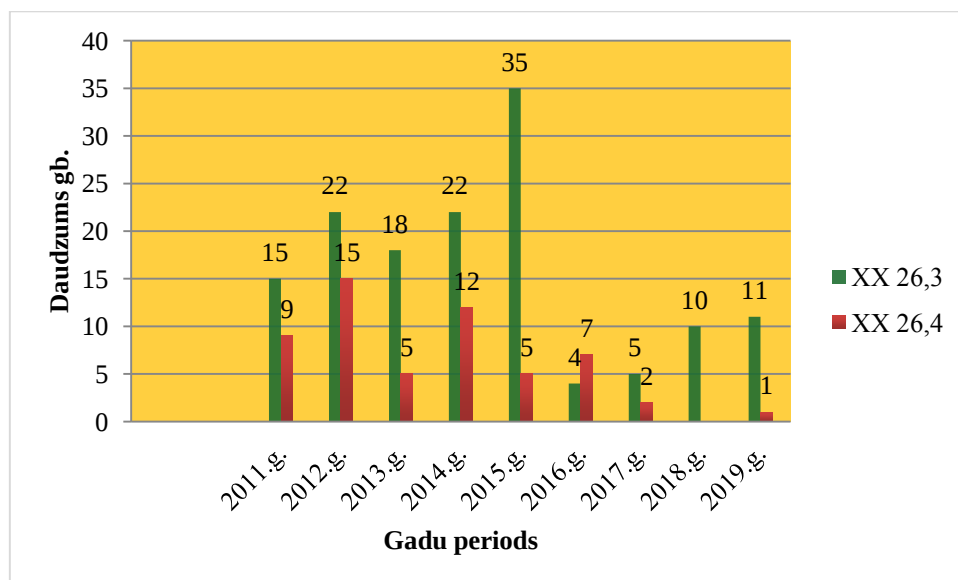
2.11. att. Statistiskas diagramma ļoti bojātajām sliedēm ar kodu XX 21 periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam.

No 2.11. att. Diagrammas ļoti bojāto sliežu defektu ar kodu XX 21 skaits periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam bija 776 ļoti bojāto sliežu defekta gadījumi. Lielākais skaits šī veida ļoti bojāto sliežu defektu (XX 21) atklāts 2012. gadā un tie bija 158 gadījumi. Ļoti bojāto sliežu defektu skaits 2013. gadā samazinājās līdz 98 gadījumiem. 2014. gadā šī veida defektu skaits pieauga līdz 121 gadījumam, šādi veidojot pieaugumu par 23 gadījumiem vairāk nekā 2013. gadā. Turpretī 2015. gadā šī veida ļoti bojāto sliežu defektu skaits nedaudz samazinājās līdz 117 gadījumiem. Ievērojams samazinājums vērojams 2016. gadā un tas bija tikai 31 gadījums. No 2017. gada līdz 2019. gadam notika pakāpeniska šī defekta palielināšanās no 37

līdz 73 gadījumiem 2019. gadā. Tērauda piesārņojums ar augstas cietības nemetāliskiem ieslēgumiem, izstieptiem veicot velmēšanu, celiņa rindiņas veidā, un nepietiekama metāla kontakta noguruma stiprība paaugstinātas ritošā sastāva iedarbības gadījumā noved pie šī defekta parādīšanās un attīstības.

2.5. Ļoti bojāto sliežu ar kodu XX 26.3, 26.4 analīze

Ļoti bojāto sliežu defekta kods XX 26.3, 26.4 atšifrējams kā XX ļoti bojāto sliežu defekts 26.3, 26.4 šķērseniskās plaisas galviņā sliežu metināšanas tehnoloģijas pārkāpšanas dēļ [45]. Cipars 3 liecina par to, ka šī veida defekts atrodas sliežu elektriskās kontaktmetināšanas vietā, cipars 4 - termītmetināšanas vietā ar termītšuves platumu 24 – 26 mm [4]. 2.12. attēlā parādīta diagramma ļoti bojāto sliežu defektiem ar kodu XX 26.3, 26.4 “Latvijas dzelzceļā” periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam.



2.12. att. Statistiskas diagramma ļoti bojātām sliedēm ar kodu XX 26.3, 26.4 periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam.

Ļoti bojāto sliežu defektu kopējais skaits ar kodu XX 26.3, 26.4 periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam bija 198 gadījumi, no kuriem stipri bojātie defekti – 142 bija ar kodu XX 26.3 - defekti elektriskās kontaktmetināšanas vietā, kā arī 56 stipri bojātie defekti ar kodu XX 26.4 - defekti termītsavienojumos. Lielākais ļoti bojāto sliežu defektu ar kodu XX26.3 skaits reģistrēts 2015. gadā un bija 35 gadījumi. No 2.12. att. diagrammas redzams, ka lielākais skaits ļoti bojāto sliežu defektu ar kodu XX 26.4 tika reģistrēts 2012. gadā un bija 15 gadījumi. Ļoti bojāto sliežu defektu ar kodu 26.3 no 2011.gada līdz 2014. gadam skaits mainījās no 15 līdz 22 gadījumiem gadā. Turpretī ļoti bojāto sliežu defektu ar kodu XX 26.4 skaits periodā no 2011. gada līdz 2014. gadam mainījās diezgan strauji. Tā, piemēram, 2011. gadā ļoti bojāto sliežu defektu skaits bija 9 gadījumi, bet 2012. gadā – 15 gadījumi. Gadu vēlāk – 2013. gadā bija tikai 5 gadījumi, bet 2014. gadā strauji palielinājās līdz 12

gadījumiem. Pēc straujā skaita pieauguma ļoti bojāto sliežu defektu ar kodu XX 26.3, 2015. gadā līdz 35 gadījumiem, 2016. gadā ievērojami samazinājās līdz 4 gadījumiem un 2017. gadā to skaits bija 5 gadījumu apmērā. Ar 5 gadījumu pieaugumu salīdzinājumā ar 2017. gadu, 2018. gadā bija 10 gadījumi atklāto defektu ar kodu XX 26.3. Ļoti bojāto sliežu defektu ar kodu XX 26.4 skaits ievērojami nemainījās 2015. gadā un bija vien 5 gadījumi, 2016. gadā izauga līdz 7 gadījumiem un 2017. gadā bija 2 gadījumi. 2018. gadā ļoti stipri bojātie defekti ar kodu XX 26.4 netika atklāti. 2019. gadā ļoti stipri bojātais defekts 26.4 tika atklāts 1 gadījumā, tikmēr ļoti stipri bojātie defekti ar kodu 26.3 pieauga līdz 11 gadījumiem.

Metināšanas režīma neievērošana, nemetālisko ieslēgumu esamība, plaisasetināšanas vietās, kā arī ierobu esamība ir galvenais kritērijs, lai rastos šī veida defekti.

2.6. Sliežu un ļoti bojāto sliežu defektu analīzes “Latvijas dzelzceļā” secinājumi

No kopējās sliežu un ļoti bojāto sliežu defektu analīzes “Latvijas dzelzceļā” var izdarīt šādus secinājumus:

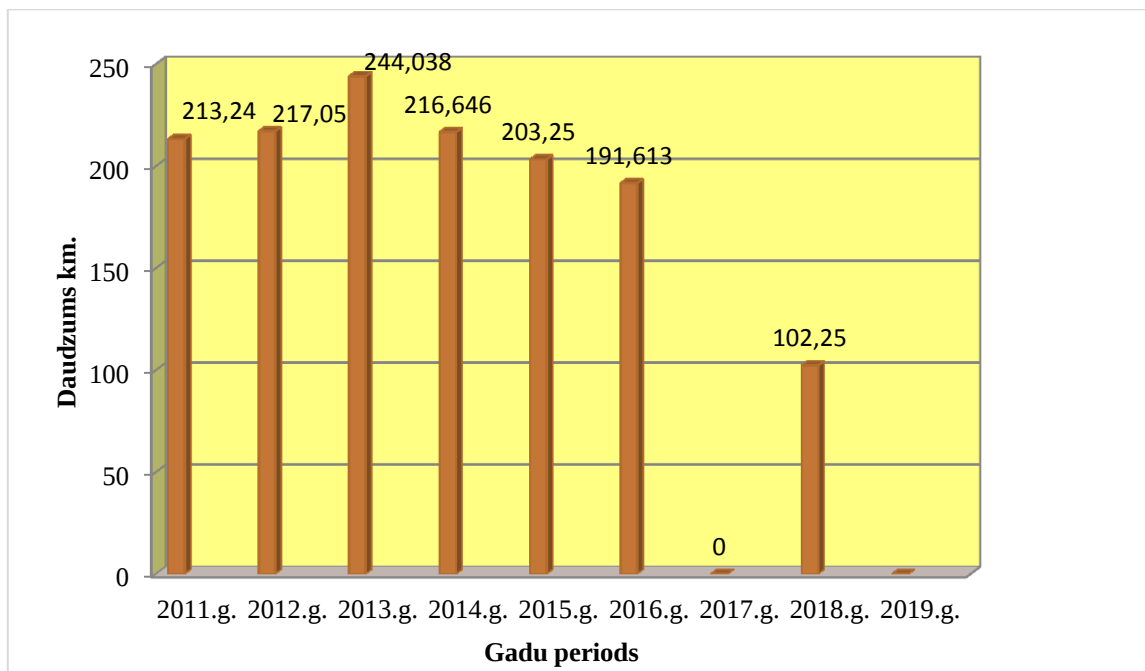
- ✓ Bojāto sliežu skaits no 2011. gada līdz 2019. gadam bija 142632 defekti.
- ✓ Ļoti bojāto sliežu skaits periodā 2011. gada līdz 2019. gadam bija 2495 defekti.
- ✓ Ļoti bojāto sliežu galviņas atklāto skaits periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam bija 1814 defekti.
- ✓ Ļoti bojāto sliežu ar kodu XX 18 skaits periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam bija 115 defekti.
- ✓ Ļoti bojāto sliežu ar kodu XX 21 periodā no 2011. gadam līdz 2019. gadam bija 776 defekti.
- ✓ Ļoti bojāto sliežu ar kodu XX 26.3, 26.4 periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam bija 198 defekti, no kuriem 142 defekti ar kodu XX 26.3 un 56 defekti ar kodu XX26.4.

Šī statistika liecina par nepieciešamību veikt tehniskos un plāna piesardzības pasākumus sliežu galviņu kalpošanas laika saglabāšanai un paildzināšanai. Kā viens no tādiem risinājumiem var būt sliežu slīpēšana ar sliežu vilcienu. Nodaļā 2.7. izskatīsim firmas “Speno” sliežu slīpēšanas vilciena izmantošanas “Latvijas dzelzceļā” analīzi. Šim nolūkam veiksīm detalizētu statisko pētījumu par firmas «Speno» sliežu slīpēšanas vilciena darbu periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam.

2.7. Firmas “Speno” sliežu slīpēšanas vilciena darba statistiskā analīze “Latvijas dzelzceļā”

Lai pagarinātu sliedes galviņas kalpošanas laiku, kā arī lai novērstu viļņveida nodilumus, mehāniskos bojājumus, metāla saspiedumus un atslāņojumus, “Latvijas dzelzceļā” izmanto firmas «Speno» sliežu slīpēšanas vilcienu. Pie tam, viens no galvenajiem slīpēšanas mērķiem ir sliežu šķērsprofila veidošana. Profila periodiskā koriģēšana ar slīpēšanu ļauj nodrošināt

vislabāko kontaktu ritenim ar sliedi, vienmērīgi sadalīt iekšējos spriegumus pa sliedes virsmu un tādā veidā pagarināt tā ekspluatācijas resursus par 15...20 %. 2.13. att. attēlota statistikas diagramma par firmas “Speno” sliežu slīpēšanas vilciena darbu “Latvijas dzelzceļā” [18].



2.13. att. Kvantitātes (km) statistika par firmas “Speno” sliežu slīpēšanas vilciena darbu Latvijas dzelzceļā periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam.

No 2.13. att. diagrammas redzams, ka noslīpēto sliežu kopējais skaits periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam ir 1388,087 km/sliežu ceļu. Periodā no 2011. gada līdz 2013. gadam Latvijas dzelzceļā palielinājās slīpēto sliežu skaits no 213,24 pakāpeniski līdz 244,038 km/sliežu ceļu. Turpretī no 2014. gada līdz 2016. gadam sliežu slīpēšana pakāpeniski samazinājās no 216,646 km/sliežu ceļu līdz 191,613 km/sliežu ceļu. 2017. gadā sliežu slīpēšana “Latvijas dzelzceļā” netika veikta. Un tikai 2018. gadā tika noslīpēti 102,25 km/sliežu ceļu. 2019. gadā sliežu slīpēšana netika veikta.

Šī statistika liecina par aktualitāti sliežu slīpēšanas vilciena izmantošanai “Latvijas dzelzceļā” kā sliežu kalpošanas laika saglabāšanai, tā arī paildzināšanai [20].

3. 60 E1 TIPA SLIEŽU RITVIRSMAS CIETĪBAS IZPĒTE, BOJĀTĀS SLIEDES AR KODU X10.1 IZPĒTE

3.1. 60 E1 tipa sliežu ritvirsmas cietības izpēte

Sākot no 2013. gada “Latvijas dzelzceļā” plaši tiek izmantotas Anglijas firmas “Arcelor Mittal” sliedes ar tērauda marku R350HT un sliežu tipu ENSIDESA 60 E1 (3.1. att.). Šīs sliedes liktas kā uz galvenajiem, tā arī uz pieņemšanas un nosūtīšanas sliežu ceļiem. Sliedēm jāatbilst Eiropas standartam EN 13674 - 1:2011 (XA) [10].

Tam, lai sliedes kalpotu ilgi un droši, metālam, no kura tās ir izgatavotas, jāatbilst nepieciešamajiem darba nosacījumiem (standartiem). Tieši tāpēc svarīgi ir kontrolēt galveno mehānisko rādītāju pieļaujamās vērtības. Kā zināms, pie mehāniskajām īpašībām attiecināma cietība, stiprība, triecienstīgrība, plastiskums.

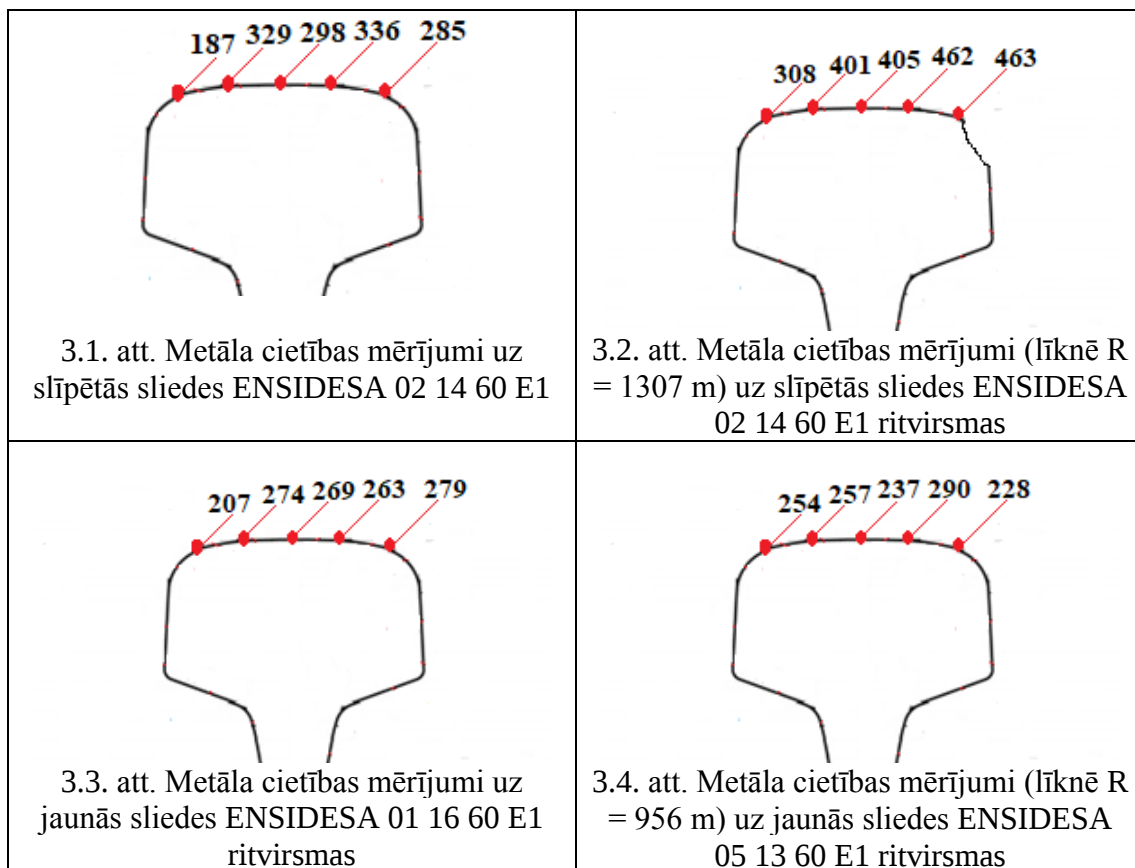
Metālu un sakausējumu cietība - primāri konstrukcijas raksturojums, tā ir materiāla īpašība radīt pretestību, ja tā virsējos slāņos nokļūst cits ķermenis, kas nedeformējas un nesairst pie blakus slodzēm (indentoru) [36].

Lai noteiktu sliedes galviņas metāla cietību, tika izvēlēts sliežu ceļu posms Vecumnieki – Misa “Latvijas dzelzceļā”. Šajā sliežu ceļu posmā 2015. gadā tika veikts sliežu ceļu kapitālais remonts, veicot jaunu Anglijas firmas “ArcelorMittal” ENSIDESA 02 14 60 E1 sliežu likšanu, kas nozīmē: ENSIDESA izgatavotājrūpnīca, 02 izlaišanas mēnesis, 14 izlaišanas gads un 60 E1 sliežu tips.

Pēc balasta slāņa klāšanas, pablīvēšanas un stabilizācijas, tika liktas garslides un nostiprinātas temperatūras intervālā. Nostiprināšanas temperatūra garslīdei bija +27 °C. Pēc jauno garsliežu likšanas, tika veikta sliežu galviņas ritvirsmas slīpēšana ar Šveices firmas «Speno» sliežu slīpēšanas vilcienu URR-112.

2017. gadā pa šo sliežu ceļu posmu caurlaištā tonnāža bija 47,40 milj. tonnas, bruto. Cietības mērīšana tika veikta ar pārnēsājamo cietības mērītāju **”Krautkramer”**. 3.1. att. attēloti metāla cietības mērījumi uz slīpētās sliedes ritvirsmas taisnajā sliežu ceļu iecirknī. 3.2. att. parādīti metāla cietības mērījumi uz slīpētās sliedes ritvirsmas līknē $R = 1307$ m. Uz izpētes momentu galviņas darba šķautnes sānu nodilums bija 3 mm, vertikālais nodilums 1 mm.

Kā ritvirsmu cietības salīdzinājums tika veikti mērījumi jaunajām sliedēm bez tonnāžas caurlaišanas, kuras tika liktas kārtējās uzturēšanas procesā sliežu ceļu posmā Vecumnieki - Lāčplēsis, 219 km 1 piketā 2017. gada 12. septembrī. Jaunās Anglijas firmā “ArcelorMittal” ražotās ENSIDESA 02 13 60 E1 un 01 16 60 E1 sliedes. 3.3. att. attēloti metāla cietības mērījumi uz jaunās ENSIDESA 01 16 60 E1 sliedes ritvirsmas sliežu ceļu taisnajā iecirknī.



3.4. att. parādīti metāla cietības mērījumi uz jaunās sliedes ritvirsmas sliežu ceļu līknes iecirknī R = 956 m [36].

Pamatojoties uz iegūtajiem datiem sastādīta tabula un veikti salīdzinājumi ar izgatavotājrūpnīcas pases datiem. Iegūtie rezultāti apkopoti 3.1. tabulā.

3.1. tabula

60 E1 ENSIDESA tipa sliedes ritvirsmas, R350HT markas tērauda salīdzinājums ar izgatavotājrūpnīcas datiem

Cietības noteikšanas vieta	Sliedes R350HT cietības marka				
	Izgatavo tājrūpnīcas cietība (HB)	Vidējā cietība (60 E1 ENSIDESA sliedes) (HB)			
		Slīpētā sliede ENSIDESA 02 14 60 E1 (HB)	Jaunā sliede ENSIDESA 01 16 60 E1 (HB)	Slīpētā sliede līknē ENSIDESA 02 14 60 E1 (HB)	Jaunā sliede līknē ENSIDESA 05 13 60 E1(HB)
1	2	3	4	5	6
Galviņas ritvirsmas,HB	357	287	258	408	253

60 E1 ENSIDESA sliedes galviņas vidējā cietība uz ritvirsmas neatbilst izgatavotājrūpnīcas pases datiem, izņemot slīpēto sliedi līknē ar rādiusu R = 1307 m. Pēc cietības izpētes rezultātiem tā ir 408 HB, kas par 51 HB ir augstāks par pases vērtību. Cietības

palielināšanās uz ritvirsmas līknes iecirkņos var izskaidrot ar paaugstinātu riteņpāra bandāžas mijiedarbību ar sliežu galviņas ritvirsmu [36].

Pēc izpētes rezultātiem var izdarīt šādu secinājumu, ka metāla cietība slīpētajai sliedei izrādījās par 29 HB augstāka nekā neslīpētajai. Salīdzinot iegūto metāla cietību jaunajai sliedei ar izgatavotājrūpnīcas pases datiem, tāpat ir nesakritība, sliedes galviņas metāla cietība ir zemāka par 104 HB. Pazemināta cietība uz sliedes ritvirsmas var novest pie intensīva sliedes galviņas vertikālā un sānu nodiluma sliežu ceļu līkņu iecirkņos un ātru defektu attīstību sliedes galviņā uz sliežu ceļu taisnajiem iecirkņiem.

3.2. Bojātās sliedes ar kodu X 10.1 izpēte

Viens no visizplatītākajiem defektiem “Latvijas dzelzceļā” ir defekts ar kodu X 10.1-2. Šis defekts atšifrējams kā metāla plaisas un izdrupumi uz galviņas ritvirsmas sliedes izgatavošanas tehnoloģijas neievērošanas dēļ (aizvelmējumiem, sīkplaisām, atlobījumiem u.c.) [4] 3.5. att. Defekta atrašanās vietas apzīmējums ar ciparu (trešais cipars defekta kodā) pieņemts šādi:

- 0 - pa visu sliedes garumu;
- 1 - bultskrūves salaidne 750 mm attālumā un mazāk no sliedes gala;
- 2 - ārpus bultskrūves salaidnes vairāk kā 750 mm attālumā no sliedes gala.



3.5. att. Defekts ar kodu X 10.1, atklāts sliežu ceļa posmā Vecumnieki - Lāčplēsis.

Rašanās un attīstības iemesli

Ekspluatācijas agrīnajās stadijās līdz tonnāžas caurlaišanai apmēram 150 - 250 milj.t, bruto, plaisas un izdrupumi uz ritvirsmas veidojas metalurģiskās izcelsmes virsējo defektu esamības dēļ šajās vietās (sīkplaisas, aizvelmējumi, atlobījumi, beinīta iecirknis struktūrā u.c.).

Ekspluatācijas vēlīnajās stadijās pēc vairāk kā 150 - 250 milj.tonnu, bruto, caurlaišanas, plaisas un izdrupumi uz ritvirsmas veidojas vairākkārtēju augstas kontakta spriegumu iedarbības rezultātā.

Defektam 10.1-2 der attiecināt gareniskās horizontālās plaisas ar novietojuma dziļumu līdz 8,00 mm.

Atklāšanas paņēmieni

Ārējā apskate, lineāro izmēru kontrole ar mēraparātiem (lineālu, bīdmēru ar dziļummērītāju, Izmeron 00316 modeļa universālo šablonu mēru u.c.), ultraskaņas defektoskopija ± 300 mm robežās no iespējamā defekta šķēsgriezuma.

Veicot ultraskaņas defektoskopiju, nepieciešams pārliecināties par to, ka zem izdrupuma vai horizontālās plaisas nav šķērseniskās plaisas.

Ekspluatācijas norādījumi

Kustības ātrumiem 140 km/h un mazāk sliedes, kurām ir defekti 10 ar dziļumu **h** vairāk kā 2,00 mm, ja garums **l** (gar sliedi) vairāk kā 25,00 mm un platums **a** (šķērsām slidei) mazāk kā 35,00 mm (**«šaurie»**), tāpat ar dziļumu **h** vairāk kā 1,00 mm, ja garums **l** (gar sliedi) vairāk kā 25,00 mm un platums **a** (šķērsām slidei) 35 mm un vairāk (**«platie»**) un, bez tam, ar dziļumu vairāk kā 6,00 mm (līdz 8,00 mm), ja garums līdz 25,00 mm (**«īsie»**), uzskata par defektiem [52].

Ar mērķi attālināt defekta 10 veidošanās sākumu un tā dziļuma, garuma un platuma samazināšanai, tiek veikta periodiskā sliežu galviņas slīpēšana, sākot ar pirmo slīpēšanu tūlīt pēc jaunu sliežu likšanas sliežu ceļos.

Pēc slīpēšanas veikšanas uzlabojas sliežu defektoskopijas apstākļi, pazeminās iespējamība veidoties iekšējiem defektiem galviņā, kā arī tieši šķērsenisko plaisu, kuras attīstītos zem defekta 10 aizsega.

Līdz defekta novēršanai, ar slīpēšanu vai uzkausēšanu vai (ja nav iespējas vai ja nav lietderīgi to veikt) līdz bojātās sliedes nomaiņai jābūt ierobežotam kustības ātrumam pa to atkarībā no defekta dziļuma **h**:

«šauriem» defektiem – kustības ātrums ne vairāk kā -

120 km/h pie $2,00 < h \leq 3,00$ mm,

100 km/h pie $3,00 < h \leq 4,00$ mm,

70 km/h pie $4,00 < h \leq 6,00$ mm un nomaiņa plāna kārtībā,

40 km/h pie $6,00 < h \leq 8,00$ mm un nomaiņa pirmkārt,

25 km/h pie $8,00 < h$.

«platiem» defektiem – kustības ātrums ne vairāk kā -

120 km/h pie $1,00 < h \leq 2,00$ mm,

100 km/h pie $2,00 < h \leq 4,00$ mm,

70 km/h pie $4,00 < h \leq 6,00$ mm un nomaiņa plāna kārtībā,

40 km/h pie $6,00 < h \leq 8,00$ mm un nomaiņa pirmkārt,

25 km/h pie $8,00 < h$.

«īsiem» defektiem – kustības ātrums ne vairāk kā -

40 km/h pie $6,00 < h \leq 8,00$ mm un nomaiņa pirmkārt,

25 km/h pie $8,00 < h$.

Defekta dziļumu un platumu mēra tā vislielākās attīstības vietā, bet garumu - pa šī defekta izstiepumu gar sliedes galviņu. Veidojoties ķēdītei no atsevišķiem defektiem, defekta garumā iekļauj tos no blakus defektiem, kuri atrodas attālumā, mazākā garumā vismazākā no 2 blakus defektiem.

Novērojumus par defekta attīstību veic sliežu kārtējās apskates laikā.

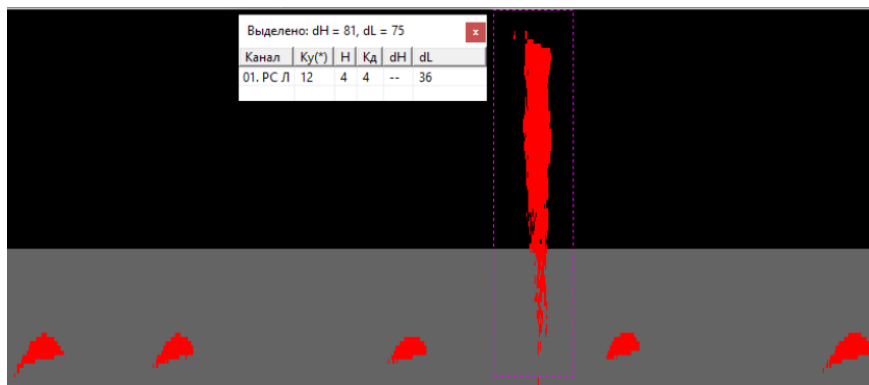
Atklājot šķērseniskās plaisas defekta 10 veidošanās vietas, sliede uzskatāma par ļoti bojātu ar jebkuriem defekta raksturojumiem, un tā ir jānomaina nekavējoties [52].

Ja horizontālās plaisas (garsliedi) garums ir vairāk kā 70 mm, novērtējams pēc ultraskaņas kontroles dibensignāla pazušanas, sliedi uzskata par ļoti bojātu un tā ir jānomaina nekavējoties.

Ja defekti rodas ekspluatācijas apstākļos, kuri atbilst garantijas saistībām, jāiesniedz reklamācija metalurģijas kombinātam – sliežu izgatavotājam.

Bojātās sliedes izpēte

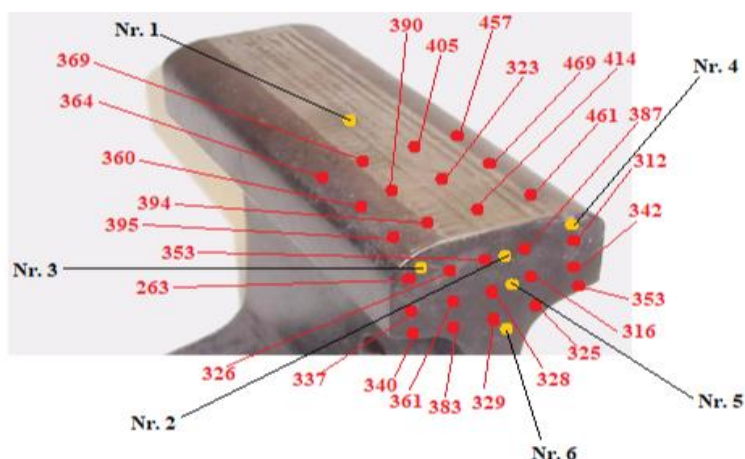
Kā bojātās sliedes ar kodu 10.1 izpētes paraugs kalpoja atklātais defekts sliežu ceļu posmā Vecumnieki - Lāčplēsis 221 km 6 pk, izmantojot mūsdienīgu "RDM-24" tipa ultraskaņas defektoskopu 3.6. att.



3.6. att. Defekta ar kodu X 10.1 atšifrējums izmantojot specializēto 1.4.8 modeļa defektoskopijas programmu.

Piezīmes: 2011. gadā tika veikta sākotnējā sliežu slīpēšana izmantojot firmas "Speno" sliežu slīpēšanas vilcienu. Līdz šim caurlaistā tonnāža līdz defekta atklāšanai bija 302 milj.t., bruto ar vidējo kravas spriegumu šajā iecirknī 35 milj.t., bruto gadā.

Ekspluatācijas procesā šis defekts tika izgriezts un fragments ar defekta vietu tika nogādāts Rīgas Tehniskās universitātes metālgrafiskajā laboratorijā. Turpmāk, RTU laboratorijā tika veikta defekta fragmenta detālā sazāģēšana un slīpēšana. Pēc tam, pielietojot mūsdienīgu "Tinius O Olsen" Fikrmware Version 1.07, FH - 31 Series" cietības mērītāju, tika veikta sliedes galviņas cietības noteikšana pēc Brunela skalas [2]. Izpētes rezultāti attēloti 3.7. att.



3.7. att. Bojātās Tagilas sliedes T VI 08 cietības noteikšana pa punktiem.

Uz galviņas ritvirsmas (punkts 1) HB:

364, 360, 395, 394, 390, 369, 405, 323, 414, 461, 469, 457.

10 mm dziļumā no galviņas ritvirsmas (punkts 2), ne mazāk kā HB: 326, 353, 387.

10 mm dziļumā no sliedes veidgriezuma (punkti 3 un 4), HB: 263, 312.

22 mm dziļumā no sliedes galviņas ritvirsmas (punkts 5) HB: 337, 361, 328, 316, 342.

35 mm dziļumā sliedes galviņas pārejas kakliņa vietā (punkts 6) HB: 340, 383, 329, 325, 353.

Tālāk, pamatojoties uz iegūtajiem datiem tika sastādīta tabula 3.2., kurā tika parādītas cietības vidēji noteiktās vērtības pēc noteikšanas vietas (punkti 1 - 5) [36].

3.2. tabula

Tabula par izgatavotājrūpnīcas un vidēji noteikto cietības vērtību

Cietības noteikšanas vieta	R350HT sliedes cietības marka	
	Izgatavotājrūpnīcas cietība (HB)	Vidēji noteiktā cietība (HB)
Uz galviņas ritvirsmas (punkts 1) HB	350-390	400
10 mm dziļumā no galviņas ritvirsmas (punkts 2), ne mazāk kā HB	341	328
10 mm dziļumā no sliedes veidgriezuma virsmas (punkti 3 un 4), ne mazāk kā		
22 mm dziļumā no sliedes galviņas ritvirsmas (punkts 5), ne mazāk kā	321	336
35 mm dziļumā sliedes galviņas pārejas kakliņā vietā (punkts 6) HB:	-	346

Veiktā izpēte liecina par cietības neatbilstību 10 mm dziļumā punktos 2, 3, 4 (3.7. att.). Vidēji noteiktā cietība punktos 2, 3 ir 328 HB, kas ir par 13 HB zemāka nekā izgatavotājrūpnīcas cietība. Cietības samazināšanās šajos punktos tāpat liecina par defekta izvietojumu, plaisu 8,10 mm dziļumā un 7,50 mm garumā.

Tālāk, pielietojot ”**PMI – Master PRO**” ķīmisko analizatoru 3.8. att., tika noteikts pilns ķīmiskais sastāvs R350HT tērauda slīdei [13]. Ķīmiskā sastāva rezultāti parādīti 3.3. tab.



3.8. att. Ķīmiskā sastāva noteikšana pielietojot ”**PMI – Master PRO**” ķīmisko analizatoru.

3.3. tabula

Tabula par izpētītā defekta ar kodu X10.1 ķīmisko sastāvu

Vērtības	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
Max / Min	-	0,570 0,650	1,00 1,30	0,700 1,10	0,0000 0,0600	0,180 0,250	0,0000 0,200	0,0000 0,100	0,0000 0,200
1	97,70	0,667	0,346	0,948	0,008	0,0265	0,0218	0,0030	0,0400
2	97,40	0,756	0,346	0,838	0,005	0,0264	0,0153	0,0030	0,0499
3	97,80	0,698	0,385	0,902	0,005	0,0050	0,0201	0,0030	0,0419
VIDĒJĀ %	97,60	0,707	0,359	0,896	0,006	0,0193	0,0190	0,0030	0,0439
Vērtības	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Zr
Max / Min	0,0000 0,100	0,0000 0,100	0,0000 0,400	0,0000 0,0700	0,0000 0,0500	0,0000 0,100	0,0000 0,100	0,150 0,350	-
1	0,0020	0,0362	0,0091	0,0030	0,0020	0,0401	0,0250	0,0100	0,0030
2	0,0020	0,0448	0,0085	0,0110	0,0030	0,0406	0,0250	0,0100	0,0030
3	0,0020	0,0374	0,0055	0,0030	0,0020	0,0380	0,0250	0,0100	0,0030
VIDĒJĀ %	0,0020	0,0395	0,0077	0,0056	0,0023	0,0396	0,0250	0,0100	0,0030

Tabulā 3.4. parādīti Tagilas izgatavotājrūpnīcas 60 E1 T tipa slīdes ķīmisko vērtību galvenie rādītāji.

3.4. tabula

Tabula par Tagilas izgatavotājrūpnīcas 60 E1 T tipa sliedes ķīmiskā sastāva vidējām vērtībām (procentos)

Vērtības	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al
MAX / MIN	±0,02	±0,05	±0,02	+0,005	+0,005	±0,02	-	-	+0,001
VIDĒJĀ %	0,766	0,963	0,360	0,011	0,010	0,0367	0,0483	0,0083	0,0026
Vērtības	V	N	H (ppm)	O2					
MAX / MIN	+0,02	±0,005	-	-					
VIDĒJĀ %	0,0393	0,00457	1,30	0,0012					

Tērauda defekta X 10.1 ķīmiskā sastāva noteikšanas procesā RTU laboratorijā dzelzceļa katedrā, tika atklātas šādas atšķirības. Izgatavotājrūpnīcas pieteiktos pasēs datus nebija norādīti šādi ķīmiskie elementi: (Mo) molibdēns - palielina sarkankvēles izturību, elastību, stiprības robežu uz stiepšanu, antikoroziiju un oksidēšanās pretestību, ja ir augstas temperatūras, (Co) kobalts - paaugstina karstumizturību, magnētiskās īpašības, palielina triecienpretestību, (Nb) niobijs - uzlabo izturību pret skābi un stimulē korozijas samazināšanos metinātajās konstrukcijās, (Ti) titāns - paaugstina tērauda stiprību un blīvumu, stimulē graudu smalcināšanu, ir labs dezoksidants, uzlabo korozijas apstrādājamību un pretošanos tai, (W) volframs - veido tēraudā ļoti cietus ķīmiskos savienojumus - karbīdus, kuri strauji palielina cietību un sarkankvēles izturību. Volframs aizkavē graudu augšanu karsēšanas laikā, stimulē traukluma novēršanu atlaidināšanas laikā, (Pb) svins - nejaušs piemaisījums tēraudā, rada ievērojamu ietekmi uz tā mehāniskajām un fiziskajām īpašībām, kā arī korozijizturību, (Zr) cirkonijs - rada īpašu ietekmi uz graudu lielumu un augšanu tēraudā, smalcina graudus un ļauj iegūt tēraudu ar iepriekš noteikto graudainību.

(Al) alumīnija saturs samazināts par 0,0006 % un ir 0,0020 %. (Cr) hroma saturs atbilst standartam un ir 0,0190 %. Procentuālā vērtība tādām ķīmiskajam elementam kā (N) slāpekli izpētes gaitā netika atklāta. (V) vanādijs - paaugstina cietību un stiprību, smalcina graudus. Palielina tērauda blīvumu, tā kā ir labs dezoksidants, ir ar pieļaujamām vērtībām un ir vienāds ar 0,0396 %.

Salīdzināsim ķīmiskā sastāva galvenos izpētītos vidējos statistiskos datus ar izgatavotājrūpnīcu, tāpēc izveidosim 3.5. tab.

3.5. tabula

Tabula par ķīmiskā sastāva galveno elementu salīdzinājumu ar Eiropas standartu EN 13674 - 1:2011

Vērtība	C	Si	Mn	P	S
Pēc EN-13674-1: 2011 standarta	0,746 - 0,786	0,34 – 0,38	0,913-1,013	0,016	0,015
Vidēji noteiktie	0,707	0,359	0,896	0,060	0,0193
Starpība %	< 0,039	atbilst	< 0,017	> 0,044	> 0,0043

Salīdzinot ķīmiskā sastāva galvenās vērtības var izdarīt secinājumus: oglekļa saturs pazemināts par 0,039 %, ķīmiskais elements silīcijs atbilst standartam, mangāna saturs pazemināts par 0,017 %, fosfora saturs palielināts par 0,044 %, tāpat palielināts arī sēra saturs par 0,0043 %. Kā zināms (C) oglekļa saturs paaugstina sliežu tērauda cietību un nodilumizturību. (Mn) mangāns - palielina tērauda cietību un nodilumizturību, nodrošinot tam pietiekamu viskozitāti.

(P, S) fosfors un sērs - kaitīgie piemaisījumi, tie piedod tēraudam trauslumu: ja ir liels fosfora saturs sliedes paliek aukstlūzenas, la ir liels sēra daudzums - sarkanlūzenas.

Pēc ķīmiskā sastāva izpētes, izmantojot stacionāro griešanas mašīnu "MECATOME T 255/300" ar eļļas dzesēšanu, tika veikta sliedes galviņas defekta fragmenta sagriešana uz trim daļām.

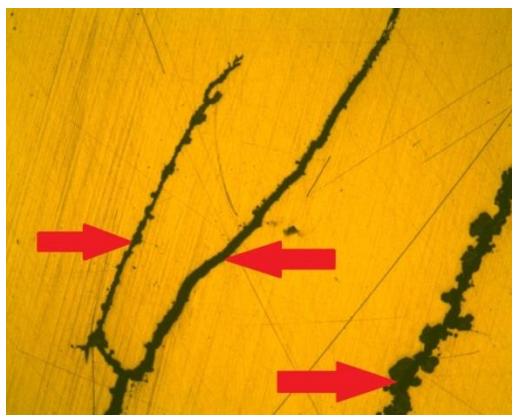
Pēc tam šie sliedes fragmenti tika ievietoti mūsdienīgās "Mecapress II" preses karstās iepresēšanas sekcijā.

Tālāk, pēc gatavā šablona presēšanas, izmantojot "Mecatech 334" sistēmas slīpēšanas un pulēšanas mašīnu ar ūdens dzesēšanu, tika veikta šablona slīpēšana un pulēšana 3.9. att.



3.9. att. Bojātas sliedes galviņas šablons pēc slīpēšanas.

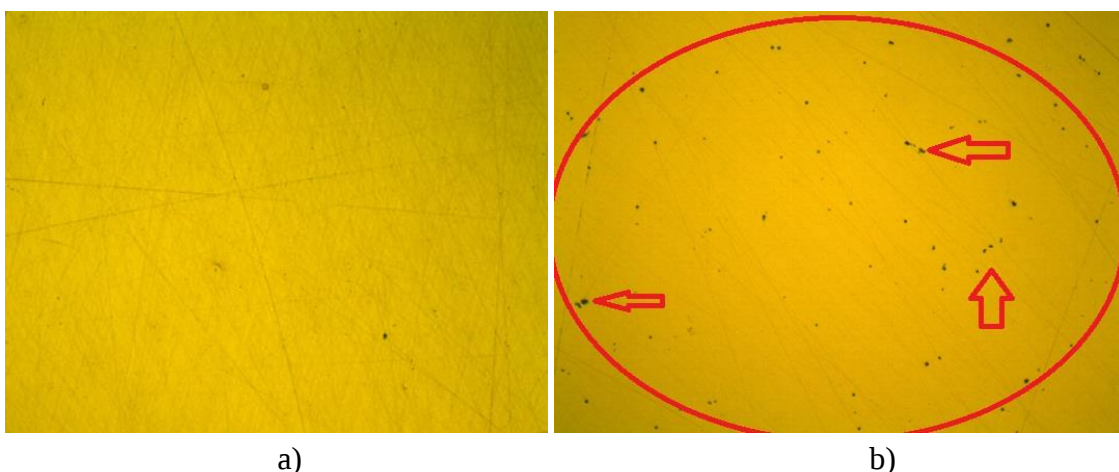
Pēc šablona slīpēšanas un pulēšanas, izmantojot "Carl Zeiss Axiovert 40 MAT" ciparu mikroskopu ar X50 palielinājumu tika noteikta sliedes galviņas defekta vietas metāla struktūra 3.10. att.



3.10. att. T VI 08 60E1 bojātās sliedes metāla struktūra ar X50 palielinājumu.

Ar X50 palielinājumu skaidri redzami sliedes galviņas slāņošanās melnu joslu veidā. Tāda sazarojuma esamība var novest pie bīstamāka ļoti stipra bojājuma ar kodu XX 30.1 kā sliedes galviņas horizontālajam slāņojumam.

Lai salīdzinātu metāla struktūra RTU metālgrafiskajā laboratorijā tika izpētītas 60E1 tipa slīpētas un neslīpētas sliedes zem mikroskopa ar X50 palielinājumu 3.11. a. b. att.

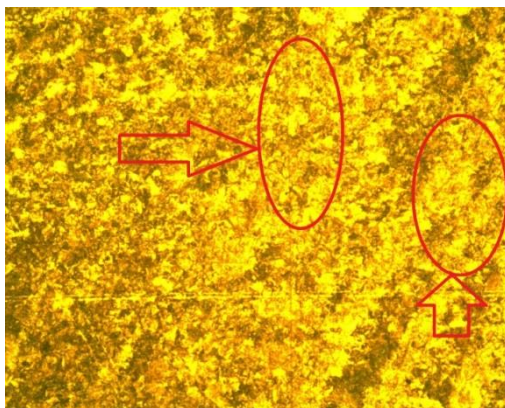


3.11. att. 60E1 tipa sliedes metāla struktūra ar X50 palielinājumu a) slīpēta ar slīpēšanas vilcienu b) neslīpēta sliede.

