



UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNIČKI FAKULTET
„MIHAJLO PUPIN“
ZRENJANIN



**TEHNIČKO-TEHNOLOŠKI I EKONOMSKI
POKAZATELJI OPRAVDANOSTI NAVARIVANJA
VENCA MONOBLOK TOČKOVA KVALITETA ER7
ŽELEZNIČKIH VOZILA ZA BRZINE KRETANJA DO
120 km/h**

DOKTORSKA DISERTACIJA

**TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL FEASIBILITY
AND ECONOMIC INDICATORS OF WREATH
SURFACING OF MONOBLOCK WHEELS, QUALITY
ER7 FOR THE SPEED OF RAILWAY UP TO 120 km/h**

DOCTORAL DISSERTATION

Mentor:
Prof. dr Živoslav Adamović

Kandidat:
Mr Veljko Vuković

Novi Sad, 2013 godine

UNIVERZITET U NOVOM SADU**NAZIV FAKULTETA: Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin****KLJUČNI DOKUMENTACIJSKI PODACI**

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada(titula., mag., dokt.): VR	Doktorska disertacija
Ime i prezime autora: AU	Veljko Vuković, magistar tehničkih nauka
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje) MN	Prof. dr Živoslav Adamović
Naslov rada: NR	Tehničko-tehnoški i ekonomski pokazatelji opravdanosti navarivanja venca monoblok točkova kvaliteta ER7, za brzine kretanja železničkih vozila do 120 km/h
Jezik publikacije: JP	srpski
Jezik izvoda: JI	srp/eng
Zemlja publikovanja: ZP	Srbija
Uže geografsko područje: UGP	Vojvodina
Godina: GO	2013
Izdavač: IZ	autorski reprint
Mesto i adresa: MA	Đure Đakovića bb, 23000 Zrenjanin, Srbija
Fizički opis rada: FO	broj poglavlja: 14 broj stranica: 260 tabela: 73 slika: 151
Naučna oblast: NO	Upravljanje razvojem Tehnologija održavanja
Naučna disciplina: ND	Mašinstvo
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	Navarivanje, točak, svojstva, izvodljivost, tehnička dijagnostika, ispitivanja, pouzdanost, ekonomska opravdanost.
UDK	
Čuva se: ČU	Biblioteka Tehničkog fakulteta „Mihajlo Pupin“ Zrenjanin, Biblioteka Univerziteta Novi Sad, Matica srpska.

Važna napomena	Nema
<p data-bbox="199 199 571 230">Važna napomena. Nema</p> <p data-bbox="199 237 284 264">Izvod:</p> <p data-bbox="199 309 236 336">IZ</p>	<p data-bbox="778 199 1485 414">Doktorska disertacija obuhvata višegodišnja istraživanja koja se odnose na razvoj u tehnološkom unapređenju održavanja jednodelnih točkova železničkih vučenih vozila, uz primenu savremenih metoda i postupka dijagnostikovanja u cilju postizanja zadovoljavajućeg nivoa pouzdanosti pri eksploataciji.</p> <p data-bbox="778 421 1485 891">Sveobuhvatnim istraživanjem pokazano je da uvođenjem ovog novog tehničko-tehnološkog postupka održavanja vena monoblok točka kvaliteta ER7, čini veliki značaj u tehnološkom unapređenju održavanja vitalnog dela šinskih vozila-točka, u sopstvenim radioničkim kapacitetima naših železničkih uprava. Istraživanjem je, takođe, potvrđeno da implementacija ovog, sasvim novog tehničko-tehnološkog postupka održavanja vena monoblok točka, je primenljiv i izvodljiv tehničko-tehnički postupak, u postojećim radioničkim kapacitetima koje se bave problematikom održavanja železničkih vozila bez znatnih investicionih ulaganja.</p> <p data-bbox="778 898 1485 1435">Istraživanja su se odvijala po fazama. Prvo su detaljno implementirana teoretska istraživačka dostignuća, zasnovana na izučavanju i primjeni savremenih tehnika i tehnologija na održavanju vitalnih elementa železničkih tehničkih sistema. Implementacija ovog teorijskog istraživanja, realno je produkovalo u zdrav i sveobuhvatan naučno-istraživački temelj, koji je omogućio opravdan pristup eksperimentalnom, a potom i eksploatacionom istraživanju. Takvim sveobuhvatnim naučno-istraživačkim procesom, rezultiralo je u zadovoljavajuća naučno-istraživačka saznanja, koja će, sigurni smo, stvoriti zdravu podlogu za naučno razmatranje, a potom, i pristup, ka praktičnoj primeni od strane železničkih uprava naših zemalja.</p> <p data-bbox="778 1442 1485 1657">Ceo proces istraživanja predmeta disertacije, baziran je na najnovijim dostignućima naučnog saznanja iz oblasti mašinstva koje izučavaju: tehnologiju obrade metala, tehnologiju proizvodnje čelika, mehanike metala, otpornosti materijala, potom metalurgije zavarivanja, fizike, hemije itd.</p> <p data-bbox="778 1664 1485 2089">Eksperimentalna i eksploataciona istraživanja, pratila su savremene dijagnostičke metode i postupci, meritorne za donošenje naučnih odluka i dokaza o nivou kvaliteta i pouzdanosti. Pokazano je da pored metoda mehanike loma metala i standardnih metalurških metoda ispitivanja, uvođenjem savremenih ultrazvučnih dijagnostičkih tehnika i tehnologija, u proces dijagnostikovanja vitalnog dela železničkih vozila, to jest monoblok točka, uveliko obezbeđuju visok stepen pouzdanosti, dajući značajan doprinos ovom istraživačkom radu, za potvrdu izvodljivosti tehničko-tehnološkog procesa.</p>

	<p>Tehničko-tehnološkog procesa obnavljanja venaca monoblok točka kvaliteta ER7, navarivanjem, a izloženi mehničkim procesom trošenja i kombinovanim statičkim i dinamičkim opterećenjima, pri eksploataciji, ne može se zamisliti bez primene pouzdanih tehnika dijagnostikovanja. Na taj način, kroz više tehničkih faza obimnih istraživanja, potvrđena je i dokazana neophodnost primene dijagnostičkih metoda bez razaranja zasnovanih na polju ultrazvučne defektoskopije, kako bi se potvrdio i uvećao uticaj na pouzdanost tehničkog sistema-železničko vozilo.</p>
Datum prihvatanja teme od strane NN veća:	17.07.2009.
Datum odbrane:	
Članovi komisije:	<p>Predsednik: prof. dr Slobodan Stojadinović, Tehnički Fakultet „Mihajlo Pupin“ Zrenjanin, redovni profesor, Član: prof. dr Branko Škorić, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, redovni profesor, Član: prof. dr Slobodan Navalušić, Fakultet Tehničkih Nauka Novi Sad, redovni profesor, Član: prof. Dr Miroslav Lambić, Tehnički Fakultet „Mihajlo Pupin“ Zrenjanin, redovni profesor, Mentor: prof. dr Živoslav Adamović, Tehnički Fakultet „Mihajlo Pupin“ Zrenjanin, redovni profesor.</p>

University of Novi Sad
ACIMSI
Key word documentation

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: CC	Textual, printed material
Author: AU	M.Sc. Veljko Vuković
Mentor: MN	Prof. Živoslav Adamović, Ph.D
Title: TI	Technical and technological feasibility and economic indicators of wreath surfacing of monoblock wheels, quality ER7, for the speed of railway vehicles up to 120 km/h.
Language of text: LT	Serbian
Language of abstract: LA	eng. /srp.
Country of publication: CP	Serbia
Locality of publication: LP	Vojvodina
Publication year: PY	2013
Publisher: PU	Autor's reprint
Publication place: PP	Đure Đakovića bb, 23101 Zrenjanin, Srbija
Physical description: PD	Number of chapters: 14 pages: 260 tables: 73 pictures: 151
Scientific field SF	Technical and technological sciences
Scientific discipline SD	Mechanical engineering
Subject, Key words SKW	Surfacing, wheel, properties, feasibility, technical diagnostics, testing, reliability, economic feasibility.
UC	
Holding data: HD	Library of Technical faculty „Mihajlo Pupin“ Zrenjanin, Library of University Novi Sad, Matica srpska,
Note: N	Non
Abstract: AB	Doctoral dissertation includes several years of research concerning the development of technological

improvement in the maintenance of oneparted railway wheels towed vehicle, with modern methods of diagnosis and procedure in order to achieve satisfactory levels of reliability in operation.

Comprehensive research has shown that the introduction of this new technological process of maintaining of the wreath of monoblock wheels, quality ER7, makes a great technological importance in improving the maintenance of vital rail vehicle-point in our own workshop facilities of railway direction. The study also confirmed that, the implementation of this, an entirely new technological maintenance procedures wreath monoblock wheel, is applicable and feasible technical and technical process for the existing workshop facilities to deal with the problem of maintenance of railway vehicles without significant investment.

Surveys were conducted in stages. First in detail are implemented the theoretical research achievements, based on the study and application of modern techniques and technologies, made to maintain the vital elements of railway technical systems. Implementation of this theoretical study is produced by the realistic sound and comprehensive scientific foundation, which allowed reasonable access to experimental, and also exploitation research. This comprehensive scientific research process, resulted a satisfactory scientific research findings, which for sure will create a sound basis for scientific discussion and also access to practical use by the railway companies of our country.