Kā redzams 3.11.a. att. slīpētas sliedes metāla struktūra tīra, bez iekļāvumiem un piemaisījumiem. Neslīpētās sliedes 3.11.b. att. redzams ka metāla struktūra ir ar daudziem melniem punktiņiem, kas norādīti ar sarkanajām bultiņām uz apli. Tas norāda, ka metāla struktūra nav īpaši labā stāvoklī, un, ja netiks veikti nekādi pasākumi tās uzlabošanai piemēram, sliedes nepārtrauktas galviņas virsmas slīpēšana ar sliežu slīpēšanas vilcienu

palīdzību, var rasties virsmas defekti kuri ar caurlaistu tonnāžu pazeminās sliedes kalpošanas laiku.

Apskatīsim X 10.1 bojātas sliedes mikrostruktūru. Šim nolūkam pielietojot 5%-tīgo slāpekļskābes šķīdumu HNO_3 , tika veikta defekta parauga šablona kodināšana [41]. Pēc tam šis paraugs tika apskatīts zem mikroskopa ar X200 palielinājumu 3.12. att.



3.12. att. Defekta X10.1 mikrostruktūra ar X200 palielinājumu.

R350HT tērauda mikrostruktūra ir ferīta - perlīta, 3.2.11. att. redzams liels perlīta sakopojums (ar sarkanām bultām parādīts to skaidrojums), kas aizņem vairāk par pusi no kopējā apjoma. Par to liecina arī paaugstināts oglekļa saturs salīdzinājumā ar standartu mazāka kā 0,039 %.

Veiktie pētījumi ļauj noteikt sliežu tērauda cietību, tērauda ķīmisko sastāvu, konstatēt metāla elementu masas daļu, metāla struktūru un mikrostruktūru. Tāpat sniegt atbildes uz jautājumiem, piemēram, sliedes lūzuma vai plaisu veidošanās gadījumā. Mūsu pētījumā bojātajai slidei (X 10.1) pēc ķīmiskā sastāva cietības tika atklātas šādas nesakritības: 10 mm dziļumā no galviņas ritvirsmas metāla cietība bija 328 HB, kas ir par 13 HB mazāka par noteikto. Datim par ķīmisko sastāvu tāpat bija nesakritības: (C) oglekļa saturs ir mazāks par noteikto par 0,039 %, (Mn) mangāns pazemināts par 0,017 %, (P) fosfors palielināts par 0,044 % un (S) sērs - par 0,0043 %. Metāla struktūrā labi redzama galviņas slāņošanās horizontālo plaisu veidā. Metāla struktūra ferīta - perlīta. Veiktie pētījumi tika pārbaudīti sertificētā testēšanas laboratorijā KIWA A/S "Inspecta Latvia". Pielikumā Nr.1 (1.1. - 1.4. att.) atspoguļoti testēšanas rezultāti, kas atbilst veiktajiem pētījumiem Rīgas tehniskās universitātes laboratorijā.

3.3. 60 E1 tipa sliežu ritvirsmas cietības un bojātās sliedes ar kodu X10.1 izpētes secinājumi

3.3.1. 60 E1 tipa sliežu ritvirsmas cietības secinājumi

Cietības pārbaude pēc Brunela metodes (HB) parādīja, ka slīpēto sliežu metāla cietība ir augstāka par 29 HB nekā neslīpētajām sliedēm. Slīpēto sliežu cietību var mēģināt izskaidrot

ar to, ka slīpēšanas zonā pie slīpripas, slīpums leņķiem ir no 15 līdz 35 grādiem. Šim iecirknim ir mazi rādiusi, tāpēc apstrādes momentā parādās papildus īpatnējais spiediens no apstrādājamā materiāla puses un no abrazīvās ripas puses.

Slīpēšanas paņēmiens paaugstina sliežu virsmas cietību 1,2 reizes. To stimulē pārtraukumainu ripu pielietošana, kas pazemina apstrādājamās virsmas temperatūru, papildus deformē materiālu un palielina tā stiprinājuma pakāpi. Salīdzinot iegūto jaunās sliedes metāla cietību ar izgatavotājrūpnīcas pases datiem, tāpat ir nesakritības, sliedes metāla cietība ir zemāka par 104 HB. Viens no paņēmieniem kā pagarināt sliedes galviņas kalpošanas laiku ir sliežu sākotnējā un periodiskā slīpēšana, atkarībā no caurlaistās tonnāžas un ekspluatācijas režīmiem.

3.3.2. Bojātās sliedes ar kodu X 10.1 izpētes secinājumi

Galvenais defekta ar kodu X 10.1 parādīšanās iemesls ir izgatavošanas tehnoloģijas trūkumi, kādēļ uz sliedes izveidojas mazas plaisas un sīkplaisas kuras turpmākajā ekspluatācijas procesā no ritošā sastāva iedarbības un tonnāžas 302 milj. t, bruto caurlaišanas arī noveda pie metāla atslāņošanās un izdrupšanas veidošanās uz sliedes galviņas virsmas. Dati par bojātā sliežu tērauda cietības noteikšanu 10 mm dziļumā un 35 mm no galviņas ritvirsmas: no 341 līdz 328 HB 10 mm dziļumā un no 362 līdz 346 HB 35 mm dziļumā. Datiem par ķīmisko sastāvu bija ķīmisko elementu (Mn, C, P, S) neatbilstība EN 13674 - 1:2011 standartam. Mangāna saturs samazināts par 0,017 %, oglekļa procentuālais saturs samazināts par 0,039 %, fosfora saturs palielināts par 0,044 %, tāpat palielināts arī sēra saturs par 0,0043 %. Pazemināta mangāna un oglekļa satura dēļ pazeminās arī sliežu tērauda stiprība, nodilumizturība (Mn) un cietība. Paaugstināts fosfora un sēra saturs paaugstina sliežu tērauda trauslumu un tieksmi uz plaisu veidošanos. Metāla mikrostruktūra zem mikroskopa tāpat liecina par plaisu un sīkplaisu esamību bojātās sliedes galviņā. Neslīpētas sliedes mikrostruktūra zem mikroskopa parādīja iekļāvumus un piemaisījumus, kas negatīvi ietekmē sliedes galviņas virsmas stāvokli, kā sekas var būt par virsmas defektu rašanās un attīstības cēloni. RTU laboratorijas bojātās sliedes ar kodu X10.1 izpētes rezultāti apliecināti sertificētā testēšanas laboratorijā KIWA A/S “Inspecta Latvia”, kas liecina par testēšanas rezultātu atbilstību.

4. IZPĒTES UZDEVUMA NOSTĀDNE ATTIECĪBĀ UZ DZELZCEĻA RITEŅA UN SLIEDES MIJIEDARBĪBAS IETEKMES NOVĒRTĒJUMU, GALA REZULTĀTĀ VEICOT ELEMENTU 3D MODELĒŠANU

Viena no svarīgākajām problēmām, saistītām ar dzelzceļa sastāvu kustības drošību un efektivitāti, ir sistēmas ritenis - sliede mehāniskās darbības precīzs apraksts. Lai paildzinātu riteņu un sliežu kalpošanas laiku, kā arī lai uzlabotu vilcienu kustības parametrus (ātrums, ekonomiskums) nepieciešams, ar augstu precizitāti, modelēt un izpētīt intensīvi deformētu stāvokli sistēmā ritenis - sliede riteņu loku mijiedarbībā ar dažādiem profiliem: jauna sliede un jauns riteņpāra loks, nodilusi sliede (sānu un vertikālais nodilums) un jauns riteņpāra loks, nodilis riteņpāra loks un jauna sliede, nodilis riteņpāra loks un nodilusi sliede (sānu un vertikālais nodilums), jauns riteņpāru loks un slīpēta sliedes galviņa, nodilis riteņpāra loks un slīpēta sliedes galviņa.

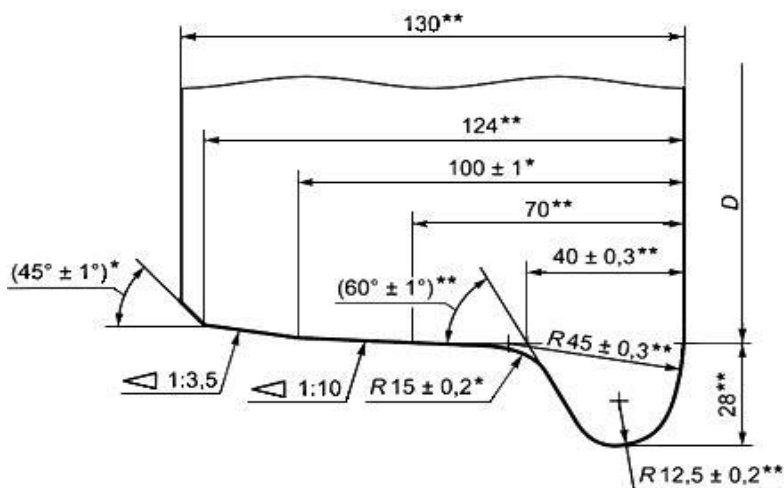
4.1. Riteņu velšanās virsmu un sliežu tipu ritvirsmu izmantojamie profili “Latvijas dzelzceļa” starptautiskajā satiksmē

Riteņpāris paredzēts, lai uztvertu un nodotu statisko un dinamisko slodzi no vagona uz sliedi un kalpo tā novirzīšanai kustībā pa sliežu ceļu. Sastāv no viengabalvelmējuma riteņiem, uzpresētiem uz ass aukstā stāvoklī, un bukšu mezgliem.

Noteikti trīs riteņpāru tipi, paredzēti ekspluatācijai zem kravas vagoniem: RU1Š-957-G, RV2Š-957-G un RU1-957-G:

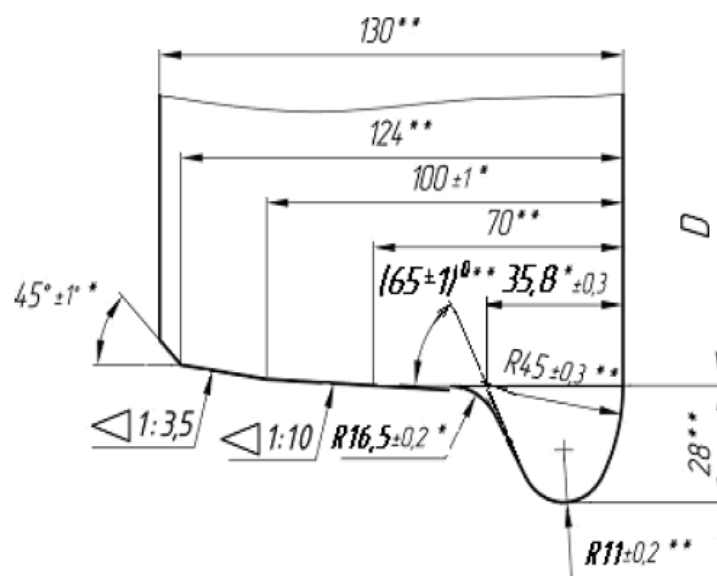
Ass RU1Š - tiek izmantoti zem vagoniem ar 230,50 kN (23,5 - 25 ts) slodzi uz ass.

Latvijas un starptautiskajā dzelzceļa satiksmē sliežu ceļiem 1520 (1524) mm plaši tiek izmantoti kravas vagonu riteņpāru profili (GOST-10791) ar uzmalas biezumu 33 mm. 4.1. att. attēlots šī riteņpāra loka profils.

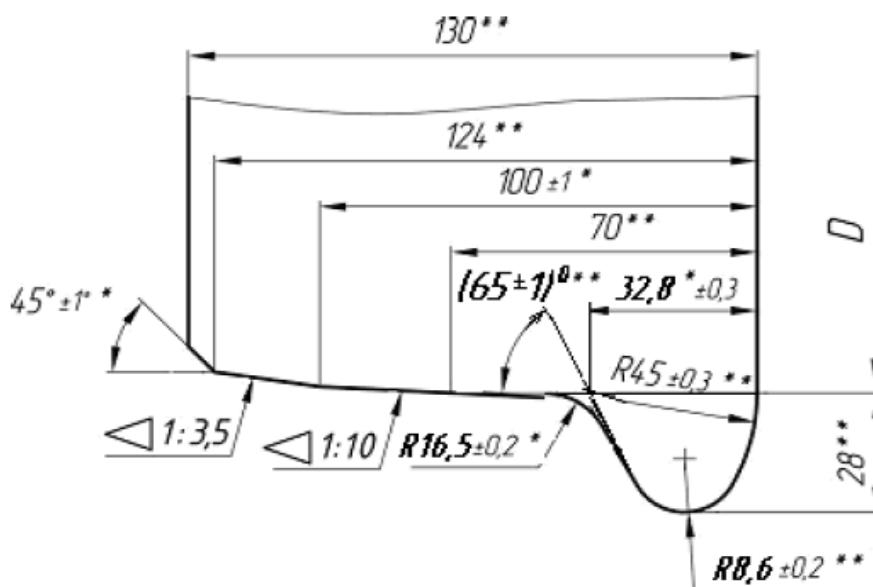


4.1. att. Riteņa velšanās virsmas profils ar uzmalas sākotnējo biezumu 33 mm [54].

“Latvijas dzelzceļā” tiek plaši pielietots (saskaņā ar vadošo dokumentu par riteņpāru remontu un tehnisko apkalpošanu kravas vagoniem ar bukšu mezgļiem maģistrālajos dzelzceļos ar sliežu ceļiem 1520 (1524) mm, RD VNIIŽT 27.05.01-2017) riteņpāru bandāžu remonta profili saskaņā GOST-10791 [54] un uzmalas biezumu 30,27 mm (4.2 - 3. att.).



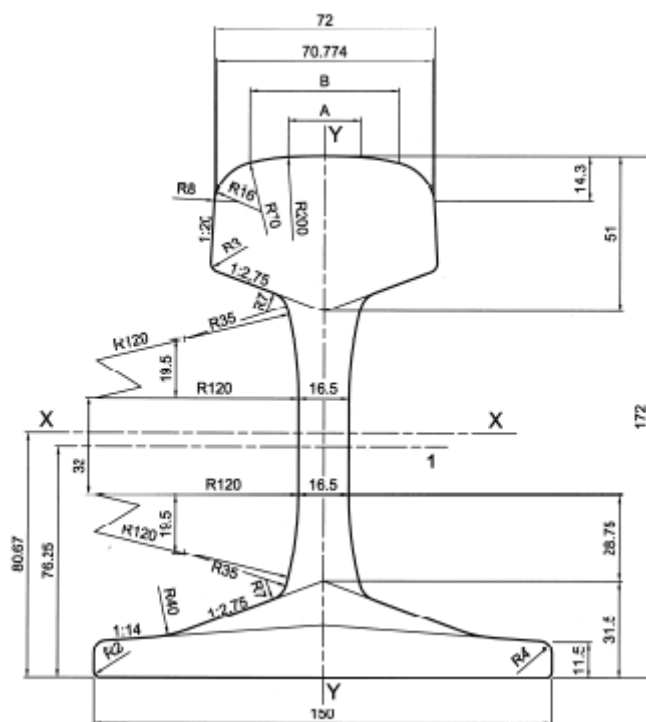
4.2. att. Riteņa velšanās virsmas remonta profils ar sākotnējo uzmalas biezumu 30 mm [54].



4.3. att. Riteņa velšanās virsmas remonta profils ar sākotnējo uzmalas biezumu 27 mm [54].

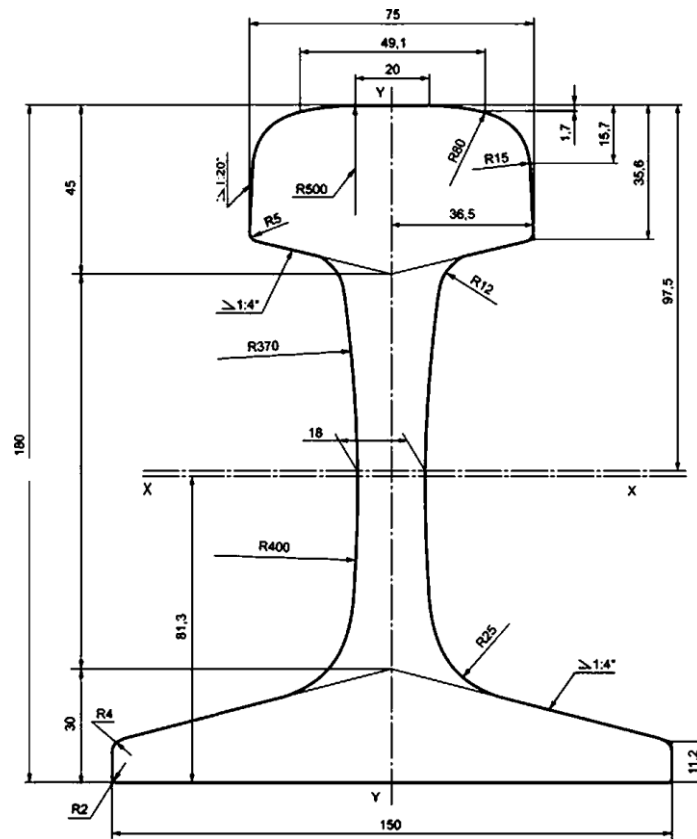
Riteņa loka platums ekspluatācijā ir 130 mm pa ārējo šķautni, kurai noņemta fazīte 6x6 ar leņķi 45°. No fazītes 24 mm attālumā koniskums ir 1:3,5, bet aiz tā, līdz pārejai uz uzmalu, koniskums ir 1:10. Šie koniskumi nepieciešami, lai nodrošinātu vagona laidenu gaitu,

Pēdējos 20 gados “Latvijas dzelzceļā” plaši pielieto 60 E1 (EN 13674 - 1:2011) [10] profila Eiropas sliedes (4.4. att.) kā galvenajiem, tā arī pieņemšanas un nosūtīšanas sliežu ceļiem.



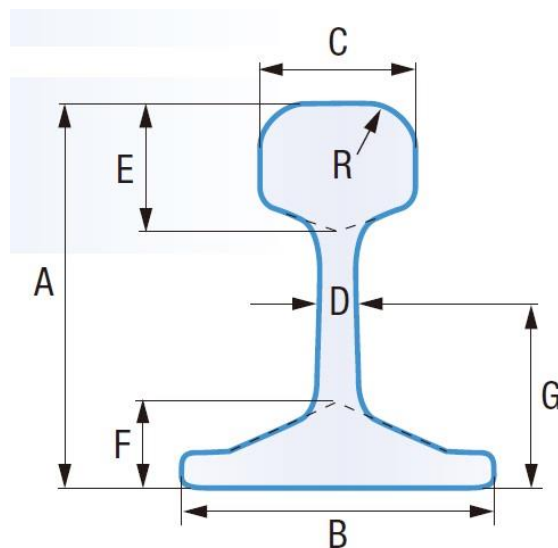
4.4. att. EN 60E1 tipa sliede [10].

55



4.5. att. R 65 tipa sliede [61].

Apskatīsim shēmu dažādu tipu sliežu galveno izmēru un profilu noteikšanai Eiropas (**EN 60E1**) [5,9], Austrālijas (**AS 68**), ASV (**AREMA 136 RE**) un Krievijas (**R 65**), (4.6. att.).



4.6. att. Shēma sliedes galveno izmēru noteikšanai [5].

4.1. tabulā salīdzināšanai parādīsim dažādu profilu un izgatavotājrūpnīcu sliežu galvenās vērtības.

4.1. tabula

Sliežu profilu galveno vērtību tabula

Sliežu profilu tipi		EN 60E1	AS 68	AREMA 136 RE	R 65
Gabarītu izmēri	A mm	172,00	185,70	185,74	180,00
	B mm	150,00	152,40	152,40	150,00
	C mm	72,00	74,60	74,61	75,00
	D mm	16,50	17,50	17,46	18,00
	E mm	51,00	49,20	49,21	45,00
	F mm	31,50	30,20	30,16	30,00
	G mm	80,92	98,40	98,43	82,50
	R mm	300,00	254,00	203,2	500,00
Šķērsriezuma laukums	S cm ²	76,70	86,02	85,98	82,65
Viena metra sliedes masa	W kg/m	60,21	67,50	67,36	64,88
Sliedes inerces moments, ja ir vērpe	Ix cm ⁴	3038,00	3940,00	3921,00	3540,00
Pretestības moments	Galviņas Zx cm ³	334,00	392,00	388,00	358,00
	Pēdas Zx cm ³	376,00	464,00	462,00	435,00

Salīdzinot sliežu galveno parametru reducētos datus var teikt, ka 60 E1 tipa sliedes šķērsriezuma laukums ir mazākais salīdzinājumā ar citiem sliežu tipiem un ir 76,70 cm². Turpretī sliedes galviņas rādiuss ir 300 mm, ar šo kļūstot lielākam, izņemot R 65 tipa sliedes. 60E1 tipa sliedes galviņas platums ir 72 mm, ar šo kļūstot par vismazāko salīdzinājumā ar AS 68 un AREMA 136 RE profiliem, turpretī R 65 sliedes galviņas platums ir vienāds ar 75 mm. Aprēķiniem programmas modelēšanai uzdosim kravas vagona GOST - 10791 loka parametrus, kā arī 60E1 un R 65 tipa sliedes.

4.2. Riteņa un sliedes nodilumi Latvijas un Krievijas dzelzceļos

Riteņa un sliedes mijiedarbība ir viena no riteņa kustības problēmām attiecībā pret sliedi. Konstruktijas materiāliem jābūt ar pietiekamu stiprību, lai nodrošinātu pretestību vertikālajiem spēkiem, kuri rodas augsto slodžu dēļ, un dinamiskās slodzes riteņa un sliedes mijiedarbībā, izraisītiem ar ritošā sastāva elementu vertikālajiem un šķērseniskajiem paātrinājumiem, kurus nosacīti rada sliežu ceļu negludumi un riteņu neapaļumi.

Mijiedarbībai sistēmā ritenis - sliede vienmēr seko nodilums, problēma - tā ir intensitāte, metāla zaudēšanas ātrums no riteņu uzmalu darba virsmas un sliežu sānu virsmas.

“Latvijas dzelzceļā” sliežu ceļu taisno iecirkņu garums nav liels, kā rezultātā vagonu kustība notiek lielākoties pa maģistrālo sliežu ceļu ar rādiusu R = 800 m. Rezultātā

horizontālo spēku ietekme uz riteni un sliedi ir ievērojama. Riteņpāru velšanās profiliem ir dažādi pārejas rādiusi no velšanās virsmas pie uzmalas [47]. “Latvijas dzelzceļā” R 65 sliedes gandrīz visas nomainītas uz EN 60E1 [38]. Tādēļ rādiuss no sliedes galviņas sānu šķautnes pie darba virsmas mainījies un ir atbilstoši 15 mm uz 13 mm. Piestrādes laiks pielietojamajiem riteņiem ar sliedi saīsinājies, izraisot slodzes daļas pārdevi uz uzmalu (divpunktu kontakts). Visbiežāk atkārtotie riteņu defekti “Latvijas dzelzceļā” parādīti 4.2. tab.

4.2. tabula

Statistika par riteņpāru brākēšanu “Latvijas dzelzceļa” tīklā periodā no 2016. gada līdz 2019. gadam

Galvenie riteņa defekti periodā no 2016. gada līdz 2019. gadam	2016. gads	2017. gads	2018. gads	2019. gads
Asšķautnains uzmalas uzvelmējums	63	20	8	6
Izdrupumi	155	172	257	249
Uzmetinājums un izrāvumi	158	145	315	218
Plāna uzmala	51	64	96	109
Kopējais skaits	427	401	676	582

“Latvijas dzelzceļā” riteņpāru galvenā problēma ir izdrupumi, uzmetinājumi un izrāvumi, kā arī plānā uzmala un asšķautnains uzvelmējums, kas rodas divpunktu kontakta ritenis – sliede gadījumā. Izskatīsim šos defektu veidus detalizētāk.

Asšķautnains uzmalas uzvelmējums - mehāniskais bojājums, kas raksturojams kā izciļņa veidošanās pa uzmalas lokveida perimetru pārejas vietā no tā nodilušās sānu virsmas uz virsotni. Asšķautnainais uzvelmējums rodas uzmalas metāla virsējā slāņa plastiskās deformācijas rezultātā virzienā uz virsotnes pusi dēļ augsta kontakta spiediena un intensīvas berzes mijiedarbības vietā ar sliedes galviņu. To stimulē riteņpāra nenormāls darbs, radies tādu iemeslu dēļ, kuri noved pie paaugstināta nodiluma rašanās un riteņa uzmalas nogriezumā. Riteņpāru ar asšķautnainu uzvelmējumu ekspluatācija ir aizliegta, tā kā var notikt vagonu nobraukšana no sliedēm pretasmens pārmijas uzlaušanas gadījumā 4.7. att.



4.7. att. Atklātais kravas vagona riteņa uzmalas asšķautnainais uzvelmējums braukšanas ceļā [47].

Izdrupumi - vietējā sairšana riteņa velšanās virsmas metāla izdrupšanas veidā. Izdrupumu veidošanās iemesls ir īslaicīga riteņpāra izslīde no sliedēm. Tāda izslīde rodas ritenim īslaicīgi ieķīlējoties apstāšanās momentā, kad berzes spēks starp riteņa virsmu un klučiem kļūst lielāks kā riteņa sāķeres spēks ar sliedi. To stimulē sarmas, sniega, ūdens esamība uz sliedēm, pazeminot sāķeres koeficientu 4.8. att.



4.8. att. Metāla nošķēlumi uz kravas vagona riteņa velšanās virsmas [47].

Uzmetinājums - metāla nobīde uz riteņa loka virsmas, raksturojams kā metāla U veida formas secīgu nobīžu veidošanās. Uzmetinājums veidojas īslaicīgas riteņa izslīdes pa sliedēm par 20 - 30 mm gadījumā 4.9. att.



4.9. att. Īslaicīga riteņa izslīde pa sliedi [47].

Izrāvums - riteņa lokālais nodilums, raksturojas kā plakana laukuma veidošanās uz velšanās virsmas riteņa slīdēšanas pa sliedi rezultātā. Rodas riteņpāra iekļīlēšanās dēļ, veicot bremzēšanu 4.10. att.



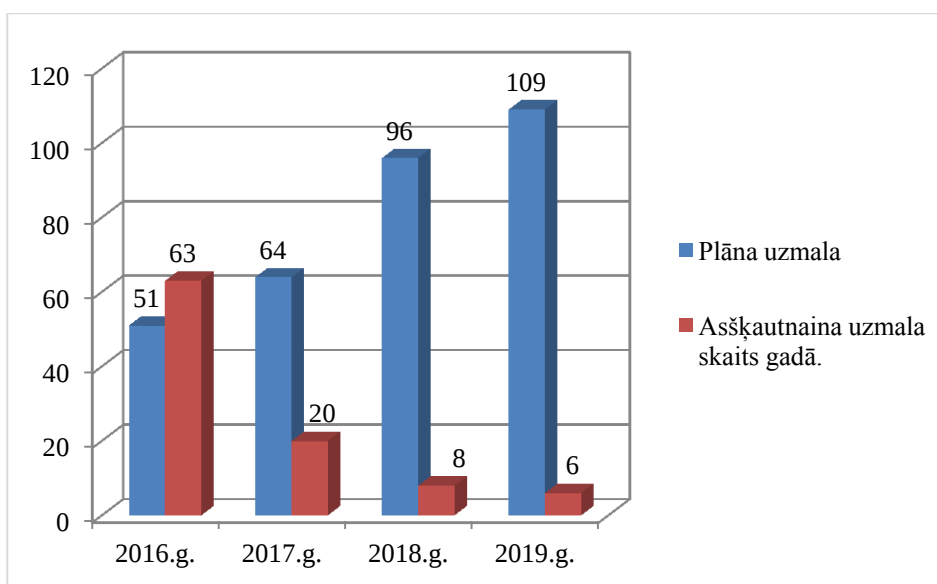
4.10. att. Izrāvums 50 mm garumā un 0,70 mm dziļumā [47].

Plāns, vertikāls uzmalas nogriezum - nevienmērīgs, pa riteņa šķērsprofilu loka nodilums, kam uzmalas sānu virsmas profila slīpuma leņķis ir 90° , bet pārejas rādiuss no uzmalas uz slīpumu 1:10 samazinās līdz 8 - 12 mm. Uzmalas biezuma samazināšanās notiek tā dabiskā nodiluma dēļ vagona ekspluatācijas procesa rezultātā 4.11. att.



4.11. att. Atklātais kravas vagona riteņa maksimālais nodilums 25 mm [47].

4.2.1. tab. attēlota statistika par riteņpāru brāķēšanu “Latvijas dzelzceļā” periodā no 2016. gada līdz 2019. gadam [20]. Par pamatu izmantojot 4.2. tab. Izveidosim grafisku attēlu par riteņpāru galvenajiem defektiem, kuri ietekmē sliedes galviņas nodilumu 4.12. att.

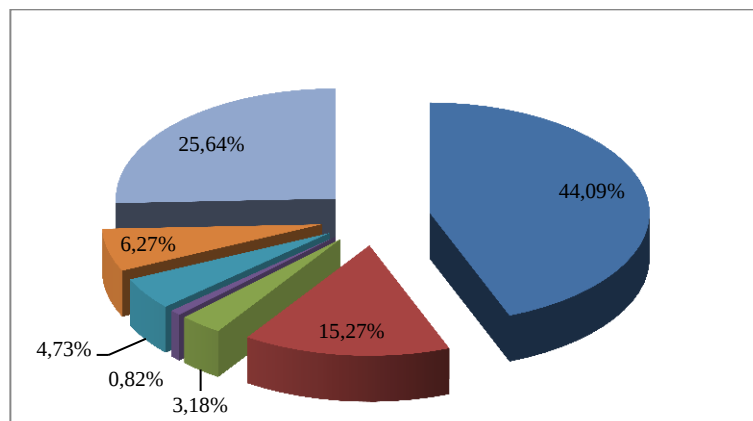


4.12. att. Statistika par riteņpāriem ar asšķautnainu un plānu uzmalu defektiem “Latvijas dzelzceļā” periodā no 2016. gada līdz 2019. gadam.

No 4.12. att. diagrammas redzams, ka galvenais defekts 2016. gadā bija asšķautnains uzmalas uzvelmējums, kas bija 63 defekti. 2017. gadā šo defektu veida skaits samazinājās līdz 20 defektiem gadā. Tāpat arī turpmākajos gados, no 2018. gada līdz 2019. gadam, šo defektu veida skaits samazinājās no 8 līdz 6 defektiem. Tikmēr plānās uzmalas defekti palielinājās. Tā 2016. gadā šo defektu veida skaits bija 51, bet jau 2017. gadā 64 defekti. 2018. gadā plānās uzmalas defektu skaits pieauga līdz 96 defektiem un jau 2019. gadā tie bija 109 atklātie šī veida defektu gadījumi.

Pēc literatūras avotu (publikācijas, zinātniskie raksti, žurnāli un grāmatas) analīzes un savāktajiem statistikas datiem var secināt, ka šī problēma par riteņpāru un sliedes galviņu

nodilumu ir aktuāla arī citās valstīs, tādās kā ASV, Ukraina, Baltkrievija, Krievija [20]. Kā piemēru minēsim riteņpāru un sliedes galviņas nodiluma defektu statistikas salīdzinājumu Krievijas dzelzceļā. 4.13. att. attēlota skaitliskā diagramma par riteņpāru loku bojājumiem dažādu defektu veidu dēļ.

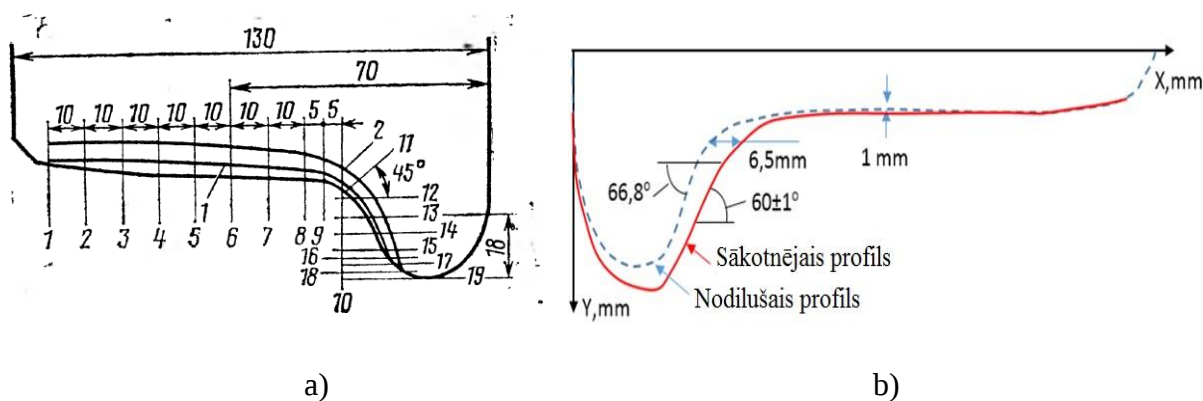


4.13. att. Riteņpāru loku defektu skaita Krievijas dzelzceļā sadalījums procentos [20].

Kā redzams, visbiežāk sastopamie riteņpāru bojājumu iemesli ir (%):

- riteņpāru uzmalas maksimālais nodilums - 44,09%;
- loka diametru pieļaujamo starpību pārsniegšana - 25,64%;
- bandāžas sēžas atslābšana - 6,27%;
- vertikāls uzmalas nogriezumus - 15,27%;
- metāla uzplūdums uz ārējās šķautnes - 4,73%;
- izrāvumi - 3,18%;
- citi iemesli - 0,82%.

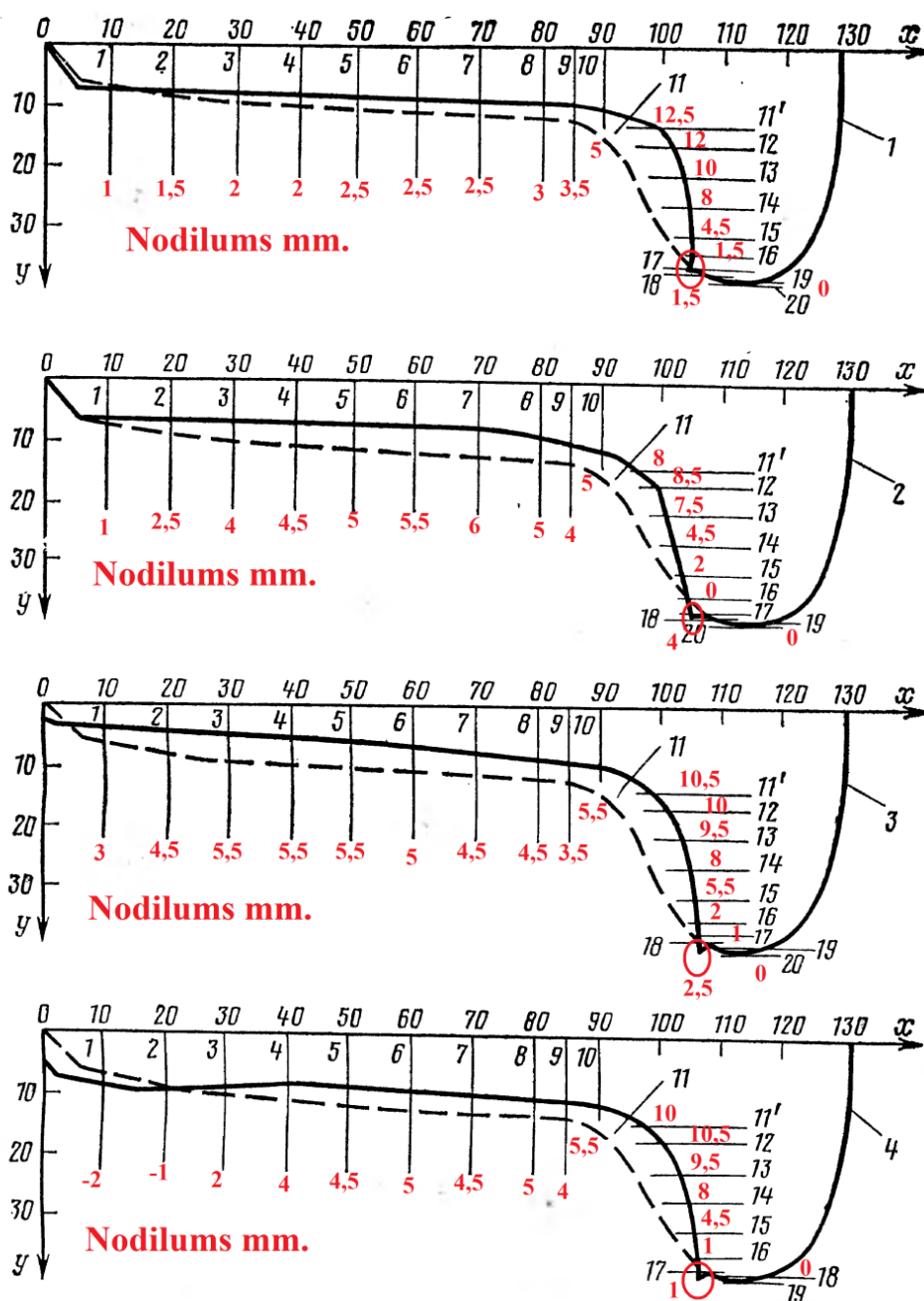
Kā redzams no 4.13. att. grafika riteņpāru loka galvenais nodilums Krievijas dzelzceļā ir riteņpāra uzmalas nodilums [42]. 4.14.a.b. att. attēlots riteņpāra loka nodiluma profils, raksturīgs Krievijas un Latvijas dzelzceļiem.



4.14. att. a) Riteņpāru loku - vidēji nodiluša 1 un maksimāli nodiluša 2 - profili Krievijas dzelzceļa tīklā: 1 - 19 loka šķērs griezumā, izmantotā tā profila aprakstam [42]. b) Tipisks riteņu nodilums uz Latvijas dzelzceļa.

4.14. att.b. uzrādītā Latvijas dzelzceļa profilā riteņu protektora nodilums sasniedz tikai 1 - 2 mm, bet riteņu plānu uzmalu nodilums - 6,50 mm, kas atbilst statistikas rezultātiem 4.12. att. Tāpēc Latvijas dzelzceļam ir svarīgs riteņu plānu uzmalu nodilums.

Izskatīsim reālo kravas vagonu riteņpāru loku četrus nodiluma profilus ar plānu uzmalu, kura nodilums attīstījās vertikālā nogriezumā un asšķautnainā uzvelmējuma rašanās virzienā, raksturīgiem Krievijas dzelzceļam (4.15. att., 1 - 4) [42].

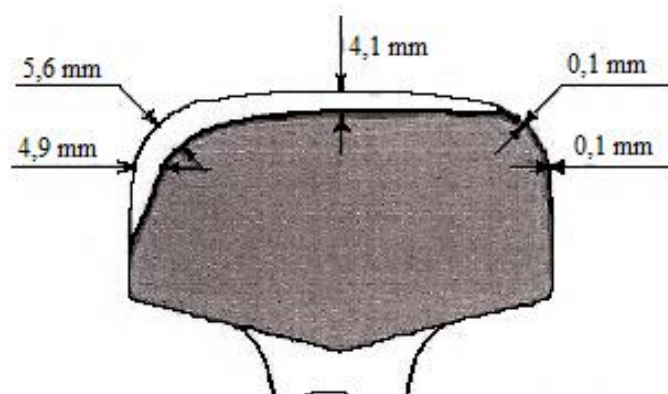


4.15. att. Loku ar plānu uzmalu profili:

— nodilis loks; --- jauns loks; 1, 2, 3, 4 - nodilušā loka numurs; 1 - 20 - jaunā loka šķēsgriezumā, izmantotajam tā profila aprakstam [42].

No 4.15. att. var redzēt kā mainās nodilušās uzmalas kontūras (1 - 4) riteņa loka profilā. Ar riteņa uzmalas vertikālo nodilumu var novērot asšķautnainā uzvelmējuma veidošanos, kas, atkarībā no uzmalas nodiluma var veidoties no 1 - 4 mm. Pirmajā profilā uzmalas nodilums ir 12,50 mm, turpretī riteņa loka nodilums svārstās no 1 - 3,50 mm. Pirmajā nodilumā kā sarkans aplis attēlots asšķautnainais uzvelmējums, kas vienāds ar 1,50 mm. Otrajā riteņa loka profilā maksimālais uzmalas nodilums ir 8,50 mm, bet riteņa loka nodilums svārstās no 1 - 6 mm. Asšķautnainais uzvelmējums riteņa otrajam profilam vienāds ar 4 mm. Trešajā profilā riteņa loka nodilums svārstās no 3 - 5,50 mm. Maksimālais uzmalas nodilums trešajā profilā ir 10,50 mm, veidojot pie tā asšķautnaino uzvelmējumu 2,50 mm. Ceturtajā profilā novērojams riteņa loka viļņveida nodilums, kas svārstās no 2 līdz 5 mm ar uzmalas daļas nodilumu no 1 līdz 10,50 mm, un asšķautnaino uzvelmējumu 1 mm.

Apskatīsim riteņpāra uzmalas nodiluma ietekmi uz R 65 tipa sliedes galviņu. 4.16. att. parādīti galvenie sliedes galviņas nodilumi riteņa un sliedes mijiedarbības rezultātā.

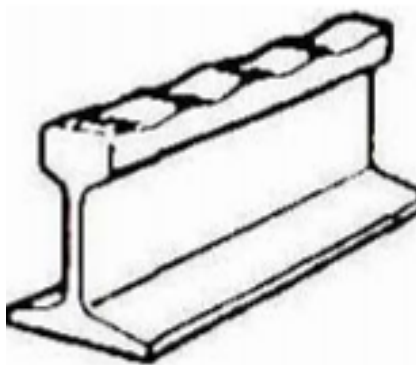


4.16. att. Sliedes galviņas nodiluma mērījumu rezultāti Krievijas dzelzceļa Nikolajevkas stacijā [20].

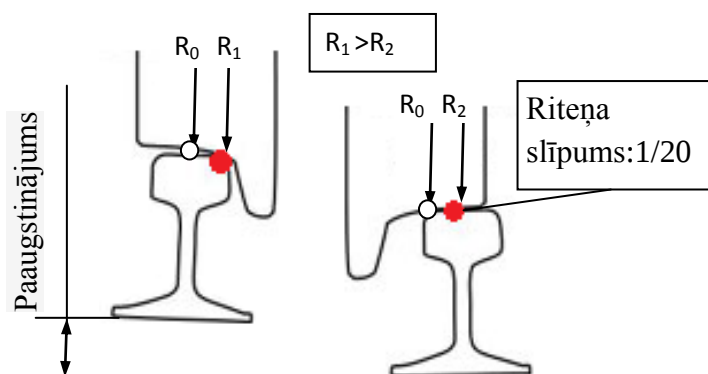
4.16. att. skaidri redzams vislielākais sānu (5,60 mm) un vertikālais (4,10 mm) nodilums sliedes galviņai riteņa un sliedes divpunktu kontakta zonā, kas raksturīgi sliežu ceļu līkņu iecirkņiem.

4.16. att. sliedes sānu nodilums ir divreiz mazāks. Saskaņā ar [52] norādītais defekts radies riteņa uzmalas pastiprinātas izslīdes dēļ. Tas notiek, jo ir palielināti riteņa uzmalas uzbraukšanas leņķi uz sliedes sānu šķautni sliežu ceļu līkņu iecirkņos, kā arī sliedes galviņas sānu šķautnes lubrikācijas neesamības vai nepietiekamības dēļ. Gadījumos, kad dzelzceļa sliežu ceļu taisnajos iecirkņos ir nepareizi slīpumi, veidojas sliedes sānu nodilumi, kas izplatās no 1 līdz 30 metriem pa sliežu ceļu garumu.

4.17. att. parādīti īsie viļņveidīgie periodiskie negludumi ārējās sliedes galviņai līknēs, ar garumu no 3 līdz 25 cm. Par iemeslu īso viļņveidīgo negludumu defektam uz sliedes galviņu ir periodiskas ārējā riteņa izslīdes no sliedes galviņas, riteņa velšanās loku rādiusu R_1 , R_2 nepietiekamas starpības vienā riteņpārī dēļ (4.18. att.).



4.17. att. Īsie viļņveidīgie negludumi uz sliedes galviņas [52].



4.18. att. Sliedes un riteņa velšanās virsmas profilu slīpums [8].

Izmantojamo riteņu velšanās virsmas profila un sliedes slīpums pēc GOST - 10791 ir 1:20 relatīvi horizontālajai asij jaunajiem riteņiem [47] un sliedēm [8] (4.18. att.). Vagonu kustības ātruma pārsniegšana dzelzceļa sliežu ceļu līknēs rada sānu slodzes palielināšanos uz sliedi (4.16. att.) un relatīvi nevajadzīgu riteņu izslīdi pa sliedi (4.17. att.). Sliedes nepareizs slīpums, ārējās sliedes pacēluma un riteņu profila (to nodiluma) lielumi stimulē sliežu un riteņu defektu rašanos (4.12 - 17. att.).

Pēc literatūras analīzes un salīdzinot defektu statistiku, kā arī kravas vagonu riteņpāru un dažādu profilu sliežu nodilumu, ir līdzīgi pēc visām vērtībām un riteņpāru un sliežu defektu izplatības zonas.

4.3. Sliežu slīpēšanas veidi un periodiskums

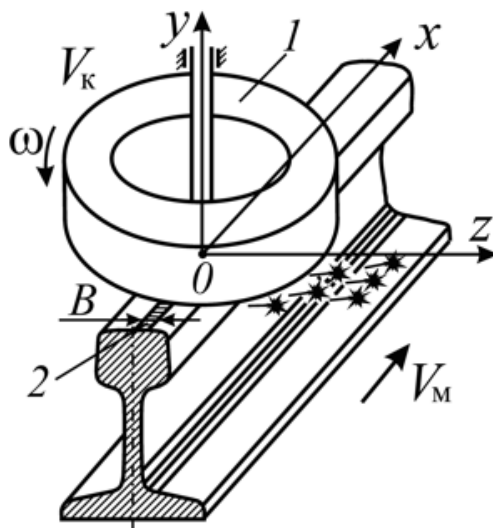
Viens no sliežu kalpošanas laika pagarināšanas paņēmieniem ir sliežu slīpēšana, pielietojot sliežu slīpēšanas vilcienu.

Sliežu slīpēšanas veidi:

- Sliežu sākotnējā vienlaidu slīpēšana pēc sliežu likšanas ceļā likvidē metāla bezoglekļa slāni uz jaunajām sliedēm, kuru virsma, pēc rūdīšanas, zaudē oglekli, un pretestību mehāniskiem bojājumiem, tāpat tiek novērsti izgatavošanas negludumi un mikroplaisas;
- Profilaktisko, kas paredz metāla visvairāk bojātā slāņa regulāru noņemšanu negludumu un virsmas plaisu lēnas augšanas stadijā, kas ļauj novērst to paātrinātu attīstību;
- Profila slīpēšana, kad sliedes galviņa tiek slīpēta pa visu perimetru ar mērķi novērst ievērojamus virsmas defektus un noteikto profilu atjaunošanu.

Profila slīpēšana šobrīd ir viena no prioritārajiem virzieniem. Profilaktiskā slīpēšana ļauj novērst ritvirsmas defektu rašanos, nepieļaut (vai būtiski attālināt) kontakta noguruma rakstura defektu attīstību sliedēs. Sarakstā ar slīpēšanu novēršamo un samazināmo sliežu defektiem, iekļaujami šādi veidi: viļņveida nodilumi, sedlienes, izbuksējumi, mehāniskie bojājumi, saplacinājumi, saspiedumi, galviņas plastiskās deformācijas, metāla atlobījumi un izdrupumi uz galviņas darba veidgriezumiem, salauztie sliežu gali salaidnēs, negludumi metinātajā salaidnē, defekti izgatavošanas tehnoloģijas neievērošanas rezultātā.

Sliežu slīpēšanai ceļā tiek pielietoti trīs paņēmieni: sliežu gala slīpēšana ar rotējošu abrazīvu ripu; nepārtraukta sliežu ēvelēšana ceļā ar tai sekojošu vibro slīpēšanu, slīdošā slīpēšana. Pirmais paņemiens ir ražīgāks un ļauj iegūt sliežu galviņas izliektu «remonta profilu», otrajam paņēmienam tiek dota priekšroka – tie ir sliežu slīpēšanas vilcieni RŠP-48, RR-16 u.c. Trešais paņemiens tiek pielietots ierobežotā skaitā dažās valstīs. Mūsu gadījumā tiek pielietots pirmais paņemiens - sliežu gala slīpēšana ar rotējošu abrazīvu ripu. 4.19. att. attēlota sliežu slīpēšanas shēma (slīpēšanas vilciena shēma Nr. 2 Pielikumā).



4.19. att. Sliežu slīpēšanas shēma:

1 - abrazīvā ripa; 2 - metāla slīpēšanas josla [53].

Sliedes galviņas ceļā profila slīpēšana tiek panākta veicot abrazīvo apstrādi ar rotējošu ripu (4.19. att.) pēc metodes ripas gala «pēdas». Abrazīvā ripa 1 rotē ap asi OY un noņem no sliedes metāla strēmeli 2 B platumā, gareniski virzot mehānismu gar sliedi [53]. Ripu grupa apstrādā sliedes galviņu ar daudzstūri. Pēc ekspluatācijas datiem nodilušās sliedes un riteņa laukuma platums ir 50 mm, kas palielina kustības pretestību, bet pēc sliedes slīpēšanas - 20 mm (4.20.b. att.).



a)

b)

4.20. att. a) Sliede pirms sliedes galviņas slīpēšanas, riteņa kontakta zona ar sliedi platumā ~50 mm pa visu sliedes galviņas platumu, b) Sliede pēc sliedes galviņas slīpēšanas, riteņa kontakta vieta ar sliedi platumā ~20 mm pa sliedes galviņas centru.

Veicot sliedes galviņas darba virsmas vizuālo apskati pēc darba vilciena "SPENO RR-40MF2" braukšanas (4.20.b. att.) iecirknī Vecumnieki - Misa, atklāts, ka sliedes galviņas profils uz ilgu laiku saglabā ideālu kontaktu ar ritošā sastāva riteņpāri kā sliežu ceļa taisnajos, tā arī līkņu iecirkņos.

Sliedes slīpēšanas ievērojami pagarina to kalpošanas laiku. To panāk, risinot šādus uzdevumus. Vispirms uz jaunā sliedes tiek noņemts dekarburētais metāla slānis. Otrkārt, nevienmērīgumi tiek novērsti. Treškārt, ar profila slīpēšanu vai galvas profilēšanu tiek optimizēti riteņa un sliedes mijiedarbības. Ceturtkārt, sliežu darbības laiks palielinās regulējošā profila slīpēšanas rezultātā - papildu vertikāli liela radiusa līknēs un papildu sāniski māza radiusa līknēs.

“Latvijas dzelzceļā”, saskaņā ar līgumu no 1997. gada līdz šim brīdim, sliežu slīpēšanas darbus izpilda Šveices kompānija "SPENO International SA". Pašā slīpēšanas darbu sākumā darba vilcienam izmantoja 16 aktīvus slīpēšanas akmeņus, bet šobrīd akmeņu daudzums sasniedzis 112, kas ļauj ātri un kvalitatīvi veikt sliežu slīpēšanas darbus ar minimāliem laika izlietojumiem un izdevumiem [53]. Sliežu slīpēšanu “Latvijas dzelzceļā” pielieto kā uz I (galvenajiem sliežu ceļiem) tā arī II (pieņemšanas un nosūtīšanas sliežu ceļiem) sliežu ceļu kategorijām. Sliežu slīpēšanu pirmkārt veic pēc jaunu sliežu likšanas (preventīvā slīpēšana), bet turpmākās (koriģējošās) slīpēšanas tiek veiktas pēc 200 – 250 milj.t, bruto tonnāžas

caurlaišanas, kā arī, atkarībā no sliedes galviņas nodiluma intensitātes [30]. Krievijas dzelzceļā esošā sliežu slīpēšanas kārtība attēlota 4.3. tab.

4.3. tabula

Sliežu slīpēšanas periodiskums no caurlaistās tonnāžas un sliedes galviņas vertikālā nodiluma (sliežu ceļu taisnajos un līkņu iecirkņos)

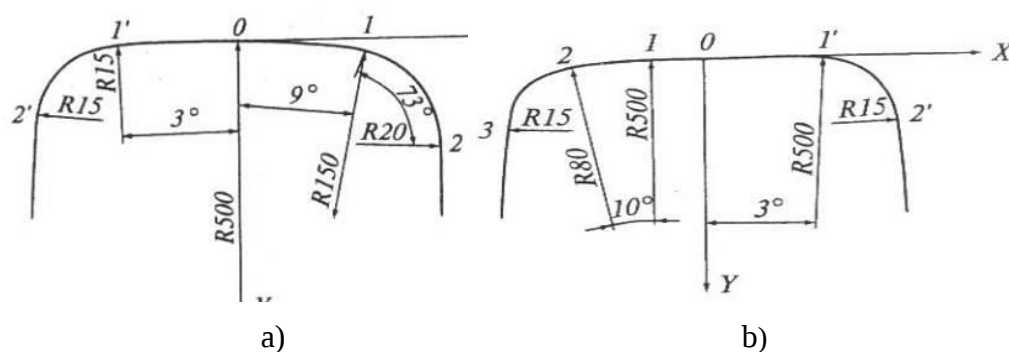
Caurlaistā tonnāža milj.t.,bruto	Līnijas plāns	Galviņas vertikālais nodilums, mm
Līdz 150	Taisnie iecirkņi un līknes ar $R \geq 1000 \text{ m}^*$	0,50 – 1,00
150 – 500	Taisnes un līknes $R > 1000 \text{ m}$	1,00 – 2,50
501 – 700	Taisnie ceļu iecirkņi	2,50 – 4,00
150 – 500	Līknes $R = 800 – 1000 \text{ m}$, ārējais pavediens	līdz 4,00
150 – 500	Tas pats, iekšējais pavediens	1,00 – 4,00

No 4.3. tabulas var redzēt, ka Krievijas dzelzceļā sliežu slīpēšana tiek norīkota pēc vairākiem kritērijiem, kā atkarībā no caurlaistās tonnāžas (150 - 700 milj.t.,bruto), sliežu ceļu plāna līnijas un līklīniju iecirkņiem, kā arī no galviņas vertikālā nodiluma, kas svārstās 0,50 - 4,00 mm. Tāpat ir izstrādāts slīpēšanas remonta profils konkrētam sliedes galviņas vertikālajam nodilumam.

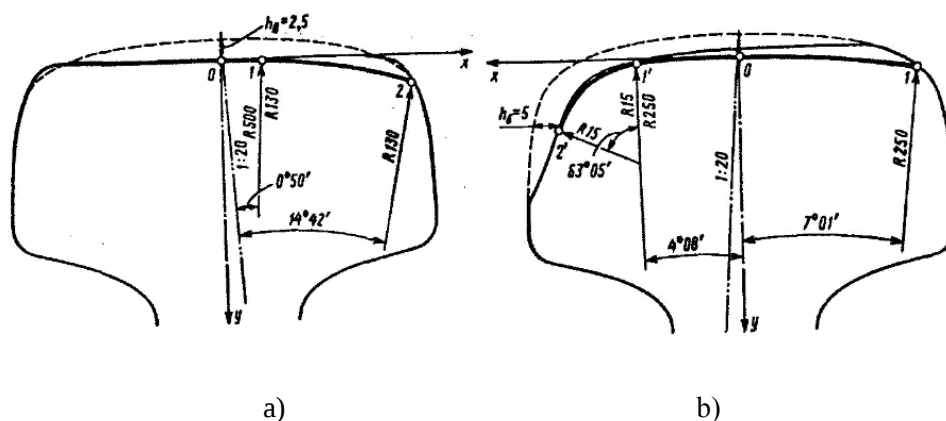
Šis jautājums jārisina veicot sliežu slīpēšanas profilu analīzi.

4.4. Sliežu slīpēšanas zināmie profili un metodika

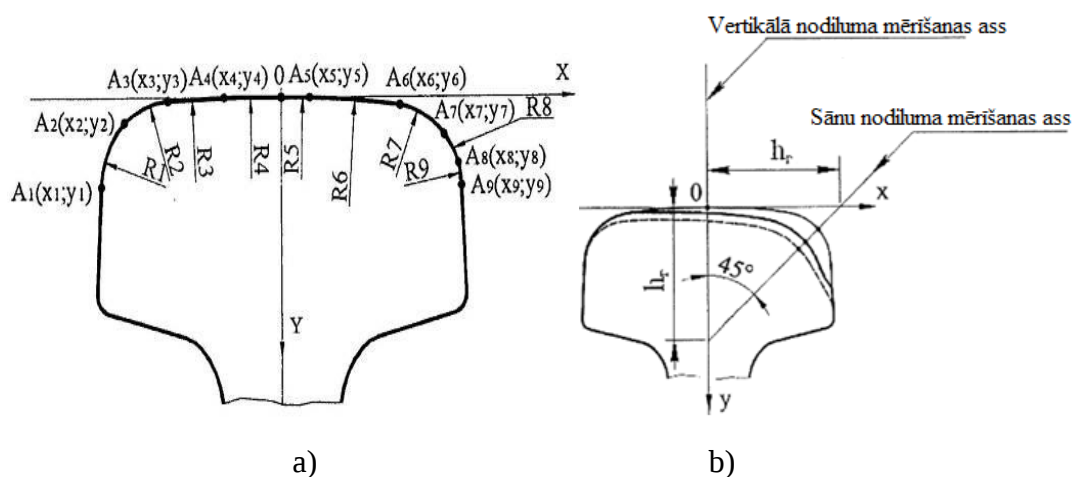
Defektu novēršanai veic sliežu slīpēšanu. Saskaņā ar sliežu slīpēšanas vilcienu tehnoloģisko procesu (SPENO), remonta profili tiecas atkārtot jaunās sliedes profilu (4.21. att.), ņemot vērā slīpējamās sliedes nodilumu, ar soli 3 - 4 mm [59]. Normatīvā dokumentācija [53] rekomendē veikt slīpēšanu pa remonta asimetriskajiem profiliem iekšējai un ārējai sliedeī, ņemot vērā sliedes sānu nodilumu ar soli 5 mm (4.22. att.). zināmi paņēmieni [39] precīzākam remonta profila aprakstam, iekļaujot papildus punktus remonta profilā (4.23. att.). Tāpat zināmi paņēmieni [28, 24, 27] ritošā sastāva dinamiskajai modelēšanai, analizējot riteņa un sliedes kontaktpēkus.



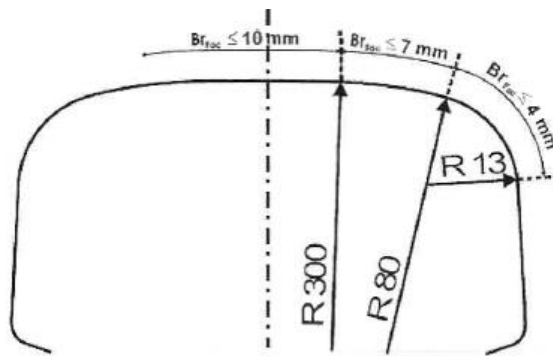
4.21. att. Sliežu remonta profils ar vertikālo nodilumu (1 - 4) mm un caurlaisto tonnāžu 150 līdz 500 milj.t., bruto līknēs $R = (800 - 1000)$ m: a) - ārējais pavediens, b) - iekšējais pavediens [53].



4.22. att. Remonta asimetriskais profils R65 sliedēm ar nodilumu līknē: a) iekšējā sliede ar vertikālo nodilumu 2,50 mm, b) ārējā sliede ar sānu nodilumu 5 mm [53].



4.23. att. Sliežu remonta profila shēmas a) sliežu remonta profila raksturīgo punktu un rādiusu izvietojuma shēma, b) sliedes vertikālā un sānu diluma mērīšanas shēma [53].



4.24. att. 60E1 tipa sliežu slīpēšanai pieļaujamās vērtības [53].

Iepriekš minētie paņēmieni un pieejas sliežu galviņas profila atjaunošanai, veicot slīpēšanu, bāzējas uz sliedes jauno profilu atkārtošānu. Galvenie kritēriji 60E1 tipa sliežu remonta profilu atjaunošanai attēloti (4.24. att.). Veicot 60E1 tipa sliežu profila slīpēšanu pamatmetāla noņemšana nedrīkst pārsniegt uz sānu virsmas 4 mm, pārejas zonā 7 mm un uz ritvirsmas 10 mm [7]. Pielikumā 3 (3.1, 3.2.) attēlotas reālas lentes, gadījumā, kad tika veikta profila slīpēšana Ilzenes stacijā, attēlojot sliedes galviņas kārtējo profilu un, pēc slīpēšanas, uz šiem profiliem skaidri redzams, ka “Latvijas dzelzceļā” sliedes profilu atjauno pēc sākotnējā profila. Ņemot vērā pāra sliede - ritenis augsto nodiluma intensitāti, var izdarīt secinājumus, ka šīs metodes nav pietiekami efektīvas.

Bez tam, “Latvijas dzelzceļā” sliežu slīpēšana tiek veikta pēc šveiciešu kompānijas SPENO pasūtījuma. Pasūtot slīpēšanas pakalpojumus, darbuzņēmējs saņem informāciju par sliedes tipu, sliežu ceļa slīpēšanas veikšanai izvietojumu un nesniedz informāciju par riteņpāru profilu stāvokli. Šādos apstākļos riteņa un sliedes virsmas nav saskaņotas. Jautājums nav līdz galam apgūts un prasa jaunu pieeju meklējumus.

4.5. Riteņa un sliedes kontakta mijiedarbības apraksts

Riteņa un sliedes mijiedarbība ir atslēga riteņa kustības problēmām attiecībā pret sliedi. Šajā mijiedarbībā jābūt pēc iespējas zemākam berzes līmenim, lai nodrošinātu lielu masu kustību ar mazu pretestību, bet vienlaicīgi berzes līmenim jābūt pietiekamam, lai nodrošinātu prasīto vilces spēku. Konstruktijas materiāliem jābūt ar pietiekamu stiprību, lai nodrošinātu pretestību vertikālajiem spēkiem, kuri rodas augstu slodžu un dinamisko reakciju ritenis - sliede mijiedarbības rezultātā, kuru cēlonis ir elementu vertikālie un šķērseniskie paātrinājumi ritošajā sastāvā, kas nosacīti ar sliežu ceļu negludumiem un neapaļiem riteņiem [62].

Viens no riteņa un sliedes mijiedarbības mehānikas uzdevumiem, izskata savstarpējo sakritību starp spriegumiem, garenisko izslīdi un sistēmas ritenis - sliede ģeometriskajiem parametriem, ir normālo un tangenciālo spriegumu sadalījums, relatīvās izslīdes un berzes spēka uz kontakta laukumu. Divu elastīgo ķermeņu, kuriem ir vienādi elastības raksturojumi, svārstīšanās kontakta uzdevums, kur tam ir vieta ritenim un slidei, var tikt piedāvāta atsevišķi kā normālais un tangenciālais uzdevums. Pirmā uzdevuma mērķis ir kontakta

laukuma izmēra un formas noteikšana, kā arī normālo kontakta spriegumu sadalīšana. Normālā uzdevuma risinājuma rezultāti tiek izmantoti, lai atrastu tangenciālos risinājumus, beidzoties ar tangenciālo spriegumu un saķeres zonas momenta, ka arī izslīdes kontakta laukuma sadalījuma atrašanu.

Normālie kontakta spriegumi

Vadoties pēc Herca normālā uzdevuma risinājumiem, maksimālais kontakta spriegums $P_{\max}$ var tikt aprēķināts pēc formulas (4.1) [62].

(4.1.)

$$P_{\max} = \sqrt[3]{\frac{3FE^2}{2\pi^3 R_e^2 (1 - \nu^2)^2}}$$

Veiksim 60 E1 tipa jaunās slīdes maksimālā sprieguma $P_{\max}$ aprēķinu

$$P_{\max} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 122000 \cdot 210000^2}{2 \cdot 3,14^3 \cdot 478^2 \cdot (1 - 0,28^2)^2}} = 1103 \text{ MPa}$$

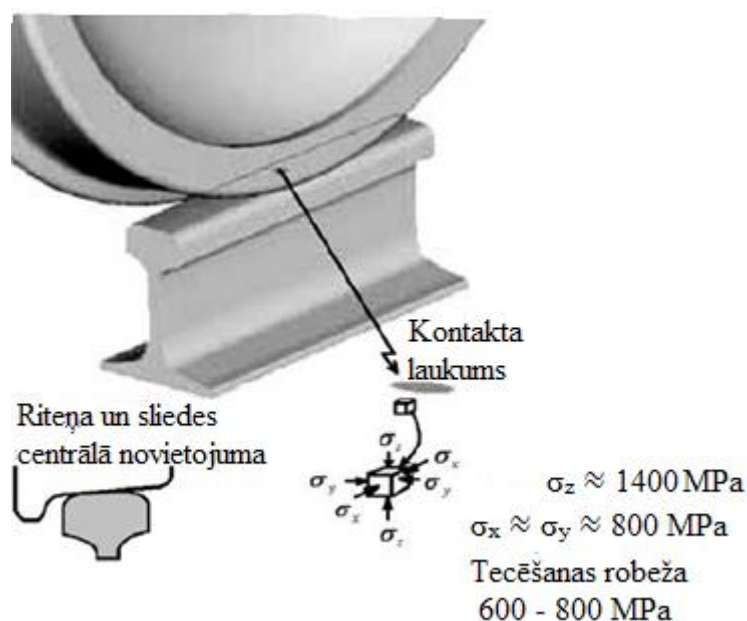
kur E – elastības modulis 210000 MPa;

F – riteņa un slīdes noslogojuma normālais spēks 122 kN = 122000 MPa;

R_e – ekvivalentais rādiuss, atkarīgs no riteņa un slīdes mijiedarbības raksturīgākajiem rādiusiem kontakta vietā 478 mm;

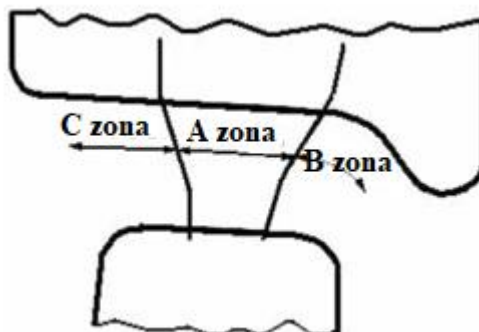
ν – Puasona koeficients 0,28.

Tādā veidā, normālais spriegums uz slīdes ritvirsmas un riteņa velšanās virsmas ir atkarīgs no riteņa slodzes uz slīdi, ritvirsmas rādiusiem, mijiedarbojošos materiālu īpašībām, pie tam, ritvirsmas rādiuss ir atkarīgs no riteņa un slīdes kontakta laukuma. Kontakta laukums ir ārkārtēji mazs un tas nosaka augstus kontakta spriegumus. Tipiskā gadījumā [28] kontakta vieta ir uz kvazieliptiskā laukuma ar izmēriem ≈ 13 mm (4.25. att.). Tieši zem kontakta laukuma metāls kā riteņa, tā arī slīdes, atrodas zem augsta spiediena, darbojošos no visiem virzieniem, jo kontakta spiediens tiek uzturēts ar reakcijas spiedienu no apkārtējā materiāla puses. 4.25. att. tās parādīts ar bultām, kā metāla vienīgajam elementam paejot zem kontakta laukuma. Visas «sprieguma bultiņas» iedarbojas uz metālu praktiski vienveidīgi, tātad metālam nav brīva virziena deformācijai vai tecēšanai un var izturēt slodzi [25].



4.25. att. Riteņa un sliedes kontakts, to centrālā novietojuma gadījumā [25].

Ekipāžai kustoties, riteņpāra stāvoklis attiecībā pret sliedi [24] būtiski mainās, tādēļ pie riteņa un sliedes kontaktzonas rodas dažādi savienojumi (4.26. att.).

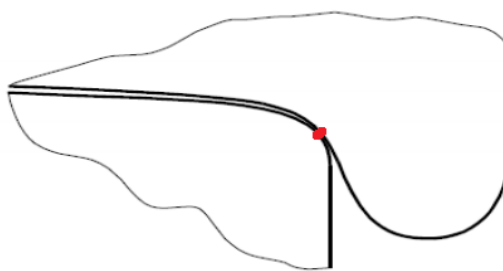


4.26. att. Sistēmas ritenis – sliede kontakta funkcionālās zonas: kontakts starp sliedes galviņas centrālajām zonām un riteņa velšanās virsmu (A zona); kontakts starp sliedes galviņas veidgriezuma zonu un riteņa uzmalas pamatu (B zona); kontakts starp sliedes galviņas ārējām daļām un riteņa velšanās virsmu (C zona) [24].

Sliežu ceļu straujās līknēs un taisnajos iecirkņos riteņu un sliežu sarežģītās dinamiskās mijiedarbības dēļ, to kontakta zonā notiek procesi, nosacīti ar šādiem kontaktēšanās veidiem:

- vienpunkta, prioritāri koncentrējušies sliedes galviņas sānu noapaļojuma zonā.

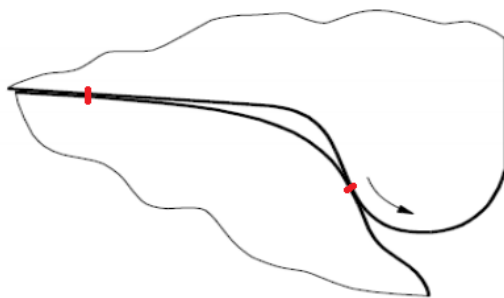
Pie vienpunkta kontakta rodas augsti kontakta spriegumi savienojumā ar rotācijas un intensīvu garenisku izslīdi, izraisot sliedes galviņas darba veidgriezuma bojājumus (4.27. att.) [62].



4.27. att. Metāla noņemšana no sliedes galviņas darba veidgriezuma vienpunkta kontaktam [62].

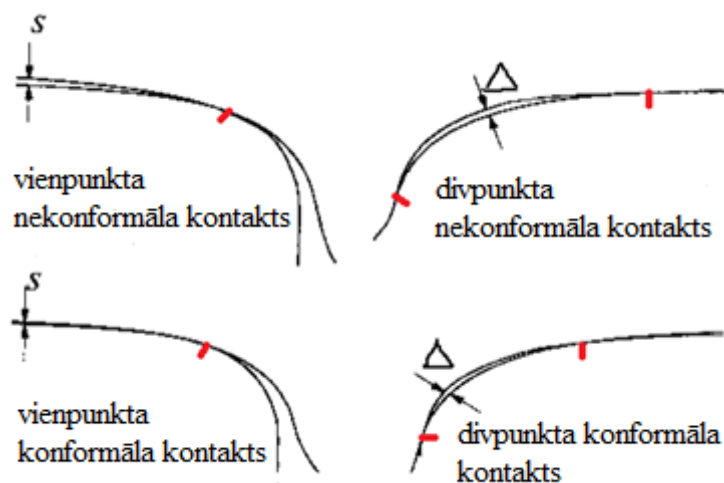
Kontakta noguruma defekti rodas riteņa un sliedes profilu nepareiza aprēķina un izstrādes rezultātā, sliedes galviņas saplacināšanās ekspluatācijas procesā un riteņa velšanās virsmas pārmērīgas velmēšanas dēļ [63].

- divpunktu, sadalījies starp velšanas virsmu un galviņas sānu šķautni. Šajā gadījumā, kā galvenais defekta veids ir sliedes sānu nodilums. Divpunktu kontaktam ir raksturīga intensīva izslīde un dilšana, ja ir vieta sānu spēkiem uz uzmalu un šķērseniskā izslīde, kā tas notiek sliežu ceļu līkņu iecirkņos. Šādos apstākļos riteņa uzmalas nodilums paātrinās, kamēr uzmalas kontūra neatbildīs sliedes kontūrai (4.28. att.).



4.28. att. Uzmalas un sliedes materiālu plastiskā tecēšana intensīva divpunkta kontakta gadījumā [62].

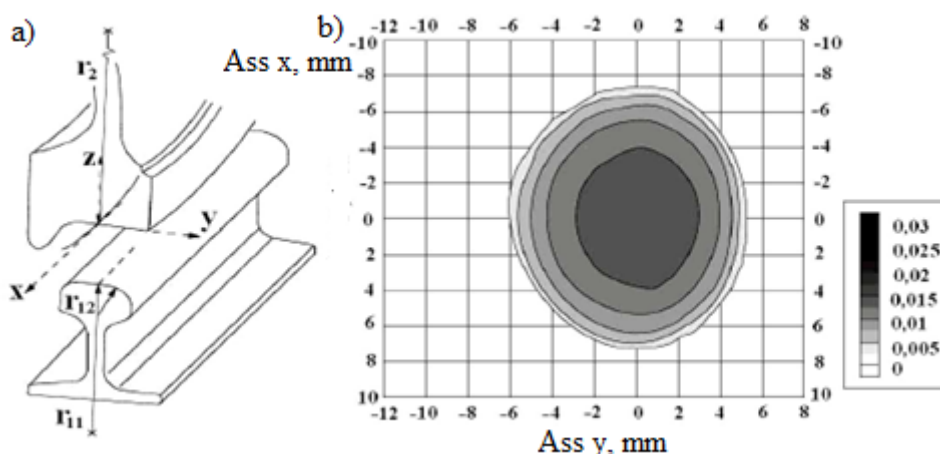
- "konformāls" kontakts riteņa ar sliedi, kad sliedes galviņas darba šķautnes un riteņa uzmalas profili sakrīt. Šī veida kontakts uzskatāms par vislabvēlīgāko intensīvā sānu nodiluma samazināšanai maza rādiusa līknēs. Konformāls kontakts mēdz būt vienpunkta un divpunktu (sk. 4.29. att.), kur parādītas shēmas riteņa un sliedes profilu konformālās pakāpes noteikšanai.



4.29. att. Riteņa un sliedes profilu konformāla un nekonformāla kontakta shēma [62].

Kontakts uzskatāms par blīvi konformālu, ja sprauga Δ vai S starp nedeformētiem riteņiem un sliedēm nepārsniedz 0,10 mm. Noslogotā stāvoklī riteņa un sliedes elastīgās deformācijas dēļ, sprauga praktiski pazūd, kas izraisa kontakta eliptiskās zonas laukuma palielināšanos, tā aptverot ievērojamu daļu nodiluma joslas 25...38 mm platumā. Ja sprauga ir lielumā līdz 0,40 mm, kontaktu var vēl uzskatīt par konformālu, bet par blīvi konformālu tā kļūst tikai pēc ievērojamas dilšanas un plastisko deformāciju uzkrāšanās. Ar lielumiem Δ vai S , kuri pārsniedz 0,40 mm, kontakts uzskatāms par nekonformālu, tā kā profili pilnībā atdalīti un nenodrošina kontakta sprieguma samazināšanos, kā tas ir konformālā kontakta gadījumā. No iepriekš stāstītā secināms, ka konformālā kontakta nodrošināšanai starp riteņi un sliedi, vispārējā gadījumā, spraugām Δ un S jābūt robežās 0,10...0,40 mm [33].

Apskatīsim detalizētāk R-65 sliežu pastāvīgās asu slodzes nosacījumus, kuru normālie spriegumi būtiski mainīsies dēļ atšķirībām līkumu rādiusus, kuri kontaktējas ar šo zonu virsmām. Ja kontakta zonā ir vieta virsmas līkumā vienam rādiusam, var izmantot Herca risinājumu. Ja kontakta zonā ir divi vai daži līkumu rādiusi, piemēram, r_{11} un r_{12} (4.30.a. att.), Herca risinājums nav taisnīgs un, lai noteiktu kontakta laukumu, vajag izmantot citu, ne Herca risinājumu. Tas ir īpaši svarīgi, ja ir daudzveidīgi riteņa un sliedes nodilušo profilu savienojumi. Atrodot normālus kontakta spriegumus, nekonformālajam kontaktam tiek pielietotas dažādās metodes un programmas. Pielietojot aproksimācijas, ne Herca ģeometrijas metodi, ar elipsēm saņemtie rezultāti pietiekamā mērā saskaņojas ar precīzu risinājumu (4.30. a, b. att.) [27, 39].

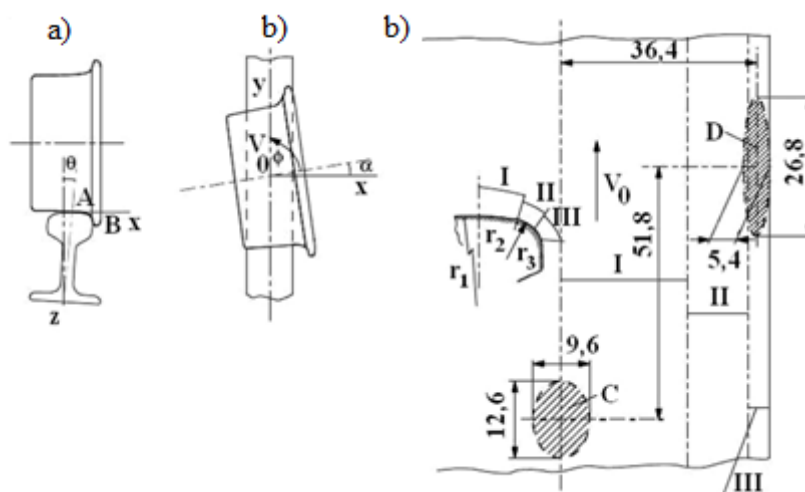


4.30. att. Riteņa un sliedes kontakts:

a – kontakta ģeometrija; b – kontakta laukuma forma un spiedienu sadalījumi; x, y, z – koordinātu sistēmas asis; r_{11}, r_{12}, r_1, r_2 – raksturīgie rādiusi: $r_{11} = 355,6$ mm; $r_{12} = 291,60$ mm; $r_1 = r_2 = \infty$; $F = 100$ kN; $P_{\max} = 1170$ MPa [27].

Saskaņā ar Herca teoriju [29] kontakta laukums ir 14.80 mm un saskaņā ar ekspluatācijas datiem - $13 \div 16$ mm [29].

Cita pieeja, izmantojama kontakta spriegumu starp nodilušo riteni un sliedi atrašanai, kurā iekļauta kontaktējošo ķermeņu modelēšana, pielietojot elastīgo Vinklera pamatni, ar kuru virsmu deformācija ir proporcionāla normāliem kontakta spriegumiem. Šajā gadījumā iegūtais maksimālais kontakta spriegums būs 1,3 reizes lielāks nekā Herca risinājuma gadījumā. Kontakta laukuma izmēri un normālo spriegumu sadalījums ir atkarīgs no normālās slodzes, esošas no riteņa uz sliedi, riteņa un sliedes profiliem, riteņpāra šķērseniskā un leņķa stāvokļiem uz sliedēm un sliežu ieslīpuma. Kad riteņpāris kustas līknē, ja ir noteiktais uzbraukšanas leņķis, ritenis var kontaktēties ar sliedi divos dažādos punktos. Divpunktu kontakta rezultātā veidojas divi kontakta laukumi: A – uz riteņa velšanās virsmas un B – uz sliedes galviņas sānu virsmas veidgriezuma rajonā (4.31.a. att.). Tādēļ, ka riteņpāris kustībā līknē pārvietojas ar kādu uzbraukšanas leņķi α (4.31.b. att.), kontakta laukums B nobīdīts uz priekšu.



4.31. att. Riteņa un sliedes mijiedarbība:

a) – riteņa stāvoklis uz sliedes; b) - kontakta laukuma izmēri, ja ir divpunktu kontakts ($F_A = 110 \text{ kN}$, $F_B = 66 \text{ kN}$); A, B - riteņa kontakta punkti ar sliedi; x, y, z - koordinātu asis; α - riteņa uzbraukšanas leņķis uz sliedes; θ - sliedes ieslīpuma leņķis; V_0 - riteņpāra kustības ātruma vektors; C, D - kontakta laukumi; I, II, III - kontakta zonas; r_1 , r_2 , r_3 - sliedes galviņas līkumu rādiusi [33].

Uzbraukšanas leņķa palielināšana rada attālumu palielināšanos starp kontakta laukumiem (uzbraukšanas) un līdz riteņpāra acumirkļīgi rotējošo asi un šādi pieaug relatīvā izslīde un ar to saistītie tangenciālie spēki. Riteņa uzmalas un ārējās sliedes darba šķautnes saskares zonā aprēķina kontakta spriegumu līmenis var sasniegt 3000 MPa [33]. Ja ir kontakts starp stipri nodilušu sliedi un jaunu vai nodilušu riteņi, tiek izmainīta spiedienu sadalījuma zonas forma. Kontakta laukuma izmērs būtiski samazinās, tās nobīdās pie ārējās sliedes iekšējās virsmas, novedot pie kontakta spiedienu palielināšanas, kuru līmenis var sasniegt plūstamības robežu, kas rada sliedes galviņas plastisko deformāciju. Parasti kontakta spriegumi uz kravas vagona riteņa velšanās virsmas (4.26. att., A zona) ir robežās $1300 - 1700 \text{ MPa}$. Ass slodzes palielināšanās rada Herca kontakta spiediena pieaugšanu proporcionāli par $1/3$ pakāpes no tā lieluma (1).

Ja riteņa velšanās virsmai ir velmējums ar izveidojušos silesveida šķērsprofilu, tad būtiski palielinās kontakta spiedienu, kuriem var būt vieta pa abām šī profila pusēm. Tā, ja silesveida profila velmējuma lielums ir 2 mm , aprēķina kontakta spriegumi abās malās var sasniegt 6000 MPa , kas liecina par ievērojamu materiālu plastisko tecēšanu. Augstie kontakta spriegumi rodas gadījumos, ja riteņa profils ar savu ārējo malu balstīsies uz sliedi vai kontakta zona nerasniedz riteņa ārējo malu, tā radot izcilni (neīstu uzmalu) riteņa velšanās virsmas ārējās daļas zonā. Kontakta spriegumu lielums un sadalījums ir būtiski atkarīga no riteņu un sliežu profiliem un no tā, kāds ir kontakts: vienkontakta vai divkontakta. Ja ir konformāls profils, kontakta laukuma izmērs palielinās, tā radot kontakta sprieguma līmeņu samazināšanos salīdzinājumā ar nekonformāliem profiliem.

Tāpēc, lai būtiski samazinātu riteņa un sliedes nodilumu, nepieciešams tiekties pēc tāda riteņa un sliedes profila, kā rezultātā kontakta laukumi būtu maksimāli nobīdīti no nodiluma zonas.

4.6. Sliežu slīpēšanas esošie risinājumi un metodika

Starptautiskā satiksmē ritošajam sastāvam tiek atļauts izmantot dažādus riteņu profilus uz 1520 mm sliežu ceļiem. Riteņa un sliedes mijiedarbības nosacījumi ir dažādi. Kontakta pāri ritenis - sliede izmanto rites un velšanās berzi, slīdes berzi un triecienslodzi. Tomēr kontaktvirsmām ir savstarpējā nodiluma kopējā aina. Riteņa uzmalas nodiluma intensitāte un sliedes darba rādiuss ir ievērojami, tādēļ riteņpāru un sliežu ceļu kalpošanas laiks saīsinās.

Lai samazinātu šo nodilumu, zināmi vairāki pētījumi šādās sfērās: pakares stingruma parametru optimizācija [28], riteņa - sliedes dinamiskā analīze [28; 27], termiskais modelis, ievērojot materiāla īpašību izmaiņas no temperatūras, bremzēšanas gaitā [24], sliedes profila mērījumi, pielietojot papildu mērījumu devēju 0° un 45° ieviešanu [39], sliežu eļļošana līknēs [11; 34], gala elementu metodes modelēšana līknēs ar mazu rādiusu neelastīgā un elastīgā uzdevuma nostādne [22; 38], riteņa cietības optimizācija [38], gala elementi kontakta modeļu šūnu izveides metožu optimizācija [56].

Teorijai par riteņa un sliedes mijiedarbību radušos svārstību dēļ veltīti daudzskaitliski darbi, kas saistīti ar šo problēmu. Daudzi darbi ir novecojuši, bet arī mūsdienīgi darbi šajā sfērā nevar skaidri izskaidrot parādību, kura rodas sliedes kontaktā un pa to kustošā ritenī, fiziku.

Rakstā, kura autors ir Michael Steenbergen [21], parādīta kontakta ritenis un sliede galveno modeļu klasifikācija. Pirmais modelis ir kā šī riteņa vienpunkta kontakts, praksē visizplatītākais. Otrais modelis - divpunktu kontakts, kas var rasties sliežu negludumu dēļ, ar līkumu, kas pārsniedz riteņa loku. Parādīts, ka pirmā modeļa izmantošana šādiem negludumiem rezultējas ar kontakta spēku nenovērtēšanu, jo nav nepieciešamā apraksta par to rašanās mehānismiem. Bez tam, parādīts, ka principā nav iespēju adekvāti aprakstīt otrā tipa kontaktu, koncentrētu uz riteņa modeli. Abi kontakta modeļi matemātiski aprakstīti galvenajiem kontakta gadījumiem. Pēc tam rezultāti tiek izmantoti sliežu ceļu lineārajā modelī. Analītiski precīzi risinājumi atrasti frekvences zonā brīvā tipa kontaktiem un skaitliski pārveidojas īslaicīgā zonā. Tādā veidā kopējā sasprieguma stāvokļa novērtēšanai pāri ritenis-sliede ir pietiekami atrisināt Herca uzdevumu riteņa un sliedes vienpunkta kontaktam.

D. Telegina [58] diplomdarbā izanalizēta normatīvā dokumentācija, veikts gaitas laidenuma rādītāju novērtējums, izveidots atbilstošs algoritms un izbūvēts tramvaja vagona modelis ar trīs atsperojuma līmeņiem un 10 brīvības pakāpēm LMS Imagine.Lab Amesim paketē. Modeļa verifikācija tika veikta MathCAD paketē. Apskatīti tramvaja vagona dažādu slodžu ietekme, dažādu ātrumu režīmi, atsperojumu parametru izmaiņas. Darbā atspoguļota arī kustību vienādošana, kas nepieciešama gaitas laidenuma novērtēšanai, izmantojot transporta mašīnu atsperojuma spektrālo teoriju. Šajā izlaiduma kvalifikācijas darbā tiek

izmantoti algoritmi un programmas, kurus veidojis D. Telegins, lai noteiktu gaitas laidenuma rādītājus ar pilnīgotu tramvaja vagona modeli.

V. Jazikova [64] darbā parādīts matemātiskais modelis riteņa un sliedes mijiedarbībai ar neeliptisku kontakta plankumu. Izskatīts gadījums par ķermeņu, kuru elastīgās īpašības ir vienādas, svārstīšanās nostabilizēšanos. Ritenis un sliede parādīti kā elastīgi pusbezgalīgi ķermeņi, kuri atrodas zem spiediena, sadalīta pa kontakta laukumu. Sliede pieņemta kā bezmasas elements, parādoties kā cilindriska virsma un tās svārstīšanās ietekme netiek uzskaitīta. Lai noteiktu kontakta plankumu un normālo spriegumu sadalījumu, atrastajā ķermeņu saskares ģeometriskajā punktā iekļūst viens otrā kādā iepriekš nezināmā lielumā, kurš atrodas risināšanas ceļā pietiekoši sarežģītā vienādojumu sistēmā ar integrācijas metodi.

Rakstā [60] parādīts telpiski matemātiskais modelis dzelzceļa ekipāžas un sliežu ceļa mijiedarbībai, kurā tiek ņemti vērā kontakta plankumi, kā arī normālo un pieskares spēku sadalījums starp tiem, piedāvāts mazāk darbietilpīgs (salīdzinājumā ar [64]) paņēmieni kontakta uzdevuma risināšanai, kurš, turklāt, sniedz pilnīgi pieņemamus rezultātus.

Rakstā [23] tiek izskatīti dinamiskās modelēšanas uzdevumi ātrgaitas pasažieru sastāviem, izveidojot multimasas modeli. Galvenā uzmanība tiek pievērsta riteņa un sliedes kontakta mijiedarbības modelēšanai, vadoties pēc Herca pieejas, pielietojot SIMPACK programmu kompleksa atbilstošu moduli. Tāpat tiek apskatīti atsevišķie gadījumi, kad notikusi transporta līdzekļu braukšana pa pārmijām. Tiek uzrādīti aprēķini par gareniskās izslīdes tangenciālajiem spēkiem kontaktā, kas veikti pēc FASTSIM algoritma, Kalkera izstrādātu vēl pagājušā gadsimta 80-tajos gados. Rakstā tiek parādīta salīdzinošā analīze dažādiem riteņa un sliedes kontakta uzdevuma paņēmieniem; salīdzinājumā ar diezgan darbietilpīgo (pēc aprēķinu skaita) cita veida mijiedarbības modeli, Herca modelim ir priekšrocība, jo var tikt raksturota vien ar četriem parametriem - kontakta plankuma elipses puspusēs attiecības ar trim gareniskās izslīdes normālajiem spēkiem.