The whole process of dissertation research subjects is based on the latest achievements of scientific knowledge in mechanical engineering studies such as: the technology of metal processing, steel production technology, metal mechanics, strength of materials, welding metallurgy, physics, chemistry, etc..

Experimental research and exploitation, were accompanied by modern diagnostic methods and procedures, merit-making for the adoption of scientific decisions and evidence at the level of quality and reliability. It is shown that besides the methods of fracture of metals and mechanics metallurgy standard test methods, the introduction of modern ultrasonic diagnostic techniques and technologies in the process of diagnosing vital railway vehicle, as a monoblock points, largely provides a high degree of reliability by providing a significant contribution to this research for confirming technological feasibility of the process.

Technological process of wreath restoring of monoblock wheels, quality ER7, which are subjected to the mechanical process of wear and combined static and dynamic loads, in the process od

	<p>exploitation, it can not be imagined without the use of reliable diagnostic techniques. Thus, through the more technical phases of extensive research, has been confirmed and proved the necessity of applying nondestructive diagnostic method based on the field of ultrasound defectoscopy, with the purpose of confirmation and increasing of impact on the reliability of technical systems and rail car.</p>
Accepted on Scientific Board on: AS	17.07. 2009.
Defended: DE	
Thesis Defend Board: DB	<p>Predsednik: prof. dr Slobodan Stojadinović, Ph.D, Tehnical faculty „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin. Član: prof. dr Branko Škorić, Ph. D, Faculty of Tehnical Sciences, Novi Sad. Član: prof. dr Slobodan Navalušić, Ph. D, Faculty of Tehnical Sciences, Novi Sad. Član: prof. dr Miroslav Lambić, Ph.D, Tehnical faculty „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin. Mentor: prof. dr Živoslav Adamović, , Ph.D, Tehnical faculty „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin.</p>

Izvod

Doktorska disertacija obuhvata višegodišnja istraživanja koja se odnose na razvoj u tehnološkom unapređenju održavanja jednodelnih točkova železničkih vučenih vozila, uz primenu savremenih metoda i postupka dijagnostikovanja u cilju postizanja zadovoljavajućeg nivoa pouzdanosti pri eksploataciji.

Sveobuhvatnim istraživanjem pokazano je da uvođenjem ovog novog tehničko-tehnološkog postupka održavanja venca monoblok točka kvaliteta ER7, čini veliki značaj u tehnološkom unapređenju održavanja vitalnog dela šinskih vozila - točka, u sopstvenim radioničkim kapacitetima naših železničkih uprava. Istraživanjem je, takođe, potvrđeno da implementacija ovog, sasvim novog tehničko-tehnološkog postupka održavanja venca monoblok točka, je primenljiv i izvodljiv tehničko-tehnički postupak, u postojećim radioničkim kapacitetima koje se bave problematikom održavanja železničkih vozila bez znatnih investicionih ulaganja.

Istraživanja su se odvijala po fazama. Prvo su detaljno implementirana teoretska istraživačka dostignuća, zasnovana na izučavanju i primeni savremenih tehnika i tehnologija na održavanju vitalnog elementa-točka železničkih vozila. Implementacija ovog teorijskog istraživanja, realno je proizvela u zdrav i sveobuhvatan naučno-istraživački temelj, koji je omogućio opravdan pristup eksperimentalnom, a potom i eksploatacionom istraživanju. Takvim sveobuhvatnim naučno-istraživačkim procesom, rezultiralo je u zadovoljavajuća naučno-istraživačka saznanja, koja će, sigurni smo, stvoriti zdravu podlogu za naučno razmatranje, a potom, i pristup, ka praktičnoj primeni od strane železničkih uprava naših zemalja.

Ceo proces istraživanja predmeta disertacije, baziran je na najnovijim dostignućima naučnog saznanja iz oblasti mašinstva koje izučavaju: tehnologiju obrade metala, tehnologiju proizvodnje čelika, mehanike metala, otpornosti materijala, potom metalurgije zavarivanja, fizike, hemije itd.

Eksperimentalna i eksploataciona istraživanja, pratila su savremene dijagnostičke metode i postupci, meritorne za donošenje naučnih odluka i dokaza o nivou kvaliteta i pouzdanosti. Pokazano je da, pored metoda mehanike loma metala i standardnih metalurških metoda ispitivanja, uvođenjem savremenih ultrazvučnih dijagnostičkih tehnika i tehnologija, u proces dijagnostikovanja vitalnog dela železničkih vozila, to jest monoblok točka, uveliko obezbeđuju visok stepen pouzdanosti, dajući značajan doprinos ovom istraživačkom radu, za potvrdu izvodljivosti tehničko-tehnološkog procesa.

Tehničko-tehnološkog procesa obnavljanja venca monoblok točka kvaliteta ER7, navarivanjem, a izloženi mehaničkim procesom trošenja i kombinovanim statičkim i dinamičkim opterećenjima, pri eksploataciji, ne može se zamisliti bez primene pouzdanih tehnika dijagnostikovanja. Na taj način, kroz više tehničkih faza obimnih istraživanja, potvrđena je i dokazana neophodnost primene dijagnostičkih metoda bez razaranja zasnovanih na polju ultrazvučne defektoskopije, kako bi se potvrdio i uvećao uticaj na pouzdanost tehničkog sistema-železničko vozilo.

Mr Veljko Vuković

Abstract

Doctoral dissertation includes several years of research concerning the development of technological improvement in the maintenance of oneparted railway wheels towed vehicle, with modern methods of diagnosis and procedure in order to achieve satisfactory levels of reliability in operation.

Comprehensive research has shown that the introduction of this new technological process of maintaining of the wreath of monoblock wheels, quality ER7, makes a great technological importance in improving the maintenance of vital rail vehicle-point in our own workshop facilities of railway direction. The study also confirmed that, the implementation of this, an entirely new technological maintenance procedures wreath monoblock wheel, is applicable and feasible technical and technical process for the existing workshop facilities to deal with the problem of maintenance of railway vehicles without significant investment.

Surveys were conducted in stages. First in detail are implemented the theoretical research achievements, based on the study and application of modern techniques and technologies, made to maintain the vital elements of railway technical systems. Implementation of this theoretical study is produced by the realistic sound and comprehensive scientific foundation, which allowed reasonable access to experimental, and also exploitation research. This comprehensive scientific research process, resulted a satisfactory scientific research findings, which for sure will create a sound basis for scientific discussion and also access to practical use by the railway companies of our country.

The whole process of dissertation research subjects is based on the latest achievements of scientific knowledge in mechanical engineering studies such as: the technology of metal processing, steel production technology, metal mechanics, strength of materials, welding metallurgy, physics, chemistry, etc..

Experimental research and exploitation, were accompanied by modern diagnostic methods and procedures, merit-making for the adoption of scientific decisions and evidence at the level of quality and reliability. It is shown that besides the methods of fracture of metals and mechanics metallurgy standard test methods, the introduction of modern ultrasonic diagnostic techniques and technologies in the process of diagnosing vital railway vehicle, as a monoblock points, largely provides a high degree of reliability by providing a significant contribution to this research for confirming technological feasibility of the process.

Technological process of wreath restoring of monoblock wheels, quality ER7, which are subjected to the mechanical process of wear and combined static and dynamic loads, in the process of exploitation, it can not be imagined without the use of reliable diagnostic techniques. Thus, through the more technical phases of extensive research, has been confirmed and proved the necessity of applying nondestructive diagnostic method based on the field of ultrasound defectoscopy, with the purpose of confirmation and increasing of impact on the reliability of technical systems and rail car.

Mr Veljko Vuković

PREDGOVOR

Opštim razvojem nauke i primene funkcije održavanja tehničkih sistema, danas se u svetu, sve više pronalaze metode i postupci osposobljavanja, kako funkcionalnih mašinskih elemenata tako i vitalnih delova nekog tehničkog sistema, nekom od metoda održavanja, obnavljanjem, za ponovnu, aktivnu upotrebu. Pouzdana je tvrdnja da nema mašinskog dela koji se troši na tehničkom sistemu, a da ga ne možemo jednom od tehničko-tehnoloških metoda ovog tehnološkog dostignuća vratiti u prvobitno stanje. Razlozi za ovakav pristup održavanju su ogromni troškovi, koji nastaju u svim proizvodnim granama zbog mehaničkog i hemijskog trošenja, a što prema procenama iznosi 3 do 5% ukupnog svetskog nacionalnog dohotka.

Trošenje vitalnih i funkcionalnih mašinskih delova železničkih tehničkih sistema kao što su vučena i vučna vozila, tokom eksploatacije je ubrzano, uglavnom, zbog neadekvatnog održavanja, skrivenih grešaka kod izrade, preopterećenja pri eksploataciji ili uzročnicima drugih elemenata koji su u sprezi pri eksploataciji, a u dotrajalom su stanju ili loše održavani. Zbog toga, poslednjih godina opravdana su zapažanja da se pruža progresivna prednost "lečenja" vitalnih delova nekog tehničkog sistema u odnosu na zamenu sa novim, tamo gde je to tehnički izvodljivo i sa stanovišta eksploatacije pouzdano.

U železničkoj eksploataciji vučnih i vučenih vozila osnovni vitalni mašinski element je monoblok točak. Njegovo održavanje u toku eksploatacije do sada se uglavnom svodi na mašinsko profilisanje prečnika kotrljanja, nakon habanja venaca pri procesu eksploatacije, koje se može izvesti svega dva do tri puta u periodu eksploatacinog veka. Takvo održavanje monoblok točka kval. ER7, neekonomičan je postupak, imajući za činjenicu vrlo visoku cenu nabavke, kao i sve ostale tehničke, tehnološke i ekonomske elemente koji neizbežno karakterišu u nerentabilan način održavanja točkova železničkih vozila. Desetogodišnja istraživanja u ovom problemu rezultiralo je u nastanak ove doktorske disertacije koja je u ovom vremenu veoma aktuelna, multidisciplinarna i kompleksna. Zadiru u sve sfere mašinstva i tehnologije održavanja vitalnih delova železničkih vozila i nalazi se u zapaženom centru interesovanja velikog broja istraživača ove problematike. Sve železničke uprave zemalja u okruženju uvažavaju svaki naučno-istraživački rad, bez obzira na njegovu efektivnu veličinu i doprinos, kako u tehničko-tehnološkom razvoju tako i u zapaženim pozitivnim ekonomskim pokazateljima sopstvenog preduzeća i celokupnoj industrijskoj privredi svoje države.

Nadamo se da će ova disertacija, osim svoje osnovne namene, biti korisna i za sve one koji žele znati nešto više o savremenim tehnološkim metodama i postupcima održavanja vitalnih delova železničkih vozila, kao primenljive tehnike i tehnologije za dijagnostiku na terenu, koje su se pokazale kao brze, efikasne, jednostavne merne tehnike, u cilju povećanja nivoa pouzdanosti pri eksploataciji. Na taj način, kroz više faza i istraživačkih aktivnosti dokazivana je osnovna hipoteza da je održavanje jednodelnih železničkih točkova kvaliteta materijala ER7, postupkom obnavljanja venca-navarivanjem izvodljiv, primenljiv, pouzdan i ekonomski isplativ tehničko-tehnološki postupak.

Izražavam veliku zahvalnost mentoru prof. dr Živoslavu Adamoviću, koji je svojim znanjem i iskustvom, konstruktivnim i korisnim savetima doprineo kvalitetu ove doktorske disertacije.

Na korisnim savetima i predlozima iz ove naučne oblasti, zahvaljujem se i profesorima dr Slobodanu Stojadinoviću, dr Branku Škoriću, dr Slobodanu Navalušiću i dr Miroslavu Lambiću.

Veliku zahvalnost, za uloženi trud i stručne sugestije, dugujem Ujedinjenom Metalruškom Kombinat „Viksa“ Rusija, posebno ekipi Laboratorijskog ispitivanja i istraživanja, koji su neposredno i posredno učestvovali u realizaciji pojedinih laboratorijskih ispitivanja u okviru ove doktorske disertacije.

Veliku zahvalnost dugujem „Železari“ Nikšić, posebno ekipi Laboratorijsko-eksperimentalnog ispitivanja čeličnih materijala, koji su učestvovali u realizaciji ovog ispitivanja i koji su u laboratorijska ispitivanja, sprovedna u okviru ove doktorske disertacije, uložili mnogo truda i stručnog znanja.

Zahvaljujem se, takođe, Ministarstvu saobraćaja i veza, Republike Srpske, na pomoći u realizaciji eksperimentalno-eksploatacionog istraživanja.

Dugujem veliku zahvalnost i Železnici Republike Srpske, čiji stručnjaci su, uz puno razumevanje i pomoć, omogućili sprovođenje eksperimentalnog istraživanja u radionicama ŽRS, a potom, eksploatacionog istraživanja na prugama BiH, pa, čak i šire.

Zahvaljujem se svojoj porodici koja mi je iskazala nesebičnu moralnu podršku i veliko razumevanje, pri izradi ove doktorske disertacije.

Mr Veljko Vuković

SADRŽAJ

1. UVOD.....	17
1.1. Dosadašnja istraživanja.....	18
2. METODOLOŠKI KONCEPT.....	22
2.1. Problem istraživanja.....	22
2.2. Predmet istraživanja.....	23
2.3. Cilj istraživanja.....	24
2.4. Hipoteze istraživanja.....	25
2.5. Naučna i društvena opravdanost istraživanja.....	26
2.6. Metode istraživanja.....	29
2.7. Organizacija istraživanja.....	29
3. TEORIJSKA ISTRAŽIVANJA.....	31
3.1. Opšte tehničke karakteristike osovinskog sklopa sa navučenim monoblok točkovima kvaliteta materijala ER7.....	31
3.1.1 Klasifikacija najčešćih otkaza osovinskih sklopova sa navučenim monoblok točkovima	32
3.1.1.1. Oštećenja.....	32
3.1.1.2. Naprsline	32
3.1.1.3. Razaranje.....	33
3.1.2. Postupak održavanja i identifikacija otkaza osovinskih sklopova.....	33
3.2. Monoblok točak.....	35
3.2.1. Konstruktivne izvedbe monoblok točka prečnika Ø 920 mm.....	35
3.2.2. Tolerancija mera monoblok točka.....	37
3.2.3. Tehničke karakteristike elemenata monoblok točka.....	39
3.2.3.1. Glavčina.....	39
3.2.3.2. Disk monoblok točka.....	40
3.2.3.3. Obod monoblok točka.....	40
3.2.4. Uticaj prečnika monoblok točka na eksploatacione karakteristike.....	41
3.2.4.1. Povećanje prečnika točka.....	41
3.2.4.2. Smanjenje prečnika točka.....	41
3.2.5. Profil monoblok točka.....	42
3.2.6. Matematički profil UIC-ERRI standardnog oblika.....	44
3.2.7. Habanje profila venca monoblok točka.....	45
3.2.7.1. Opšte o dodiru točka i šine.....	47
3.2.7.2. Sile u tački dodira točak šina i posledice habanja venca.....	50
3.2.7.2.1. Habanje venca točka pri prolazu kroz krivinu bez klizanja.....	52
3.2.7.2.2. Habanje venca točka pri prolasku kroz krivinu sa klizanjem.....	53
3.2.7.2.3. Habanje venca točka pri promeni širine koloseka.....	54
3.2.7.2.4. Uticaj geometrije dodira na habanje venca	59
3.2.7.2.5. Uticaj geometrije dodira na habanje venca od dejstva sopstvene sile.....	60
3.2.7.2.6. Uticaj osovinskog opterećenja na proces habanja profila točka.....	61
3.3. Karakteristike materijala monoblok točka ER7	62
3.4. Tehnologija izrade polufabrikata monoblok točka kvaliteta materijala ER7.....	64
3.4.1. Tehnološki proces proizvodnje monoblok točka u svetu.....	66
3.4.2. Mehanička obrada polufabrikata monoblok točka.....	67

3.5. Ekonomska opravdanost obnavljanja venca monoblok točka navarivanjem.....	68
3.6. Dijagnostika monoblok točka kvaliteta materijala ER7.....	72
3.6.1. Hemijska analiza.....	73
3.6.2. Ispitivanje na kidanje.....	73
3.6.3. Ispitivanje udarne žilavosti.....	74
3.6.4. Ispitivanje tvrdoće po poprečnom preseku oboda i venca točka.....	77
3.6.5. Ispitivanje površinske tvrdoće venca i površine kotrljanja.....	78
3.6.6. Pravci sopstvenih zaostalih napona.....	79
3.6.7. Mikrografska i makrografska ispitivanje materijala.....	82
3.6.8. Ispitivanje ultrazvukom.....	83
3.6.8.1. Opšte o ultrazvučnoj defektoskopiji.....	83
3.6.8.2. Granice greške.....	85
3.6.9. Dinamičko uravnoteženje masa.....	85
3.6.10. Ispitivanje izgleda i merne veličine.....	86
3.7. Opšte o obnavljanju postupkom navarivanja.....	87
3.7.1. Teoretske mogućnosti primene navarivanja.....	87
3.7.2. Teoretske osnove zavarljivosti materijala monoblok točka kvaliteta ER7T.....	88
3.7.3. Operativna zavarljivost monoblok točka kvaliteta materijala ER7.....	88
3.7.4. Metalurške karakteristike materijala monoblok točka ER7.....	90
3.7.5. Konstruktivna zavarljivost materijala monoblok točka ER7.....	91
3.8. Zamor materijala i dinamička čvrstoća točka ER7.....	94
3.8.1. Faktori koji utiču na dinamičku čvrstoću točka železničkih vozila.....	95
3.9. Uticajni faktori na strukturne transformacije ugljeničnih čelik (čelik monoblok točka kvaliteta ER7) pri EPP postupku navarivanja.....	96
3.9.1. Uticaj ugljenika na strukturne transformacije osnovnog materijala.....	96
3.9.2. Uticaj ugljenika na tvrdoću materijala zavisno od brzine navarivanja.....	97
3.9.3. Uticaj ostalih legirajućih elmenata na zavarljivost materijala monoblok točka kvaliteta ER7.....	97
3.10. Teoretske osnove izvodljivosti obnavljanja venca navarivanjem EPP postupkom	102
3.10.1. Dodatni materijal.....	103
3.10.2. Zaštitni materijal.....	104
3.10.3. Tehnologija zavarivanja.....	105
3.10.4. Struje pri izvođenju EPP postupkom navarivanja venca monoblok točka	106
3.10.5. Ostali uticajni elementi na zavarljivost materijala točka ER7.....	106
3.10.6. Odnos spajanja dodatnog i osnovnog materijala na vencu monoblok točka.....	107
3.11. ZAKLJUČAK.....	108
4. EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE.....	110
4.1. Osovinski sklopovi.....	111
4.2. Gubitak radne sposobnosti.....	114