A. Vorobjova [31] darbā tiek sniegts izsmelošs apskats par riteņa velšanās virsmas un sliedes ritvirsmas nodiluma problēmām. Ar mērķi samazināt dilšanas intensitāti līdz pieņemamām vērtībām, pēdējos gados tiek veikta rinda tehniska un organizatoriski tehnoloģiska rakstura pasākumi (lubrikācija, sliežu ceļu un ritošā sastāva konstrukciju uzlabojumi, riteņu velšanās virsmu un sliežu ritvirsmu profila ģeometrijas pilnveidošana, to metāla kvalitātes paaugstināšana). Diemžēl neviens no šiem pasākumiem pilnā apjomā problēmas nav atrisinājis.

Spektrālā blīvuma funkcijas aproksimācijas metode, kuru izstrādājis profesors A. Savoskins [57]. Saskaņā ar šo metodi aproksimācija realizējas ar analītisko izteiksmi, kurā iekļauti riteņa velšanās loka un sliežu ceļa raksturojumu gadījuma izmaiņu kopums. Vēl viens paņēmieni ir perturbācijas uzdevums kā spektrālā blīvuma funkcijas ekvivalentie ģeometriskie negludumi, kur piedāvāts aproksimēt negluduma spektrālo blīvumu vidējā stāvokļa sliežu ceļam ar turpmāko analītisko izteiksmi, iegūtu uz statistisko datu apstrādes bāzes lielam skaitam pieredzes braucieniem.

A. Krasņičenko [40] darbā veikta ģeodēziskā uzmērīšana, kuras gaitā tika noteikti negludumu parametri 200 m iecirknī, veikti AS “Uraltransmaš” vagonu gaitas izmēģinājumi ar dažādu slodzi un ātruma režīmiem, konstruēts trīsdimensiju tramvaja vagona matemātiskais modelis paketē “Universālais mehānisms”. Tomēr šajā disertācijas darbā kontaktu mijiedarbības novērtējums netika veikts.

I. Puhovs [51] rakstā piedāvā izveidot sliežu ceļu līknēs asimetrisku. Līknēs ar mazu rādiusu ārējo sliedi novietot ar nulles ieslīpumu relatīvi perpendikulāri gulšnim tā, kā šobrīd liek uz pārmiju pārvedām, bet iekšējo sliedi novietot ar divkāršu ieslīpumu (1/10). Tā sliežu ceļa platums paliks normatīvs, bet ārējās sliedes pacēlumu kompensēs sliežu papildus slīpums. Ar šo darbību notiks mijiedarbības punkta nobīde par 13 mm abiem riteņiem uz līknes centru, ar to palielinot riteņu diametru starpību pa mijiedarbības aploci no 1,4 līdz 4 mm 1520 mm sliežu ceļā. Diametru starpības palielinājums no esošiem 0,80 mm līdz 4 mm uzlabos riteņpāru iekļaušanos piecas reizes. Līknēs ar vidējo rādiusu papildus slīpumu jāveido mazāku jeb ieslīpumu jāizmaina tikai vienam sliežu pavedienam. Pirmajā posmā izmainīt sliedes ieslīpumu var mainot sliežu stiprinājumu paliktņus vai tikai sliežu starplikas. Turpmāk, veicot kapitālo remontu, jāliek asimetriskie gulšņi ar tipveida stiprinājumiem. Un, mainoties sliežu ceļam, kontakta spriegumu mazināšanai nepieciešams saskaņot sliedes virsmu ar klasiskā riteņa profilu. Šim nolūkam veidgriezumam uz riteņa jāveido nedaudz lielāku kā uz sliedes, bet sliedes virsmu kontakta vietā jāizveido plakanu, kā velšanās virsmu klasiskajam riteņim, ar slīpuma leņķi, vienādu ar sliedes normatīvo ieslīpumu. Piedāvātā metodika var atrisināt riteņa un sliedes intensīvā nodiluma problēmu, tomēr tā prasa ievērojamus materiālos izdevumus un laiku sliežu ceļu virsbūves pārkārtošanai.

“Latvijas dzelzceļā” tāpat tika veikti pētījumi par sliežu slīpēšanas efektivitāti, kuru autors ir S. Mihailovs [44]. Šajā rakstā ir runa par viļņveida nodilumiem, kuru dēļ ir intensīvs troksnis, pasliktinās vilcienu kustības laidenums un samazinās sliežu ceļa virsbūves un ritošā sastāva gaitas daļas elementu kalpošanas laiks. Tāpat tiek aprakstīta metodika, sliežu slīpēšanas tehnoloģija, pielāides un ar slīpēšanu novēršamo defektu saraksts. Tātad šajā rakstā tiek apskatīta sliežu slīpēšana kā virsmas defektu novēršana un sliežu kalpošanas ilguma pagarināšana, bet nav apskatīti sliežu remonta profili slīpēšanas gaitā. Tātad “Latvijas dzelzceļā” šis jautājums nav izpētīts un ir aktuāls uzdevums kā ceļu, tā arī vagonu saimniecībā.

Sliežu galviņas remonta profila parametru noteikšanas paņēmieni un ierīces izgudrojuma aprakstā patentam [39]. Piedāvātais izgudrojums var tikt izmantots sliedes remonta profila parametru noteikšanai, veicot tās slīpēšanu sliežu ritvirsmas atjaunošanai. Paņēmienā iekļauta parametru mērīšana, veicot pārvietošanos pa sliežu ceļu ar vertikālā un sānu nodiluma mērījumu devējiem pa katru sliežu ceļu pavedienu un GLONASS sistēmas pieņemšanas un nodošanas ierīci, pie tam sliedes galviņas remonta šķērspofila parametri un tā formēšanas programmas tiek noteiktas ne tikai pēc izmērītajām sliedes galviņas vertikālo un sānu nodilumu vērtībām, bet arī ņemot vērā sliedes telpisko stāvokli ceļā, līknes rādiusu, caurlaistās tonnāžas uzstrādi katrā sliežu ceļu iecirknī, pie tam nodiluma mērījumi tiek veikti relatīvi jauno sliežu profilam. Rezultātā palielinās precizitāte sliedes galviņas remonta

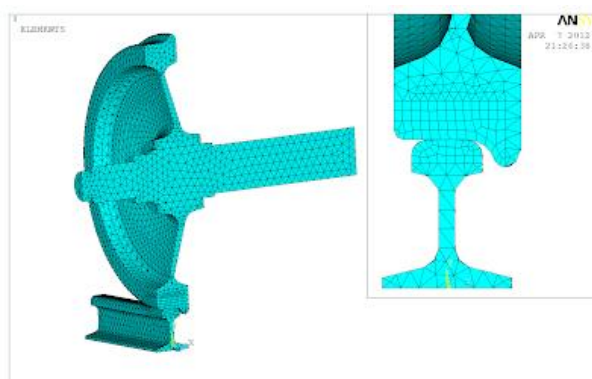
šķērsprofila noteikšanā, kas ļauj samazināt aizvācamā metāla apjomu sliežu remonta slīpēšanas procesā.

Kā trūkums šim paņēmienam ir tas, ka līkņu izbūvei pielietojamās matemātiskās izteiksmes neļauj precīzi noteikt iepriekš minētos raksturojumus, jo prasa paaugstinātu devēju skaitu un to novietojumu dažādās pielietojamās ierīcēs un mērījumu sistēmās ne vienmēr ir identiski, kas ierobežo kvalitāti un darba ražīgumu sliežu slīpēšanas procesā. Šis izgudrojums paredzēts, lai noteiktu minimālos parametrus sliežu slīpēšanas gaitā, kas sniedz precīzu novērtējumu par noņemto metālu no sliedes galviņas, sliežu ceļa taisnajiem un līkņu iecirkņiem. Tā sakot, notiek esošā sliedes profila atkārtošana, kas nesaskaņojas ar riteņa profilu. Tātad šis izgudrojums neļaus atrisināt jautājumu par riteņa un sliedes nodilumu.

Tāpat ar šiem jautājumiem riteņa un sliedes kontakta mijiedarbības pētīšanā nodarbojas Zviedrijā. Tanel Telliskivi un Ulf Olofsson [22] rakstā Kontaktu mehānika, Izmērīto riteņu un sliežu profilu analīze, Gala elementu izmantošanas metode ir aktuāla problēma ārzemju ceļu saimniecībās.

Rakstā izstrādāta metode riteņa un sliedes kontakta mehānikas analīzei. Pētījumā tika izmantoti riteņa profilu un sliedes mērījumi ievietoti programmas ANSYS gala elementu modelī. Tika pielietotas divas metodes sliedes kontakta ar riteni pētīšanai, Herca analītiskā metode un Kalker Contact programmu nodrošinājums. Abas metodes bāzējas uz varbūtējo pieņēmumu par pustelpu, kā arī uz lineāri elastīgo materiālu modeli. Pieņēmums par pustelpu uzliek ģeometriskos ierobežojumus kontaktam. Autors izmantoja Miniprof profila mērījumu sistēmu riteņa un sliežu profila mērījumiem, kuri tika izmantoti kā dati, veidojot FE tīklu. Divu kontaktu gadījumi tika salīdzināti ar Herca analītiskās metodes rezultātiem un Kontaktu programmu. Rezultātā tika izveidots modelis riteņa un sliedes kontakta mehānikas analīzei, kas ļauj mainīt kontakta ģeometriju. Šī metodika ļauj precīzāk noteikt riteņa kontakta ar sliedi ģeometriju un zonu, tāpat ļauj pārvietot kontakta zonu riteņa un sliedes mijiedarbībā. Taču šī metodika nepiedāvā pilnībā atrisināt riteņa un sliedes mijiedarbības problēmu.

O. Bondarenko [30] publikācijā aprakstīti galvenie momenti no diplomdarba par tēmu: “Kontakta spiediena izpēte sarežģīta profila ķermeņu mijiedarbība”. Diplomdarba ietvaros sarežģītu profila ķermeņu mijiedarbība tika izskatīta par piemēru ņemot kontaktpāri ritenis - sliede. Autors izskatīja vienu no vagona riteņa kontakta mijiedarbības ar sliedi aprēķina gadījumiem: nekustīgs ritenis tikai zem vertikālā spēka P iedarbības, kas vienāds ar vagona svaru ar lietderīgo slodzi (940 kN.). Vienlaidvelmējuma riteņa vārpstas un sliedes konstrukciju izveidošana tika veikta CAD sistēmā SolidWorks saskaņā ar rasējumiem, saņemtiem kā sākuma dati. Tālāk autors vienkāršoja modeli, izmetot liekās detaļas, nelielus noapaļojumus, caurumus un importēja ANSYS 13.0 programmu kompleksā, kur veica tā sadalīšanu gala elementos. Kontakta zona tika aproksimēta ar strukturētu tīklu, kas sastāv no četrstūra prizmatiskiem gala elementiem, bet ārpuskontakta zona - brīvais tīkls, sastāvošs no tetraedāliem gala elementiem. Kā materiālu pieņēma moduli ar elastību $E = 200$ GPa, Puasona koeficientu $\nu = 0,30$. Berzes koeficients $\mu = 0,28$. Gala elementa modelis (4.32. att.) sastāv no 33,50 tūkst. elementiem un 58,50 tūkst. mezgliem.



4.32. att. Pāra ritenis - sliede gala elementu modelis [30].

Pēc tam provocēja ekvivalento spriegumu sadalījumu pēc Mizesa.

Sprieguma intensitātes maksimālā vērtība, pēc iegūtajiem rezultātiem, rodas zemvirsmas zonā, kontakta zonas tuvumā un ir 832 MPa. Kontakta spiediena maksimālais lielums ir 1180 MPa. Autora diplomdarbā tika konstruēts riteņa kontakta ar sliedi modelis, kas ļāva precīzi noteikt sprieguma riteņa kontakta ar sliedi zonā un tā pārvietošanas zem vertikālās slodzes darbības. Tomēr šajā modelī netika pievienotas horizontālās slodzes, tāpat netika ievadīti sliedes un riteņa tērauda marķu parametri, nav parādīta materiālu plūstamības robeža. Tātad šo modeli var uzskatīt par nepilnu, kuram nepieciešama galīgā izstrāde.

I. Ivanova, V. Kušnera publikācijā [38] tiek apskatīts jautājums par perspektīvām bandāžas riteņpāru ar paaugstinātu cietību izmantošanā. Materiāla nodilumizturības novērtēšanai, autori ņēma vērā abus raksturojumus - cietību un plastiskuma rezerves.

Riteņa un sliedes metālu dilšanas intensitātes novērtēšanas eksperimentāli pētījumi parādīja, ka riteņa tērauda cietības palielināšanās no 280 HB līdz 360 HB rezultējas ar nodiluma samazināšanos. Cietības palielināšanās par HB vienību pazemina nodilumu par vienu procentu.

Saspringtā stāvokļa pārī ritenis - sliede novērtēšanai tika risināts Herca uzdevums kontaktam ritenis ar sliedi Dņepropetrovskas metalurģiskā institūta (ДМЕТИ) un GOST profiliem.

Riteņa un sliedes gala elementu modeļu izstrādei programmu kompleksos ANSYS un CosmosWorks, tika izmantoti apjomīgi 20 mezglu paraboliskie gala elementi.

No riteņa un sliedes modeļa aprēķinu rezultātu analīzes var secināt, ka vislielākie ekvivalentie spriegumi rodas GOST profila modelī, velšanās loka diametrs 950 mm un tas ir ar 720 MPa. Mazākie ekvivalentie spriegumi rodas Dņepropetrovskas metalurģiskā institūta (ДМЕТИ) profila modelī, velšanās loka diametrs 1250 mm un tas ir ar 595 MPa.

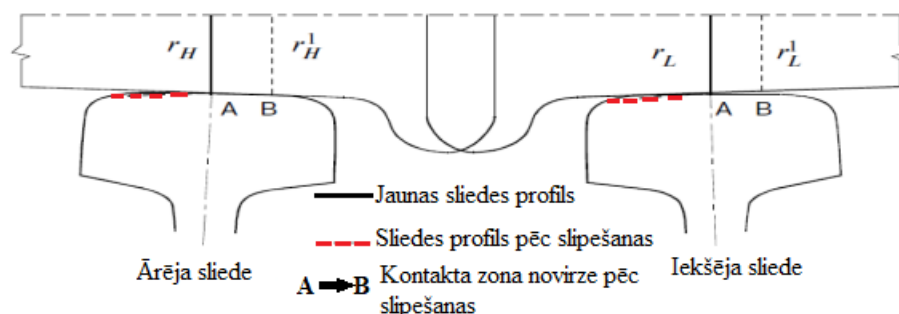
Palielinot velšanās loka diametru, ekvivalento spriegumu lielumi, kuri rodas kontaktā, samazinās par 5 - 12 procentiem. Šī metode ir perspektīvs virziens, izgatavojot jaunus riteņu pārus nākotnē. Tomēr šobrīd ekspluatācijā atrodas liels daudzums veco riteņpāru, kuru nomaiņa saistīta ar milzīgiem ekonomiskajiem izdevumiem.

A. Sladkovska rakstā [56] izskatīta riteņu un sliežu kontakta mijiedarbība ar dažādiem darba virsmas profiliem, pielietojot gala elementu metodi kontakta zonu izvietojumu un spriegumu sadalījumu noteikšana. Autori izstrādājuši jaunu metodiku, kura ļāva samazināt

aprēķinu kļūdas. Izstrādātā metodika izrādījās pietiekami efektīva un var kalpot riteņu un sliežu kontakta mijiedarbības izpētei, kā arī jaunu profilu izveidei to ritvirsēm. Tomēr izpētes datus vajadzētu papildināt analīzi par ekipāžu kustības dinamiku, izveidojot modeli jebkurā ADAMS, UM vai MEDYNA tipa programmā. Tāpat programmas dati uz šo brīdi ir novecojuši un nav pieejami izmantošanai.

S. Varoņina, E. Korosteleva zinātniskajā rakstā [34] veikta analīze par esošajām metodēm ritošā sastāva iedarbības uz sliežu sānu virsmu mazināšanai sliežu ceļu līkņu iecirkņos, un kā sekas, paņēmieniem sānu nodiluma mazināšanai berzes pāri riteņiem – sliede sliežu ceļu līkņu iecirkņos.

Sliežu sānu nodiluma mazināšanai autors piedāvā pielietot ekspluatācijas, konstruktīvas un triboloģiskas metodes sānu nodiluma, berzes starp riteņiem un sliedes sānu virsmas mazināšanai. Galvenās triboloģiskās metodes ir sliežu un riteņu uzmalu eļļošana, kā arī sliežu profila slīpēšana. Sliežu eļļošana, pēc autora domām ievērojami samazina spriegumus no rāmju spēka riteņa un sliedes kontaktā un tāpēc palielina noslogojuma ciklu skaitu līdz metāla slāņu virsmas noguruma rašanās, kas piedalās berzes ierīces kontaktā. Neskatoties uz plašu antiberzes ieviešanu sliežu ceļu tīklā, efekts bieži vien izrādās ievērojami mazāks par gaidīto. Tas ir saistīts ar to, ka eļļošanas materiāla nonākšana uz bojātām sliedēm var palielināt plaisu augšanas tempu, kā sekas - virsmas noguruma nodilums. Šīs problēmas risināšanai, pirms kontaktvirsmu eļļošanas ieviešanas, nepieciešams veikt sliežu ritvirsu slīpēšanu. Tāda slīpēšana saucama par profilaktisko un šobrīd tiek veikta tikai riteņa un sliedes konformālā kontakta nodrošināšanai. Tomēr slīpētās virsmas profila mikronegludumu parametri nav pietiekami pamatoti attiecībā pret berzi un nodilumu. Bez tam, profilaktiskā slīpēšana, kuras gaitā tiek likvidētas virsmas plaisas kombinējumā ar sliežu eļļošanu, var būtiski palielināt sliežu kalpošanas ilgumu. Sliežu eļļošanas ieviešana kombinējumā ar uzlabotajām sliežu slīpēšanas metodēm ir pozitīva ekspluatācijā, tomēr šī raksta autori neaprasa riteņpāru un sliežu nodilumus riteņa mijiedarbībā ar sliedi. Veicot profilaktisko slīpēšanu tiek izmantota esošā profila atkārtotā metode, novēršot virsmas defektus un ārējās un iekšējās sliedes kontakta zonu nobīdi līknes iekšpusē (4.33. att.).



4.33. att. Sliedes asimetriskā profila slīpēšanas shēma ārējās un iekšējās sliedes kontakta zonu nobīdei līknes iekšpusē [34].

Tomēr šī metode ir nesaskaņota riteņa un sliedes kontakta pāri.

4.7. Izpētes secinājumi un uzdevumi

Šīs izpētes priekšrocība ir vienu vai vairāku faktoru ietekmes uz nodilumu sīks apraksts. Tomēr zināmu autoru izpētes trūkumi ir riteņa profila reālu nodilumu uzskaites trūkums, veicot modelēšanu mijiedarbībai ar jaunu vai nodilušu, slīpēšanai domāto sliedi. Normatīvajos dokumentos [8, 47, 52, 53, 59] tāpat trūkst prasības uzskaitīt riteņa reālos nodilumus, veidojot sliežu slīpēšanas remonta profilu, kas rada riteņu un sliežu profilu neatbilstību, augstu spriegumu līmeni un nodiluma intensitātes palielināšanos.

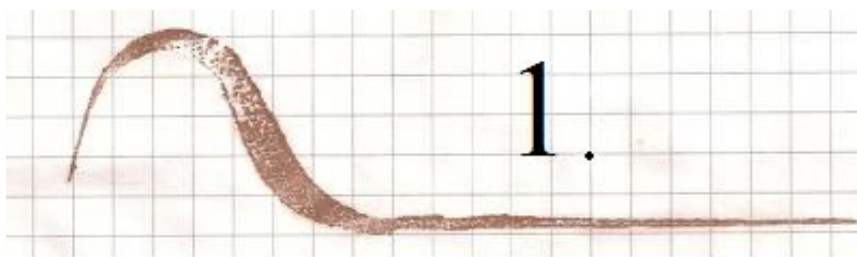
Tāpēc, neskatoties uz lielu skaitu darbu šajā jomā [11, 22, 24, 27, 28, 30, 38, 39, 56; 34], riteņu un sliežu nodiluma intensitātes problēma šobrīd nav atrisināta, tā kā nav pietiekami izpētīta. Sliežu un riteņu profilu atjaunošana izmaksā dārgi. Bez tam, riteņpāri šobrīd tirgū ir deficīts. Tādēļ riteņpāru un sliežu kalpošanas laika paildzināšana ir viens no dzelzceļa transporta galvenajiem uzdevumiem.

Tādā veidā par izpētes uzdevumu kļūst sistēmas ritenis - sliede mijiedarbības teorētiskās izpētes rezultātu izklāsts, izpildītiem ņemot vērā autoru savāktos statistikas datus par sliežu un dzelzceļa vagonu riteņu nodilumiem Latvijas un Krievijas dzelzceļos ar sliežu ceļa platumu 1520 mm. Mērķis ir sliedes profila pēc slīpēšanas ietekmes uz horizontālo nodilumu sliedes un riteņa virsmu mijiedarbības dzelzceļa sliežu ceļu līknēs un taisnajos iecirkņos pamatojums. Izpēte noslēdzas ar priekšlikumu par izmaiņu izdarīšanu 60E1 sliežu profiliem, veicot to slīpēšanu, ņemot vērā riteņu nodiluma raksturīgās īpatnības, lai samazinātu sliežu un riteņu mijiedarbojošos virsmu nodiluma ātrumu. Izmantojot SolidWorks Simulation izpildīti sliedes un riteņa kontaktu mijiedarbības aprēķina eksperimenti. Modeļu precizitāti novērtēt, kā palīg līdzekļus izmantojot kravas vagonu jaunu riteņu, kā arī R65 un 60E1 sliežu jaunu profilu modelēšanu. Izpētes procesā noteikt spēkus, kuri tiek nodoti uz sliedi dzelzceļa sliežu ceļu līkņu iecirkņos ar rādiusu 800 m, kā visbiežāk sastopamos uz maģistrālajiem sliežu ceļiem, kā arī veikt novērtējumu par riteņpāru stabilitāti pēc uzbraukšanas nosacījumiem uz sliedi. Izpētes nobeiguma posmā piedāvāt jaunus sliežu profilus, ņemot vērā riteņa profila visraksturīgākos nodilumus. Novērtēt jauno piedāvāto sliežu slīpēšanas profilu efektivitāti, kā arī noteikt faktorus, kuri ietekmē sliedes un riteņa horizontālo nodilumu. Sliežu jaunus profilus tiek piedāvāts pakāpeniski formēt ar slīpēšanu, izmantojot sliežu slīpēšanas vilcienu (SPENO), likvidējot sliežu virsmu defektus, tā veidojot sliežu galviņas jaunu profila formu. Piedāvāt alternatīvās metodes sliežu mijiedarbības ar ritošā sastāva riteņiem uzlabošanai un sliedes galviņas rādiusa korekcijai.

5. IZPĒTES REZULTĀTI

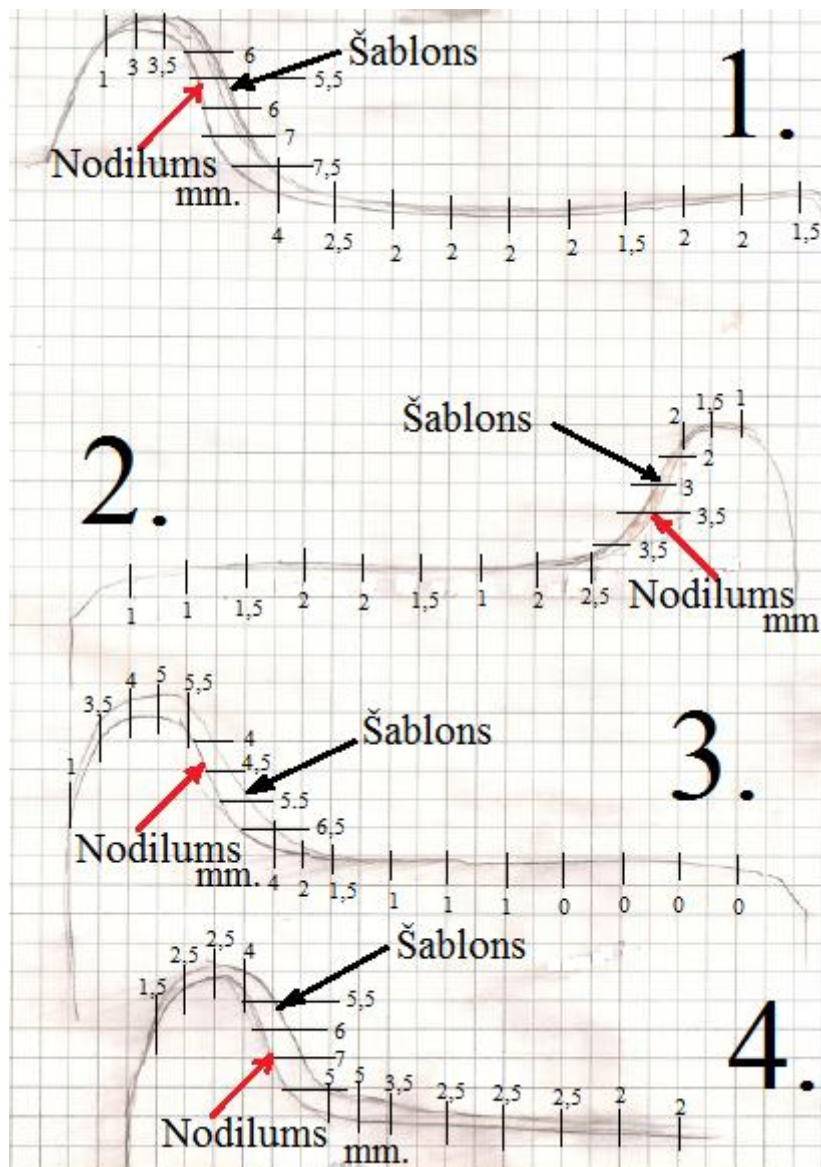
5.1. Riteņu un sliežu profila nodiluma faktiskā izpēte “Latvijas dzelzceļā”

Riteņpāru loku nodiluma novērtēšanai “Latvijas dzelzceļā” tika veiktas faktiskās izpētes informācijas vākšanā par kravas vagonu riteņpāru loku raksturīgākajiem nodilumiem. Izpētes rezultātā tika izgatavoti atveidojumi no riteņpāru loku nodilumiem, raksturīgiem Latvijas dzelzceļā (5.1. att.).



5.1. att. Kravas vilcienu riteņa velšanās virsmas raksturīgā nodiluma atveidojums, sastopams “Latvijas dzelzceļā”.

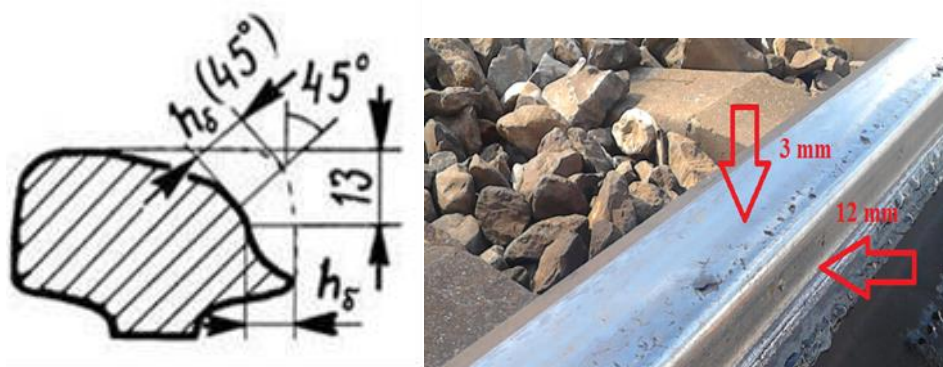
Pēc atveidojuma izgatavošanas, tika veikti kravas vilcienu riteņpāru loku nodilumu mērījumi un izvēlēti visbiežāk sastopamie “Latvijas dzelzceļa” tīklā. Mērogā M 1:1 tika uzzīmēti riteņpāru loku nodilumi ar kravas vagonu riteņa nodiluma sadalījumu pa punktiem (5.2. att.).



5.2. att. Kravas vagonu riteņpāru loku (1, 2, 3, 4) raksturīgākie nodilumi “Latvijas dzelzceļā”.

No 5.2. att. redzams, ka riteņpāra loka vislielākais nodilums atrodas uz pirmā loka uzmalas daļā un ir 7,50 mm. Turpretī uz otrā loka nodilums ir 3,50 mm. Trešajam un ceturtajam lokam uzmalas daļas nodilums svārstās 7 - 5,50 mm. Nodilumi uz riteņa loka atrodas zonā 1 - 3,50 mm. Vadoties pēc veiktās izpētes šajā posmā var teikt, ka kravas vagonu riteņpāru uzmalas daļas nodilums ir aktuāls “Latvijas dzelzceļā”. Tāpat to apstiprina defektu statistika par riteņpāru asšķautnaino uzmalas uzvelmējumu un plāno uzmalu.

Riteņpāra nodiluma sekas, kā likums, ir sliedes galviņas nodilums no riteņa un sliedes kontakta. Lai noteiktu vidējo statistisko sliedes galviņas nodilumu Latvijas dzelzceļa tīklā, tika veikta izpēte, izmantojot PŠV (TU 3933-002-060632410-2012) tipa ceļu bīdmēru, savākti vidējie statistikas rādītāji. 5.3. att. attēlots viens no fragmentiem minētajā izpētē.



5.3. att. 60 E1 sliedes nodilums līknē ar R – 708 m stacijā Vecumnieki [20].

60 E1 sliedes vertikālais nodilums ir 3 mm, sliedes galviņas sānu nodilums, kurš rodas uz ārējām sliedēm sliežu ceļu līkņu iecirkņos, berzes rezultātā starp sliedes darba šķautni un riteņa uzmalu, tiek mērīts līmenī 13 mm zemāk par sliedes galviņas līmeni un ir 12 mm. Parādītais sliedes nodilums tiek izrēķināts pēc formulas: puse sānu + vertikālais.

(5.1.)

$$H_n = (h_v + 0,5h_s)$$

Kur h_v - sliedes vertikālais nodilums, h_s - sliedes sānu nodilums.

$$H_n = (3 + 0,5 \cdot 12) = 9 \text{ mm.}$$

Tādā veidā riteņu un sliedes nodilums ietekmēs to mijiedarbību.

5.2. Specializēto programmu veidi un izvēle, kuras izmantojamas riteņa un sliedes mijiedarbības aprēķinu veikšanai

Šobrīd plaši tiek izmantotas gala elementu metodes programmas (GEM), kuras ļauj modelēt dažādu veidu gala elementu modeļus. Liela priekšrocība ir dažādu pakešu esamība, kuras realizē GEM tādā līmenī, kas ļauj runāt par aprēķinu standartizāciju. Visizplatītāko GEM pakešu skaitā attiecināmi dažādi paveidi **SOLIDWORKS**, **ANSYS**, **MSC.NASTRAN**, **COSMOS/M** un citas komerciālas programmas. Izskatīsim detalizētāk katru no programmām riteņa un sliedes mijiedarbības aprēķiniem ar gala elementu metodi.

SOLIDWORKS - automatizētās projektēšanas, inženieranalīzes un izstrādājumu sagatavošanas ražošanai jebkuras sarežģītības un nozīmes sistēmas. SAPR SolidWorks izstrādātājs ir SolidWorks Corp. (ASV), kompānijas neatkarīgā apakšvienība Dassault Systemes (Francija). SolidWorks ir uzņēmuma integrētā automatizācijas kompleksa kodols, kurš palīdz īstenot izstrādājuma kalpošanas cikla atbalstu atbilstoši CALS tehnoloģiju koncepcijai, iekļaujot divpusēju datu apmaiņu ar citiem Windows pielikumiem un izveidojot interaktīvo dokumentāciju. SolidWorks tiek pielietots princips trīsdimensiju cietķermeņu un virsmas parametrisko projektēšanu, kas ļauj veidot apjomīgas detaļas un sastādīt salikumus trīsdimensiju elektronisko modeļu veidā, pēc kuriem tiek veidoti divdimensiju rasējumi un specifikācijas atbilstoši ESKD [20] prasībām.

Programma ļauj risināt rindu specifisku uzdevumu, tādu kā:

- precīzu modeli inženieraprēķinu veidošanai;
- izstrādājumu tehnoloģiskā analīze (konstrukciju īpašību kopums, kuras nosaka tā pielāgošanos izdevumu optimizācijas sasniegšanai tās ražošanā, ekspluatācijā un remontā);
- dokumentu aprites automatizācija ar iespēju veikt dažāda formāta dokumentu saskaņošanu (līdz 200 tipiem).

Cieto ķermeņu modelēšana 3D formātā ļauj izveidot kā konstrukcijas atsevišķas detaļas, tā arī pilnvērtīgus salikumus dažādās ražošanas nozarēs. Pārbaudīt jebkura projekta funkcionalitāti var tieši modelī, izveidot fizisku prototipu tam nav nepieciešams. Tas ekonomē līdzekļus un laiku, ļaujot izslēgt visas iespējamās kļūdas aprēķinos projektēšanas posmā.

Galvenās nozares programmas pielietošanai:

- mašīnbūve;
- radioelektronika;
- ražošanas dizains;
- elektronika.

Izmantojot pielikumus, var projektēt detaļas (ir bibliotēka ar tekstūrām, iesvītrošanu un materiālu fiziskajām īpašībām), salikumus un izstrādājumus, ņemot vērā to turpmākās izgatavošanas specifiku. Katra konstrukcijas elementa ekspresanalīze dos iespēju nepieļaut kļūdas plānošanas posmā.

Šobrīd programma SolidWorks piedāvā lielu skaitu izstrādātu programmu moduļu, ieskaitot sertificētas programmas:

1. Standart.
2. Professional.
3. Premium.
4. Simulation Professional.

1. SolidWorks Standard

Šī piedāvātā bāzes konfigurācija tiek izmantota dažādu darba dokumentu sagatavošanai, kura paredzēta jebkuru pēc sarežģītības izstrādājumu un detaļu ar dažādām sarežģītām virsmām izgatavošanai.

Moduļa konfigurācijai ir šādas funkcijas:

- daudzveidīgu detaļu projektēšana;
- rasējumu sagatavošana;
- līdzekļu, kuri atvieglo projektēšanu, izstrādāšanu;
- iespēja veidot animāciju;
- kolīziju kontrole;
- iespēja apmainīties ar svarīgiem datiem un realizējama mijiedarbība;

- citu SAPR modeļu importa izpilde.

Tāpat šeit ir iespēja izmantot bāzes līdzekļus analīzes veikšanai par izgatavotās detaļas ietekmi uz vidi, produkcijas stiprības noteikšanai un daudzveidīgu šķidrumu un gāzu plūsmu.

2. SolidWorks Professional

Šī paplašinātā daufunkcionālā konfigurācija sastāv no visu veidu iespējām, kuras piedāvā Standard versija un to izmanto organizācijās, kurām nepieciešams liels skaits funkciju kopēja darba izpildes zonā un integrācijas procesā SAPR dažādām iespiedplatēm.

Modulim ir šādas funkcijas:

- pieejama komponentu bibliotēka;
- ražošanas procesa vērtību novērtējums;
- integrācija ar SAPR daudzveidīgām elektronu un elektriskām sistēmām;
- normas kontroles esamība;
- iespēja vadīt SOLIDWORKS darba failus;
- apgrieztā inženierija;
- paplašināts renderings.

Šajā piedāvātajā modulī ir iespējams izveidot, realizēt publikācijas, veikt mērījumus un komentēšanu eDrawings, apskatīt salikumu animāciju ar drošu failu aizsardzību, izmantojot sarežģītu paroli.

3. SolidWorks Premium

Tā ir pati pilnīgākā konfigurācija, paredzēta inženieriem, kuri nodarbojas ar pašu atbildīgāko uzdoto darbu izpildi, obligāti pieprasot veikt bāzes aprēķinus. Kā piemēram, konstrukciju apsaite, kabeļu vai dažādu cauruļvadu izstrādājumu montāža.

- kinemātikas un dinamikas procesa analīzes veikšana;
- izgatavoto detaļu analīze un ātrā salikumu pārbaude uz stiprību;
- izstrādājumu ekoloģiskās drošības noteikšana;
- instrumentu, kuri nepieciešami garu cauruļvadu likšanai, izmantošana;
- kabeļu produkcijas montāža, taisnleņķa un citu veidu šķērsgrīzumi.

Versija lietotājam sniedz paplašinātas iespējas dažādu virsmu izklājumu konstruēšanai. Tāpat, izmantojot šo programmu nodrošinājumu, ir iespējas veikt darba mezglu pašizmaksu novērtējumu.

4.SolidWorks Simulation Professional

Šī paplašinātā SOLIDWORKS Simulation paketes redakcija piedāvā lietotājiem papildus iespējas analīzes veikšanai un izstrādājumu projektēšanas aprēķiniem.

Pielikumam ir šādas funkcijas:

- projektu optimizācija;

- izstrādājumu mehānikas pretestības noteikšana;
- izgatavoto izstrādājumu stiprības analīze;
- siltuma pārvades un stabilitātes noviržu testēšana;
- daudzveidīgu projektu aprēķinu veikšana.

Tāpat šis risinājums noder, ja ir jāveic pakāpeniska fiziskā modelēšana, kas rezultātā paātrina izstrādājuma izstrādi, paaugstina to kvalitāti un samazina ražošanas procesa izdevumus.

Programmas nodrošinājums funkcionē Windows platformā, atbalsta GOST un ESKD.

ANSYS - tā ir programmu pakete gala elementu analīzei, risina uzdevumus dažādām inženierdarbības sfērām (konstrukciju stiprība, termodinamika, šķidrumu un gāzu mehānika, elektromagnētisms), ieskaitot saistītos daudzdisciplināros uzdevumus (termoizturība, magnēt elastība u.c.). ANSYS - tas ir profesionāls gala elementu aprēķina komplekss, kas ļauj risināt uzdevumus par stiprību, siltumapmaiņu, elektromagnētismu, hidrogāzu dinamiku kā atsevišķi, tā arī kopējā saistītā piegādē ('multiphysics' vai 'coupled field').

ANSYS pielikums tiek izmantots tādās sfērās kā:

- Autobūve
- Atomenerģētika
- Dzelzceļa transports
- Kuģubūve
- Dzinēju būve
- Būvniecības nozare
- Elektromašīnbūve

ANSYS Mechanical risina šāda tipa uzdevumus:

- ✓ stiprības analīze - statiskā;
- ✓ stabilitāte;
- ✓ dinamiskā;
- ✓ superelementi;
- ✓ formas optimizācija;
- ✓ kontaktu uzdevumi;
- ✓ siltuma analīze;
- ✓ siltuma modeļi;
- ✓ akustika;
- ✓ starpdisciplinārā analīze.

Modelēšana un analīze rūpnieciskās sfērās ļauj izvairīties no dārgiem un ilgstošiem izstrādes cikliem, kā “projektēšana - izgatavošana - izmēģināšana”. Sistēma strādā uz ģeometriskā kodola Parasolid bāzes. KE analīzes programmu sistēma ANSYS tiek izstrādāta amerikāņu kompānijā Ansys inc., kura sasaistīta ar citām paketēm, tādām kā CAD - sistēma NX, CATIA, Pro/ENGINEER, SolidEdge, SolidWorks, Autodesk Inventor un dažām citām.

MSC.NASTRAN - programma konstrukciju gala elementu analīzei. MSC.Nastran ir pilnīga programma gala elementu analīzei kopējā uzdevumā, kurai ir iespēja veikt konstrukciju statikas un dinamikas analīzi, siltuma pārdeves, optimizācijas un jūtīguma analīzi, aeroelastības uzdevumu risinājumus [56]. Katrs analīzes veids izmanto līdzīgus ieejas failus, kas ļauj pārslēgties no viena veida analīzes uz citu. Nastran pielietojams risinot plaša spektra inženieruzdevumus, piemēram, statistiskie uzdevumi, dinamiskie procesi, konstrukciju nelineārā uzvedība, siltumvadītspējas uzdevumi, kā arī optimizācijas.

MSC.Nastran - programmu pakete vispārējās nozīmes inženieruzdevumu risināšanai ar gala elementu metodi, kuras sastāvā ir:

- lineārā statistiskā analīze;
- statistiskā analīze, ņemot vērā materiālu nelinearitāti un deformācijas procesus;
- nestacionāru procesu analīze, ņemot vērā fizisko un ģeometrisku nelinearitāti;
- svārstību pašu frekvenču un formu noteikšana;
- lineārā un nelineārā stacionārā siltumapmaiņa.

Programma nodrošina pilnu aprēķinu komplektu, ieskaitot saspriegtās deformācijas stāvokli, stiprības rezerves, svārstību pašu frekvenču un formu noteikšana, stabilitātes analīze, nostabilizējošos un nenostabilizējošos dinamisko procesu izpēti, siltuma pārvades, akustisko parādību, nelineāro statisko un nelineāro pārejas procesu uzdevumu izpēti, sarežģītu kontakta mijiedarbības analīze, kritisko frekvenču un rotormāšīnu vibrācijas aprēķins, frekvenču raksturojumu analīze, ja ir nejaušas slodzes iedarbība un impulsu platjoslu darbība, aeroelastības izpēti līdzskaņas un virsskaņas ātrumiem. MSC Nastran - tā ir mūsdienīga aprēķinu sistēma. Tomēr, ciešā MSC.Nastran integrācija caur Patran un SimManager ar citām augsta līmeņa sistēmām: Adams, Fatigue, FlightLoads and Dynamics, Marc, Mvision, Dytran, Easy5, SimDesigner un Sofy, kā arī integrācija ar CAD/CAM/CAE visām zināmajām sistēmām - realizē pavisam jaunu, pēc platuma un dziļuma, sistēmu līmeni modelēšanai un daudzdisciplīnu analīzei. Lielu uzdevumu efektīva risināšana tiek realizēta uz algoritmu apstrādes "retinātās" matricēs un algoritmu paralēlo un vektoru skaitļošanas rēķina. Programma ļauj izveidot ģeometriskos primitīvus vai arī importējot ģeometriskos datus, ģenerēt gala elementu tīklus, importēt un eksportēt aprēķina modeļus un skaitliskās analīzes rezultātus vairumā izplatīto gala elementu programmu pakešu formātos (Parasolid, ACIS, IGES, STEP AP203, AP214 II-IV klases). Lai realizētu MSC.Nastran plašās iespējas, nepieciešama jaudīga platforma, ko nosaka datoru izmantošana ar ievērojamiem resursiem. Ideāls kandidāts uz šīs platformas lomu ir Microsoft Windows Compute Cluster Server 2003 (WCCS).

Cosmos/M - viena no vismodernākajām un universālākajām paketēm gala elementu analīzei, kurā iekļautas šādas iespējas:

- ģeometrisku modeļu izveidošana, kā atsevišķu, tā salikumu;
- gala elementu attēlošana ģeometriskajos modeļos ar turpmāko analīzi;
- ģeometrisku objektu un risinājumu rezultātu mūsdienīgi vizualizācijas paņēmieni.

Par izpētes priekšmetiem var būt konstrukcijas elementu siltuma un saspriegti deformēti stāvokļi, objekta stabilitāte un frekvenču raksturojumi, dinamiskā reakcija (atbalss), nogurums, elektromagnētisms, augstfrekvenču analīze, šķidrās vides dinamika. Liela daļa uzdevumu tiek risināti nelineārā uzstādījumā.

Cosmos/M - moduļu sistēma, kura funkcionē uz Windows 95, Windows 98, Windows NT un UNIX platformām. Šobrīd eksistē 10 moduļi, no kuriem viens (GEOSTAR) ir pirmsapstrādes un pēcapstrādes rīks, divi (OPTSTAR - optimizācija, Translators - translatori FEM-formātiem) - palīgriķi, bet septiņi pārējie - skaitļošanas un paredzēti daudzveidīgu matemātiskās fizikas uzdevumu risināšanai.

No moduļiem tiek kombinētas Cosmos/M paketes, kuras var nosacīti pietiekami sadalīt pa variantiem uz Bāzes (Basic), Starpposma (Intermediate) un Pilnveidots (Advanced). Katrs no variantiem, atkarībā no risināmo uzdevumu sarežģītības līmeņa, adresēts dažādām lietotāju grupām. Tomēr lietotājs pats var noteikt nepieciešamo moduļu komplektu 5.1. tab.