4.3. Dijagnostika stanja monoblok točka.....	115
4.3.1. Dijagnostika stanja pre primene tehničko-tehnološkog postupka održavanja venca navarivanjem.....	116
4.3.1.1. Vizuelna kontrola i identifikacija osovinskih sklopova i monoblok točkova.....	116
4.3.1.2. Dijagnostika geometrijskih parametra osovinskih sklopova.....	120
4.3.1.3. Ispitivanje tvrdoće površine kotrljanja i venca.....	124
4.3.1.4. Analiza hemijskog sastava materijala eksperimentalnih monoblok točkova.....	127
4.3.1.5. Ultrazvučna defektoskopija oboda i venca monoblok točka.....	131
4.3.1.6. Merenje zaostalih napona u obodu i vencu monoblok točka.....	139
4.3.1.7. Mernje omskog otpora osovinskog sklopa.....	141
4.4. Navarivanje venca monoblok točka kvakiteta materijala ER7.....	142
4.4.1. Zavarljivost materijala monoblok točka kvaliteta ER7 i tenparatura predgrevanja oboda i venca točka.....	142
4.4.2. Definisane postupka navrivanja.....	147
4.4.3. Definisane dodatnog i zaštitnog materijala za navarivanje venca točka.....	147
4.4.4. Skladištenje i sušenje dodatnog i zaštitnog materijala za navarivanje venca monoblok točka.....	149
4.4.5. Postrojenje za navarivanje venca monoblok točka.....	151
4.4.6. Tehničko-tehnološki parametri rada mašine za navarivanje.....	152
4.4.7. Tehnološki proces navarivanja venca monoblok točka.....	154
4.4.7.1. Uticaj predgrevanja i brzine hlađenja na pojavu mikroprslina nakon navrivanja venca monoblok točka.....	158
4.4.8. Fazna vizuelna dijagnostika nakon navarivanja venca.....	160
4.5. Mašinska obrada profila venca i površine kotrljanja točka.....	161
5. PRIMENJENA EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA MONOBLOK TOČKA KVALITETA MATERIJALA ER7 OBNOVLJENIH VENACA NAVARIVANJEM.....	163
5.1. Metode i postupci ispitivanja sa razaranjem.....	163
5.2. Metode i postupci ispitivanja bez razaranja.....	164
6. REZULTATI SOPSTVENIH EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA U LABORATORIJSKIM USLOVIMA SA RAZARANJEM.....	165
6.1. Rezultati ispitivanja sopstvenih naprezanja u monoblok točku.....	165
6.2. Ispitivanje tvrdoće.....	166
6.2.1. Ispitivanje tvrdoće po porečnom preseku venca točka: dodatnog, osnovnog materijala i u ZUT.....	167
6.2.2. Rezultati ispitivanja tvrdoće po poprečnom preseku venca točka: dodatnog, osnovnog materijala i u ZUT.....	168
6.3. Ispitivanje i rezultati ispitivanja zatezanjem.....	170
6.4. Ispitivanje i rezultati ispitivanja žilavosti.....	172
6.5. Ispitivanje hemijskog sastava dodatnog i osnovnog materijala venca točka.....	174
6.6. Metalografska ispitivanja.....	176
6.6.1. Mikrografska čistoća.....	176
6.6.2. Mikrostruktura uzoraka.....	177

7. REZULTATI SOPSTVENIH EKSPERIMENTALNIH MERENJA I ISPITIVANJA BEZ RAZARANJA.....	180
7.1. Vizuelna kontrola.....	180
7.2. Dimenzionalna kontrola.....	180
7.3. Mernje i rezultati merenja površinske tvrdoće venca i profila kotrljanja.....	183
7.4. Rezultati ultrazvučne defektoskopije.....	185
7.5. Rezultati ispitivanje zaostalih napona nakon navarivanja venca, ultrazvučnom metodom.....	188
8. TEHNOLOŠKA ISTRAŽIVANJA.....	190
8.1. Tehnološko-dijagnostički postupak nakon navarivanja venca točka.....	190
8.2. Tehnološki tok održavanja venca monoblok točka procesom eksploatacije.....	192
8.3. Troškovi održavanja venca monoblok točka, postupkom obnavljanja-navrivanjem u toku eksploatacionog veka.....	194
9. EKSPLOATACIONA ISTRAŽIVANJA.....	196
9.1. Izbor voznog železničkog sredstva na kojem će se primeniti eksperiment.....	198
9.2. Izbor pružne deonice i transportnog tereta procesom eksploatacionog istraživanja	199
9.3. Planiranje vremenskog termina i njegov uticaja na rezultate istraživačko-eksploatacionog procesa	199
9.4. Program istraživanja i sprovođenje dijagnostičkih tehnika i tehnologija pri eksploataciji.....	200
10. REZULTATI EKSPLOATACIONOG ISTRAŽIVANJA.....	206
10.1. Rezultati ispitivanja vizuelnim pregledom i mernje geometrije profila venca.....	206
10.2. Rezultati ispitivanja površinske tvrdoće sproveden procesom eksploatacije.....	209
10.3. Ispitivanje i prezentovanje rezultata ultrazvučne defektoskopije.....	213
10.4. Rezultati zaostalih napona u vencu točk.....	217
11. KOMPARATIVNA ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA.....	218
11.1. Analiza rezultata sopstvenih istraživanja.....	218
11.1.1. Analiza rezultata smera sopstvenih naprezanja u materijalu monoblok točka.....	218
11.1.2. Analiza rezultata tvrdoće po porečnom preseku venca i oboda točka....	219
11.1.3. Analiza rezultata epruveta za proveru zatezne čvrstoće.....	220
11.1.4. Analiza rezultata ispitivanja metodama mehanike loma.....	220
11.1.5. Analiza rezultata hemijskog udela u osnovnom materijalu i navaru na vencu monoblok točka.....	221
11.1.6. Analiza rezultata metalografskih ispitivanja.....	222

11.2. Analiza rezultata sopstvenih istraživanja bez razaranja.....	223
11.2.1. Analiza rezultata vizuelnog pregleda.....	223
11.2.1.1. Analiza rezultata nakon eksperimentalnog istraživanja.....	223
11.2.1.2. Analiza rezultata dobijenih procesom eksploatacionog istraživanja.....	224
11.2.2. Analiza rezultata površinske tvrdoće nakon eksperimentalnog istraživanja.....	225
11.2.2.1. Analiza rezultata površinske tvrdoće nakon eksperimentalnog istraživanja.....	225
11.2.2.2. Analiza rezultata površinske tvrdoće ispitivana procesom eksploatacionog istraživanja.....	226
11.2.3 Rezultati ultrazvučne defektoskopije.....	227
11.3. Rezultati ispitivanja zaostalih napona u točku nakon navarivanja venca ultrazvučnom metodom.....	228
11.4. Diskusija rezultata sopstvenih istraživanja i poređenja sa drugim uz utvrđivanje njihovih međusobnih sličnosti i razlika.....	229
11.4.1. Diskusija rezultata sopstvenih eksperimentalnih istraživanja i poređenja sa drugim uz utvrđivanje njihovih međusobnih sličnosti i razlika.....	230
11.4.2. Diskusija rezultata sopstvenih eksploatacionih istraživanja i poređenja sa drugim uz utvrđivanje njihovih međusobnih sličnosti i razlika.....	236
11.4.3. Ultrazvučna defektoskopija profila venca točkau delu dodatnog materijala, ZUT-u i osnovnog materijala venca.....	237
11.4.4. Ispitivanje tvrdoće profila venca točka u zoni q_R i dodiru profila točka sa šinom.....	238
11.4.5 Ultrazvučno ispitivanje nivoa zaostalih napona u vencu i obodu monoblok točka.....	239
11.4.6. Grafički prikaz rezultata sopstvenih eksperimentlano-eksploatacionog istraživanja i poređenja sa železničkim međunarodnim objavama i standardima.....	240
12. ZAKLJUČAK	246
12.1. Naučni doprinos disertacije.....	246
12.2. Pitanja koja disertacija otvara.....	248
12.3. Dokazivanje glavne hipoteze.....	248
13. PREDLOZI ZA NASTAVAK ISTRAŽIVANJA.....	250
14. LITERATURA.....	252
BIOGRAFIJA KANDIDATA.....	259

1. UVOD

Ova doktorska disertacija predstavlja deo višegodišnjih istraživanja koja se odnose na tehnološki razvoj, ispitivanje, modernizaciju i optimizaciju održavanja železničkih jednodelnih točkova. Predmet istraživanja doktorske disertacije je veoma značajan i aktuelan, multidisciplinarni i kompleksan. Zadiru u sve sfere tehničkih sistema i nalazi se u fokusu interesovanja velikog broja istraživača železničko-transportnih tehničkih sistema ovog vremena.

Skoro, od samog postojanja monoblok točka, kvaliteta materijala ER7 kao osnovnog vitalnog dela železničkog vucenog vozila pa do danas, ništa značajno nije se promenilo u tehnološkom procesu održavanja pri eksploataciji. Do sada održavanje monoblok točka kvaliteta ER7 u eksploataciji se uglavnom vrši profilisanje površine kotrljanja i formiranje novog profila. Ovaj tehnološki postupak je skup, neracionalan i neekonomičan način održavanja jednodelnih točkova, gde se prosečno baca 50 kg kvalitetnog čeličnog materijala, ovakav tehnološki proces održavanja izvodljiv je samo dva do tri puta. Procjenjuje se da od ukupnog neželjenog trošenja (habanja) materijala monoblok točka kvaliteta ER7 pri eksploataciji na abraziju kontakta točak-šina otpada 60%, trošenje kontaktom točak-kočiona papuča 30%, visokotemperaturno trošenje 6%, koroziju 1%, i ostali vidovi trošenja oko 3%. Ovi pokazatelji ukazuju da nužno iznalaženje racionalnijeg tehnološkog rešenja održavanja jednodelnih točkova kvaliteta materijala ER7, uz uslovno produženje eksploatacionog veka, koji će pored ostalog postići zapaženo poboljšanje mehaničkih karakteristika otpornih na dinamička, statička i kombinovana opterećenja pri eksploataciji.

Svaki, pa i najmanji doprinos racionalizaciji i unapređenju tehnika i tehnologija održavanja vitalnog dela železničkog vozila tj. monoblok točka, kvaliteta materijala ER7, uz podizanje nivoa pouzdanosti pri eksploataciji, daje veliki značaj i doprinosi celoj privredi, kao i očuvanju životne okoline. Imajući ove elemente u vidu, jasno je da je neophodna primena opsežnih istraživanja i dokazivanja izvodljivosti, novih tehničko-tehnoloških rešenja održavanja i dijagnostikovanja u cilju provere stanja i pouzdanosti železničkih točkova koji su kvaliteta materijala ER7.

Baveći se skoro desetogodišnjim istraživanjem na polju primene savremenih tehnologija održavanja vitalnih delova železničkih sistema, rezultiralo je u opredeljenje na istraživanju predmeta doktorske disertacije, koja galasi: „*Tehničko-tehnološki i ekonomski pokazatelji opravdanosti navarivanja venca monoblok točkova kvaliteta ER7, za brzine kretanja železničkih vozila do 120 km/h*“. Kao fundamentalni osnov za postupak obnavljanja venca točka primenjen je EPP postupak navrivanja. U osnovi to je tehnološki proces nanošenja kontrolisanih slojeva namenskog metala na pohabanu radnu površinu venca točka radi dovođenja geometrijskih parametara u punu radnu sposobnost, povećanja otpornosti na habanje, udarni pritisak i druga opterećenja koja nastaju procesom eksploatacije železničkog vozila. Navarivanje se izvodi neprekidnim procesom uz obrtno kretanje osvinskog sklopa-točka, koji se navaruje kao glavnog kretanja i translatornog kretanja navarivačke glave uz profil venca točka kao pomoćnog kretanja. Tehničko-tehnološko istraživački proces je sproveden sa sveobuhvatnim teoretskim, eksperimentalnim i eksploatacionim istraživanjem u tehničkim i eksploatacionim uslovima nivoa železničkih sistema naših zemalja. Svi rezultati i radnje tehničko-tehnološkog procesa obnavljanja venca su studiozno proučene i dijagnostikovane savremenim tehnikama i tehnologijama koje su meritorne za donošenje odluka izvodljivosti predmeta doktorske disertacije. Sa te osnove, predmetni rad, ove doktorske disertacije, obuhvata celokupnu analizu primene i provere

savremenih metoda i tehnika održavanja i dijagnostikovanja izvodljivosti i stanja monoblok točka kvaliteta ER7. Zbog svega navedenog, ovo istraživanje ima poseban značaj.

1.1. Dosadašnja istraživanja

Kada je reč o problemima održavanja monoblok točkova pri eksploataciji u ovoj dobi tehnološkog razvoja, skoro da se ništa značajno nije učinilo. Poznato je da se tehnološki procesi u Evropi, koji se primenjuju u proizvodnji monoblok točkova neprekidno razvijaju, fokusirajući naučno-istraživačka izučavanja u pravcima poboljšanja kvaliteta polufabrikata monoblok točka, produktivnošću proizvodnih tehnoloških procesa polufabrikata, povećanjem koeficijenta iskorišćenja materijala tj. najpribližnijeg oblika otkovka obliku gotovog komada u cilju manjeg odstranivanja materijala mašinskom obradom. Veliki broj istraživača u svetu bavio se održavanjem bandažnih točkova kvaliteta R2N, obnavljanjem venaca navarivanjem, koja su do devedesetih godina dominirala na tržištu Evrope, pa i ostalog dela sveta kao najosnovnijeg vitalnog elementa vučenih železničkih vozila. To je trajalo do vremena kada proizvođači ovih vitalnih delova nisu bili u stepenu tehnološke moći da udovolje potražnju na evropskom i svetskom tržištu.

Razvojem nauke i tehnologije 80-tih godina, došlo je do novih produktivnih i masovnih proizvodnih tehnoloških mogućnosti. Tog vremena proizvođači točkova izbacuju na evropskom i svetskom tržištu monoblok točak kvaliteta materijala ER7, kao novu generaciju monoblok točkova koji su se, evo do danas pokazali kao izuzetno kvalitetni i pouzdani pri svim eksploatacionim uslovima kao i stanja pruga. Zbog svoje specifičnosti materijala kao i monopolskog odnosa prema tržištu, moćni svetski proizvođači ovakvih točkova uvode zakonodavne eksploatacione obaveze kao što je UIC, ERRA sad i TSI norme, kojima obavezuju sve evropske železničke uprave, da procesom eksploatacije monoblok točkova, isključivo održavanje, nakon trošenja profila venca točka, je samo-profilisanje, opravdavajući ovo kao jedino pouzdano tehničko-tehnološko rešenje ove generacije monoblok točkova. Ovakvim zakonodavnim železničkim propisima, zemlje u razvoju dovode u izuzetno nepovoljan položaj, uzimajući im novčana sredstva avansnim plaćanjem za točkove ovog kvaliteta i do godinu dana. Ove međunarodne zakonske železničke odluke u saradnji sa proizvođačima ovih točkova, ukazuju na specifičnost i stanje materijala monoblok točka kvaliteta ER7, kao sklonom na pojavu toplih, hladnih i zamorenih prslina, u slučaju održavanja nekom od metoda obnavljanja venca kao i lošom metalruškom i konstruktivnom zavarljivošću, poremećajem naponskog stanja, a time i nemogućnosti postizanja uslovnih mehaničkih karakteristika. Na osnovu ovih konstatacija i preporuka mnogi svetski naučno-teoretski istraživači bavili su se ovim problemima nastojeći potvrditi ili oprvgnuti ove naučne postavke, tako da istraživači UIC („Međunarodna unija železnica“) u **svom Zborniku propisa UIC 812-3**, izdato u Parizu 1983 godine, definiše tehničke uslove za izradu i isporuku jednodelnih (monoblok) točkova kvaliteta ER7 za vučna i vučena železnička vozila. U tom zborniku bez tehnološkog objašnjenja naredbodavno definiše način održavanja točka nakon habanja profila kotrljanja i venca, sa napomenom da nije izvodljivo obnavljanje venca nekom od metoda navarivanja, nalepljivanja, lemljena ili slično zbog nemogućnosti postizanja uslovnog nivoa kvaliteta, a time i pouzdanosti pri eksploataciji. Ova međunarodna objava UIC, proklamativno dovodi potencionalne istraživače u ograničavajuća naučna razmišljanja time i razvijanje idejnih postavki o teoretsko-naučnim mogućnostima za tehnološki razvoj i unapređenje sistema održavanja venca točka kvaliteta ER7, nekom od drugih tehničko-tehnoloških metoda i postupaka. Od tada su mnogi naučnici i istraživači, teorijskim razmatranjem i istraživanjem, a bazirajući se na progresivnom rzvoju i unapređenju tehnoloških mogućnosti u oblasti mašinstva, metalurgije, fizike i hemije nastojali opovrći ovu objavu kao što su:

Bibik, G. A., *Proizvodstvo železnodorožnih koles, Metalurgija, Moskva, 1982 godine*, ukazuje da hemijski sastav materijala monoblok točka ER7 kao i njegove mehaničke osobine nisu toliko isključive da se postupkom obnavljanja venca ne može postići približno isti nivo kavaliteta nekom od tehnoloških metoda navarivanja, primenjujući nove generacije dodatnog materijala[14]¹.

Jovanović, R., *Kvantitativni i tehničko-tehnološki pokazatelji opravdanosti proizvodnje Monoblok točkova za šinska vozila s aspekta dugoročnih rešenja i potreba*, Saobraćajni fakultet, Sarajevo, 1986. opisuje opravdanost proizvodnje i primene u železničkoj eksploataciji jednodelnih monoblok točkova. Autor monografije potvrđuje obaveznost zakonskih odredbi proizvodnje i načina održavanja jednodelnih točkova kvaliteta materijala ER7, ne upuštajući se u iznalaženje novih tehnoloških rešenja održavanja, a koja nisu usklađena Međunarodnim železničkim propisima kao i internih upustava koje regulišu ovu obalast sopstvene železničke uprave[74]².