5.1. tabula

Moduļu tabula pēc to nozīmes

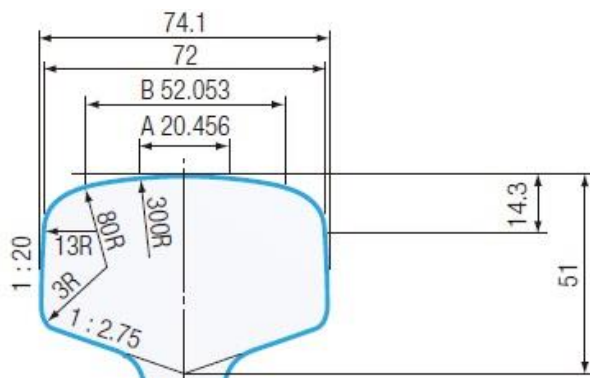
Moduļa nosaukums	Kam paredzēts
GEOSTAR	Pirmsapstrāde un pēcapstrāde
STAR	Lineārā statika
DSTAR	Frekvenču analīze
HSTAR	Siltumpārdeve
ASTAR	Pilnveidotā dinamika
FSTAR	Nogurums
OPTSTAR	Optimizācija
ESTAR	Elektromagnētisms
NSTAR	Nelineārā analīze
Translators	Translatori FEM-formātam

Secinājumi

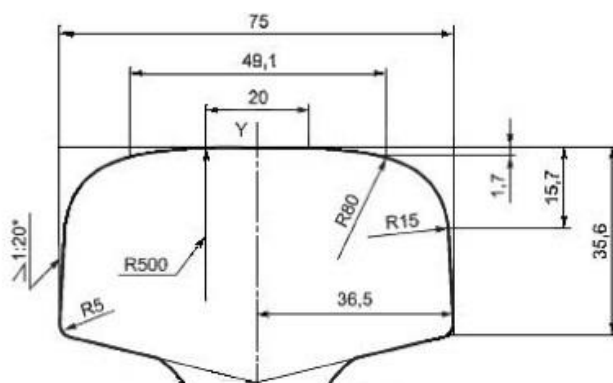
No izskatītajām gala elementu programmām riteņa un sliedes mijiedarbības aprēķiniem izvēlamies SolidWorks Simulation Professional programmu. Šī programma ir viena no izplatītākajām, kuras izmantojamas automatizētajai projektēšanai (**SAPR**) un **3D modelēšanai, analīzei un precīziem inženieraprēķiniem, veicot riteņa mijiedarbības ar sliedi modeļa projektēšanu. Tāpat šī programma funkcionē Windows platformā un ir iespējams izmēģināt izprojektētos modeļus uz stiprību, pietuvinātu reālajiem apstākļiem. SW pielietojums ļauj konstruēt saskaņotos riteņu un sliežu modeļu tīklus ar precizitāti 0,10 – 0,30 mm, kas, savukārt, sniedz pietiekami precīzus rezultātus salīdzinājumā ar kontakta plankuma izmēriem, izskatot Herca uzdevumu.**

5.3. Aprēķinu modeļu apraksts, riteņa un sliedes noslogojuma režīmi

Izpētes objekti ir 60E1 un R 65 (sliedes profils saskaņā ar [7,48], 5.4. att.) tipa sliedēm un kravas vagona riteņpāra vienlaidvelmēts ritenis (riteņa profils ir plakani koniska vai līklīnijas diska forma saskaņā ar [54], 5.5. att.).



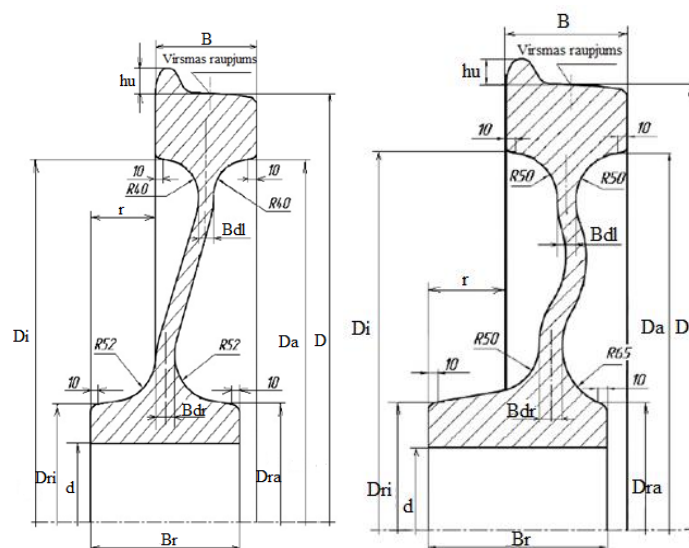
a)



b)

5.4. att. a) 60 E1, b) R 65 tipa sliežu galviņu profili [7,48].

Riteņi, kurus izmanto ekspluatācijā zem kravas vagoniem, tiek izgatavoti no 2 vai T marku tērauda, un tiem ir plakani koniska vai līklīnijas diska forma [55]. Riteņu konstrukcijas un galvenie izmēri parādīti 5.5.a,b. att.



a)

b)

5.5. att. Riteņu konstrukcijas un galvenie izmēri a) ar plakani konisku disku b) ar līklīnijas disku (GOST 10791) [54].

5.2. tabulā uzrādīti riteņa ar plakani koniskiem diskkiem galvenie izmēri (GOST 10791) [54].

5.2. tabula

Riteņa ar plakani koniskiem diskkiem (GOST 10791) galvenie izmēri

Rādītāja nosaukums	Nominālais izmērs, mm	Maksimālā atkāpe, mm
Velšanās loka diametrs, D	957	±7
Loka iekšējās virsmas diametrs no riteņa ārpuses, Da	810	-10
Loka iekšējās virsmas diametrs no riteņa iekšpuses, Di	810	-10
Riteņa loka platums, B	130	+3
Uzmalas augstums, hu	28	-1
Rumbas ārējās virsmas diametrs no riteņa ārpuses, Dra	263	±3
Rumbas ārējās virsmas diametrs no riteņa iekšpuses, Dri	263	±3
Riteņa rumbas cauruma diametrs, d	175	-4
	190	-4
Riteņa rumbas garums, Br	190	+10
Attālums no rumbas gala virsmas līdz loka sānu virsmai no riteņa iekšpuses, r	82	+5
Diska biezums pie riteņa loka, Bdl	19	+4
Diska biezums pie riteņa rumbas, Bdr	24	+4

Pēc norādītajiem profiliem veiksīm sliedes un riteņa ģeometrijas 3D modelēšanu Solidworks programmā. Sliedes saspriegtā stāvokļa kontakta ar riteni novērtējumu veiksīm Solidworks Simulation programmā. Lai pārbaudītu izveidoto modeļu precizitāti, sākumposmā veiksīm salīdzinājumu ar atbilstošām pielaidēm (berze kontaktā netiek uzskaitīta) ar Herca teoriju. Pēc tam veiksīm spriegumu sadalījumu līmeņa un rakstura novērtējuma aprēķinus jaunajai sliedeī un sliedeī ar nodilumu, raksturīgu “Latvijas dzelzceļā”. Lai veiktu sliežu slīpēšanas ietekmes novērtējumu, veiksīm slīpētās sliedes ar jaunu un nodilušu riteni aprēķinus. Aprēķina novērtējumus saspriegtajam stāvoklim veiksīm sliežu ceļa taisnajam iecirknim un līknēs ar rādīusu 800 metri (visbiežāk sastopamais maģistrālā dzelzceļa sliežu ceļu līkumos “Latvijas dzelzceļā”, 5.3. tab.) šādā secībā:

- jaunā sliede ar jauno riteni;
- jaunā sliede ar nodilušo riteni;
- nodilusī sliede ar jauno riteni;
- nodilusī sliede ar nodilušo riteni;
- slīpētā sliede ar jauno riteni;
- slīpētā sliede ar nodilušo riteni.

5.3. tabula

Līkņu rādīusi pēc STN C-01-95

Dzelzceļu kategorija	Līkņu rādīusi, m			
	Rekomendējamie	Pieļaujamie		
		Grūtos apstākļos	Īpaši grūtos apstākļos	Pēc saskaņojuma ar MPS
Ātrgaitas	4000, 3000	2500	2000 -1200	1000, 800
Īpaši lielas kravslodzes	4000 - 2000	1800, 1500	1200, 1000	800 - 600
1	4000 - 2500	2000	1800 - 1000	800 - 600
2	4000 - 2000	1800, 1500	1200 - 800	700 - 400
3	4000 - 1200	1000, 800	700, 600	500 - 350
4 – dzelzceļa līnijas	2000 - 1000	800, 600	500 - 350	300 - 200
4 – pievedceļi	2000 - 600	500	400 - 200	200
5 – savienotājceļš	2000 - 350	300, 250	200	200

Tam pieņemam šādus sākuma datus:

Materiāli

Sliedes tērauds - R350HT, ar augstu oglekli, ar rūdītu virsmu. Plūstamības robeža = 763 MPa, stiprības robeža = 1210 MPa. Riteņa materiāls - tērauds 02 vai T. Plūstamības robeža = 990 MPa. Stiprības robeža = 1110 MPa. Materiāls tiek pieņemts kā viendabīgs. Elastības moduli un Puasona koeficientu atbilstoši pieņemam: $E = 210000$ MPa, $\nu = 0,28$, sliedes blīvums $\rho = 7800$ kg/m³.

Riteņa – sliedes mijiedarbības modeļa izveides nosacījumi

- ✓ Ārējās sliedes pacēlums $h = 60 - 65$ mm - pieņemam 60 mm.
- ✓ Kravas vagona kustības ātrums $V = 90$ km/h.
- ✓ Ceļš: Swetrak tipa dzelzsbetona gulšņi, balasts - granīta šķembas.
- ✓ Maksimālo slodzi uz riteņpāra asi pieņemam 25 tonnas (saskaņā ar [27]). Tāpēc aprēķinam izvēlamies kravas vagonu ar masu 100 tonnas.

Riteņa profilu nodiluma ietekmes uz sliedes saspriegto stāvokli novērtēšanai, aprēķinos izmantosim nodilušo riteņu profilus, kuri atrodas ekspluatācijā “Latvijas dzelzceļā” un “Krievijas dzelzceļā” (RŽD). Sliedes galviņas maksimālais sānu nodilums - 14 mm, sliedes vertikālais nodilums - 3 mm.

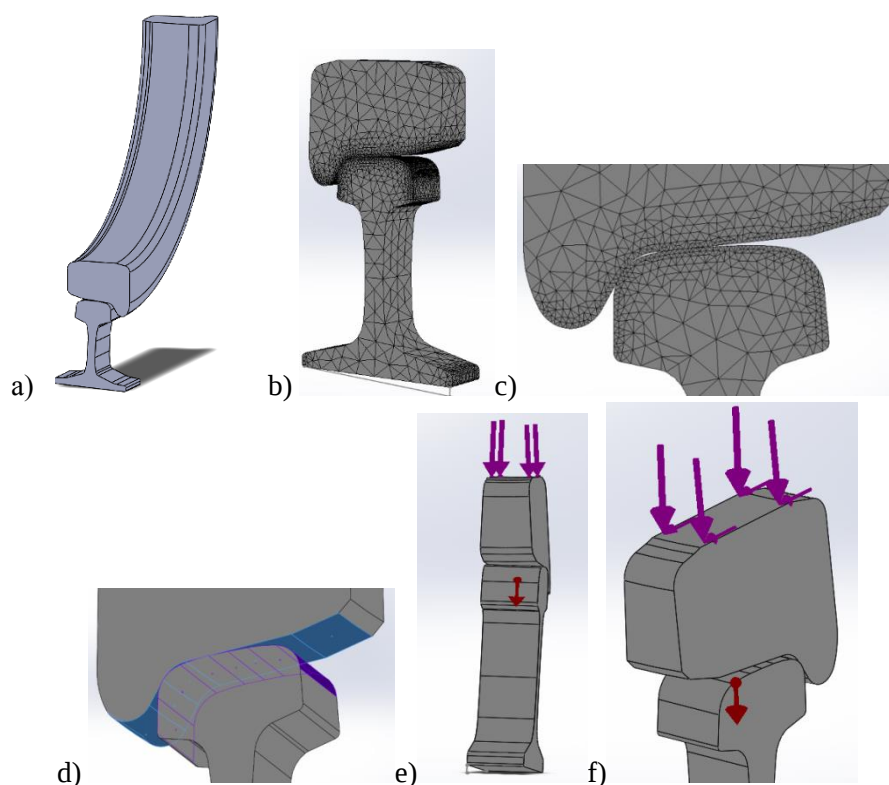
Pieņemtās pielaides

- Slīpēšanas aprēķinus veicam iepriekš atrastajiem jauno un nodilušo sliežu vienpunkta kontaktiem.
- Aprēķini tiek veikti normālos laika apstākļos $T = 0$ °C, $T = +25$ °C, $T = -20$ °C.
- Gulšņu (ceļa) cietības izmaiņas neņemam vērā, nostiprinot sliedes pēdu stingri vertikālajā un horizontālajā virzienā.
- Aprēķina modeļos netiek ņemtas vērā materiāla plastiskās deformācijas.

Pāriesim pie aprēķina modeļa testēšanas pēc uzdotajiem riteņa un sliedes kritērijiem modelēšanas programmā.

5.3.1. Aprēķina modeļa testēšana un saņemto modelēšanas rezultātu precizitātes novērtējums

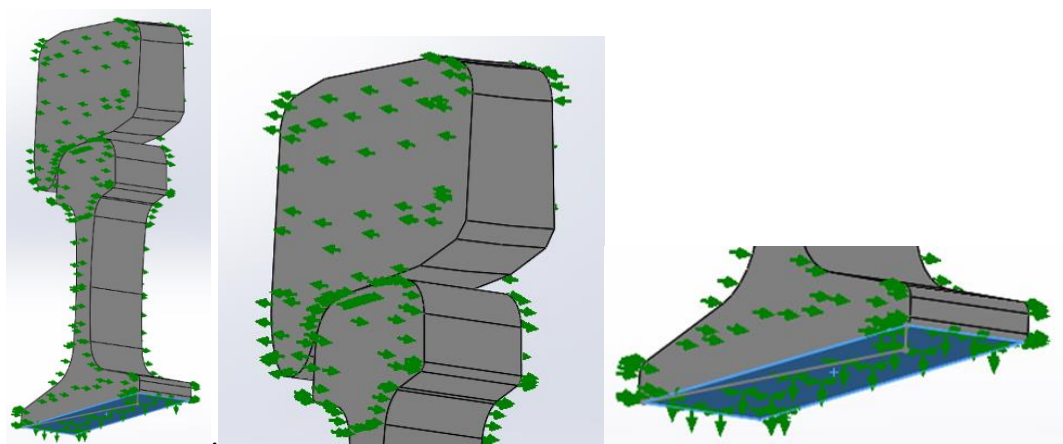
Izpētes objekti ir 60E1 [8], un kravas vagona ar masu 100 tonnas riteņpāra viengabalvelmējuma ritenis GOST - 10791 [47], 5.5. att. Modelis ir ar simetrisku asi, tāpēc iespējams izskatīt ceturtdaļu riteņa. Ekspluatācijā kontakta zonas izmērs ir 13 - 16 mm [29], bet kontaktēšanās zonas ar uzmalu, atkarībā no riteņa leņķa pret sliedi uzbraukšanas leņķis nobīdās uz priekšu [31]. Lai samazinātu mašīnlaiku, no riteņa modeļa aizvācam riteņa rumbu un disku. Aprēķiniem taisnajam sliežu ceļam izmantojam riteņa modeli sektora veidā ar leņķi 90 grādi un sliedes garumu 50 mm. Aprēķiniem sliežu ceļa līknēm izmantojam sliedes modeli ar garumu 80 mm, 5.6. att. Optimizācijas rezultātā gala elementu tīkla modelī gala elementu izmēri pārejas zonās vienādi ar 1,40 mm kontakta virsmām, bet regulārajās zonās pieņemam 9 mm, 5.6.b. att.



5.6. att. Riteņa un sliedes aprēķina modelis: a) taisnajā sliežu ceļā; b), c) gala elementu tīkls; d) virsmas kontakts bez sākuma saskares, riteņa un sliedes tīkli atsevišķi; e), f) slodžu pielikšana, modeļa fragmenti.

Modeļa ierobežojumi

Sliedes pamatne nostiprinās stingri. Uz sliedes šķēsgriezuma virsmas tiek ierobežota pārvietošanās virzienā uz sliedes garenisko asi. Uz riteņa šķēsgriezumam tiek ierobežota pārvietošanās perpendikulārā virzienā kā ass simetrija. Uz diska griezumā virsējās virsmas un riteņa rumbas tiek ierobežota pārvietošanās riteņa horizontālajā šķērseniskajā asī riteņa virzienā. Tāpat, ja nenotiek kustība līknē, riteņa virsējai virsmai tiek ierobežota pārvietošanās gareniskā virzienā uz riteņa asi 5.7. att.

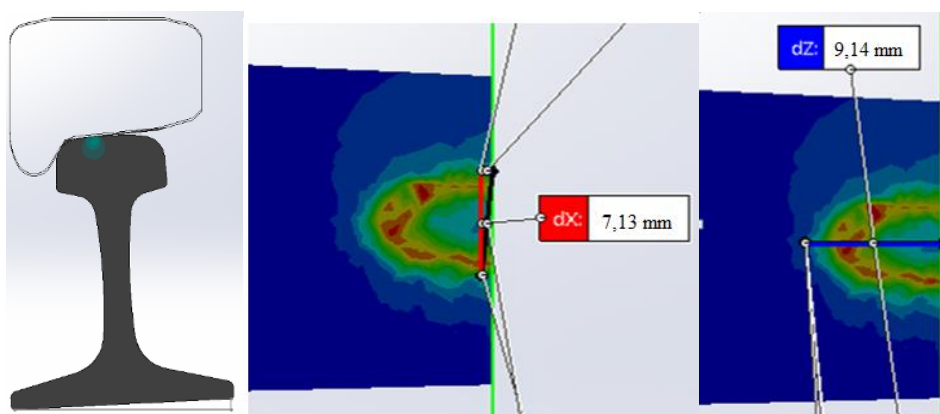


5.7. att. Ierobežojumi modelī.

Slodzes

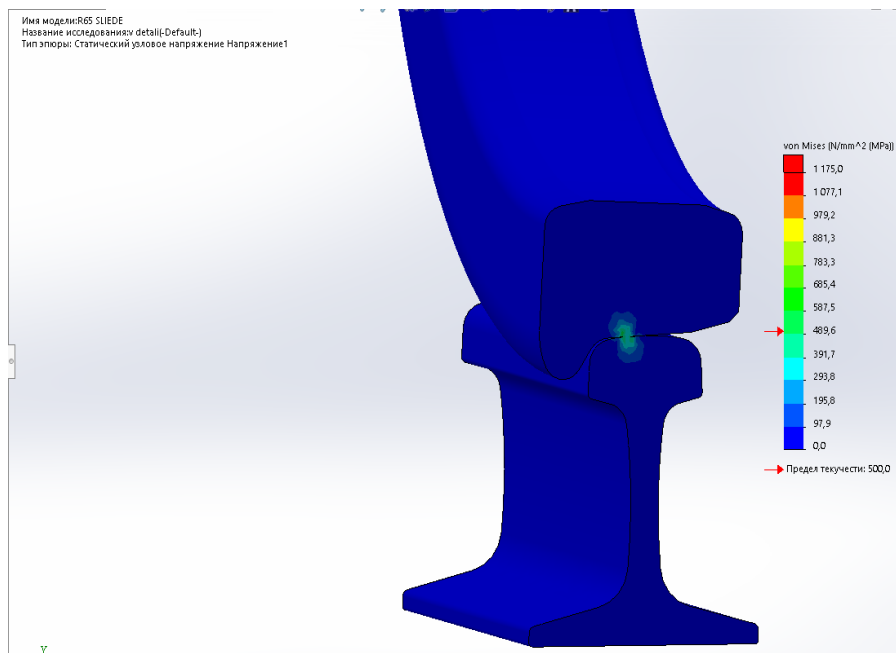
Modelim tiek pievienota vertikālā slodze, vienāda ar 1/8 no vagona svara. Tālāk slodze pārrēķinās uz riteņa sektoru ar 90 grādu leņķi. Nevienmērīgā slodze no vagona svara pievienojas riteņa sektora virsējai virsmai, saskaņā ar likumu par slodzes sadalījumu no riteņpāra ass uz riteņa rumbas caurumu. Riteņa un sliedes materiālu blīvums tiek ņemts vērā. Veicot riteņa braukšanas izpēti līknēs ar rādiusiem, sānu slodze tāpat tiek pievienota riteņa šķērseniskajā virzienā pie riteņa ārējās virsmas 5.6.e. att.

Lai novērtētu izveidoto testa modeļu precizitāti, veikti izmēru salīdzinājumi riteņa GOST - 10791 [54] un R 65 sliedes kontakta laukumiem 5.8. att.



5.8. att. Kontakta laukuma uz sliedes ritvirsmas aprēķinātie izmēri.

Aprēķina modeļa ritenis - sliede kontakta laukuma izmēri $14,26 \div 18,28$ mm, kuri iegūti modelējot, labi saskaņojas ar iegūtajiem 14,80 mm pēc Herca teorijas [29] un ekspluatācijas datiem - $13 \div 16$ mm [29]. Spriegumu un kontakta spiedienu līmeņi izstrādātajos aprēķina modeļos ritenis - sliede uz lineāri elastīgā materiāla bija 1175 MPa 5.9. att., kas labi saskaņojas ar kontakta spriegumiem $P_{\max} = 1170$ MPa 4.30. a, b. att. [27, 39].



5.9. att. Spriegumi pie riteņa - sliedes kontakta, maksimālā vērtība 1175MPa.

Saskaņa ar citu autoru rezultātiem [22, 29, 38, 56], kontakta spriegumi bija no 700 līdz 2400 MPa pārsniedzot līmeni par 10% - 12% relatīvi uz materiāla nelineārā modeļa bāzes.

Tomēr šai modelēšanai galvenais mērķis ir salīdzinošā analīze slīpēšanas ietekmei uz relatīvi jaunām un nodilušām sliedēm un riteņiem, kuri atrodas ekspluatācijā “Latvijas dzelzceļā”.

Secinājumi

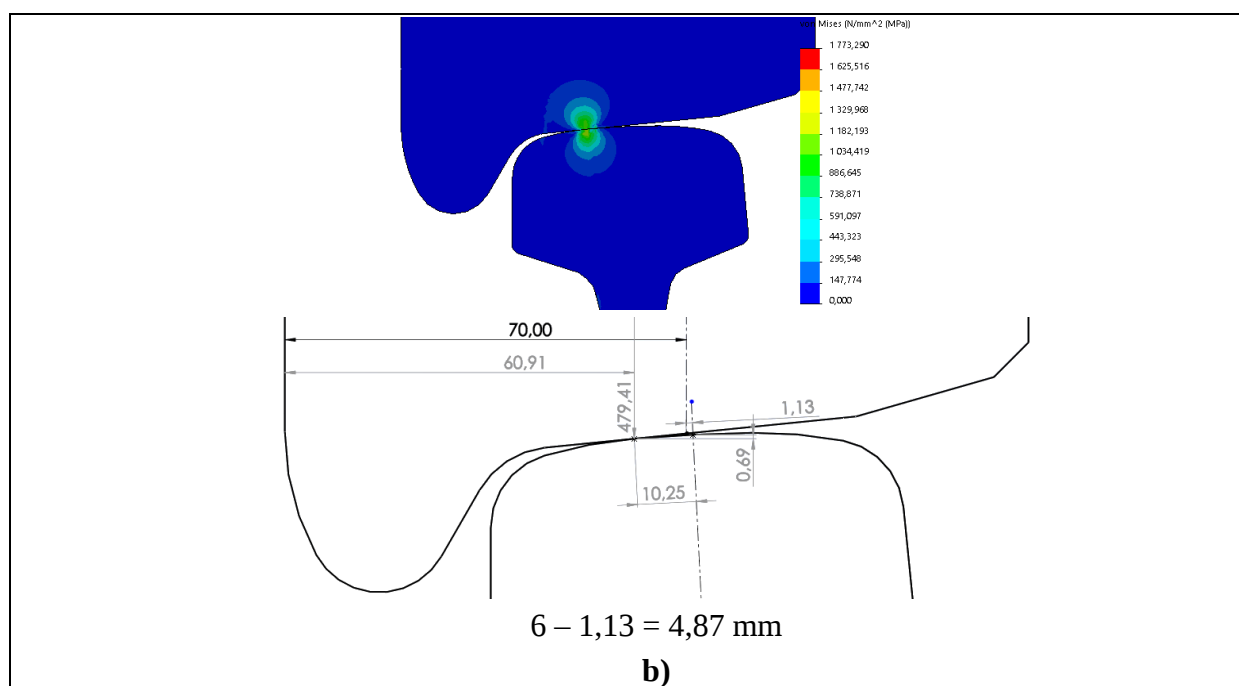
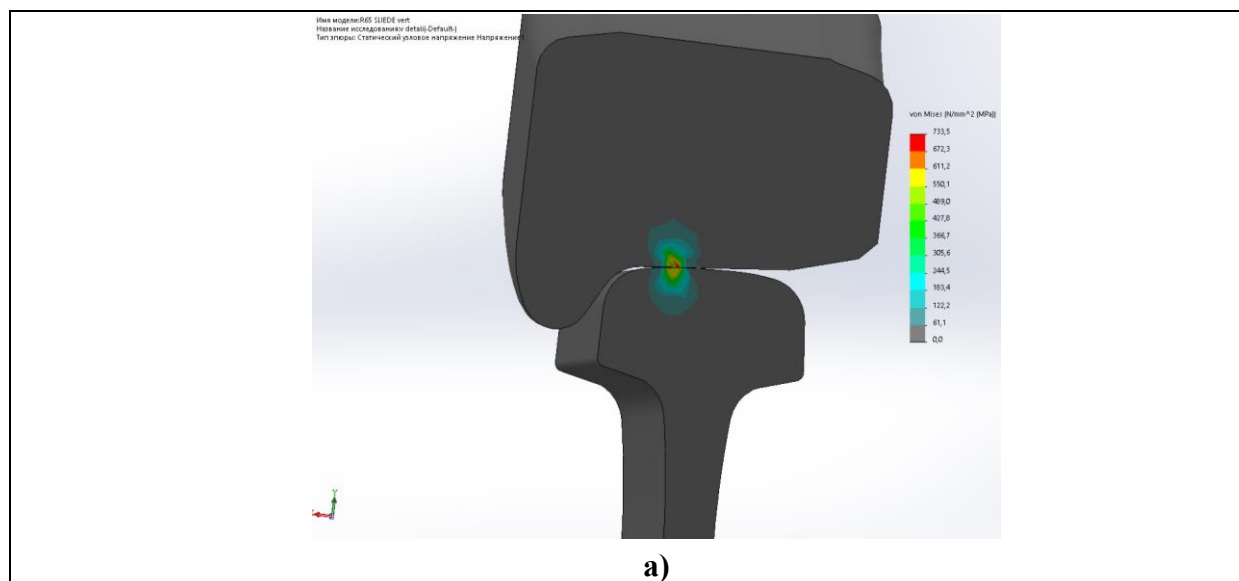
Izveidots riteņa un sliedes aprēķina modelis kontakta mijiedarbības aprakstam.

5.4. Modelēšanas rezultāti

Pēc modelēšanas rezultātiem Solidwork Simulation programmā var izdarīt šādus secinājumus:

1. Izstrādāti riteņa mijiedarbības ar sliedi 3D modeļi, izmantojot materiālus un ekspluatācijas nosacījumus, pielietotus “Latvijas dzelzceļā”.
2. Uzkonstruēti gala elementu tīkla modeļi ar gala elementu izmēriem pārejas zonā vienādiem 1,40 mm kontakta virsmām un 9 mm regulārajām zonām.
3. Ritenis-sliede 3D aprēķina modeļa kontakta laukumu izmēri $14,26 \div 18,28$ mm aprēķināti ar modelēšanu un saskaņojas ar pēc Herca teorijas [29] iegūtajiem 14,8 mm, kā arī $13 \div 16$ mm [39] ekspluatācijas datiem.
4. Spriegumu un kontakta spiedienu rādījumi izstrādātajos ritenis - sliede aprēķinu modeļos uz materiālu lineāri elastīgā modeļa bāzes variējas no 700 līdz 2400 MPa un tie saskaņojas ar citu autoru rezultātiem [22, 29, 38, 56].

5.10. a, b. att. attēloti izpētītie fon Mizesa spriegumi jauniem profiliem kontaktā ritenis un sliede (R 65).



5.10. att. a), b) Mizesa spriegumi jauniem riteņu un sliežu profiliem “Krievijas dzelzceļā” ar riteņa sāņu pārvietošanas 3,5 un 4,87 mm.

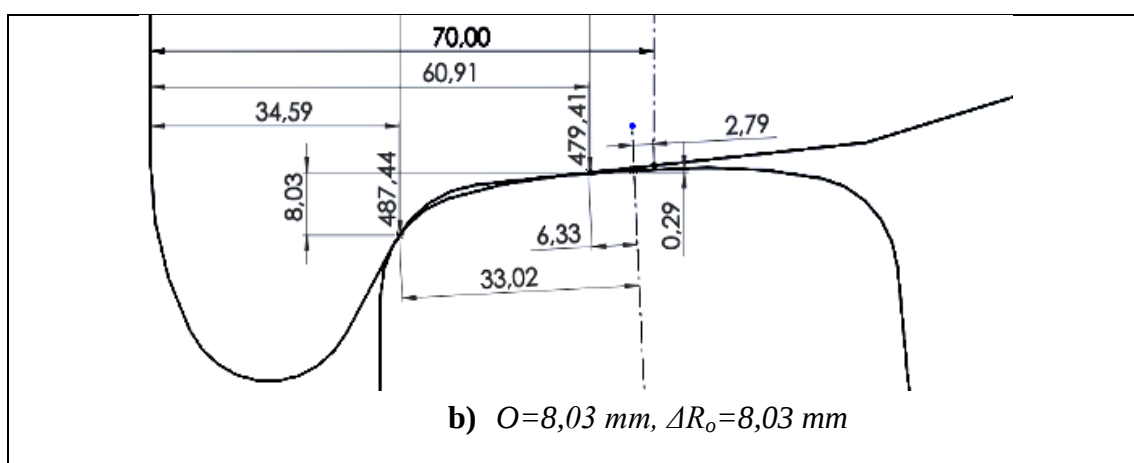
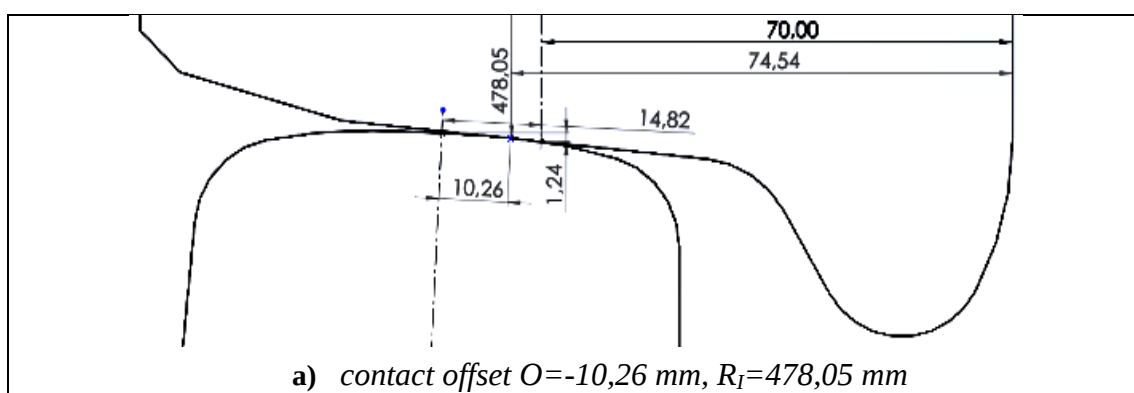
Jaunā R 65 tipa riteņa un sliedes saskarē taisnā ceļa posmā ar 100 tonnu vertikālu slodzi aprēķinātie spriegumi bija: 733 MPa ar riteņa sāņu nobīdi 3,50 mm attālumā no sliežu ceļa vidus 5.4.10.a. att., kas labi saskan ar spriegumiem 800 MPa [32]. Ar riteņa kopas sāņu nobīdi 4,87 mm attālumā no sliežu ceļa vidus, saskares spriegumi bija 1175 MPa 5.10.b. att., kas labi saskan ar spriegumiem $P_{\max} = 1170 \text{ MPa}$ 4.30. b. att. [27, 39].

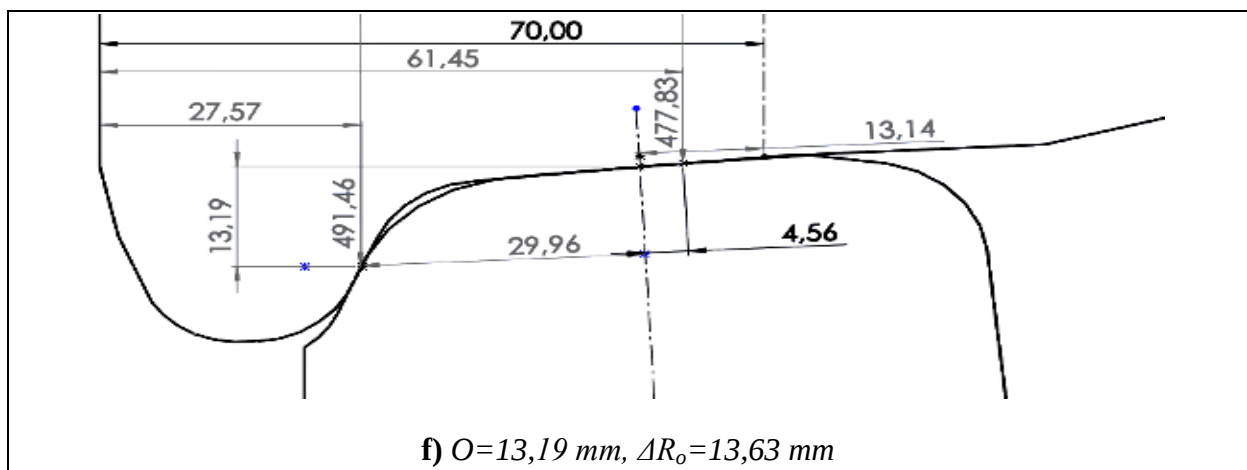
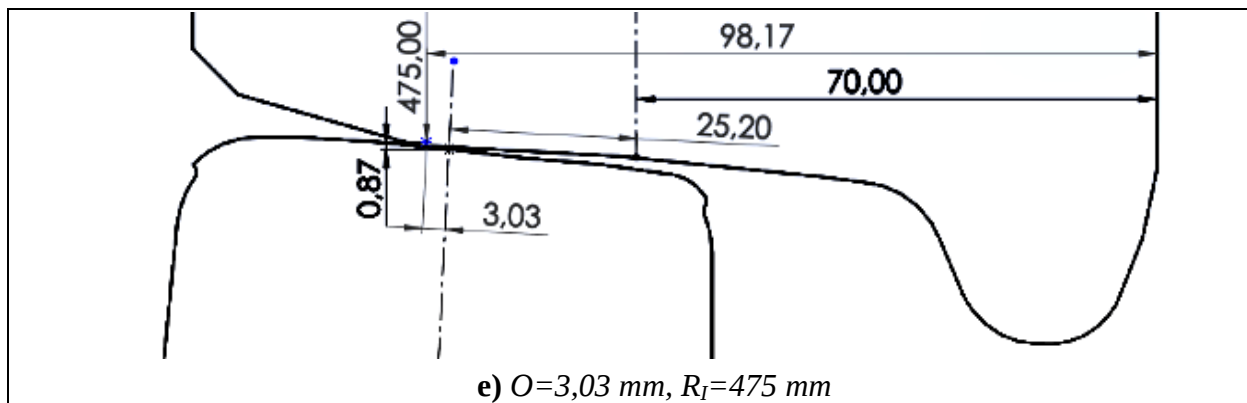
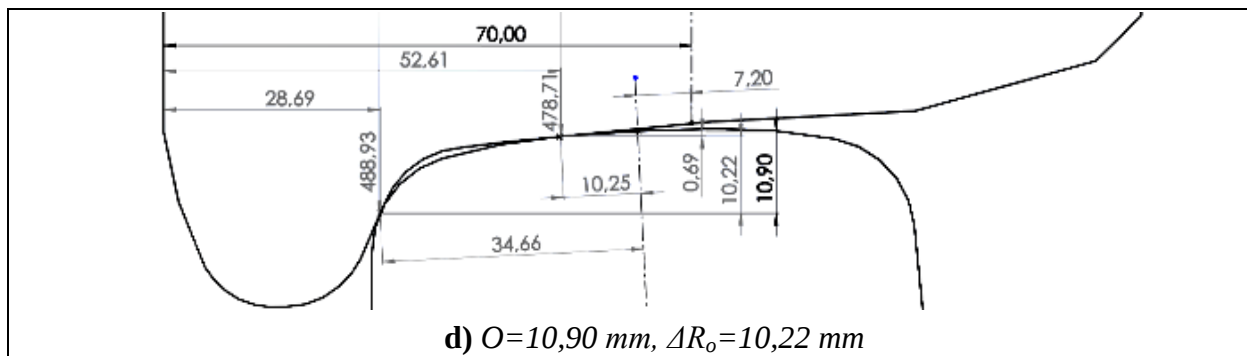
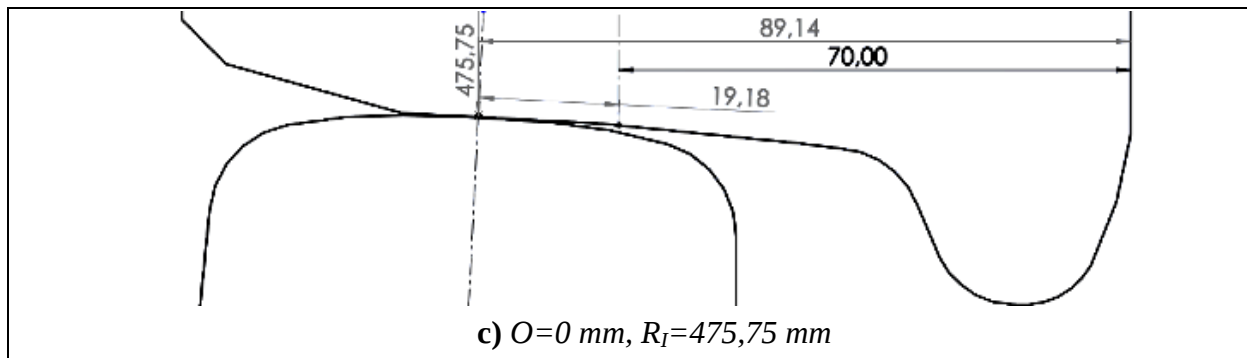
Tā kā izstrādātie riteņu un sliežu modeļi kontakta laukumi izmēri un kontaktspriegumi labi saskan ar precīzā risinājuma rezultātiem un ekspluatācijas datiem [22, 27, 29, 38, 39, 56], izstrādāsim slīpēšanas profilus atkārtotajai profilaktiskajai sliedes galviņas slīpēšanai.

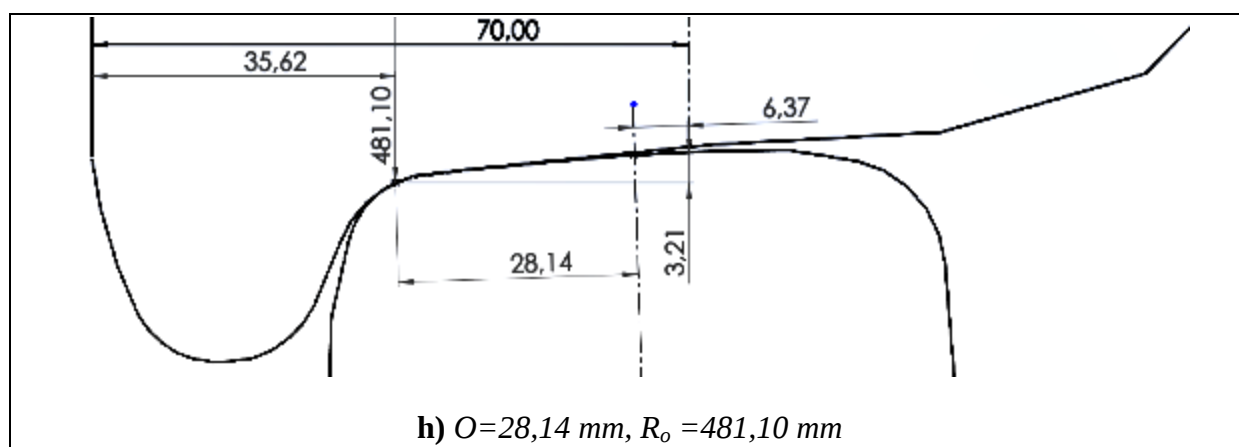
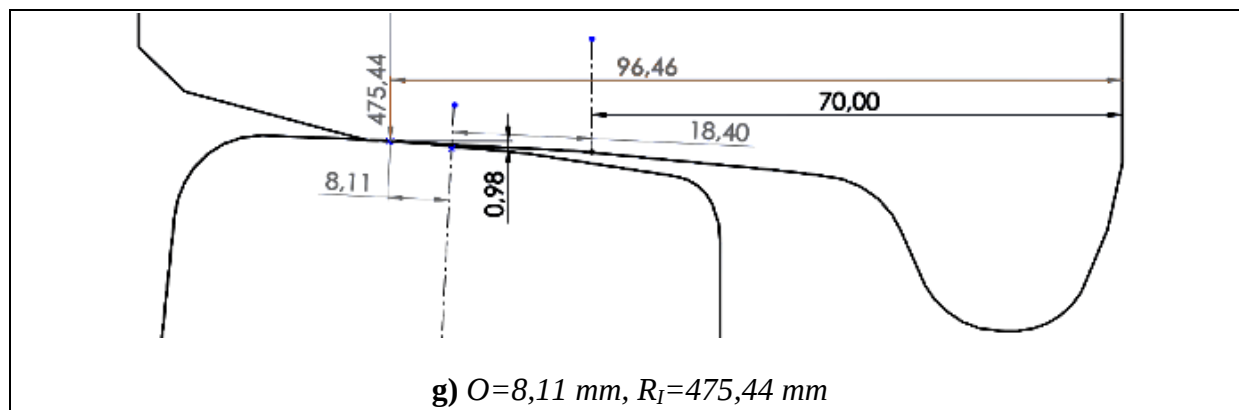
5.4.1. Slīpēšanas profila izstrāde profilaktiskās atkārtotās slīpēšanas veikšanai

Pamatojoties uz savāktajiem datiem par riteņa 5.2. att. un sliedes 5.3. att. nodilumiem novērtēsim to kontakta mijiedarbību ģeometriski. Veiksim 3D riteņa GOST - 10791, [47] un 60E1 [8] sliedes modelēšanu SolidWorks programmā. Kontakta formas novērtējums tika modelēts jaunajām un nodilušajām sliedēm un riteņiem dažādās kombinācijās. Visbīstamākie kontakta tipi, kuri pakļauti turpmākam sasprīgtā stāvokļa novērtējumam parādīti 5.11. att. sliežu ceļu taisnajos iecirkņos un atbilstoši līkņu iecirkņos ar 800 metru rādiusu.

Variantu ģeometriskās modelēšanas rezultātā atklāts, ka sliežu ceļa taisnajos iecirkņos pārsvarā ir kontakts riteņa un sliedes vidējā zonā, kas nerada uzmalas dilšanu - vienpunkta kontakts. Līknēs veidojas divpunktu kontakts, kas stimulē plānās uzmalas veidošanos. Tādēļ, pēc riteņa un sliedes kontakta virsmu mijiedarbības izvietojuma zonas rezultātiem, sliežu ceļiem ar 800 metru rādiusiem izstrādāti asimetriskie profili sliedes slīpēšanai, ņemot vērā riteņa profilu, kuram ir “Latvijas dzelzceļā” raksturīgs nodilums.