Evropski institut železnica za istraživanje i ispitivanje (ORE-sada ERR) dobio je nalog međunarodne unije železnice – UIC-a, da izvrši istraživanje u cilju standardizacije osovinskih sklopova sa monoblok točkovima, kočenih dejstvom kočnih umetaka na površinu kotrljanja, termičkih granica monoblok točkova kvaliteta ER7 i kočnih papuča. ERR-a je sastavila odbor stručnjaka koji su počeli sa radom 1987 godine i do sada je podneo 8 izveštaja UIC-u od kojih je UIC odobrio 5. Jedan izveštaj je bio predlog UIC-u za potrebom formiranja posebnog tima stručnjaka zemalja članica UIC-a, koji bi se bavili istraživanjem novim tehnološkim rešenjima održavanja točka kvaliteta materijala ER7 u procesu eksploatacije, dajući smernice tehničkog delovanja kao što su postizanje zadovoljavajućeg nivoa svih dijagnostičkih parametara propisanim objavom UIC812-3 od 1980 godine Međunarodna unija železnica-UIC, odbacila je ponuđeni predlog odbora, sa obrazloženjem da predlog stručnog odbora treba da rešavaju zainteresovane železničke uprave koje se bave eksploatacijom točkova, te svako tehničko-tehnološko rešenje će morati da eksplicitno iskaže zadovoljenje uslovnih tehničkih karakteristika, shodno važećoj objavi UIC.[69]³

Tanahacki, H., u svom istraživačkom radu „*Ocenka bezopasnosti dviženija vagonov v otnošenia shoda s koljes s reljsov*“, kao i drugim naučnim radovima, istraživanjem zasnovano na modelovanju kvaliteta jednodelnih točkova železničkih vozila, predlaže takav kvalitet monoblok točka, koji će biti pogodan tehničko-tehnološkom metodom održavanja venca monoblok točka, navarivanjem, ukazujući Ruskim železničkim propisima da analiziraju predlog i pristupe istraživanju. Nažalost, ovo autorovo izučavanje nije dobilo nikakvo interesovanje naučnika i istraživača zbog ograničavajućih vrlo strogih zakonskih železničkih propisa u sopstvenoj zemlji.[146]⁴

Beldini, A., Furlaneto, L., „*Održavanje po stanju*“ (prevod sa italijanskog) Milano, 1980 godine u svojoj naučnoj monografiji ukazuje da je revolucija tehnološkog razvoja metaloprerađivačke industrije dostigla skoro nivo pouzdanosti obnavljanja delova tako da nema mašinskog dela vitalnog ili funkcionalnog koji se troši, a da ga ne možemo jednom od tehnologija vratiti u prvobitno stanje. Takođe autor navodi da se često događa da je kvalitet dela nakon reparature bolji nego što je bio, jer materijali koji se nanose imaju mnogo kvalitetnija svojstva (tvrdoća, otpornost na habanje, trajnost, na visokoj temperaturi, otpornost na koroziju i agresivne medije, kao i bolja klizna svojstva).[9]⁵

[14]¹ Bibik, G. A., *Proizvodstvo železnodorožnih koles*, Metalurgija, Moskva, 1982

[74]² Jovanović, R., *Kvantitativni i tehničko-tehnološki pokazatelji opravdanosti proizvodnje MBT za šinska vozila s aspekta dugoročnih rešenja i potreba*, Saobraćajni fakultet, Sarajevo, 1986.

[69]³ ERRI izveštaji (Evropski železnički istraživački institut)

[146]⁴ Tanahacki, H., *Ocenka bezopasnosti dviženija vagonov v otnošenia shoda s koljes s reljsov*, Lokomotivostvoenie i vagonostvoenie, Moskva, 1973.

[9]⁵ Beldini, A., Furlaneto, L., *Održavanje po stanju* (prevod), Milano, 1980.

Filipović, N., „*Navarivanje venaca bandaža točkova šinskih vozila*“, Zavod za zavarivanje, Beograd, 1989 godine u svom istraživačkom radu izučava navarivanje bandažnih točkova železničkih vozila kvaliteta R2N, koje je i sada u praktičnoj primeni na malom broju preostalih osovinskih sklopova. Objavom UIC 812-3, bandažni točkovi kvaliteta R2N se zabranjuje eksploatacija na železničkim voznim sredstvima čija brzina prelazi preko 80 km/h, te u ovom vremenu skoro da ovih točkova i nema u eksploataciji, kako na putničkom tako i na teretnom železničkom programu. [152]⁶

Kovač, K., u svojoj monografiji „*Metodologija utvrđivanja kvaliteta, pouzdanosti i sigurnosti Železničkih vučnih vozila, Zavod za novinsko - izdavačku i propagandnu delatnost J.Ž.*“ Beograd, 1987 godine opisuje uticajne elemente koji mogu da dovedu do potpunog otkaza vitalnih elemenata železničkih vozila, pa i monoblok točkova, osvrćući se na, eventualno, obnovljene monoblok točkove, kvaliteta ER7, a čije tehničke tehnološke karakteristike mogu da ugroze pouzdanost pri eksploataciji. Takođe, autor smatra da pristup obnavljanja venca monoblok točkova kvaliteta materijala ER7 treba opsežno istraživati sa sveobuhvatnim naučnim postavkama uz obavezno dokazivanje primenom eksperimentalno-eksploatacionog istraživanja, koja jedina mogu dokazati pouzdanu izvodljivost ovog novog tehnološkog rešenja, kako bi izbegli teoretsku mogućnost stvaranja katastrofalnih posledica, procesom praktične primene.[80]⁷

U opštoj analizi dosadašnjih izučavanja i istraživanja datog problema, sasvim jasno uočavamo da svi istraživači ovog problema održavanja venca točka železničkih vozila kvaliteta materijala ER7, a do ovog vremena, su se isključivo bavili na teoretskom izučavanju i istraživanju o mogućoj izvodljivosti i primenljivosti tih rešenja. Takođe, opravdano možemo konstatovati da je mali broj istraživača i institucija se bavilo ovim problemom, a naročito onih iz dela sveta razvijenih zemalja, koji su, uglavnom, i proizvođači ovih monoblok točkova. To ukazuje na logičnu hipotezu da su svi ti naučno-istraživački radovi, a koji se odnose na održavanje vitalnog dela železničkog vozila tj. venca točka kvaliteta materijala ER7, u suštini u tom delu sveta, ne bi dalo opravdane ekonomske efekte. Naprotiv, to bi dovelo do pada proizvodnih mogućnosti i količina, a time umanjeње ekonomskog efekta odnosno profita kovačko-valjaoničkim kombinatima i kompanijama. Takav pristup moćnih istraživačkih centara Evrope i sveta, je sastavni deo tržišne političke globalizacije moćnih država nad državama u razvoju ovog vremena. Otuda se opravdano nameće zemljama u razvoju nužna potreba za istraživačkim delovanjem koji će omogućiti povoljniji i jeftiniji tehničko-tehnološki postupak održavanja vitalnog dela železničkih vozila-monoblok točka, u odnosu na samo profilisanje, a time i ubrzano dovođenje do zamene za novim točkovima. Iz tih razloga elementi objave UIC ovog vitalnog dela železničkih vozila, od 1984. godine koji definišu način održavanja venca monoblok točkova kvaliteta materijala ER7, u procesu eksploatacije i te kako ima svoju opravdanost za te razvijene zemlje Sveta.

Vinaš J., Kaščak L.[26]⁸ u istraživačko-naučnom radu „Revitalizacija šinskog točka tehnologijom navarivanja“ objavljenom u naučnom časopisu „Zavarivanje i zavarene konstrukcije“, Košice, Slovakia, 2008. god. istraživači se bave analizom kvaliteta reparaturno navarenih šinskih točkova od materijala Gr. 90-60 po ASTM A148. Pri reparaturnom navarivanju korišćene su tri tehnologije navarivanja sa različitim dodatnim materijalima. Na točak, nakon habanja navareni su jedan međusloj (izrađen kombinacijom

[152]⁶ Filipović, N., *Navarivanje bandaža točkova šinskih vozila*, Zavod za zavarivanje, Beograd, 1989.

[80]⁷ Kovač, K., *Metodologija utvrđivanja kvaliteta, pouzdanosti i sigurnosti Železničkih vučnih vozila*, Zavod za novinsko - izdavačku i propagandnu delatnost J.Ž., Beograd, 1987.

[26]⁸ Vinaš, J., Kaščak, L., *Revitalizacija šinskog točka tehnologijom navarivanja*, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Košice, Slovakia, 2008.

dodatnog materijala, žice A 106 i potrošnog materijala, praška F 11) i dva pokrivna sloja (izrađena kombinacijom dodatnih materijala, žice A 508 i potrošnog materijala F 13). Posle navarivanja površina točka je otvrdnuta (zakaljena) na dubinu od 3 mm. Druga tehnologija navarivanja podrazumevala je kombinaciju dodatnog materijala, žica A 106 i potrošnog materijala, praška F11 za prvi sloj, a dva pokrivna sloja su izrađena kombinacijom dodatnog materijala, žice RD 520 i potrošnog materijala, praška F 56. Treća tehnologija je realizovana nanošenjem prvog sloja navarivanjem sa dodatnim materijalom, žicom C 113 u zaštitnoj atmosferi sastava 80% Ar + 20% CO₂. Dva pokrivna sloja su izvedena sa samozaštitnom žicom Lincore 40-O. Osobine revitalizovanih-navarenih točkova su upoređene sa osobinama novih točkova sa otvrdnutim površinskim slojem. Ispitana je otpornost na adhezivno habanje navarenih površina točkova merenjem gubitka mase. Uticaj pojedinih elemenata na hemijski sastav navara ispitan je EDX analizom. Rezultatai eksperimenta su poslužili za opis uticaja i međuzavisnosti parametra navarivanja kako na oblik tako i na karakteristike navara koji pokazuju moguću izvodljivost postupka obnavljanja železničkih točkova na širim zahvatima uz sveobuhvatnu tehnološko-eksperimentalnu analizu koju će pratiti savremne dijagnostičke tehnike i tehnologije.

2. METODOLOŠKI KONCEPT

Metodološki koncept doktorske disertacije je usaglašen sa činiocima metodološkog koncepta projekta istraživanja, koji je opisan u „Metodologiji naučno-istraživačkog rada“ autora prof.dr Živoslava Adamovića i prof. dr Velimira Sotirovića. Disertacija obuhvata osnovne činioce koncepta: problem istraživanja, predmet istraživanja, cilj istraživanja, hipoteze u istraživanju, i naučno-društvenu opravdanost istraživanja.

2.1. Problem istraživanja

Razvojem nauke i tehnike, otvorene su nove mogućnosti održavanja železničkih tehničkih sistema uz primenu novih, savremenih metoda i tehnologija dijagnostikovanja, obezbeđujući punu pouzdanost, i postizanje zadovoljavajućeg nivoa ekonomske opravdanosti. Ovakvim tehničko-tehnološkim i ekonomskim pristupom stvaraju se uslovi neprestanog unapređenja, obimnog istraživanja, kako bi na relevantan i kontrolisan način našli svoju primenu u praksi.

Kao tehnički sistem u eksploataciji-železničko vučeno vozilo, se zahteva zadovoljenje postavljenih kriterijuma, tj. metodološkom načinu dijagnostikovanja koje determinišu zakonski propisi i procedure internog i eksternog nivoa (Pravilnici, Upustva, UIC objave, RIV propisi itd.).

Tema ove doktorske disertacije obuhvata teorijska i eksperimentalna istraživanja, mogućnosti primene sasvim novog i savremenog koncepta održavanja vitalnih elemenata železničkih vučenih vozila koja se kreću brzinama do 120 km/h. Eksploataciono-eksperimentalni tehničko-tehnološki koncept istraživanja je vršen na železničkim teretnim kolima serije Uaddf-zž br. 86 44 934 6002-1, koja saobraćaju na prugama Republike Srpske i federacije BiH.

Problem istraživanja doktorske disertacije je osposobljavanje vitalnog mašinskog dela trčućeg stroja-monoblok točka, železničkih vučenih vozila, savremenim, tehničko-tehnološkim metodama obnavljanja venca, obezbeđujući punu pouzdanost pri eksploataciji, uz postizanje znatnog ekonomskog efekta. Poslednjih godina, zapaža se progresivna prednost "lečenja" vitalnih delova nekog tehničkog sistema u odnosu na zamenu sa novim, tamo gde je to tehnički izvodljivo i sa stanovišta eksploatacije pouzdano. Uzroci trošenja vitalnih delova železničkih vučenih vozila, tj. trčućeg stroja, koji perferira vitalnost monoblok točka, je neminovan tehnološki proces, uzrokovan neposrednim i posrednim tehničkim pojavama:

U neposredne se ubrajaju: prirodna istrošenost, nepravilno konstruisanje, greške u tehnologiji proizvodnje, greške u proizvodnji delova, nepravilna tehnologija opravke drugih delova koji su u sprezi, i drugi.

U posredne uzroke za pojavu kvarova trčućeg stroja železničkog vozila možemo ubrojati: nepravilna montaža i podešavanje, nepravilna eksploatacija, kvar na drugim delovima i uređajima, nepravilno skladištenje, transport, i drugi.

U vremenu oživljavanja privrede, uvođenja novih tehnologija i metoda održavanja, kao i dijagnostikovanja složenih železničkih tehničkih sistema u cilju stabilnosti organizacije preduzeća i revitalizacije, racionalizacije poslovanja i poboljšanja efikasnosti, tema koja se istražuje u ovoj disertaciji, predstavlja veliki izazov za teorijsko i eksperimentalno izučavanje predložene problematike.

2.2. Predmet istraživanja

Dominantnu vitalnost železničkog vučnog vozila čini sklop „obrtno postolje“, u kojem je najvitalniji osnovni mašinski element jednodelni točak, kvaliteta materijala ER7, koji je predmet istraživanja ove doktorske disertacije.

Poznato je da se tehnološki procesi u Evropi, koji se primenjuju u proizvodnji monoblok točkova, neprekidno razvijaju i izučavaju u pravcima poboljšanja kvaliteta polufabrikata (otkovka monoblok točka), smanjenja vremenskog procesa proizvodnje deformacijom, povećanja koeficijenta iskorištenja materijala, odnosno, najpribližnijeg otkovka obliku gotovog komada u cilju redukcije obrade sa skidanjem strugotine. Nasuprot tome, sa problemima održavanja monoblok točkova pri eksploataciji, u istom periodu tehnološkog razvoja, skoro da se, može reći, ništa značajno nije učinjeno. Smatra se da je najefikasniji način brzog osposobljavanja mašinskih delova železničkih vozila, a posebno monoblok točkova kvaliteta ER7, zamena oštećenog ili istrošenog novim rezervnim delom. Zbog toga su preduzeća i organizacioni železnički sistemi prinuđeni da raspolažu velikim zalihama rezervnih delova, što ekonomski u ovo vreme, ima tendenciju potpune ekonomske neopravdanosti iz mnogih razloga, kao što su:

- angažovanje znatnih finansijskih sredstava,
- angažovanje prostora skladištenja,
- angažovanje administrativnog osoblja koje vodi brigu od nabavljača do skladištara,
- dugi rokovi isporuke, posebno za delove koji se uvoze,
- visoka nabavna cena,
- visoki troškovi skladištenja i drugi.

Pri eksploataciji železničkih vozila, monoblok točkovi su u stalnom dodiru sa šinom i kočionim papučama, a kao rezultat toga jeste trošenje venca i u neznatnoj količini, površine kruga kotrljanja točka. Ovim habanjem gube se geometrijske veličine venaca točka koje mogu prouzrokovati katastrofalne posledice neblagovremenom tehničko-tehnološkom intervencijom.

Tema doktorske disertacije jeste kompleksan, nov, tehničko-tehnološki koncept održavanja, koji karakteriše izvodljivost, pouzdanost i ekonomsku opravdanost, obnavljanja pohabanih venaca monoblok točkova kvaliteta ER7 za brzine kretanja železničkih vozila do 120 km/h.

Izvodljivost tehničko-tehnološkog postupka obuhvata tehnički primenljive metode održavanja, u zemljama iz našeg okruženja, uz primenu najnovijih dostignuća nauke u tehnologijama, i materijalima, što zahteva nove tehnologije obrade, odabir naučno dokazanih produkcionih materijala, čiji su proizvođači vodeći u Evropi. U teoretskom delu istraživanja biće izvršena analiza spajanja osnovnog i dodatnog materijala, primenjujući najnovija dostignuća iz oblasti mašinstva i metalurgije.

U takav pristup tehničko-tehnološkog održavanja monoblok točkova, biće uključene, savremene metode dijagnostikovanja obnovljenih monoblok točkova navarivanjem, kako pri tehnološkom postupku sprovođenja navarivanja, tako i pri celom eksploatacionom istraživanju. Osnove dijagnostikovanja i tehnike kontrole činiće: ultrazvučna defektoskopija, optička mikroskopija, vizuelne analize, mehanička ispitivanja, termografija, hemijska analiza i druge spektraskopske tehnike. U predloženoj temi doktorske disertacije sve tehnike dijagnostikovanja kvaliteta će udovoljiti zakonskim odredbama nacionalnih propisa železnica u okruženju kao i internacionalnih, EN, a prema međunarodnoj objavi UIC 812-3. U sastavu dijagnostikovanja, a u cilju veće pouzdanosti obnovljenih železničkih monoblok točkova kvaliteta ER7, navarivanjem venaca, biće uključene manje poznate tehnike i metode dijagnostikovanja, kao što je kontrola naponskog stanja, koje se odlikuju

visokim stepenom otkrivanja zaostalih napona, pre i posle navarivanja, potom ultrazvučne defektoskopske kontrole, prvenstveno spektraskopskom metodom, radi otkrivanja potencionalnih defekata, ovim će se uvećati stepen pouzdanosti obnovljenih monoblok točkova železničkih vozila. Tehničko-tehnološki proces obnavljanja osnovnog vitalnog elementa, monoblok točka, biće sproveden, na namjenskom poluautomatskom postrojenju i pomoćnim uređajima, primenjujući savremeniji tehnološki EPP postupk navarivanja. Koristeći naj novija metalruška saznanja, dodatnog i zaštitnog materijala, definisaćemo tehničke i hemijske karakteristike, a proizvodnju tog dodatnog i zaštitnog materijala, obezbedili smo u renomiranom preduzeću „UTP“ iz Nemačke. Dodatni materijal je, ustvari, niskolegirana elektrodna žica prečnika Ø3 mm, koja pripada klasi takozvanih niskovodoničnih elektroda i ima vrlo važan značaj pri navarivanju, odnosno, apsorpciji gasova u navaru, kako kao proizvod vodonika, tako kiseonika i azota iz vazduha.

Kao drugi bitan tehnološko-metlruški faktor za postizanje kvalitetnog navara jeste zaštitni prašak, namenske smese koji će, ne da sadrži stabilizatore i hemijske sastojke, koje obrazuju metalurške troske, već i dezoksidatore i legirajuće komponente, namenjene za postizanje vrlo bitnih mehaničkih karakteristika materijala navara na venac monoblok točka. On je magnezij silikatni sa visokim strujnim provodnikom i za AC i za DC. Granulacija praška je 1-1,5 mm u smesi. Troska dobijena topljenjem namenske elektrodne žice pri navarivanju je jako izražena bazičnom reakcijom, pripada sistemu smesa silikata koji su vrlo stabilna hemijska jedinjenja. Uslovni efekti kvaliteta navara su isključivo pri primeni radne temperature prostorije (min. 18°C).