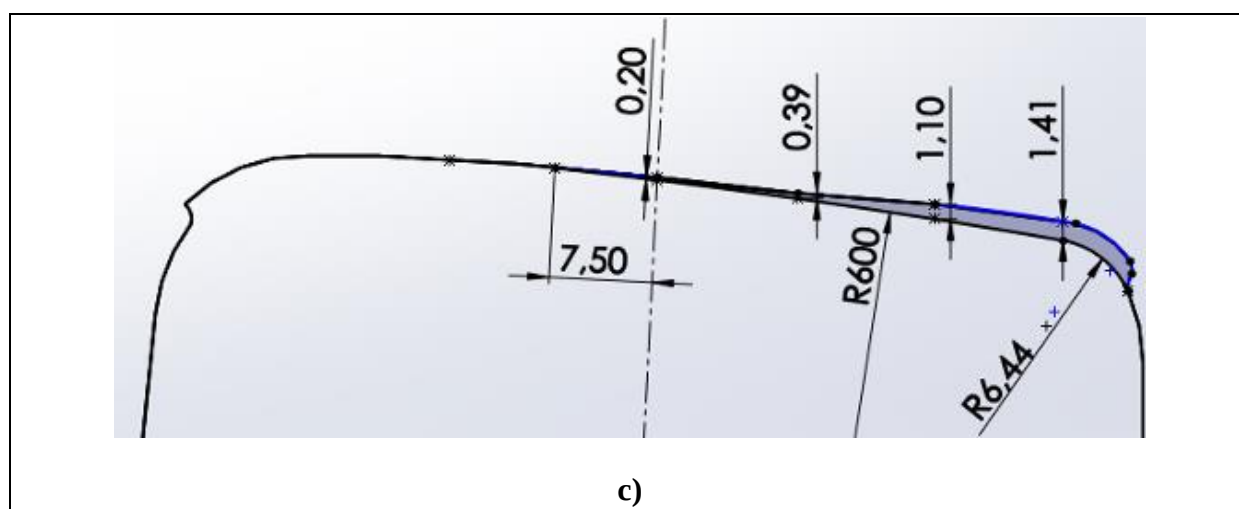
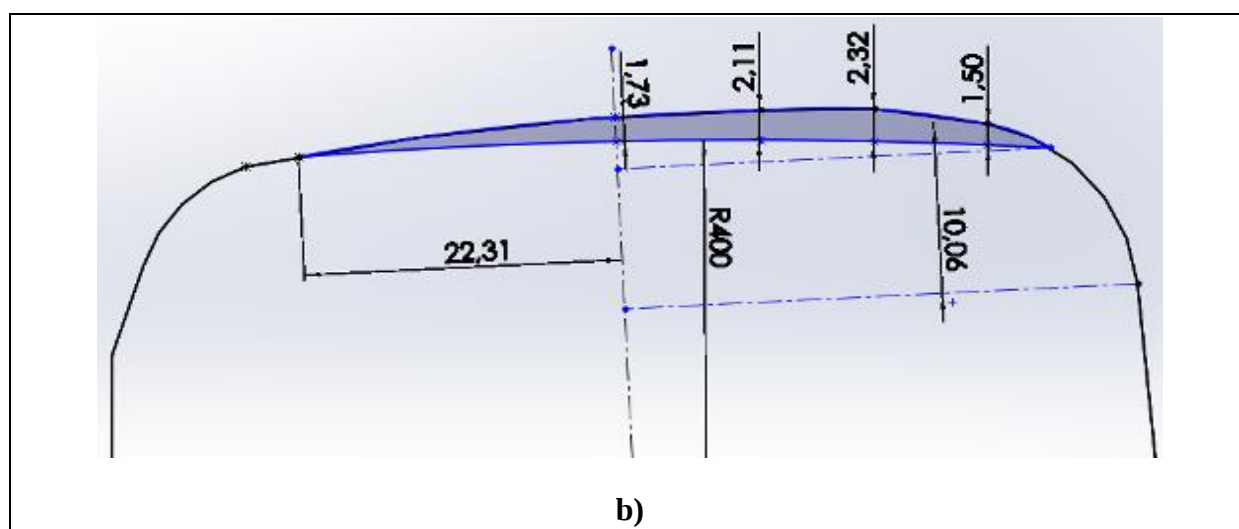
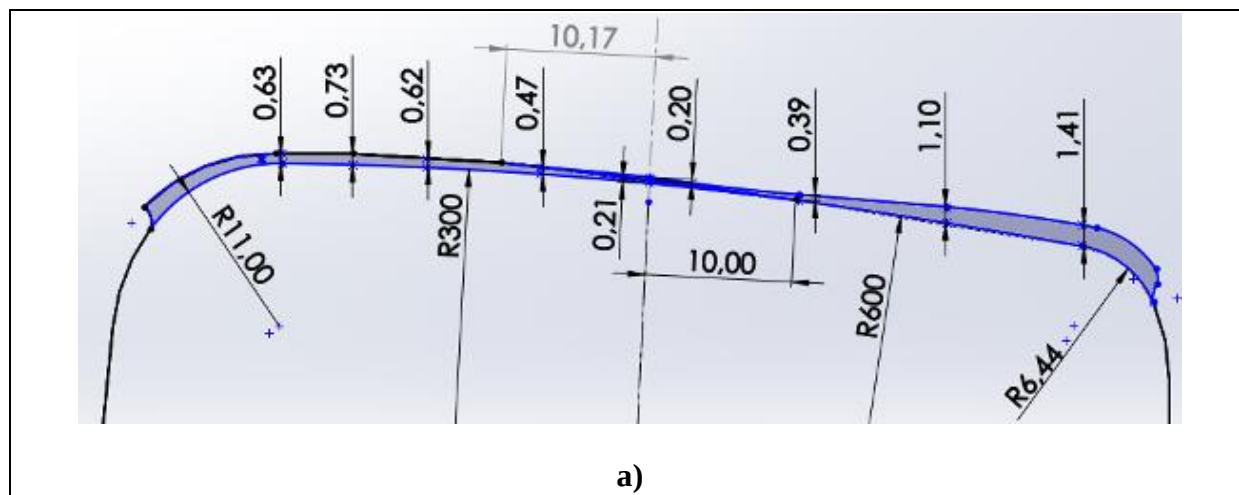


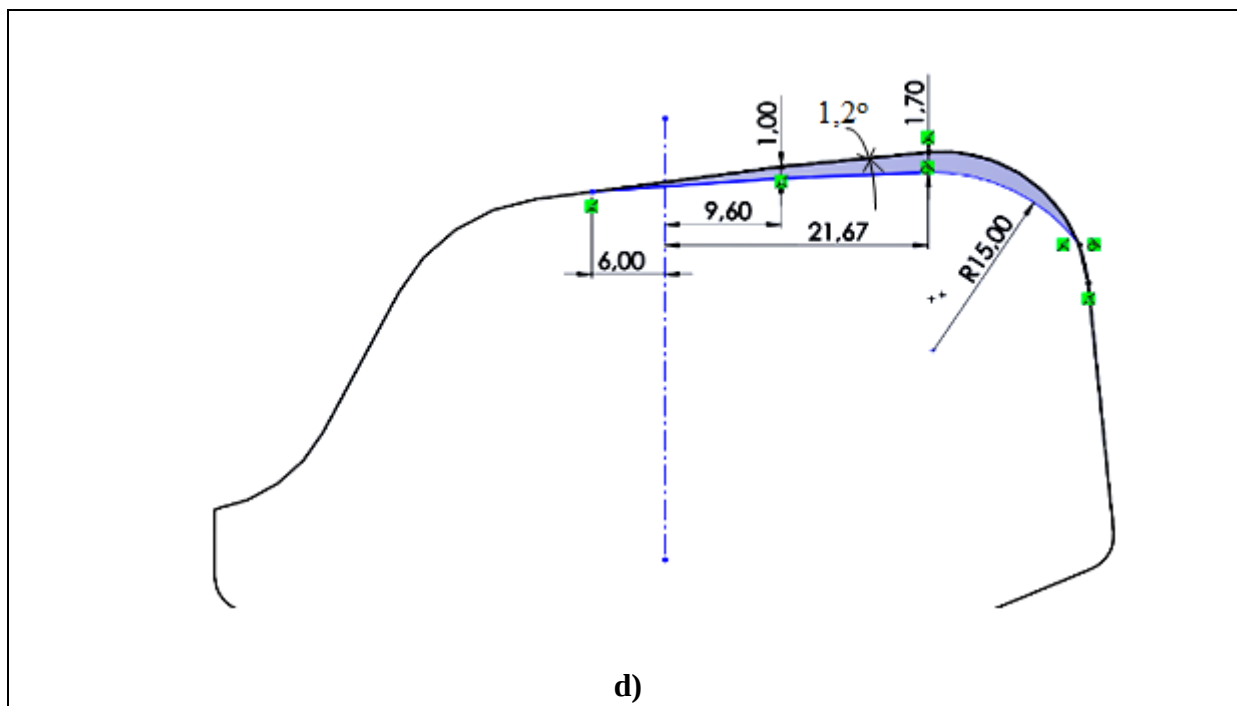




5.11. att. 60E1 tipa sliežu un riteņa GOST - 10791 profilu mijiedarbības kontakta veidi: Līkņu iecirkņos: a), b) jauna sliede (slīpēta sliede pie jaunas) un jauns ritenis; c), d) jauna sliede un riteņa sānu nodilums 6,50 mm; e), f) iekšējās sliedes vertikālais nodilums - 2,50 mm, ārējās sliedes sānu nodilums - 6 mm, vertikālais - 1,50 mm un riteņa nodilums - 6,50 mm; g), h) izstrādātais sliedes slīpēšanas profils ar riteņa nodilumu 6,50 mm. a), c), e), g) R_l - riteņa rādiuss kontaktā ar sliedes iekšējo šķautni; b), d), f), h) ΔR_o - riteņa rādiusa novirze sliedes ārējā profila divos kontaktos.

Dažādu sliežu slīpēšanas profilu ietekmes uz pāra ritenis - sliede berzes mijiedarbību novērtējuma rezultātā apstiprināta sliežu slīpēšanas profilu efektivitāte 5.11. g., 5.11. h. att. Riteņa un sliedes kontakta zonas nobīdās uz sliežu ceļu līknes centru, pie tam nobīde uz iekšējo sliedi ir no 5 līdz 18 mm un riteņu rādiuss samazinās par $0,44 \div 2,60\text{ mm}$, bet uz ārējo sliedi no 18 līdz 32 mm un riteņu rādiuss palielinās no 1.69 līdz 3.27 mm. Riteņa iekšējo un ārējo rādiusu starpība izmantojamajiem profiliem mainās no 1,36 mm līdz 2,96 mm, bet lielākā vērtība 5,66 mm tiek sasniegta sliežu profiliem, izstrādātiem šajā darbā [20]. Rādiusu starpības palielināšanās ļauj uzlabot riteņpāra iekļaušanos 4 reizes, pie tam vienpunkta kontakts neskar uzmalas zonu modelējamajās līknēs ar rādiusu 800 metri.



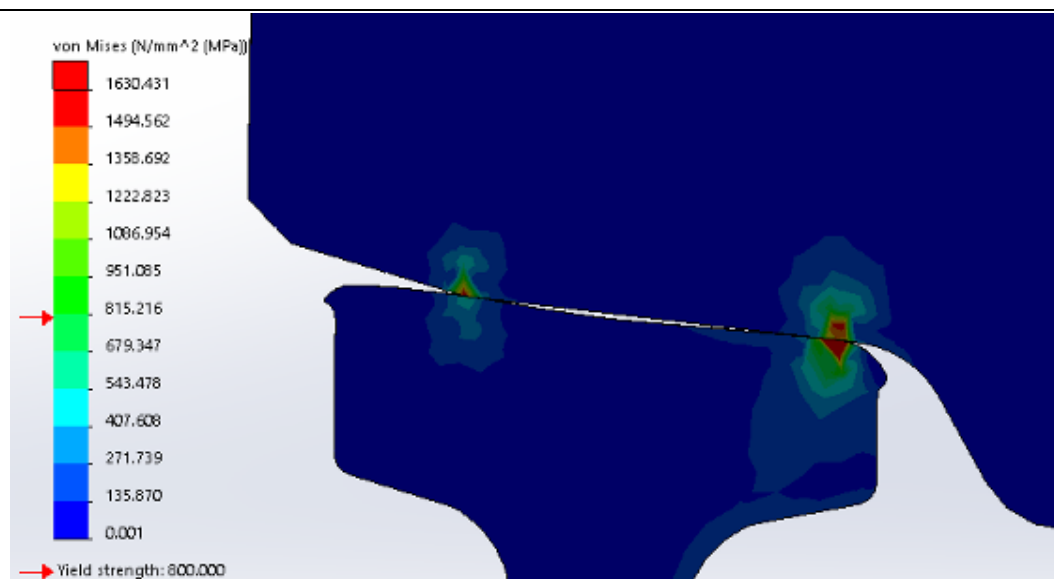


5.12. att. Izstrādātie remonta profili sliežu slīpēšanai sliežu ceļu taisnēs un līknēs ar rādiusu 800 m: a) nodilušajam dzelzceļa sliežu profilam “Latvijas dzelzceļa” sliežu ceļu taisnajā iecirknī; līknē b), d) nodilušajam profilam 5.2. (3). att. Ārējai sliedei ar sānu nodilumu, c) jaunam un nodilušam profilam 2,50 mm iekšējai sliedei.

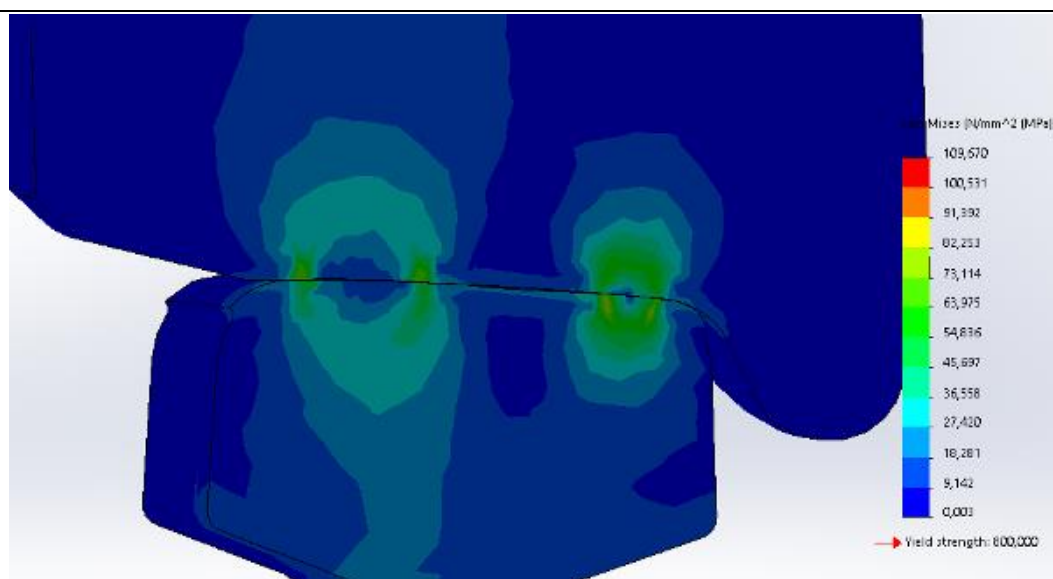
5.12. att. parādīti ieprojektētie asimetriskie slīpēšanas profili iekšējai un ārējai sliedei. Starp tiem pāris sliežu asimetriskie profili ar mazāku riteņa mijiedarbību ar sliedi un mazāku skaitu slīpēšanas tika noteikti kā rekomendējamie profili sliežu slīpēšanai. Salīdzinājumā ar sliedes iekšējo profilu, sliedes ārējā profila slīpēšanas diapazons ir lielāks, bet tā slīpēšanas zonas sadalītas pa sliedes pusi un sliedes galviņas augšējo daļu. Iekšējais sliedes profils pamatā noslīpēts sliedes augšas lokālajā zonā. Asimetrisko profilu virsmu slīpēšanas galvenie leņķi sasnieguši šajā diapazonā no 2,68° līdz 2,41° ārējai sliedei un no 2,36° līdz 4,61° iekšējai sliedei [20]. Sliedes slīpēšanas ietekmes novērtējumam veiksīm 3D modelēšanu pāra ritenis-sliede mijiedarbībai, izmantojot izstrādāto sliežu profilu. Novērtēsim kontakta spriegumu līmeni pielietojot Solidworks Simulation.

5.4.2. Slīpēšanas profilu ietekmes uz sliedes un riteņa savienojuma no spriegotā stāvokļa novērtējums

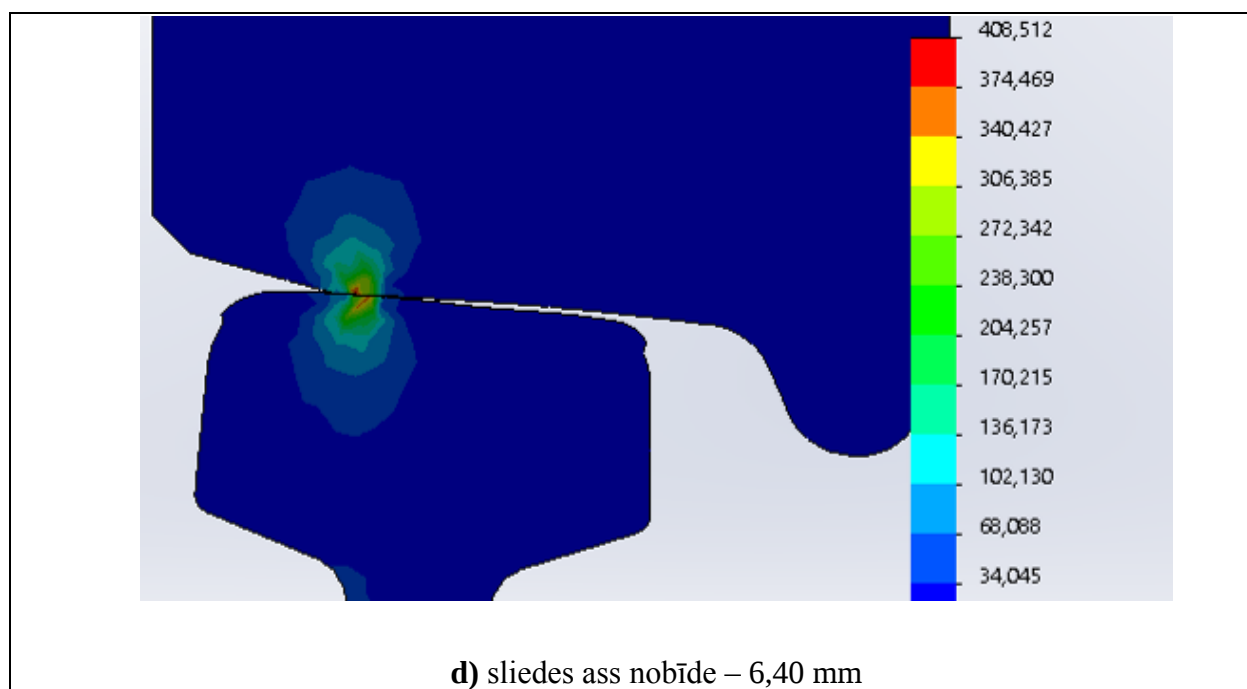
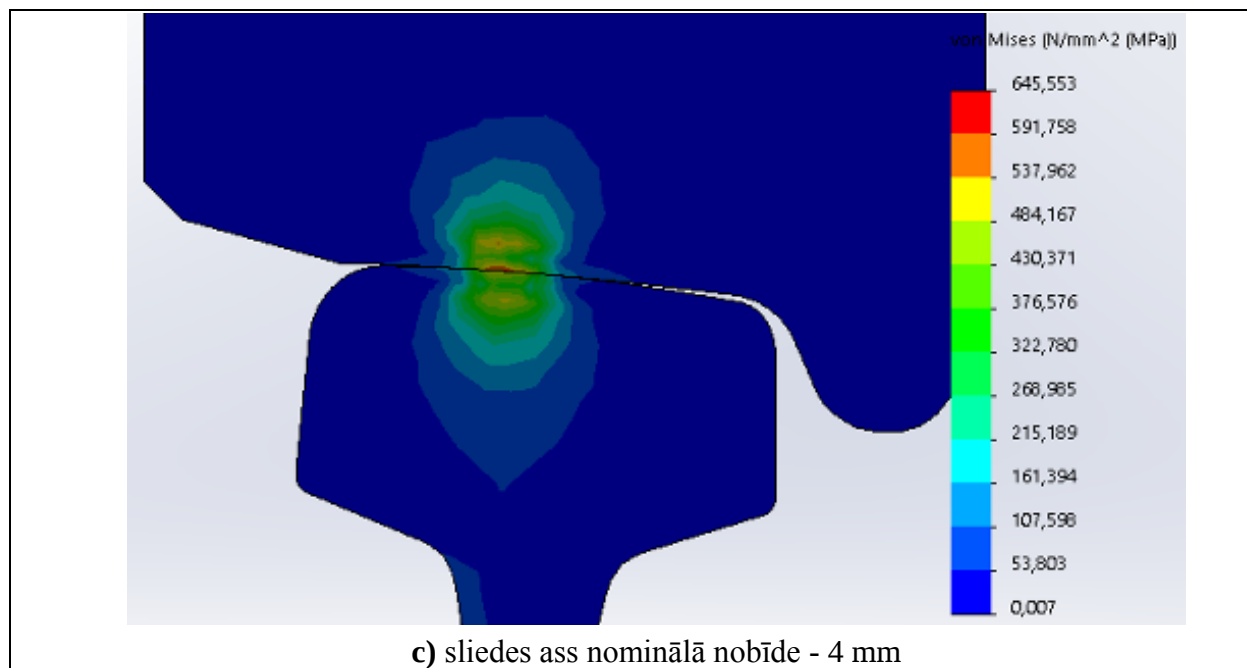
Ņemot vērā kontakta zonas ģeometriskās modelēšanas rezultātus, aprēķināsim riteņa un sliedes kontakta spriegumus sliežu ceļu taisnēs un līknēs ar rādiusu 800 metri. Izvēlamies 60E1 tipa sliedes jauno profilu, nodilušo un no jauna modelēto asimetrisko sliedes remonta (slīpēšanas) profilu 5.12. att. Riteni GOST - 10791 [54] izvēlamies ar “Latvijas dzelzceļā” raksturīgo nodilumu 5.2. (3). att. Aprēķina rezultāti parādīti 5.13., 5.14. att.



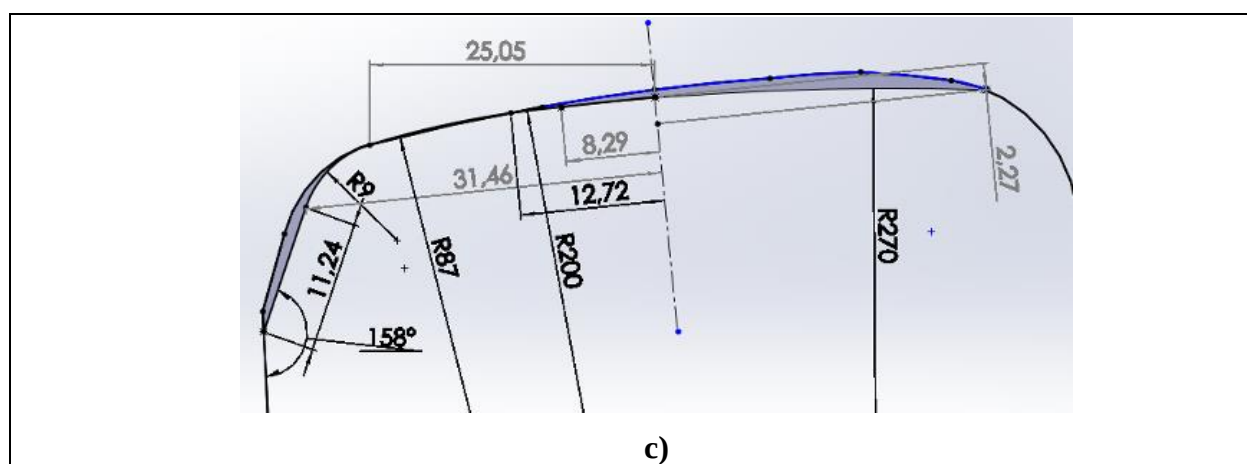
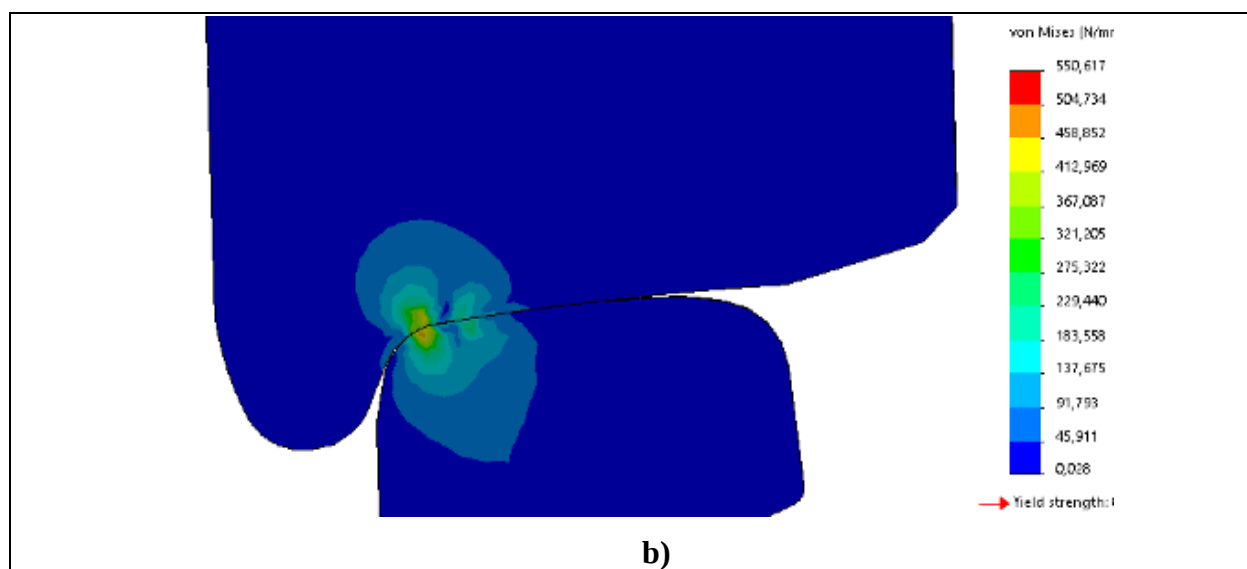
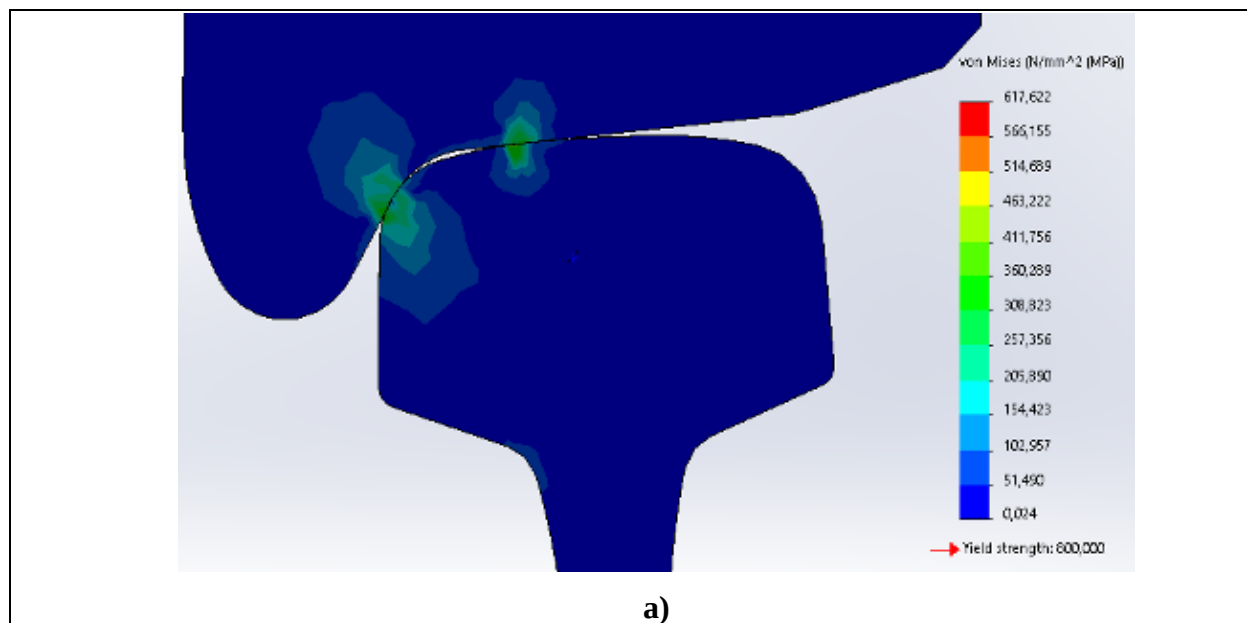
a) sliedes ass nobīde - 5 mm

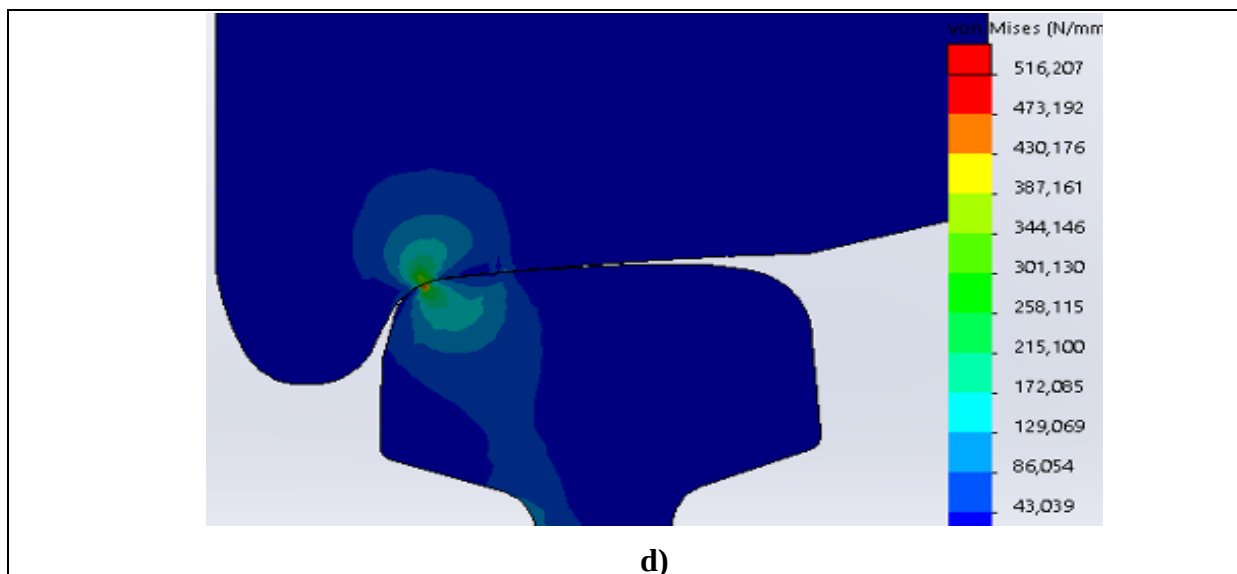


b) sliedes ass maksimālā nobīde – 2,50 mm



5.13. att. Fon Mizesa spriegums nodilušiem riteņa un sliedes profiliem “Latvijas dzelzceļā”: sliežu ceļu taisnajos iecirkņos: a) sliedes profila maksimālais nodilums, b) sliedes nodilums 2,50 mm, c) sliedes aprēķina profils 5.12.a. att.; iekšējā sliede līknē: d) ieprojektētais sliežu profils 5.12. att.





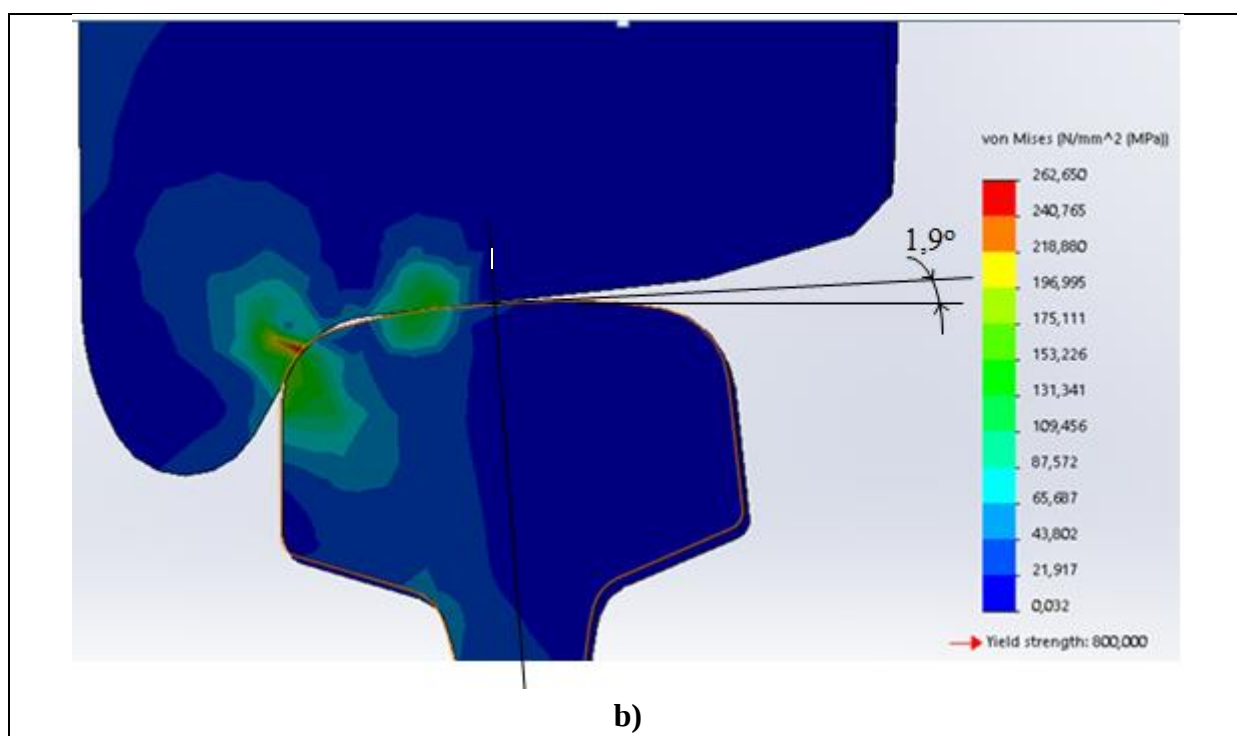
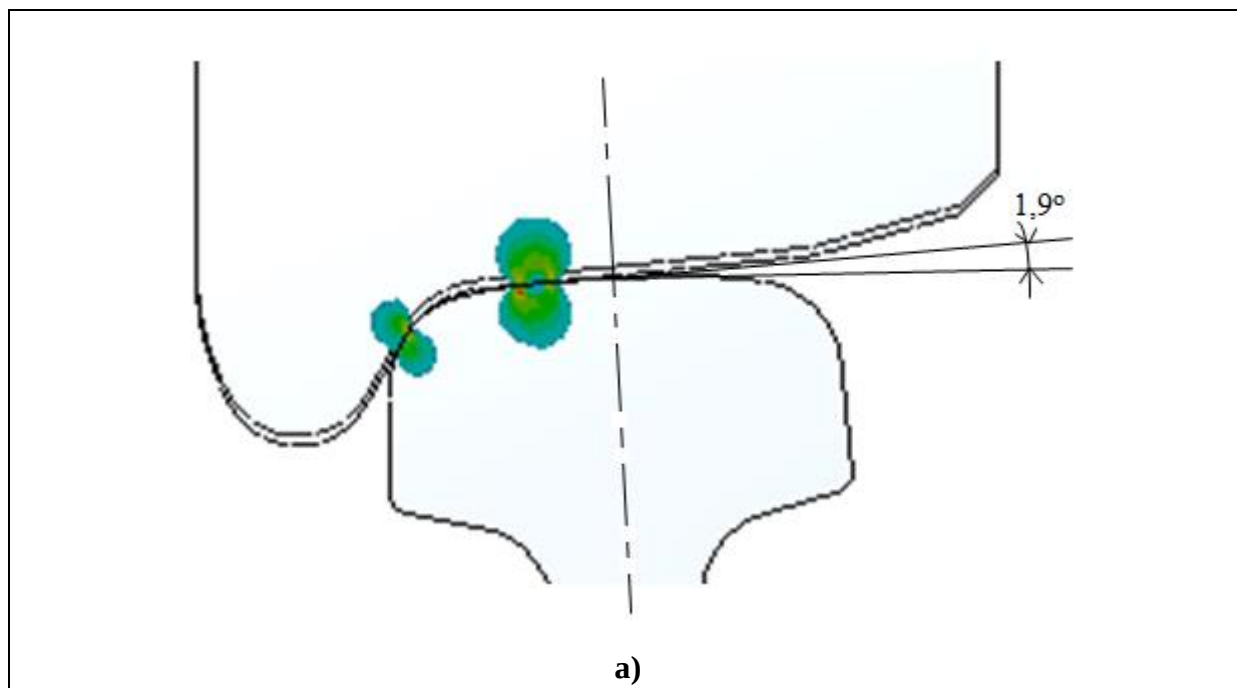
5.14. att. Fon Mizesa spriegumi nodilušiem riteņu profiliem Latvijas dzelzceļā un ārējās sliedes sliežu ceļu līknēs: a) spriegumi jaunajā sliedes ārējā profilā, b) spriegumi uzmalas resgaļa zonā sliedes nodilumam 2,50 mm, c) ieprojektētais sliedes profils, pielāgots slīpēšanai rādīšu zonā, d) sprieguma zonas nobīde no uzmalas, izmantojot izstrādāto ārējās sliedes profilu 5.12. b., 5.14.c. att.

Sliežu ceļu taisnēs, mijiedarbojoties nodilušo riteņa un sliežu profiliem, spriegumu līmenis 1630 MPa pārsniedz materiāla plūstamības robežu 5.13. att. Izmantojot izstrādāto sliedes profilu 5.12.a. att. spriegumi samazinās līdz 640 MPa. Riteņa un sliedes mijiedarbībā sliežu ceļu līknēs spriegumu līmenis uz ārējās sliedes bija 1770 MPa, esot vienpunkta kontaktā un 620 MPa divpunktu kontaktā 5.14.a., 5.14.b. att. Pēc sliedes koriģējošās slīpēšanas, spriegumi samazinājās līdz 510 MPa darba rādīšu zonā 5.14.c., 5.14.d. att. Ārējā sliedē spriegumi sasniedz 450 MPa 5.13.d. att., pielietojot izstrādāto sliedes profilu 5.12.c. att.

Kā parādīts 5.13.c. att. izstrādātā profilu izmantošana 5.12.a., 5.12.c. att. ļaus sliežu ceļu taisnē nobīdīt kontakta zonu no sliežu ceļa ārpus uz zonu ar mazāku riteņa un sliedes nodilumu 5.2. (3)., 5.13.a. att. Šis risinājums stimulēs sliežu un riteņu profilu vienmērīgāku nodilumu. Kā parādīts 5.14.d. att. izstrādātā profila 5.12.b. att. izmantošana un koriģējošā slīpēšana profilam 5.14.c. att. ļaus līknēs izslēgt ārējās sliedes ar riteņa uzmalas virsmu kontakta zonu. Veicot slīpēšanu pa šiem profiliem, var izveidoties vienpunkta kontakts ar lielāku laukumu nekā pielietojamajiem sliežu slīpēšanas profiliem. Tāpat iespējama divpunktu kontakta veidošanās, piemēram 5.14.b. att. arniecīgām spraugām 1.00 ÷ 1.20 mm uzmalas pamata rādīšu zonā. Pēc ārējās sliedes un riteņa virsmu piestrādes, sliedes un riteņa profili pāries komformālā stāvoklī ar spraugām 0.40 ÷ 0.60 mm [6] pie uzmalas pamata.

Kā alternatīvu pārbaudīsim 60E1 sliedes slīpuma leņķa ietekmi, ņemot vērā iegūtos izstrādāto sliežu profilu slīpēšanas leņķus 5.12. att. pētāmā rādīšu taisnajā ceļa iecirknī un līknēs. Veicot vairākus jaunā (atjaunotā) sliedes sprieguma stāvokļa un nodiluma riteņa profila aprēķinus Latvijas dzelzceļā, visapmierinošākie rezultāti tika iegūti ar samazinātu

ārējās sliedes slīpuma leņķi 1,90 grādiem. Kontakta laukums vairāk nobīdīts uz uzmalas pamatni gan taisnā 5.15.a. att., gan līknes ceļā 5.15.b. att., nekā ar standarta sliedes slīpumu 5.14.a. att. Lai uzturētu standarta sliežu ceļa platumu, attiecīgi jāpalielina iekšējās sliedes slīpumu.



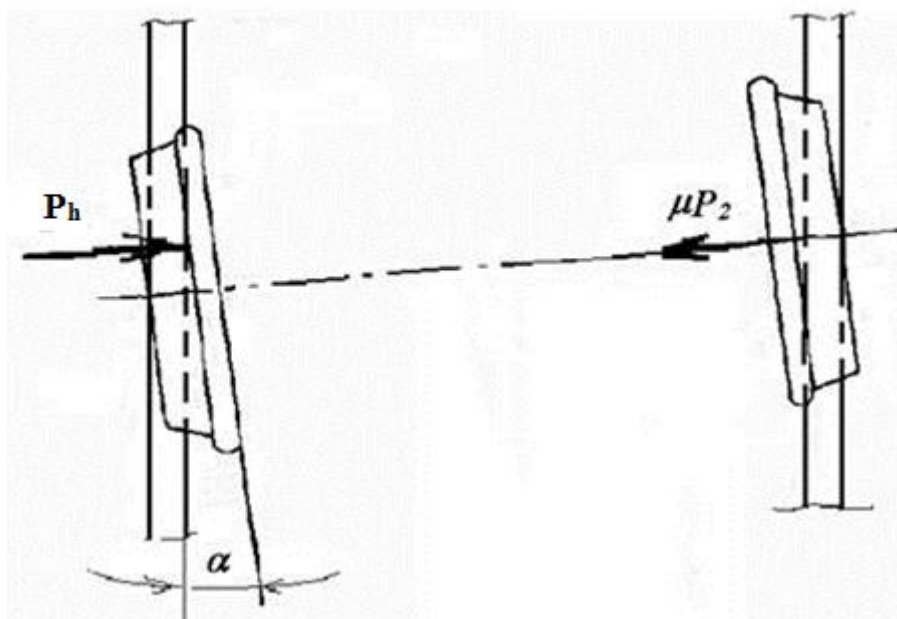
5.15. att. Fon Mizesa spriegumi nodilušiem riteņu profiliem Latvijas dzelzceļā un ārējās sliedes ar pazeminātu slīpuma leņķi 1,90 grādos: a) taisnajā ceļā, b) līknes ceļā.

Secinājumi

Pēc kontakta profilu piestrādes nepieciešams veikt sliežu profilu korekciju atkārtoti, pēc metodikas, kura tiek piedāvāta šajā izpētes darbā, ņemot vērā riteņa profila izmaiņas sliežu ceļu iecirknī, paredzētam slīpēšanai 5.12. c, 5.14.c. att.

5.4.3. Pēc uzmalas ieripināšanas uz sliedes nosacījumiem piedāvātā slīpēšanas profila ekspluatācijas drošības pārbaude

Veicot kustību pa sliežu ceļu, iespējams tāds riteņpāra stāvoklis, pie kura viens no riteņiem uzbrauc ar uzmalu uz sliedes. Vagonu ratiņu priekšējie riteņi, kustoties pa līknēm, bet bieži arī sliežu ceļu taisnajos iecirkņos uzbrauc ar uzmalām uz sliedes galviņu sānu šķautnēm. Uzbraukšanas leņķis α var sasniegt 0,573 grādus, straujās līknēs. Tad riteņis tiecas uziet uz sliedes pa slīdēšanas plakni, ar uzmalas pieskares ārējo virsmu un, veidojot leņķi β (5.17. att.) ar horizontālo asi (uzmalas slīpuma leņķis). Uzmalas kontakta vieta ar sliedes galviņu atrodas priekšā no riteņa vertikālā rādiusa, kas rada iepriekšēju saskaršanos (5.16. att.).



5.16. att. Riteņpāra stāvoklis uzbraucot uz sliedes sliežu ceļa līknes iecirknī [20].

Uzmalas šļūkšana uz sliedes galviņu ir novēršama, ja visu vertikālo spēku projekcijas uz slīdēšanas plakni ir lielāks par horizontālo spēku projekciju, pie tam, tiek uzskatīts, ka šie spēki pielikti sliedes galviņas un riteņa kontakta punktā. Riteņpāru stabilitāti pret noiešanu no sliedēm pārbauda bīstamākajiem gadījumiem, tas ir izbraucoša riteņa mijiedarbības ar sliedi sānu šķērsspēka un mazās vertikālās slodzes uz šo riteņi savienojumā. Vienlaicīgi, kādā

laikposmā, šādu norādīto spēku savienojuma darbībā, iespējama ieripināšana (“iešļūkšana”) uzbraucošā riteņa uzmalas uz sliedes galviņu un tam sekojošu vagona noiešanu no sliedēm.

Uz riteņpāri iedarbojošos spēku kritiskais savienojums var rasties šādos divos gadījumos:

- ar triecienu vagonam ieejot līknē, pārmijai pārejot uz sānu ceļu, ja ir intensīva ratiņu līkumošana, braucot ar maksimālo ātrumu pa sliežu ceļu taisno iecirkni, ja ir intensīvas virsbūves sānu svārstības.

- veicot smagsvara vilciena pēkšņu bremsēšanu mazā ātrumā no priekšējās lokomotīves, sastāvam caurbraucot sliežu ceļa līkņu iecirkni, kad radušies ievērojami sastāva kvazistatiskie saspiešanas spēki, var izraisīt vagona sašķiebumu (novirzi) sliežu ceļā un lielu šķērsspēku rašanos riteņa mijiedarbības ar sliedi rezultātā, bet ekstremālos apstākļos arī vieglsvara vagona (piemēram, tukša) “izspiešanu”.

Saskaņā ar normām riteņa stabilitātes novērtēšanai pret noiešanu no sliedēm tiek aprēķināts stabilitātes koeficients un tiek prasīts ievērot šādus nosacījumus:

(5.2.)

$$kus = \varepsilon \frac{P_{v1}}{P_h} \geq [kus]$$

kur $[kus] = 1,5$ - stabilitātes koeficienta pieļaujamā vērtība kravas vagoniem;

ε – koeficients, kuru aprēķina pēc formulas:

(5.3.)

$$\varepsilon = (\tan\beta - 0,25) / (1 + 0,25\tan\beta)$$

$$\varepsilon = (\tan 66,83^\circ - 0,25) / (1 + 0,25\tan 66,83^\circ) = 1,317$$

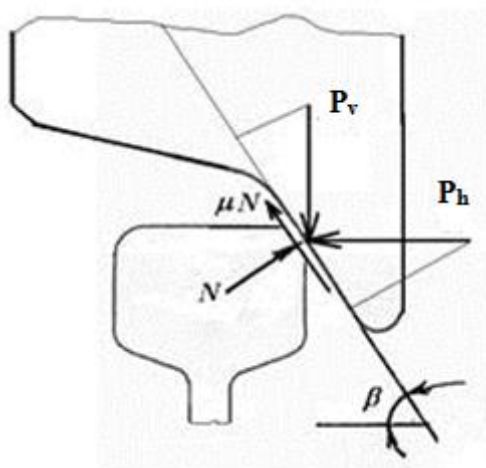
β - slīpuma leņķis, kuru veido riteņa uz mala ar horizontālo asi, kas standarta ritenim vienāds ar 60° , ritenim, izstrādātam VNIŽT, - 65° , ritenim, izstrādātam OSŽD speciāli saviem dzelzceļiem, - 70° (bez uzskaitītajiem riteņiem var tikt izmantoti vēl citi riteņi ar speciālajiem profiliem), mūsu gadījumā pieņemam izstrādāto slīpuma leņķi $\beta = 66,83^\circ$;

μ - slīdes berzes koeficients neuzbraucošam ritenim uz sliedes galviņu, $\mu = 0,25$ [65];

P_{v1} - uzbraucošā riteņa uz sliedes galviņu reakcijas spēku vertikālā komponente, tf, MPa;

P_{v2} - neuzbraucošā riteņa uz sliedes galviņu reakcijas spēku vertikālā komponente, tf, MPa;

P_h - uzbraucošā riteņa uz sliedes galviņu reakcijas spēku horizontālā komponente, kura funkcionē vienlaicīgi ar P_{v1} un P_{v2} , tf. Funkcionējošie spēki kontakta punktā attēloti 5.15. att.



5.17. att. Funkcionējošo spēku kontakta punktā shēma [20].

Spēki P_{v1} , P_{v2} , P_h tiek noteikti pēc formulas:

(5.4.)

$$P_{v1} = 2Pst(m) \left[\frac{b_2 - a_2}{l} (1 - kd.v1) - \frac{b_2}{l} kd.s.š \right] + H_r \frac{r}{l} + qr.p. \frac{b_2 - a_2}{l}$$

(5.5.)

$$P_{v2} = 2Pst(m) \left[\frac{b_2 - a_1}{l} (1 - kd.v1) - \frac{b_2}{l} kd.s.š \right] + H_r \frac{r}{l} + qr.p. \frac{b_2 - a_1}{l}$$

(5.6.)

$$P_h = H_r + \mu P_{v2}$$

Kur, $Pst(m)$ - vertikālā statiskā slodze, iedarbojas uz ass kakliņu, tf, MPa;

$kd.s.š = 0,25\overline{Kd.v}$ - sāniskās šūpošanās dinamikas koeficienta vidējā vērtība;

$H_r = p_a\overline{Kd.h}$ - rāmja spēka vidējā vērtība, aprēķināma pēc horizontālās dinamikas koeficienta vidējās vērtības

kur p_a - ass slodze, $p_a = 25\text{ tf} = 2452\text{ MPa}$;

$qr.p.$ - riteņpāra ar buksēm smaguma spēks, $qr.p. = 1,40\text{ tf} = 137,30\text{ MPa}$;

Riteņpāra horizontālās dinamikas koeficienta vidējā vērtība izskaitļota pēc formulas (5.7.);

$$\overline{Kd.h} = b\delta(5 + v) \quad (5.7.)$$

kur b - ratiņu asu skaita koeficients, $b = 1$ [65];

δ - koeficients, atkarīgs no pakares elastības kravas vagoniem $\delta = 0,003$ [65];

v - vagona kustības ātrums, m/s; $v = 25\text{ m/s}$;

$$\overline{Kd.h.} = 0,003 \cdot 1 \cdot (5 + 25) = 0,09,$$

$2B_2$ - attālums starp riteņpāra ass kakliņu vidiem, $2B_2 = 2,036 \text{ m}$;

a_1, a_2 - attālums no riteņa kontakta punktiem līdz ass kakliņu vidum, $a_1 = 0,217 \text{ m}$, $a_2 = 0,264 \text{ m}$;

r - riteņa rādiuss;

l - attālums starp riteņa kontakta punktiem ar sliedi, pieņemtu vienādu ar $1,555 \text{ m}$.

Nomainot formulās (5.4.) un (5.5.)

$$2Pst(m) = p_a - qr.p. \quad (5.8.)$$

$$2Pst(m) = 25 - 1,4 = 23,50 \text{ tf} = 2305 \text{ MPa},$$

kā arī ieliekot skaitliskās vērtības lineārajos lielumos un nominālo riteņa rādiusur = $0,475 \text{ m}$, pēc pārveidošanas iegūstam šādas vienkāršotas izteiksmes P_{v1} un P_{v2} :

(5.9.)

$$P_{v1} = p_a(0,485 - 0,528\overline{Kd.v.} + 0,289\overline{Kd.h.}) + 0,528\overline{Kd.v.}qr.p.$$

$$P_{v1} = 23,5(0,485 - 0,528 \cdot 0,23 + 0,289 \cdot 0,09) + 0,528 \cdot 0,165 \cdot 1,4 = 9,27 \text{ tf} = 909,10 \text{ MPa}.$$

(5.10.)

$$P_{v2} = p_a(0,515 - 0,222\overline{Kd.v.} - 0,289\overline{Kd.h.}) + 0,222\overline{Kd.v.}qr.p.$$

$$P_{v2} = 25(0,515 - 0,222 \cdot 0,23 - 0,289 \cdot 0,09) + 0,222 \cdot 0,23 \cdot 1,4 = 11,01 \text{ tf} = 1089 \text{ MPa}.$$

$$H_r = 23,5 \cdot 0,09 = 2,11 \text{ tf} = 206,90 \text{ MPa},$$

$$P_h = 2,12 + 0,25 \cdot 11,01 = 4,86 \text{ tf} = 476,60 \text{ MPa},$$

$$kus = 1,317 \frac{9,27}{4,86} = 1,317 \frac{909,10}{476,60} = 2,51 > [kus] = 1,50$$

Aprēķinātais koeficients ir 2,51, kas pārsniedz minimāli pieļaujamo vērtību 1,50 kravas vagoniem un apstiprina stabilitātes un ekspluatācijas drošības rezerves, tas ir uzmalas šļūkšana uz sliedes galviņas tiek novērsta [20].

5.4.4. Izstrādātā sliedes slīpēšanas metodika

Vadoties pēc veiktajiem pētījumiem, izstrādāta metodika, kura ļaus samazināt riteņa un sliedes nodilumus, veicot saskaņotu riteņa un sliedes slīpēšanu. Tā kā berzes pārī ritenis-sliede rodas kontakta virsmu savstarpējs nodilums, tiek piedāvāts meklēt remonta profila formu sliežu slīpēšanai, ņemot vērā riteņa nodiluma profilu. Protams, uzdevums kļūst sarežģīts daudzveidīgo riteņu profilu dēļ, kuri ir ieviesti ekspluatācijā. Bez tam, ja riteņu

profilu protektora nodilums ir 1 - 2 mm, mainās riteņa protektora slīpums, kontakta punkti nobīdās horizontāli relatīvi slidei, kontakta tips un nodiluma raksturs atbilstoši mainās. Tāpat ar tādu neievērotu riteņa profilu, riteņa rādiusiem vienā riteņpārī ir tendence kļūt vienādiem, kas īpaši nav pieļaujams sliežu ceļu līkņu iecirkņos.

Tāpēc tiek piedāvāts savākt statistikas datus par riteņu jauno profilu galveno skaitu, tāpat ņemt vērā riteņu profilu galvenās nodiluma formas. Informāciju ir jāšķiro pēc riteņu profilu formas un nodiluma rakstura "Latvijas dzelzceļā" kopumā vai pa kustības iecirkņiem. Tādā veidā tiks izdalīti atsevišķi iecirkņi ar līdzīgu sliežu nodilumu. Turpmāk būs iespējams risināt uzdevumu sliežu profila izveidei saskaņotai slīpēšanai ar riteņa profilu. Liela skaita sliežu profilu izstrādei profilaktiskās un remonta slīpēšanas veikšanai ar mazāku diskretumu vertikālajam un horizontālajam savstarpējam riteņa un sliedes nodilumam, ļaus samazināt noņemamā metāla no sliedes daudzumu un samazināt slīpēšanas laiku.

5.4.5. Sliežu slīpēšanas jauno profilu modelēšanas rezultātu secinājumi

Optimālais profils - tas ir kompromiss starp riteņpāra stabilitāti un nodilumu. Veikts nodilušo riteņu profilu ar leņķa slīpumu 66.80° stabilitātes koeficienta aprēķins, pēc uzbraukšanas uz sliedes profilu nosacījumiem. Aprēķinātais koeficients bija 2,51, kas pārsniedz minimāli pieļaujamo vērtību 1,50 kravas vagoniem un apliecina stabilitātes un ekspluatācijas drošības rezervi.

Tādā veidā, zinot riteņu nodilumu un to apvirpošanas lielumu, vajag izmainīt slīpēšanas adatas un pietuvināt sliedes profilu ritenim. Sliežu ceļa līknē izveidot ārējās sliedes rādiusu no darba puses mazāku kā uz sliedes uzmalas pamata. Šādā slīpēšanas variantā kontakts ritenis - sliede tieksies uz pirmskomformālu divpunktu kontaktu ar nenožīmīgu spraugu pie pamatnes vai arī uz vienpunkta bez kontakta ar uzmalu, bet tikai ar tās pamatni.

Modelēšanas rezultāti parāda, ka slīpēšanas leņķa izmainīšana, izmantojot izstrādātos asimetriskos sliežu profilus, ļaus palielināt kontakta zonas un tādā veidā samazināt spriegumus berzes pārī ritenis - sliede līdz 18% un novirzīt daļu slodzes no riteņa uzmalas nodiluma zonas uz riteņa uzmalas pamatu. Nobīde var sasniegt no 5 līdz 30 mm, riteņu rādiusu starpība līdz 5,60 mm vienā riteņpārī, kas ļauj palielināt riteņpāru iekļaušanos 4 reizes.

Izpētes rezultāti apstiprināja izstrādāto profilu efektivitāti un slīpēšanas profilu ietekmes uz riteņu un sliežu sānu nodilumu novērtējuma metodiku, bet to izmantošana ļaus samazināt riteņu apvirpošanas skaitu Latvijas dzelzceļā.

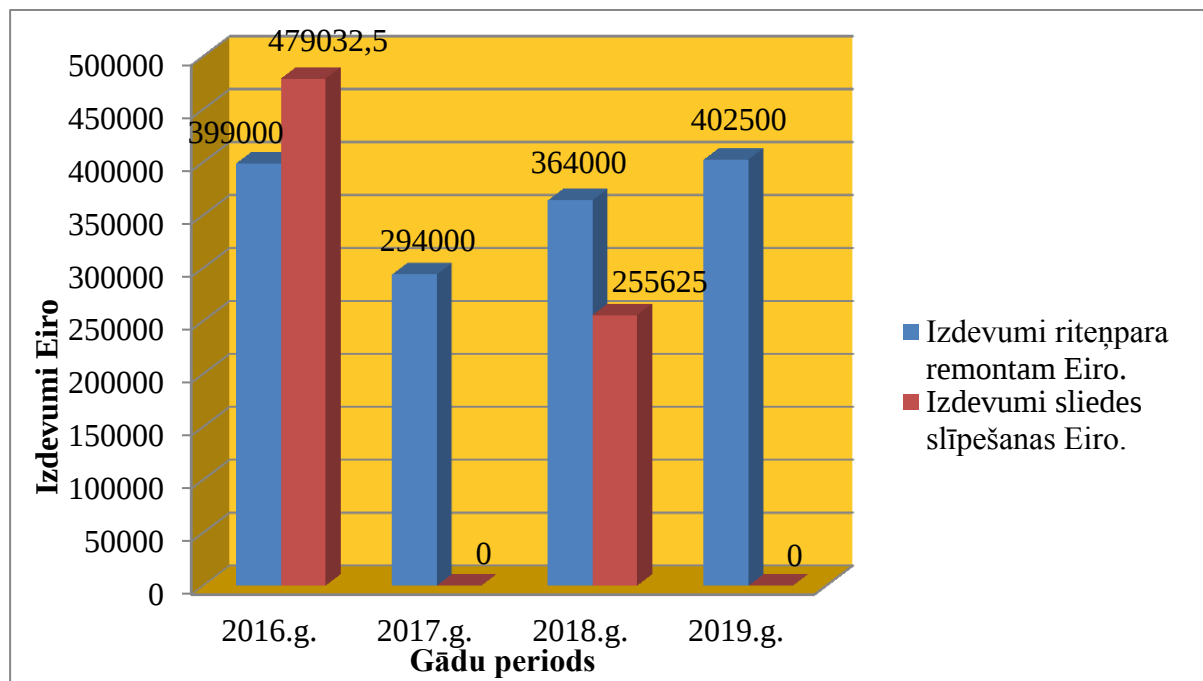
5.5. Sliežu slīpēšanas un riteņpāra atjaunošanas remonta darbu vai nomaiņas ekonomiskā salīdzināšana

Apskatīsim ekonomiskos izdevumus un salīdzināsim tos ar gada izdevumiem sliežu ceļu slīpēšanai ar izdevumiem remonta darbiem riteņpāru atjaunošanai vai nomaiņai.

Šobrīd, pēc “Latvijas dzelzceļa” grāmatvedības datiem, 1 km sliežu ceļa slīpēšanai Latvijā vajag apmēram 2500 eiro. Tā kā sliežu uzturēšanas statistikas datu (par sliežu nodilumu), vākšana, sliežu saimniecības stāwokļa apstrāde un analīze ir pirmās pakāpes uzdevums Ceļu pārvaldei. Izdevumi par sliežu ceļu stāwokļa statistikas datu vākšanu, izveidojot ekonomisko salīdzinošo grafiku, netiek uzskaitīti un tiek pieņemti 2500 eiro par 1 km sliežu ceļa slīpēšanu.

Ritošā sastāva tehniskās apkopes punktos (TAP) “Latvijas dzelzceļā”, pēc remonta cehu grāmatvedības datiem, viena riteņpāra cena komplektā ir 2500 - 2700 eiro. Turpretī jauna vai remonta uzņēmumā izremontēta riteņpāra cena ir 3100 - 3200 eiro (ieskaitot izvelšanu, demontāžu, apvirpošanu, pilnu revīziju, montāžu, pievelšanu). Vadoties pēc 4.12. att. statistikas par riteņpāru defektiem, asšķautnainā uzvelmējuma un plānās uzmalas, tie ir galvenie defekti riteņa mijiedarbībā ar sliedi “Latvijas dzelzceļā”. Šo defektu skaits, izstrādājot ekonomisko grafiku, tiks summēti. Tā piemēram, atklātais asšķautnainā uzvelmējuma defekts aizliedz riteņpāru kustību bez ārpusplāna remonta. Tomēr, tā kā šos defektus nevar novērst bez riteņpāru demontāžas apkopes stacijās (TAP), pieņemam vislielāko summu 3200 eiro par 1 riteņpāru remontu.

Ekonomiskajam salīdzinājumam parādīsim noslīpēto sliežu un atklāto asšķautnaino uzvelmējumu un plāno uzmalu defektu pēdējo statistiku periodā no 2016. gada līdz 2019. gadam. Šim nolūkam Microsoft Excel izveidosim grafiku 5.18. att.



5.18. att. Ekonomisko izdevumu grafiks riteņpāru defektu remontam un sliežu slīpēšanai.

Pēc 5.18. att. grafika redzams, ka 2016. gadā “Latvijas dzelzceļš” iztērējis 399000 eiro riteņpāru defektu remontam, tikmēr sliežu slīpēšanai bija iztērēti 479032,50 eiro. 2017. gadā izdevumi riteņpāru defektu remontam samazinājās līdz 294000 eiro. Sliežu slīpēšanas izdevumi bija 0 eiro. Ārpusplāna riteņpāru defektu remontam 2018. gadā izdevumi bija 364000 eiro, bet sliežu slīpēšanai 255625 eiro. Turpretī pērnajā, 2019. gadā izdevumi

riteņpāru remontam izauga līdz 402500 eiro. Sliežu slīpēšana 2019. gadā “Latvijas dzelzceļā” netika veikta un atbilstoši izdevumi arī bija 0 eiro. 5.4. tab. attēloti ekonomiskie izdevumi riteņpāru remontam un sliežu slīpēšanai.

5.4. tabula

VAS “Latvijas dzelzceļš” izdevumi riteņpāru remontam un sliežu slīpēšanai

Izdevumi riteņpāru remontam periodā no 2016. gada līdz 2019. gadam EIRO	Izdevumi sliežu slīpēšanai periodā no 2016. gada līdz 2019. gadam EIRO	Kopējie izdevumi VAS “Latvijas dzelzceļš” no 2016. gada līdz 2019. gadam riteņpāru remontam un sliežu slīpēšanai EIRO
1459500	734657,50	2194157,50

Kopējie izdevumi “Latvijas dzelzceļā” riteņpāru remontam un sliežu slīpēšanai periodā no 2016. gada līdz 2019. gadam bija 2194157,50 eiro, no tiem riteņpāru defektu remontam, t. sk. arī neplānotajam 1459500 eiro, sliežu slīpēšanai 734657,50 eiro.

No ekonomiskās analīzes par izlietotajiem līdzekļiem riteņpāru remontam un sliežu slīpēšanai var izdarīt šādus secinājumus. Riteņa nesaskaņošana ar sliedi rada lielus ekonomiskos izdevumus to novēršanai. Tātad, tā kā “Latvijas dzelzceļš” vagonu saimniecībā tiek savākta statistiskā informācija par brāķētajiem riteņpāriem, bet tajā pat laikā netiek veikta statistisko datu vākšana par jaunu riteņu profilu galveno skaitu, un netiek uzskaitītas galvenās nodilumu formas esošo riteņu profiliem, šo informāciju nepieciešams šķirot pēc riteņu profilu formas un nodiluma rakstura “Latvijas dzelzceļā” kopumā un pa kustības iecirkņiem. Tādā veidā būs nepieciešams ieviest inženiera amatu, kurš nodarbosies ar šiem jautājumiem. Atbilstoši nosacītie izdevumi viņa uzturēšanai gadā būtu 12000 eiro no vagonu uzņēmuma. Liela skaita sliežu profila izstrādei profilaktiskajai un remonta slīpēšanai ar mazāku diskrētumu vertikālajam un horizontālajam riteņu un sliežu savstarpējam nodilumam, ļaus izvairīties no asšķautnaino un plāno uzmalu defektiem, kā arī samazināt noņemamā metāla no sliedēm daudzumu, samazināt slīpēšanas laiku un pagarināt riteņa un sliedes kalpošanas laiku.

5.6. Rekomendācijas riteņu un sliežu sānu nodiluma samazināšanai

Piedāvājam izmantot izstrādātos aprēķina asimetriskos profilus ārējo un iekšējo sliežu slīpēšanai “Latvijas dzelzceļā”, ja ir nodilumi un riteņu profilu formas tuvu uzrādītajām disertācijā. Ņemot vērā izstrādāto sliežu profilu slīpēšanas leņķus, piedāvājam izpētītā rādīsa

līknēs samazināt ārējās sliedes slīpumu līdz $1,90^\circ$ un attiecīgi jāpalielina iekšējā sliedes slīpumu.

Piedāvājam papildus izstrādāt riteņu velšanās virsmas remonta profilus uzmalas augstumam sākot ar 25 mm un optimizēt riteņa velšanās virsmas profilu pēc optimālā veida kritērija un kontakta vietu, ņemot vērā sliedes nodilumu kursēšanas iecirkņos. Normatīvo dokumentu remonta profilos norādīts uzmalas augstums 28 mm, ja ir ierobežojumi uzmalas biezumam. Tātad, lai atjaunotu 1 mm augstumu uzmalai, nepieciešams aizvākt līdz 2 mm metāla no riteņa velšanās virsmas profila. Tāpēc piedāvātā metodika, ņemot vērā vēsturi un pasaules dzelzceļu ekspluatācijas profilus, ir spējīga ievērojami paildzināt riteņpāru kalpošanas laiku, kā arī ievērojami samazināt vagonu atkabināšanās no vilcieniem skaitu. Bez tam, der atzīmēt, ka parasti remonta uzņēmumiem un depo ir iespējas veikt apvirpošanu tikai vienam no riteņu remonta profiliem, aizvācot ievērojamu daļu metāla no riteņa profilu velšanās virsmas. Rekomendējam veikt statistisko datu vākšanu par riteņpāru nodilumiem un profilu formām, lai īstenotu piedāvātās metodikas izstrādātos sliežu slīpēšanas remonta profilus.

Sakarā ar to, ka izvairīties no kontakta ar uzmalu nav iespējams, papildus piedāvājam izmantot lokomotīvēm uzmalu smērvielas vai eļļošanu, realizējot to ar pārvietojamām vai stacionārām mašīnām. Eļļošana ļaus samazināt riteņa uzmalas savstarpējo nodilumu 2 reizes, tā kā berzes koeficients, jo sliedes galviņas sānu virsma ir gluda, spīdīga, neieeļļota būs 0,35 – 0,45, bet jau ar 60 - 90 % eļļojosa materiāla berzes koeficients būs 0,20 – 0,25. Pasažieru vilcieniem riteņu uzmalu eļļošanu rekomendējam veikt izmantojot lokomotīvi un štata (štāba) vagonu vilciena vidū, tā kā sliežu eļļošana zaudē efektivitāti vairāk kā 100 m attālumā no sliežu eļļotāja.

5.7. Sliežu slīpēšanas ietekmes uz riteņu un sliežu sānu nodiluma vērtējuma secinājumi

Iemodelēti remonta profili sliežu galviņu slīpēšanai “Latvijas dzelzceļa” sliežu ceļiem un novērtēta to ietekme uz sliežu un riteņu mijiedarbojošos virsmu sānu nodilumu. Šī pētījuma par nodilušiem riteņu profiliem rezultāts tika iekļauts jauna sliežu slīpēšanas remonta profila izveides metodika kā galvenais faktors.

Atbilstoši izpētes rezultātiem un 3D modelēšanu var secināt, ka:

1. Izstrādāta metodika remonta profilu sliežu galviņu slīpēšanas izstrādei, kas pamatots ar reālu riteņu nodilušo profilu izmantošanu. Tas ļāva: palielināt precizitāti sliežu slīpēšanas remonta profiliem, precīzāk iemodelēti vienpunkta kontakta taisnajā sliežu ceļā vai divpunktu kontakta līknēs un tā samazināt riteņa uzmalu defektu skaitu “Latvijas dzelzceļa” dažādos ceļu iecirkņos.
2. Veikta trīsdimensiju modelēšana riteņa mijiedarbībai ar sliedi, izmantojot izstrādāto sliedes profilu, kas ļāva novērtēt sliedes slīpēšanas ietekmi uz spriegumu līmeņiem pārī ritenis - sliede.

3. Kā rekomendējamus profilus sliežu slīpēšanai tika izstrādāti asimetriskie sliežu profili ar neliela riteņa mijiedarbību uz sliedi un nelielu skaitu slīpējumu. Galvenie slīpēšanas leņķi asimetriskajām profila virsmām sasniedza šajā diapazonā no $2,68^\circ$ līdz $2,41^\circ$ ārējai sliedei un no $2,36^\circ$ līdz $4,61^\circ$ iekšējai sliedei.
4. Sliežu slīpēšanas leņķu izmaiņas ļāva palielināt kontakta zonas un rezultātā samazināt spriegumu līknēs ārējai sliedei līdz 18% un nobīdīt daļu slodzes no riteņa uzmalas nodiluma zonas pie riteņa uzmalas pamata. Nobīde sasniedza no 5 līdz 30 mm, riteņu rādiusu starpība sasniedza 5,60 mm vienā riteņpārī, kas uzlaboja riteņpāru iekļaušanos 4 reizes.
5. Veikts stabilitātes koeficienta aprēķins riteņu nodilušajiem profiliem ar atloka leņķi $66,8$ grādi Latvijas dzelzceļā atbilstoši uzbraukšanas nosacījumiem uz sliežu profiliem, izstrādātiem šajā disertācijā. Aprēķina koeficients bija 2,95, kas paaugstina minimāli pieļaujamo vērtību 1,50 kravas vagoniem un apstiprina stabilitātes un ekspluatācijas drošības rezerves.
6. Ekonomiskā analīze apstiprina nepieciešamību izmantot izstrādātos jaunus un remonta sliežu profilus, veicot slīpēšanu, lai izvairītos no riteņpāru defektu remonta izdevumiem.

Izpētes rezultāti apstiprināja izstrādātās metodikas efektivitāti remonta profilu izveidē sliedes galviņas slīpēšanai un izstrādāto asimetrisko sliežu profiliem. To izmantošana ļaus samazināt sliedes sānu nodilumu, kā arī samazināt riteņu apvirpošanas skaitu Latvijas dzelzceļā.

Interesants virziens šīs tēmas attīstībā būtu analītiskā risinājuma izstrāde optimālā sliedes profila atlasīšanai, pamatojoties uz riteņa nodiluma datiem sliežu ceļa iecirknī, izmantojot esošo skaitļošanas tehniku sliežu slīpēšanas vilcienos.

GALVENIE REZULTĀTI UN SECINĀJUMI

Pēc veiktās izpētes rezultātiem un statistisko datu analīzes var izdarīt šādus secinājumus:

1. Sliedes ir sliežu ceļu virsbūves neatņemama daļa, augstās prasības, raksturojumi un īpašības, kas tām izvirzītas, liecina par nozīmību drošā pārvadājumu procesā ar dzelzceļa ritošo sastāvu. Sliežu tērauds sastāv no daudziem ķīmiskiem elementiem, kuru galvenie rādītāji ir oglekļa, silīcija, mangāna un kaitīgo piemaisījumu, kā fosfors un sērs, saturs. Sliežu tērauda cietība ir viens no svarīgākajiem rādītājiem ritošā sastāva caurbraukšanas pa tām drošumam, kurām jāatbilst esošiem standartiem (EN 13674 - 1:2011, GOST R 51685 - 2013) noteiktiem valstī, kurā tiek izmantoti.
2. No sliežu tērauda defektu analīzes var secināt, ka uzsildīšanas defekts rodas augstu temperatūru rezultātā un sliežu tērauda pārkaršanas, velmējuma defekti veidojas nepareizas velmēšanas, metāla norullēšanas rezultātā. Kā arī mehānismu, kuri piedalās sliežu tērauda velmēšanas un norullēšanas procesos, nepareiza kalibrēšana. Nepareiza tīrīšana (rises), skrambas uz velmējuma virsmas no nolietotā velmēšanas stiegrojuma, nodilusi forma, nepietiekamas lietņu karsēšanas, izkausēšanas un izliešanas formās tehnoloģiju neievērošana arī ir iemesls, lai rastos rinda šo defektu. Ar defektiem metāla struktūrā, kā likums, saistās metināšanas tehnoloģijas un sliežu tērauda termiskās apstrādes pēc metināšanas procesa neievērošana.
3. No kopējās Bojāto un ļoti bojāto sliežu defektu analīzes “Latvijas dzelzceļā” var izdarīt šādus secinājumus:
 - ✓ bojāto sliežu defektu skaits periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam bija 142632 defekti;
 - ✓ ļoti bojāto sliežu defektu skaits periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam bija 2495 ļoti stipri defekti;
 - ✓ atklāto ļoti bojāto sliežu defektu skaits sliežu galviņā periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam bija 1814 ļoti stipri defekti;
 - ✓ ļoti bojāto sliežu defektu ar kodu XX 18 skaits periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam bija 115 ļoti stipri defekti;
 - ✓ ļoti bojāto sliežu defektu ar kodu XX 21 skaits periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam bija 776 ļoti stipri defekti;
 - ✓ ļoti bojāto sliežu defektu ar kodu XX 26.3, 26.4 skaits periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam bija 198 ļoti stipri defekti, no kuriem 142 ļoti stipri defekti ar kodu XX 26.3 un 56 ļoti stipri defekti ar kodu XX 26.4.

Šī statistika liecina par nepieciešamību veikt tehniskos un plāna piesardzības pasākumus sliežu galviņu kalpošanas laika saglabāšanai un pagarināšanai. Viens no šādiem risinājumiem var būt sliežu slīpēšana ar sliežu slīpēšanas vilcienu.

4. Analīzes par firmas “Speno” sliežu slīpēšanas vilciena izmantošanu “Latvijas dzelzceļā” liecina par sliežu slīpēšanas vilciena izmantošanas aktualitāti Latvijas dzelzceļā sliežu kalpošanas ilguma saglabāšanai un pagarināšanai. Pavisam Latvijas dzelzceļā periodā no 2011. gada līdz 2019. gadam bija noslīpēti 1388,087 km/ceļu.

5. Cietības pārbaude pēc Brunela skalas (HB) parādīja, ka slīpēto sliežu metāla cietība ir augstāka par 29 HB nekā neslīpētām sliedēm. Slīpēšanas paņēmieni paaugstina virsmas cietību 1,2 reizes. To stimulē pārtraukumainu ripu izmantošana, kuras pazemina apstrādājamās virsmas temperatūru, papildus deformē materiālu un palielina tā stiprināšanas līmeni. Salīdzinot iegūto metāla cietību jaunajai sliedei ar izgatavotājrūpnīcas pases datiem, tāpat ir atšķirības, sliedes metāla cietība zemāka par 104 HB. Viens no paņēmieniem sliedes galviņas kalpošanas laika pagarināšanai ir sliežu sākotnējā un periodiskā slīpēšana, atkarībā no caurlaides tonnāžas un ekspluatācijas režīmiem.
6. Pats izplatītākais defekts “Latvijas dzelzceļā” ir defekts ar kodu X 10.1. Izpētes gaitā tika noteikts, ka galvenais defekta ar kodu X 10.1 parādīšanās iemesls ir trūkumi izgatavošanas tehnoloģijā, kādēļ uz sliedes veidojas mazas plaisas un sīkplaisas, kuri tālākā ekspluatācijas procesā ritošā sastāva iedarbības un milj.t, brutto tonnāžas izstrādes rezultātā veidojas metāla atlobīšanās un izdrupšana uz sliežu galviņas ritvirsmas. Sliežu tērauda defektu cietības noteikšanas dati liecina par pazeminātu metāla cietību 10 mm un 35 mm dziļumā no galviņas ritvirsmas, no 341 – 328 HB 10 mm dziļumā un 362 - 346 HB 35 mm dziļumā. Dati par ķīmisko sastāvu norāda par ķīmisko elementu (Mn, C, P, S) neatbilstību EN 13674 - 1:2011 standartam. Mangāna saturs pazemināts par 0,017 %, oglekļa procentuālais sastāvs samazināts par 0,039 %, fosfora saturs palielināts par 0,044 %, tāpat palielināts sēra saturs par 0,0043 %. Pazeminātais mangāna un oglekļa saturs rada sliežu tērauda triecienstigrības, stiprības, nodilumizturība un cietības samazināšanos. Paaugstināts fosfora un sēra saturs paaugstina sliežu tērauda trauslumu un noslieci uz plaisu veidošanos. Metāla struktūra zem mikroskopa arī apstiprina plaisu un sīkplaisu esamību bojātās sliedes galviņā. Neslīpētās sliedes mikrostruktūra zem mikroskopa parādīja iekļāvimus un piemaisījumus, kas negatīvi ietekmē sliedes galviņas virsmas stāvokli, kas var kalpot par virsmas defektu rašanās un attīstības cēloni. RTU laboratorijas bojātās sliedes ar kodu X 10.1 izpētes rezultātus apliecināja sertificēta testēšanas laboratorija KIWA A/S “Inspecta Latvia”, kas liecina par testēšanas rezultātu atbilstību.
7. Iemodelēti remonta profili sliežu galviņas slīpēšanai “Latvijas dzelzceļa” sliežu ceļiem un novērtēta to ietekme uz sliežu un riteņu mijiedarbošos virsmu sānu nodilumu. Šīs izpēte rezultāts par nodilušo riteņu profilu tika iekļauts jaunā remonta profila izveidošanā sliežu slīpēšanai metodika kā galvenais faktors.

Atbilstoši izpētes rezultātiem un 3D modelēšanai var rezumēt, ka:

1. Izstrādāta metodika remontu profilu izveidošanai sliežu galviņas slīpēšanai, kas bāzēts uz reālu riteņu izdilušo profilu izmantošanu. Tas ļāva: palielināt sliežu remonta profilu slīpēšanas precizitāti, precīzāk modelēt vienpunkta kontaktu taisnajā sliežu ceļā vai divpunktu kontaktu līknēs un tādā veidā samazināt riteņa uzmalas defektu skaitu dažādos dzelzceļa sliežu ceļu iecirkņos “Latvijas dzelzceļā”.

2. Veikta trīsdimensiju modelēšana riteņa mijiedarbībai ar sliedi izmantojot izstrādāto sliežu profilu, kas ļāva novērtēt sliežu slīpēšanas ietekmi uz sprieguma līmeni pār riteņiem - sliede.
3. Kā rekomendējamie profili sliežu slīpēšanai izstrādāti sliedes asimetriskie profili ar mazāko riteņa mijiedarbību ar sliedi un mazāko slīpēšanas skaitu. Slīpēšanas pamatleņķi asimetrisko profilu virsmām sasniedz no $2,68^\circ$ līdz $2,41^\circ$ ārējai slidei un no $2,36^\circ$ līdz $4,61^\circ$ iekšējai slidei.
4. Sliedes slīpēšanas leņķa izmaiņas ļāva palielināt kontakta zonu un rezultātā samazināt spriegumu uz ārējo sliedi līknē līdz 18% un novirzīt daļu slodzes no riteņu malas nodiluma zonas uz riteņu uzmalas pamata. Nobīde sasniedza no 5 līdz 30 mm, riteņu rādiusu starpība sasniedz 5,60 mm vienā riteņpārī, kas uzlaboja riteņpāru iekļaušanos 4 reizes.
5. Veikts stabilitātes koeficienta aprēķins riteņu nodilušajiem profiliem ar atloka leņķi $66,80$ grādi "Latvijas dzelzceļā" atbilstoši uzbraukšanas nosacījumiem uz sliežu profiliem, izstrādātiem šajā disertācijā. Aprēķina koeficients bija 2,51, kas paaugstina minimāli pieļaujamo vērtību 1,50 kravas vagoniem un apstiprina stabilitātes un ekspluatācijas drošības rezerves.
6. Ekonomiskā analīze apstiprina nepieciešamību izmantot izstrādātos jaunus un remonta sliežu profilus, veicot slīpēšanu, lai izvairītos no riteņpāru defektu remonta izdevumiem.

Izpētes rezultāti apstiprināja izstrādātās metodikas efektivitāti remonta profilu izveidē sliedes galviņas slīpēšanai un izstrādāto asimetrisko sliežu profiliem. To izmantošana ļaus samazināt sliedes sānu nodilumu, kā arī samazināt riteņu apvirpošanas skaitu "Latvijas dzelzceļā".

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Glotovs V., Makedons V. Ceļu distances „Defektoskopijas līdzekļu darba analīze 2011 - 2019. gadā”. Valsts Akciju Sabiedrība „Latvijas Dzelzceļš”.Latvija, Jelgava: 2019. - 1. - 104. lpp.
2. Ivanovs V., Gavrilovs P. Research of a Highly Defective Frog Core of Grade 1/9. Rural Development 2017: Bioeconomy Challenges: The 8th International Scientific Conference: Conference Proceedingse - ISBN 978-609-449-128-3. ISSN 1822-3230. e-ISSN 2345-0916. 23.-24. novembris, 2017. Aleksandras Stulginskis University, Lietuva, Kaunas 2018. - 266 - 271 p.
3. Jagodkins M. Sliežu ceļu uzturēšanas instrukcija. Valsts akciju sabiedrība “Latvijas dzelzceļš” Infrastruktūras pārvalde. Rīga: 1999. - 5.- 145. lpp.
4. Jagodkins M. Instrukcija C-010 Sliežu defekti, to pazīmes, klasifikācija, katalogs, marķēšana, un vilcienu kustības nosacījumi pa defektīvām un ļoti defektīvām sliedēm. Valsts Akciju Sabiedrība „Latvijas Dzelzceļš” Rīga: 2017. - 1. - 68. lpp.
5. Arcelor Mittal. Certificado De Inspeccion. Inspection Certificate 3.1 EN 10204/EN 10168. Quality Certificate We, Arcelormittal Espana, S.A. Certify: That this 60 E1 rails has been manufactured and tested in accordance with requirements of the material specifications and satisfactory results and it refers to the following ogders and invoices numbers. R03934. ES403EA859. GIJON, Brussels: 2014. - 1.- 20. p.
6. Antipin D., Kosmodamiansky A., Korchagin V. Contact spot at conformal interaction of rolling-stock wheel with rail. Proceedings of Bryansk State Technical University. DOI: 10.12737/article_59353e2a4df3e3.59657732. Vol. 2 (55), Bryansk, Russian Federation: 2017. - 140. - 145. p.
7. EN 13231-3:2012 Railway applications-Track Acceptance of works-Part 3: Acceptance of reprofiling rails in track.
8. European Standard. Railway applications. Track. Rail. 10 December 2010. EN 13674-1:2003+A1:2007.
9. EN 13262:2009 Railway applications - wheelsets and bogies - wheels - product Italia 2009.
10. EVRAZ. Form 3. Export. ЦДЦ ОПЖТ RU.B.0020 24.08.2011 y. Quality Certificate Nr. 3094. Rails type 60 E1 Section class Y.Straightness B. EN 13674-1:2011, TC 00186269-189-2012.
11. Hesam S., Majid M. Tribological Aspects of Wheel-Rail Contact: A Review of Wear Mechanisms and Effective Factors on Rolling Contact Fatigue. Urban Rail Transit (2017) 3(4):227–237. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40864-017-0072-2>, Iran: 2017. - 227.- 237. p.
12. Ivanovs V., Gavrilovs P. Defect Analysis on Latvian Railway, Research on Defective Rail. No: 16th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development": Proceedings. Vol.16, Latvija, Jelgava, 24. - 26. maijs, 2017. Jelgava:

- Latvia University of Agriculture, ISSN 1691-5976. Pieejams: doi:10.22616/ERDev2017.16.N313. 2017. - 1377. - 1382. p.
13. Ivanovs V., Gavrilovs P. Research of the Defective Frog Wing of 1/11 Mark. *Transport Problems*. ISSN 1896-0596. e-ISSN 2300-861X. doi:10.20858/tp.2017.12.4.12. 2017. - 119. - 126. p.
 14. Ivanovs V., Gavrilovs P. Analysis of Rail Profile 60 E1 Joints Welded by Means of a Mobile Rail Welding Machine. No: *17th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development": Proceedings*, Latvija, Jelgava, 23. - 25. maijs, 2018. Jelgava: Latvia University of Life Sciences and Technologies, ISSN 1691-5976. Pieejams: doi:10.22616/ERDev2018.17.N021. 2018. - 1969. - 1977. p.
 15. Ivanovs V., Gavrilovs P., Rumjancevs A. The Cross Wing Rail Cladding Layer of the Type 1/11 DO, 60 E1 Investigation. *Procedia Computer Science*, Vol.149,. ISSN 1877-0509. doi:10.1016/j.procs.2019.01.145. 2019. - 336. - 343. p.
 16. Ivanovs V., Gavrilovs P. Research of Weldability of Rail Profile 60 E1 Manufactured in Factory "Arcelor Mittal". No: *Transport Means 2019: Proceedings of the 23rd International Scientific Conference. Part 2*, Lietuva, Palanga, 2.- 4. oktobris, 2019. Kaunas: Kaunas University of Technology, ISSN 1822-296X. e-ISSN 2351-7034. 2019. - 945. - 949. p.
 17. Ivanovs V., Gavrilovs P. Comparative Analysis of P-65 (A, T) Type Weld Joint Metal Structure. *Procedia Computer Science*, 2019, Vol. 149, ISSN 1877-0509. doi:10.1016/j.procs.2019.01.141. 2019. - 314. - 318. p.
 18. Ivanovs V., Gavrilovs P. Study of Exothermic Welded Joint Grinding by "Speno" Rail Grinders. No: *18th International Scientific Conference «Engineering for Rural Development»*, Latvija, Jelgava, 22.-24. maijs, 2019. Jelgava: Latvia University of Agriculture, ISSN 1691-5976., doi:10.22616/ERDev2019.18.N132. 2019. - 1013.- 1021. p.
 19. Ivanovs V., Gavrilovs P., Stankēvičs P., Mihailovs F. Analysis of Highly Defective Rails with Horizontal Splitting in the Head. No: *ICTE in Transportation and Logistics 2019*. Cham: Springer Nature Switzerland AG,. ISBN 978-3-030-39687-9. e-ISBN 978-3-030-39688-6. ISSN 2523-3440. e-ISSN 2523-3459. doi:10.1007/978-3-030-39688-6_26. 2020. - 196. - 202. p.
 20. Ivanovs V., Gavrilovs P., Boiko A., Vaicis I. Estimating Influence of Rail Profile Shape on Lateral Wear of Rail and Wheel after Grinding of 60e1 and R65 Rails. No: *19th International Scientific Conference "Economic Science for Rural Development": Proceedings. Vol.19*, Latvija, Jelgava, 20. - 22. maijs, 2020. Jelgava: Latvia University of Life Sciences and Technologies, ISSN 1691-5976. doi:10.22616/ERDev2020.19.TF137. 2020. - 614. - 624. p.
 21. Michael J., Steenbergen M. The Applicability of Lumped Wheel Models in the Analysis of Dynamic Wheel-Rail Contact for Short-Length Rail Irregularities Netherlands: 2000. - 15. - 27. p.

22. Olofsson U., Telliskivi T. Contact mechanics analysis of measured wheel-rail profiles using finite element method. Proceedings Inst Mech Eng Part F, Journal of Rail and Rapid transit, Vol. 215(2), <https://doi.org/10.1243/0954409011531404>. Sweden: 2001. - 65. - 72. p.
23. Schupp G., Weidemann C., Mauer L. Modelling the Contact between Wheel and Rail within Multibody System Simulation. <https://doi.org/10.1080/00423110412331300326> Germany: 2010. - 1. - 15. p.
24. Smitirupa P., Arun K., Samantaray A. Recursive Wheel Wear and Vehicle Dynamic Performance Evolution Computational Model for Rail Vehicles with Tread Brakes. Journal Vehicles, doi: 10.3390/vehicles1010006, vol.1, 17 April India: - 2019. - 88. - 115. p.
25. Tourney H. Rail/Wheel Interaction from a Track and Vehicle Design Perspective. Proceedings of IHHA'99 STS-Conference on Wheel/Rail Interface. Moscow, 1999. - 41. - 57. p.
26. Voestalpine SCHIENEN GMBH Inspection Certificate 3.1. ONORM EN 10204-3.1 bzw. DIN 50049-3.1. Nr.: 1685/2015 Donawitz, Specifications EN 1367-2:2011. Austria: 2015. 1. - 8. p.
27. Wei Z. Yue Y., Wen-Sheng Q., Huan X., Su-Chao X. Optimization of the target profile for asymmetrical rail grinding in sharp-radius curves for high-speed railways. Advances in Mechanical Engineering. DOI: 10.1177/1687814016687196. journals.sagepub.com/home/ade Vol. 9 (2), China: 2017. - 1. - 12. p.
28. Yongjie L., Zongyu G., Jianxi W. Study on Influence of Diversified Parameters of Vehicle and Track on Wheel Hollow Wear. Journal Shock and Vibration, Vol. 2018, Article ID 8972615, <https://doi.org/10.1155/2018/8972615>. China: 2018. - 11. p.
29. Арсеньев И.Д., Шевченко Д.В., Боровков А.И. Конечно-элементное моделирование и исследование эволюции контактных напряжений при страгивании железнодорожного колеса. Вестник пермского государственного технического университета. Механика, Номер 2, УДК: 539.3, ISSN: 2078-6603, Санкт-Петербург: 2011. - 5. - 13. с.
30. Бондаренко О. Анализ контактного взаимодействия рельса с вагонным колесом- Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт" (НТУ "ХПИ"), 2012. - 1. - 3.с.
31. Воробьев А.А. Контактное взаимодействие колеса и рельса. Вестник ИрГТУ №3 (39), УДК 629.4.027 Санкт-Петербург: 2009. - 42. - 47. с.
32. Воробьев А.А. Совершенствование технологии восстановления колесных пар повышенной твердости: Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. ПГУПС, Санкт - Петербург: 2005. - 140 с.
33. Воробьев А.А., Сорокин П.Г. Исследование напряженного состояния пятна контакта колеса и рельса. ПГУПС, Санкт - Петербург: 2004. - 1. - 3. с.
34. Воронин С.В., Коростелев Е.Н. Анализ существующих способов уменьшения бокового износарельсов в паре трения «колесо-рельс» в кривых участках пути.

- Журнал: Информационно - керуючи системи на залізничному транспорті. УДК 656.032.ІКСЗТ, №3 Україна, Днепропетровск: 2014. - 22. - 27. с.
35. Ежов А.А., Герасимова Л.П. Дефекты в металлах. Справочник-атлас. Москва: Русский университет, 2002. - 360 с.
36. Иванов В., Павел Г. Анализ твердости металла рельса 60 E1. Вестник КазАТК. ISSN 1609-1817. 2017. - 23. - 29. с.
37. Иванов В., Павел Г. Исследование свариваемости рельсов Р65 Тагильского и Азовского завода машиной ПРСМ. Сборник научных статей по итогам Международной междисциплинарной конференции. Инновационное развитие и современные образовательные технологии в системе физико - математического образования: актуальные вопросы теории, методики и практики. Москва: ИИУ МГОУ, ISBN 978-5-7017-2945-0. 2018. - 29. - 33. с.
38. Иванов И.А., Кушнер В.С., Воробьев А. А., Шадрин Н.Ю., Сорокин П.Г. К вопросу о перспективах использования бандажных колесных пар повышенной твердости. ПГУПС, Санкт – Петербург, РФ; ОмГТУ, г. Омск, РФ. 2000. - 1. - 2. с.
39. Ильин А.С., Юркова Е.О., Банул В.В. Способ и устройство определения параметров ремонтного профиля головки рельса. Описание изобретения к патенту. RU 2708520 С1., Москва: РЖД, 2019. - 1. - 18. с.
40. Красниченко, А.А. Выбор параметров рессорного подвешивания трамвайного вагона. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Екатеринбург: 2009. - 1. - 22. с.
41. Коростелев П. П. Реактивы для технического анализа. Москва: 1988. - 104 с.
42. Марков Д.П. Трибологические аспекты повышения износостойкости и контактно-усталостной выносливости колес подвижного состава: Дисс. на соиск. уч. степ. д-ра. техн. наук. Москва: ВНИИЖТ, 1996. - 386 с.
43. Машеков С.А., Абсадыков Б.Н., Алимкулов М.М. Влияние химического состава стали 76Ф на качество рельсов. Журнал Современные проблемы науки и образования. - 2015. № 2 (часть 2). Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева. УДК 621.771.25/.26:669.1. Казахстан, Алматы, - 2015. - 1. - 8. с.
44. Михайлов С., Сергеев Д. Анализ эффективности шлифования рельсов. Наука - будущее Литвы. Транспорт: Конференция молодых ученых Литвы, Вильнюс: Литва, 2007. - 120. - 122. с.
45. Меркулова Т. В., Рождественский С.А., Рукавчук Ю. П., Шелухин А. А., Этинген И.З. Анализ системы неразрушающего контроля сварных стыков рельсов. Журнал: Путь и путевое хозяйство. Издательство: Российские железные дороги ISSN: 0131-5765. Москва: 2013. - 6. - 9. с.
46. Макаров Э.Л., Якушин Б.Ф. Теория свариваемости сталей и сплавов. Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, УДК 621.79 ББК 34.641 ISBN 978-5-7038-3938-6. Москва: 2014. - 404. - 428. с.

47. Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (ОАО «ВНИИЖТ») Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524 мм). РЖД ВНИИЖТ Утверждено Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества (протокол от «19-20» октября 2017 г. № 67, Москва: 2017. - 25. - 38. с.
48. ОАО "Российские Железные Дороги" Утверждены распоряжением ОАО "РЖД" от 20 мая 2013 г. № 1133р. Рельсы железнодорожные типа Р65 импортного производства категории ВС250АВ, сваренные электроконтактным способом. Технические условия ТУ 0921-290-01124323-2012. Вице-президент ОАО "РЖД" А.В.Целько. Москва: 2013. - 1. - 7. с.
49. Павлов В.В., Темлянец М.В., Корнева Л.В. и др. Дефекты и качество рельсовой стали. Москва: Теплотехник, 2006. - 218 с.
50. Правосудович В.В., Сокуренок В.П., Данченко В.Н. и др. Дефекты стальных слитков и проката. Москва: Интермет Инжиниринг, 2006. - 384 с.
51. Пухов И. Между колесом и рельсом. Выпуск газеты Гудок № 207 (26346) Москва: 2017. - 1.- 3. с.
52. Разработано совещанием экспертов Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу. Каталог дефектов и повреждений рельсов. Приложение Р 736 «Перечень дефектов рельсов и их кодирование». Комитет ОСЖД, Республика Польша, г. Варшава, 2015. - 3. - 36. с.
53. Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу. Классификация рельсов, подлежащих шлифовке, для путей различной ширины колеи Р 738. Комитет ОСЖД, Республика Польша, г. Варшава, 2018. - 2. - 19. с.
54. Разработан открытым акционерным обществом "Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ОАО "ВНИИЖТ"), открытым акционерным обществом "Уральский институт металлов" (ОАО "УИМ"), открытым акционерным обществом "Научно-исследовательский институт вагоностроения", Институтом черной металлургии НАН Украины. ГОСТ 10791-2011 Колеса цельнокатаные. Технические условия (с Поправкой). Межгосударственный стандарт колеса цельнокатные. Технические условия, Москва: 2012. - 6. - 48. с.
55. Разработан открытым акционерным обществом "Научно-исследовательский конструкторско-технологический институт подвижного состава" (ОАО "ВНИКТИ"). ГОСТ 4835-2013 Колесные пары железнодорожных вагонов. Технические условия (с Поправкой). Межгосударственный стандарт колесные пары железнодорожных вагонов. Технические условия, Москва: 2014. - 6. - 17. с.

56. Сладковский А. К вопросу механики контактного взаимодействия колеса и рельса. Сборник Национального горного университета, Нр. 19, том (4), УДК 593.374:625.1.03. Днепропетровск, 2004. - 3. - 8. с.
57. Савоськин А.Н. О выборе аналитического выражения для функции спектральной плотности случайных колебательных процессов. Труды МИИТ. - Вып. 373. Москва: 1971. - 78. - 85. с.
58. Телегин Д.В. Методика расчетной оценки показателя плавности ходасочлененного трамвайного вагона в вертикальной плоскости. Выпускной квалификационный проект. Урал: 2015. - 9. - 10. с.
59. Утверждена распоряжением ОАО "РЖД" 29.12.2014 № 3185р. Инструкция по шлифовке и фрезерованию рельсов в пути и стационарных условиях, Москва: 2014. - 6. - 40. с.
60. Ушкалов В.Ф., Мокрий Т. Ф., Малышева И. Ю. Математическая модель взаимодействия железнодорожного экипажа и пути с учетом распределения контактных сил по пятнам контакта. Институт технической механики. Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины, Днепропетровск: 2015. - 79. - 89. с.
61. Федеральное Агентство по Техническому Регулированию и Метрологии. Национальный Стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 51685-2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия. (ЕН 13674-1:2011, NEQ). Москва: 2014. - 1. - 30. с.
62. Харрис У.Дж., Захаров С.М., Ландгрэн Дж., Турне Х., Эберсен В. Обобщение переданного опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса: пер. с англ., Москва: 2002. - 408 с.
63. Шляхтенко А.В., Довгяло Д.А. Ультразвуковая Рельсовая Дефектоскопия. Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С УДК 681.586.773:624.072.233.5. Беларусь, Полоцк: 2016. - 64. - 70. с.
64. Языков В.Н. Применение модели негерцевского контакта колеса с рельсом для оценки динамических качеств грузового тепловоза. Брянск: 2004. - 21 с.
65. Бороненко Ю. П., Кутуков А. А. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (Несамоходных). Москва: 1996. - 7. - 92. с.

PIELIKUMI

DTm

Pārskats par makro/mikroskopisko, ferīta satura testēšanu
Macro/microscopic, Ferrite content Testing Report

Testēšanas laboratorija
Testing Laboratory

Pasūtījuma datums Order reception date	06.01.2021.	Pasūtījuma Nr. Order No.	P-25602	Pārskata Nr. Report No.	4-4.4./026-2021	Līguma Nr. Contract No.	-	Lapa Page	1	no of	4
Pasūtītājs Client	Viktors Ivanovs			Izpildītājs Contractor	A/S „Inspecta Latvia” Testēšanas laboratorija						
Pasūtītāja adrese Client address	Ezeru iela 61-58, Daugavpils, Latvija, LV-5422			Izpildītāja adrese Contractor address	Skanstes 54a, Rīga, Latvija, LV-1013						
Īpašnieks Owner	-			Testēšanas vieta Test location	Skanstes 50b, Rīga, Latvija, LV-1013						
Objekts Object	Slīdes R350HT paraugs.										
Pamatmetāls Parent metal	-			Pildmetāls Filler metal	-						
Metināšanas process Welding process	-			Termiskā apstrāde Heat treatment	-						
Inspecta Latvia Testēšanas laboratorija visos gadījumos nevar apliecināt pelēkajos laucīņos uzrādītās informācijas patiesumu Information in grey fields cannot in all instances be verified by Inspecta Latvia Testing Laboratory											
Testēšanas metode Testing method	Mikroskopiskā testēšana					Testēšanas temperatūra, °C Testing temperature, °C	+22.0				
Mērinstrumenti, Nr. Equipment, ID	Olympus GX53					Palielinājums Magnification	500-1000x				
Virsmas stāvoklis Surface condition	Pulēta Polished	Kodināšanas veids Etching method	legremdēšana Immersing	Kodinātājs Etcher	Tabula A.1 atb. LVS CEN ISO/TR 16060						
Kvalitātes prasības Quality requirements	-					Papildus prasības Additional requirements	-				

Parauga Nr. Test piece No.	Izmēri, mm Dimensions, mm	Testēšanas datums Date of testing	Metinātāja zīmogs Welder ID	Konstatētie rādītāji Results	Atbilst Comply	Neatbilst Does not comply
2062	-	11.01.2021.	-	Konstatēti ferīta ieslēgumi Parauga mikrostruktūra: ferīts (0,46%) + perlīts	-	-

Parauga mikrostruktūra, palielinājums 500x



Apstiprināšanas datums 14.09.2017. Dokumenta reģ. Nr. 4-1.7./42 Redakcija Nr. 4	Izpildītājs Operator	E. Dilbeks	Atbildīgais Responsible person	V. Bužinskis
	Sertifikāta Nr. Certificate No	2-4.4.1/184NDT/2016	Sertifikāta Nr. Certificate No	2-4.4.1/698NDT/2020
	Datums Date	12.01.2021.	Datums Date	12.01.2021.
	Paraksts Signature	<i>[Signature]</i>	Paraksts Signature	<i>[Signature]</i>

Bez laboratorijas vadītāja rakstiskas atļaujas nav atļauta testēšanas pārskata reproducēšana nepilnā apjomā.
It is not allowed to reproduce the test report partially without a written approval of laboratory manager.

AS Inspecta Latvia
PVN Reģ. Nr. LV40003130421
AS Swedbank, LV07HABA0001408053456
AS SEB Banka, LV96UNLA0034109463100

Centrālais birojs
Skanstes iela 54A, Rīga
LV-1013, Latvija

Kontaktinformācija
Tālrunis: +371 67 607 900
Fakss: +371 67 607 901
e-pasts: latvia@inspecta.com



DTm

Pārskats par makro/mikroskopisko, ferīta saturu testēšanu Macro/microscopic, Ferrite content Testing Report

Testēšanas laboratorija
Testing Laboratory

Pasūtījuma datums Order reception date	06.01.2021.	Pasūtījuma Nr. Order No.	P-25602	Pārskata Nr. Report No.	4-4.4./026-2021	Līguma Nr. Contract No.	-	Lapa Page	2 . of	4
---	-------------	--------------------------	---------	-------------------------	-----------------	-------------------------	---	--------------	-----------	---

Parauga mikrostruktūra, palielinājums 1000x



Parauga mikrostruktūra (ferīta ieslēgumi sarkanā krasā), palielinājums 500x



Apstiprināšanas datums 14.09.2017. Dokumenta reģ. Nr. 4-1.7./42 Redakcija Nr.4	Izpildītājs Operator	Ē.Dilbeks	Atbildīgais Responsible person	V.Bužinskis
	Sertifikāta Nr. Certificate No	2-4.4.1/184NDT/2016	Sertifikāta Nr. Certificate No	2-4.4.1/698NDT/2020
	Datums Date	12.01.2021.	Datums Date	12.01.2021.
	Paraksts Signature		Paraksts Signature	

Bez laboratorijas vadītāja rakstiskas atļaujas nav atļauta testēšanas pārskata reproducēšana nepilnā apjomā.
It is not allowed to reproduce the test report partially without a written approval of laboratory manager.

AS Inspecta Latvia
PVN Reģ. Nr. LV40003130421
AS Swedbank, LV07HABA0001408053456
AS SEB Banka, LV96UNLA0034109463100

Centrālais birojs
Skanstes iela 54A, Rīga
LV-1013, Latvija

Kontaktinformācija
Tālrunis: +371 67 607 900
Fakss: +371 67 607 901
e-pasts: latvia@inspecta.com



DTh

Pārskats par cietības noteikšanu

Hardness Testing Report

Testēšanas laboratorija

Testing Laboratory

Pasūtījuma datums Order reception date	06.01.2021.	Pasūtījuma Nr. Order No.	P-25602	Pārskata Nr. Report No.	4-4.4./026-2021	Līguma Nr. Contract No.	-	Lapa Page	3	no of	4
Pasūtītājs Client	Viktors Ivanovs			Izpildītājs Contractor	A/S „Inspecta Latvia” Testēšanas laboratorija						
Pasūtītāja adrese Client address	Ezeru iela 61-58, Daugavpils, Latvija, LV-5422			Izpildītāja adrese Contractor address	Skanstes 54a, Rīga, Latvija, LV-1013						
Ipašnieks Owner	-			Testēšanas vieta Test location	Skanstes 50b, Rīga, Latvija, LV-1013						
Objekts Object	Slīdes R350HT paraugs.										
Pamatmetāls Parent metal	-			Pildmetāls Filler metal	-						
Metināšanas process Welding process	-			Termiskā apstrāde Heat treatment	-						
Inspecta Latvia Testēšanas laboratorija visos gadījumos nevar apliecināt pelēkajos laucīņos uzrādītās informācijas patiesumu Information in grey fields cannot in all instances be verified by Inspecta Latvia Testing Laboratory											
Testēšanas metode Testing method	DIN 50157-1:2008-04					Testēšanas temperatūra, °C Testing temperature, °C	+22,0				
Cietības mēritājs/ Nr. Hardness gauge/ ID.	Equotip 3 / M40563			Indentors (Zonde)/ Nr. Indenter (Probe)/ID.	Equostat3 / ES50-004-0025		References bloks / Nr. Reference material / No.	HR62-010-0017			
Testēšanas spēks, N Test Force, N	50			Izturēšanas laiks, sek Duration time, sec	-		Objektīvs Objective	-			
Kvalitātes prasības Quality requirements	-					Papildus prasības Additional requirements	-				
Parauga Nr. Test piece No.	Nr. shēmā Number by scheme	Materiāls Material	Izmērītā cietība, HB Measured hardness, HB			Paplašinātā mērījumu nenoteiktība U, HB Expanded uncertainty* U, HB	Testēšanas datums Testing date	Piezīmes Notes			
			min	max	vidēja average						
1	-	-	355	407	382	2,8	11.01.2021.	-			
2	-	-	359	403	384	2,8	11.01.2021.	-			
3	-	-	364	432	393	2,8	11.01.2021.	-			
4	-	-	422	497	461	2,8	11.01.2021.	-			



Piezīme: * - paplašinātā mērījumu nenoteiktība ir noteikta pie ticamības līmeņa 95% un pārklāšanās koeficienta k=2. Extended uncertainty calculated for a 95 % level of confidence with coverage function k=2. Apstiprināšanas datums 14.09.2017. Dokumenta reģ. Nr. 4-1.7./54 Redakcija Nr.01	Izpildītājs Operator Datums Date Paraksts Signature	Ē. Dilbeks 12.01.2021.	Atbildīgais Responsible person Datums Date Paraksts Signature	V. Bužinskis 12.01.2021. Z.v. Seal
---	---	---------------------------	---	--

Bez laboratorijas vadītāja rakstiskas atļaujas nav atļauta testēšanas pārskata reproducēšana nepilnā apjomā.
It is not allowed to reproduce the test report partially without a written approval of laboratory manager.

AS Inspecta Latvia
PVN Reģ. Nr. LV40003130421
AS Swedbank, LV07HABA0001408053456
AS SEB Banka, LV96UNLA0034109463100

Centrālais birojs
Skanstes iela 54A, Rīga
LV-1013, Latvija

Kontaktinformācija
Tālrunis: +371 67 607 900
Fakss: +371 67 607 901
e-pasts: latvia@inspecta.com



1.3.att. Cietības noteikšanas pārskats 3 lapa.

MC

EN ISO/IEC 17025
T-032

Pārskats par metāla sakausējuma analīzi Report on Metal Alloy Composition Examination

Testēšanas laboratorija
Testing Laboratory

Pasūtījuma datums Order reception date	06.01.2021.	Pasūtījuma Nr. Order No.	P-25602	Pārskata Nr. Report No.	4-4.4/026-2021	Līguma Nr. Contract No.	-	Lapa Page	4 of	4
Pasūtītājs Client	Viktors Ivanovs			Izpildītājs Contractor	A/S „Inspecta Latvia” Testēšanas laboratorija					
Pasūtītāja adrese Client address	Ezeru iela 61-58, Daugavpils, Latvija, LV-5422			Izpildītāja adrese Contractor address	Skanstes 54a, Rīga, Latvija, LV-1013					
Īpašnieks Owner	-			Testēšanas vieta Test location	Skanstes 50b, Rīga, Latvija, LV-1013					

Objekts
Object

Sliedes R350HT paraugs.

Inspecta Latvia Testēšanas laboratorija neveic paraugu atlasi testēšanas procedūrai
Inspecta Latvia Testing Laboratory doesn't provide sampling procedure

Objekta saņemšanas datums:
Date when object was receipt:

06.01.2021.

Testēšanas procedūra Testing procedure	☒ A/S „Inspecta Latvia” testēšanas procedūra Nr: 4-1.4/22 A/S „Inspecta Latvia” work procedure Nr 4-1.4/22		Citi normatīvie dokumenti Other regulations	☐ LVS CR 10316	☐ Cita Other ISO 1811-2
Mērierīce / Ident. Nr. Gauge / ID No.	☒ PMI Master Pro 13Q0063/Nr: M 40454		Gaisa mitruma mērītājs & termometrs: Humidity gauge & thermometer:	☒ WS9400/Nr: M 40411	

Mērinstrumenti: Equipment:	☐ Biezummērs Thickness gauge	☐ Bidmērs Calliper	☐ Mēriente Tape	☒ Veikts kontroltests Control test performed	☐ Paraugs atdots pasūtītājam Sample returned to orderer
Temperatūra objektā, °C: Temperature at object, °C:	+22,0	Gaisa mitrums, %: Humidity, %:	35,0%	Testējamā materiāla biezums, mm: Thickness of test material, mm:	-
Testēšanas programma: Testing matrix:				Fe_U_100	

Ķīmiskais elements Chemical element	Identifikācija Identification		Marka Grade	
	Paraugs Nr. Sample No:	1	Informācija par sakausējuma marku ir informatīva, neattiecas uz akreditācijas sfēru Additional information, on grade doesn't apply to sphere of accreditation	
	% no sastāva % percentage	* Paplašinātā mērījumu nenoteiktība, U Extended uncertainty, U	Norma % no sastāva % percentage norm	Novērtējums Assesment

Ķīmiskie elementi – kas ir būtiski metāla sakausējuma sastāva analīzes procesā
Chemical elements essential to the metal alloy composition analysis process

C	0,771	0,0096	-	-
Si	0,365	0,0188	-	-
Mn	0,940	0,0401	-	-
P	0,0050	0,0035	-	-
S	0,0108	0,0028	-	-
Cu	0,0074	0,0046	-	-
Ni	0,044	0,0370	-	-
Cr	0,013	0,0462	-	-
Mo	0,0020	0,0231	-	-

Ķīmiskie elementi – papildus informācija metāla sakausējuma sastāva analīzes procesā
Chemical elements – additional information to the metal alloy composition analysis process

Al	0,0020	0,0300	-	-
Co	0,0293	0,0081	-	-
Ti	0,0010	0,0115	-	-
V	0,0340	0,0093	-	-
W	< 0,0200	0,0208	-	-
Nb	0,0020	-	-	-
Fe	97,8	-	-	-
Ceq	-	-	-	-

Piezīmes:
Remarks:



Ķīmiskās analīzes veikšanas vieta

*- Paplašinātā mērījumu nenoteiktība, U tiek aprēķināta, ņemot vērā 95% ticamības līmeni un pārkļūšanas koeficientu k=2	Testētājs Technician Datums Date	Ē. Dīlbeks 12.01.2021.	Atbildīgais Responsible person Datums Date	V. Bužinskis 12.01.2021.
Apstiprināšanas datums 14.09.2017. Dokumenta reģ. Nr. 4-1.7.44 Redakcija Nr. 06	Paraksts Signature		Paraksts Signature	

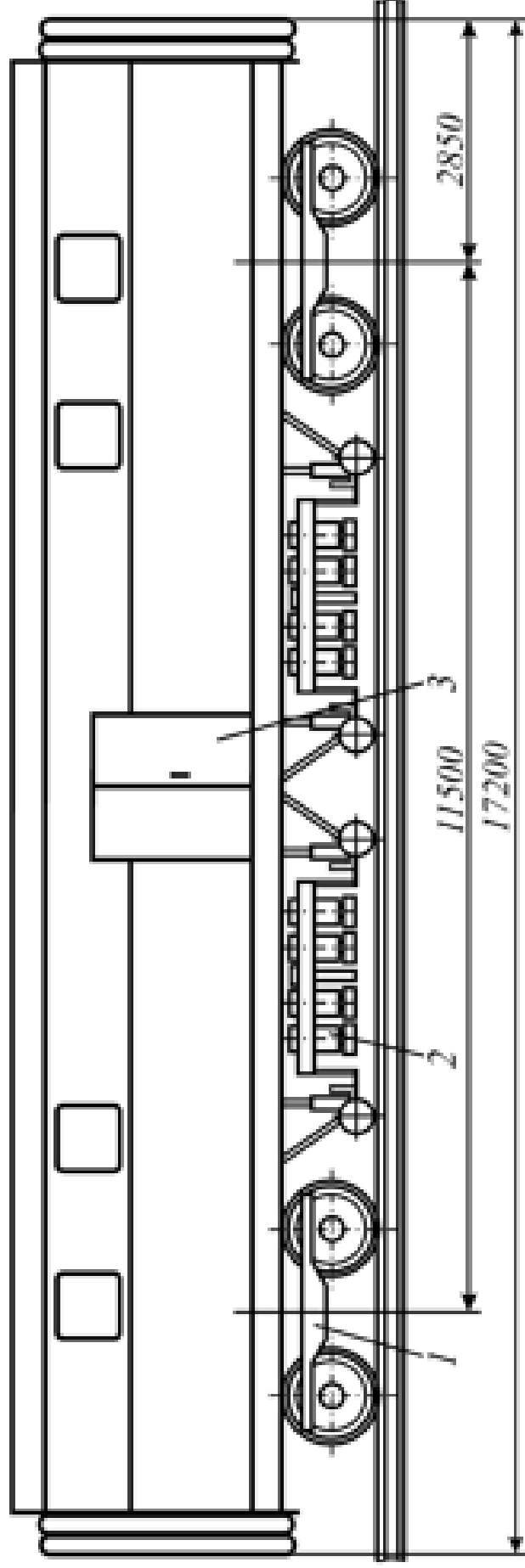
Testēšanas rezultāti ir attiecināmi tikai uz testēto objektu / The test results apply only to the tested object
Bez laboratorijas vadītāja rakstiskas atļaujas nav atļauta testēšanas pārskata reproducēšana nepilnā apjomā.
Without written approval of laboratory manager it is not allowed to reproduce the test report except in full.

AS Inspecta Latvia
P/VN Reģ. Nr. LV40003130421
AS Swedbank, LV07HABA0001408053456
AS SEB Banka, LV96UNLA0034109463100

Centrālais birojs
Skanstes iela 54A, Rīga
LV-1013, Latvija

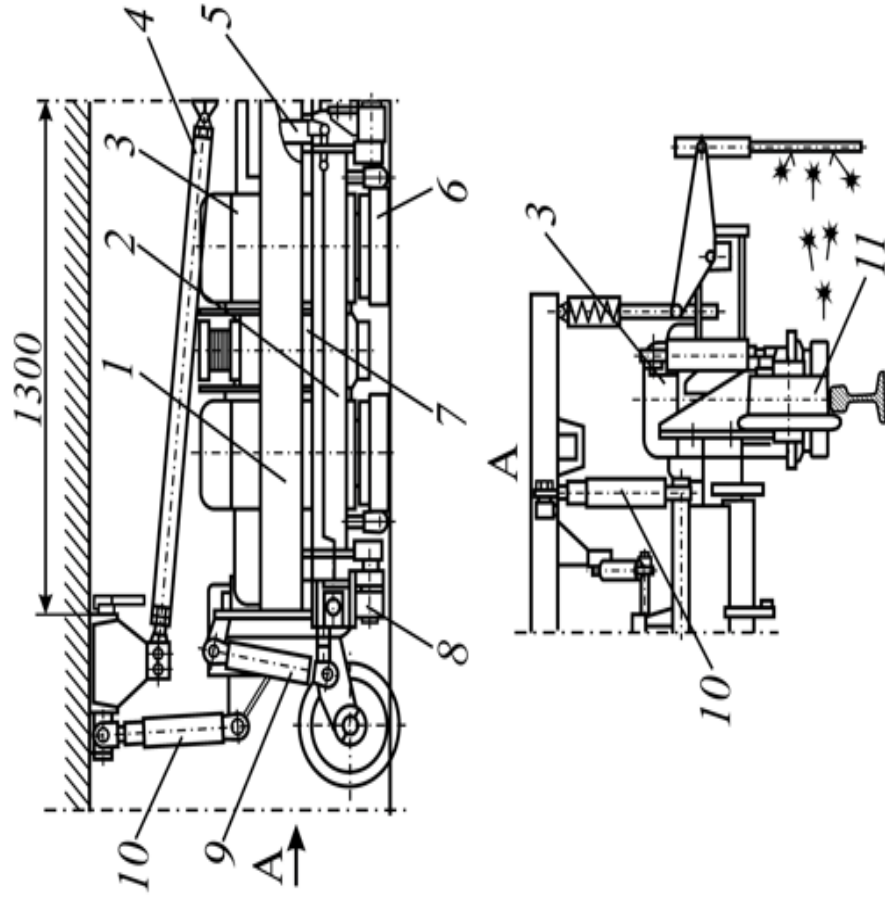
Kontaktinformācija
Tālrunis: +371 67 607 900
Fakss: +371 67 607 901
e-pasts: latvia@inspecta.com





2.1. att. Vilcienu URR-112/B, URR-48 un PIII-48 sliežu slīpēšanas vagona shēma:

1 - gaitas ratīņi ar amortizatoru LENUAR; 2 - sliežu slīpēšanas ratīņi; 3 - durvis abrazīvo ripu iekraušanai [53].



2.2. att. Sliežu slīpēšanas ratiņi:

- 1 - pastatne; 2 - ratiņu rāmis; 3 - piedziņas elektrodzinējs; 4 - stinguma vilce; 5 - darbvārpstas slīpuma cilindrs;
6 - slīpriņa; 7 - piekļaušanās vadības cilindrs; 8 - locīkla;
9 un 10 - pacelšanas hidrocilindri stāvoklī «pārbrauktuve» un transporta; 11 - balsta rullītis [53].

Sliežu slīpēšanas ratīņi (1.2. att.) sastāv no pastatnes 1, uz kuras uzstādīti divi slīpēšanas darbvārpstas bloki ar piedziņas elektrodzinējiem 3 un vadības spēka cilindriem 7 un četriem (katrai darbvārpstai) slīpuma cilindri 5. Darbvārpstu pagriešana tiek īstenota apkārt locīklām 8. Locīklas, pastatne, darbvārpstas un virzošie rullīši 11 samontēti uz rāmja 1. Ir hidrocilindri 9, 10 un stinguma vilce 4. Darbvārpsta sastāv no elektrodzinēja 3, uz kura apakšējā gala spīlžokļu patronā nostiprināta abrazīvā rīpa 6.

Pēc sliežu slīpēšanas vilciena apstāšanās ceļu iecirknī, kurš ir jāslīpē, sliežu slīpēšanas ratīņi nolaižas uz rullīšiem 11 izmantojot hidrocilindru 10. No vadības pulsts tiek uzdoti slīpripu 6 slīpuma lenķi, darbvārpstas 5 tiek pagrieztas apkārt locīklām 8. Tiek veikta izmēģinājuma braukšana dažus metrus pa ceļu, veicot slīpuma lenķu kontroli no datora. Pastatne 1 ar hidrocilindriem 9 tiek uzstādīti stāvoklī «pārbrauktuve» un vilciens kustas pa sliežu slīpēšanas iecirkni mērīšanas režīmā, pēc tam atgriežas pie ceļa sākuma piketa. Slīpēšanas bloki nolaižas uz sliedēm un notiek slīpēšana. Ripu piespiešana sliedēm īstenojas ar vadības cilindriem 7. Pēc sliežu profila izdrukas tiek uzdots vilciena braucieni skaitis remonta profila veidošanai un vilņveida negludumu samazināšanai. Pēc darbu pabeigšanas ratīņi ar hidrocilindriem 9 un 10 tiek pacelti transporta stāvoklī un tiek uzstādīti uz saslēgiem.

Sliežu slīpēšanas vilciens URR-48 - tā faktiski ir viena no URR-112/B vilciena divām sekcijām, kuras gala vagoni aprīkoti ar vadības pulti un kontroles sistēmu atspoles kustībai sliežu slīpēšanas laikā. Tehniskie raksturojumi sliežu slīpēšanas vilcieniem, kuri tiek ekspluatēti Latvijā un Krievijā, parādīti 2.1. tab.

Sliežu slīpēšanas vilcienu tehniskie raksturojumi

Parametri	URR-112/B	URR-48	PIIII-48
Vilciena garums, m	180,30	95,00	78,58
Platums, m	3,11	3,10	3,10
Augstums, m	4,00	4,00	4,02
Masa, t	630	270	290
Ražīgums pēc noņemamā metāla masas, ne mazāk kā, kg/s	0,130	0,066	0,066
Darba ātrums slīpēšanas laikā slīpumā līdz 0,030, km/h	4 ... 6	4 ... 6	4 ... 6
Enerģētisko iekārtu jauda, kW	2570	1298	1298
Kustības ātrums, km/h: - transporta režīmā pašgaitā - mērījumu režīmā - darba režīmā	90 10 4-8	80 10 4-8	80 10 4-8
Vilces spēks, tf	-	-	26
Caurbraucamo līkņu minimālais rādiuss, m: - braucot - slīpējot	80 300	80 300	100 300
Slīpēšanas darbvārpstu skaits, gab.	112	48	48
Darbvārpstas piedziņas jauda, kW	15	15	15
Metāla noņemšana braucienā (ar cietību HB 480)	0,10 - 0,25	0,10 - 0,25	0,10 - 0,25
Atkāpes no projekta, remonta profila, ne vairāk, mm: - uz ass līnijas virsmas - uz sāna (darba veidgriezums)	0,10 0,15	0,10 0,15	0,10 0,15



a)

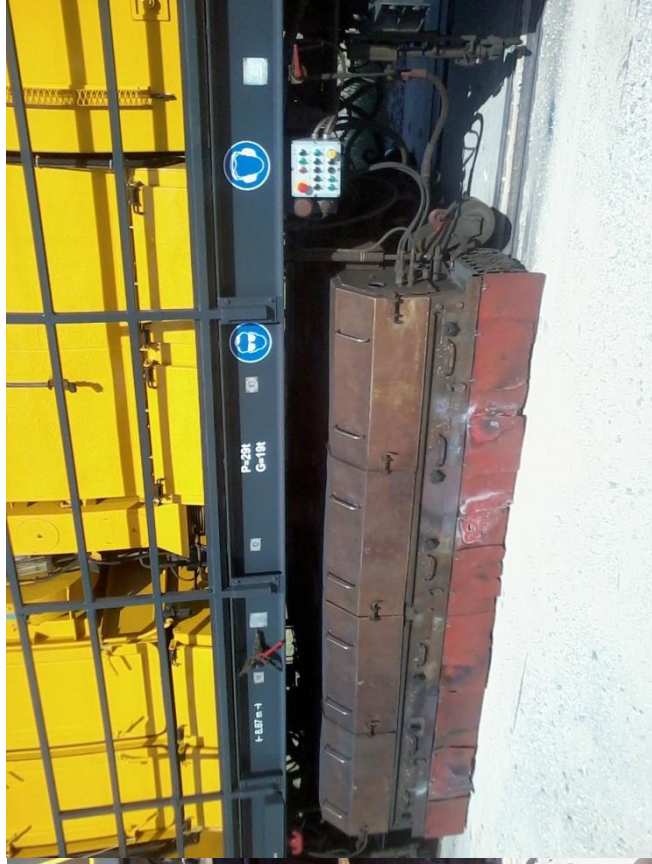


b)

2.3. att. Atkārtota sliežu profila slīpēšana Taurkalnes stacijā pēc 353 milj.t. tonnāžas caurlaišanas: a) - sliežu slīpēšanas vilciena skats no sāna darba gaitā;
b) - slīpēšanas akmeņu bloks veicot 60E I tipa sliežu slīpēšanu.

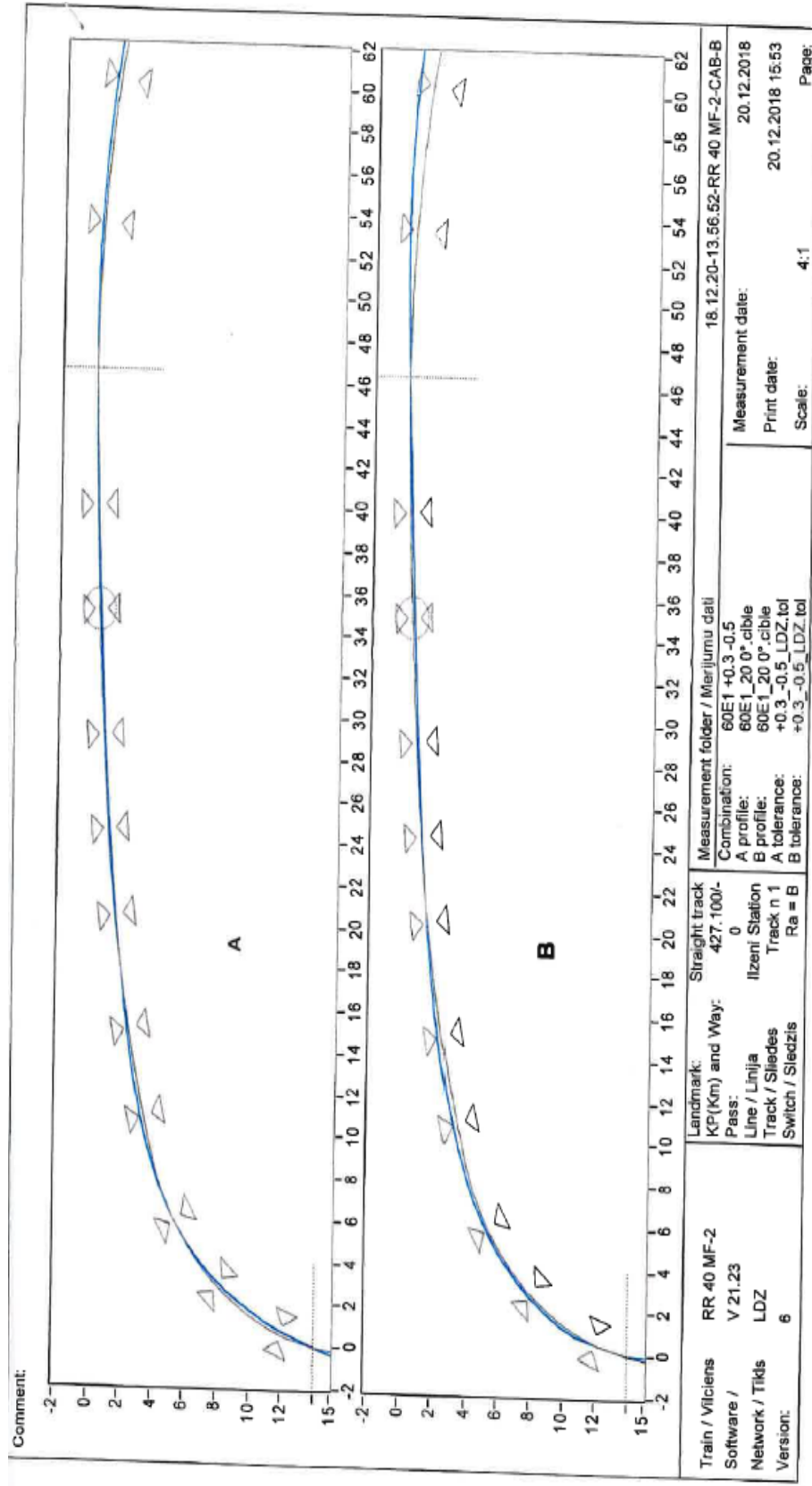


a)

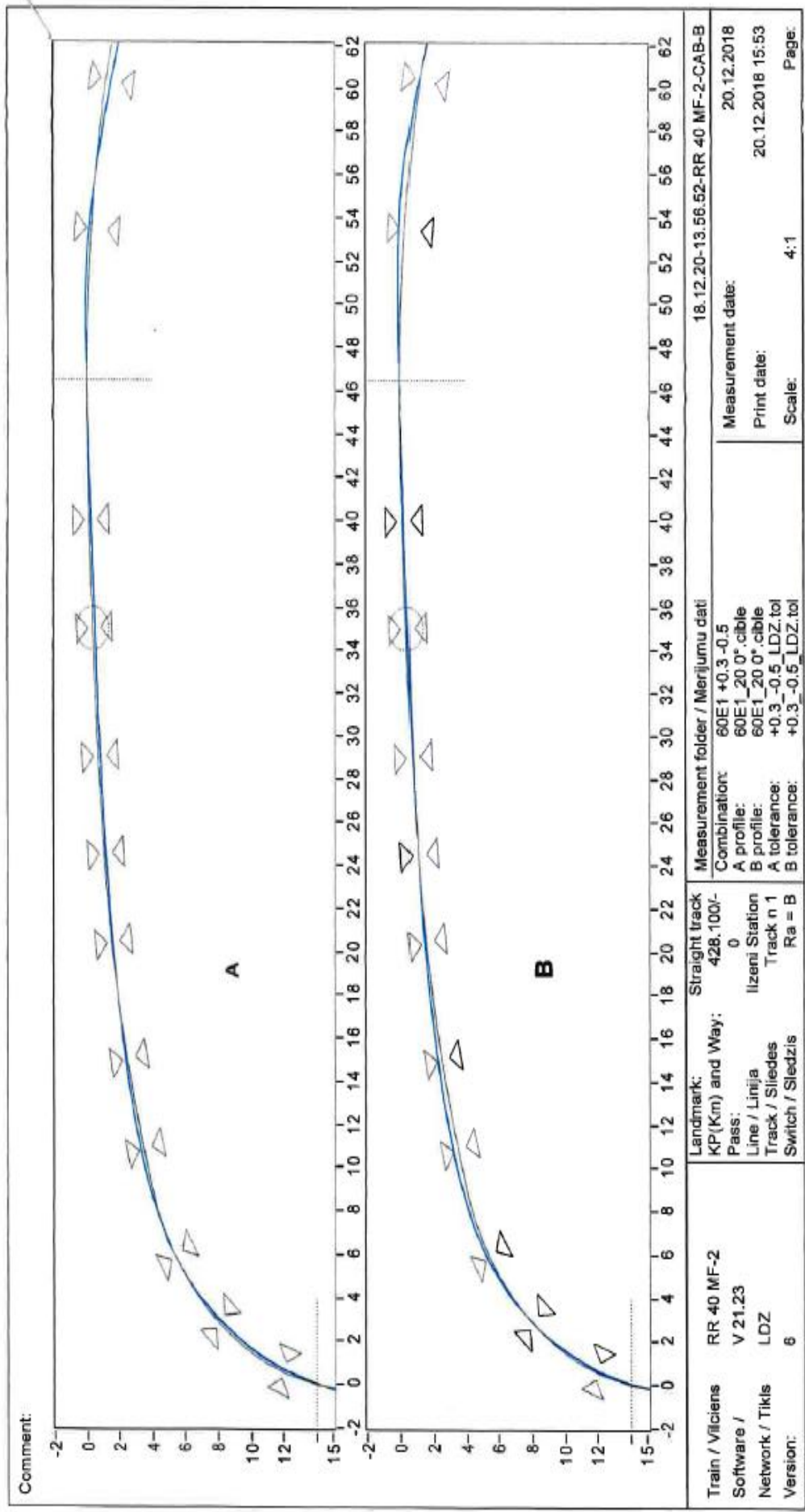


b)

2.4. att. Firmas “Speno” sliežu slīpēšanas vilciena darba mehānismi a) - agregāta lāzera skaitļošanas bloks 60E1 tipa slīdes galviņas profila stāvokļa mērījumu laikā posmā Lāčplēsis - Taurkalne b) - slīpēšanas bloks ar aizsargapvalkiem pret slīpēšanas dzirkstelēm.



3.1. att. Sliežu slīpēšanas vilciena darba lente Ilzenes stacijā 427 km.



3.2. att. Sliežu slīpēšanas vilciena darba lente Iļezes stacijā 428 km.