Smatramo da izučavanje predmeta doktorske disertacije, ne može da se produkuje ka praktičnoj primeni, bez eksperimentalno-eksploatacionog istraživanja. Imajući u vidu stroge zakonske okvire, nacionalnih i internacionalnih železničkih uprava koji perferiraju ka maksimalnoj pouzdanosti za sve vitalne elemente železničkog vozila, opravdano se nameće primena savremenih dijagnostičkih tehnika i tehnologija. Eksperimentalno-eksploataciona istraživanja i tehničko dijagnostkovanje stanja bitnih parametara obnovljenih monoblok točkova kvaliteta ER7, navarivanjem venca, obavićemo na železničkom teretnom vozilu serije Uaddf-zž br. 86 44 934 6002-1, koja će kao eksperiment saobraćati na prugama BiH. Ovakv pristup predmeta istraživanja svakako predložene disertacije može, umnogome, da doprinese naučno-istraživačkoj raspravi i naučnoj analizi moguće primene novog tehničko-tehnološkog koncepta održavanja vitalnog mašinskog elementa železničkih vozila tj. monoblok točka kvaliteta ER7.

2.3. Cilj istraživanja

U vrlo neekonomičnoj i složenoj problematici sadašnjeg pristupa održavanja monoblok točkova, samo profilisanjem i zamenom za nov, predložena tema disertacije će stvoriti baznu osnovu novom tehničko-tehnološkom konceptu rešavanja problema i omogućiti naučnu analizu od strane internacionalnih i nacionalnih železničkih uprava u cilju primene ovog racionalnog tehnološkog postupka održavanja osovinskih sklopova.

Poslednjih godina opaža se sve veći interes eksploatatora monoblok točkova železničkih vozila kvaliteta ER7, a naročito u zemljama razvoja, za iznalaženje ekonomičnijeg tehničko-tehnološki koncepta održavanja monoblok točka, uslovljavajući tehnološko rešenje kao što je: izvodljivost tehnološkog postupka u klasičnim radionicama okruženja, pouzdanost, i funkcionalne podobnosti. Za tehnički sistem kao što su železnička vozila, možemo reći da je pouzdanost osnovni pokazatelj njegovog kvaliteta. To je u stvari pokazatelj koji govori kolika je verovatnoća da će konkretan tehnički sistem funkcionisati ispravno u određenom vremenu i zadatim uslovima rada. Upravo, tema doktorske disertacije je savremena metodologija održavanja vitalnog mašinskog elementa železničkih vozni sredstava - monoblok točkova kvaliteta ER7, koja će prevashodno postići punu

pouzdanost pri eksploataciji na brzinama kretanja do 120 km/h i udovoljiti potrebnim zahtevima klasičnih železničkih radioničkih kapaciteta za izvodljivosti ovakvog tehnološkog postupka.

Predložena tema doktorske disertacije ima za osnovni cilj, da u domenu tehničko-tehnološkog dostignuća prezentuje jasan i sveobuhvatan sistematski pristup održavanja monoblok točka kvaliteta ER7, kao novi koncept tehnološkog postupka u železničko-transportnim sistemima, kako u Republici Srpskoj tako i BiH, pa čak i šire. Ovakav, nov, tehničko-tehnološki koncept održavanja vitalnog dela železničkih vozila, mora da rezultira ka uvećanom nivou pouzdanosti, odnosno smanjenja rizika, koji će biti studiozno obrađen i dokumentovan meritornim tehnološkim metodama koje prihvataju železničke uprave, a u duhu nacionalnih i internacionalnih propisa. Zbog te kompleksnosti problema o kojem je reč, u predloženoj temi doktorske disertacije, pored izvodljivosti, produktivnosti i ekonomičnosti, vidna pažnja u oblasti teorijskog i eksperimentalno-eksploatacionog istraživanja biće posvećena primenljivost metoda kontrole i ispitivanja monoblok točka, kao i novim tehnikama i metodama dijagnostikovanja pri procesu eksploatacije.

Viši, naučni cilj ovog istraživanja je da se stvori osnovni fundament radi sprovođenja naučnih diskusija i zaključaka, zemalja u okruženju, u cilju proučavanja ovog istraživanja predmeta doktorske disertacije i prihvatanja ovog sasvim novog tehničko-tehnološkog koncepta održavanja, vitalnog elementa železničkog vozila, tj. točka, verifikujući ga nacionalnim i internacionalnim železničkim propisima.

Navedeni ciljevi doktorske disertacije predstavljaju značajan doprinos istraživanju, nedovoljno istraživane problematike i donošenje nove tehničko-tehnološke metodologije održavanja osnovnog mašinskog dela železničkih vozničkih sredstava-točka i time pruži značajan doprinos razvoju železničko-transportnih organizacija u našim državama.

2.4. Hipoteze u istraživanju

Hipoteza predložene teme doktorske disertacije odnosi se na očekivane rezultate rada, a formulisana je na osnovu prethodnih istraživanja. Primenom savremene tehničke dijagnostike i metoda preispitivanja kvaliteta, u cilju ocene pouzdanosti u procesu eksploatacije, utvrdiće se model donošenja odluke statističkim putem u procesima prepoznavanja oblika pouzdanosti i ekonomičnosti, a i zajedništvu ovih svojstava sa svojstvom sigurnosti. Na osnovu toga hipoteze su:

1. **Glavna hipoteza:** Savremena tehničko-tehnološka metodologija održavanja monoblok točka železničkih vozila, kvaliteta materijala ER7, je izvodljiv tehnološki proces, zasnovan na konceptu novog tehnološkog rešenja, obnavljanja venca navarivanjem i savremnih tehnika i tehnologija dijagnostikovanja koje udovoljavaju nivo pouzdanosti pri funkcionisanju tehničkog sistema-železničko vozilo, shodno internacionalnim i nacionalnim zakonitostima, su obavezne za validnost izvedenog stanja.
2. **Pomoćna hipoteza:** Definisane savremene metode i postupci dijagnostikovanja, nakon tehnološkog procesa navarivanja venca monoblok točkova i procesom eksploatacije, su pouzdane dijagnostičke metode koje karakterišu uslovnu pouzdanost za stavljanje u eksploatacionu funkciju vitalni deo vučenog železničkog vozila-monoblok točkova.
3. **Pomoćna hipoteza:** Eksploatacioni vek obnovljenog venca monoblok točka je ekonomski opravdan tehnološki postupak, postižući ekonomski efekat produženjem veka eksploatacije točka, minimalno 1 put.

Očekivani rezultati istraživanja koji ukazuju na razvoj i primenu nove tehničko-tehnološke metodologije održavanja monoblok točkova, mogu da predstavljaju realan naučni doprinos.

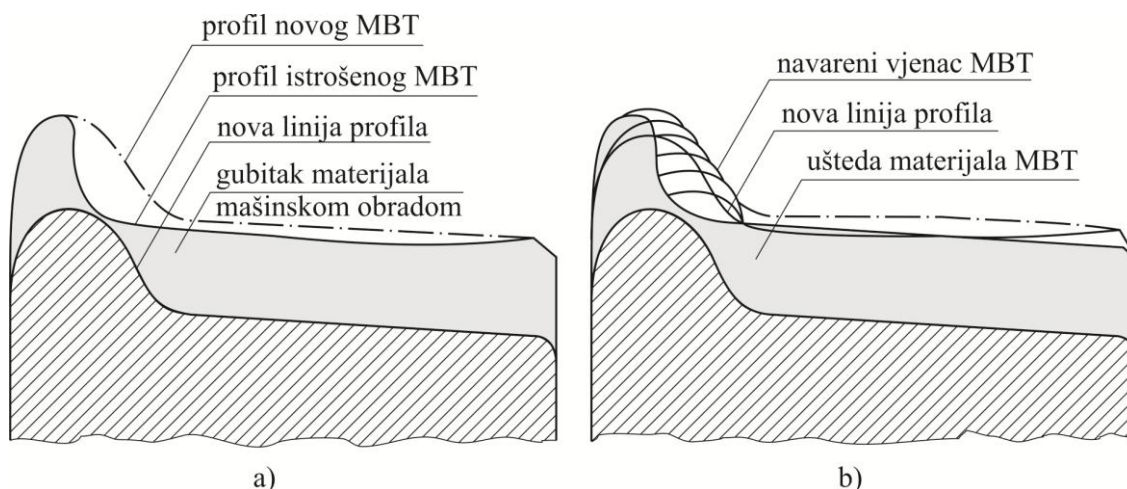
2.5. Naučna i društvena opravdanost istraživanja

Istraživanja, u okviru doktorske disertacije imaju svoju naučnu i društvenu opravdanost. Disertacija predstavlja doprinos razvoju savremenih tehničko-tehnoloških rešenja i tehnika dijagnostikovanja primenjenih tehnološkim procesom obnavljanja venca i procesom eksploatacije monoblok točkova kvaliteta ER7.

Naučni doprinos ove disertacije se ogleda u istraživčkom proučavanju i eksperimentalnom dokazivanju mogućnosti primene ovog savremenog tehničko-tehnološkog postupka održavanja jednodelnih točkova kvaliteta materijala ER7, kao i svih dijagnostičkih tehnika i tehnologija u cilju prevremenog otkrivanja slabih i nepouzdanih mesta obnovljenog monoblok točka železničkog vozila.

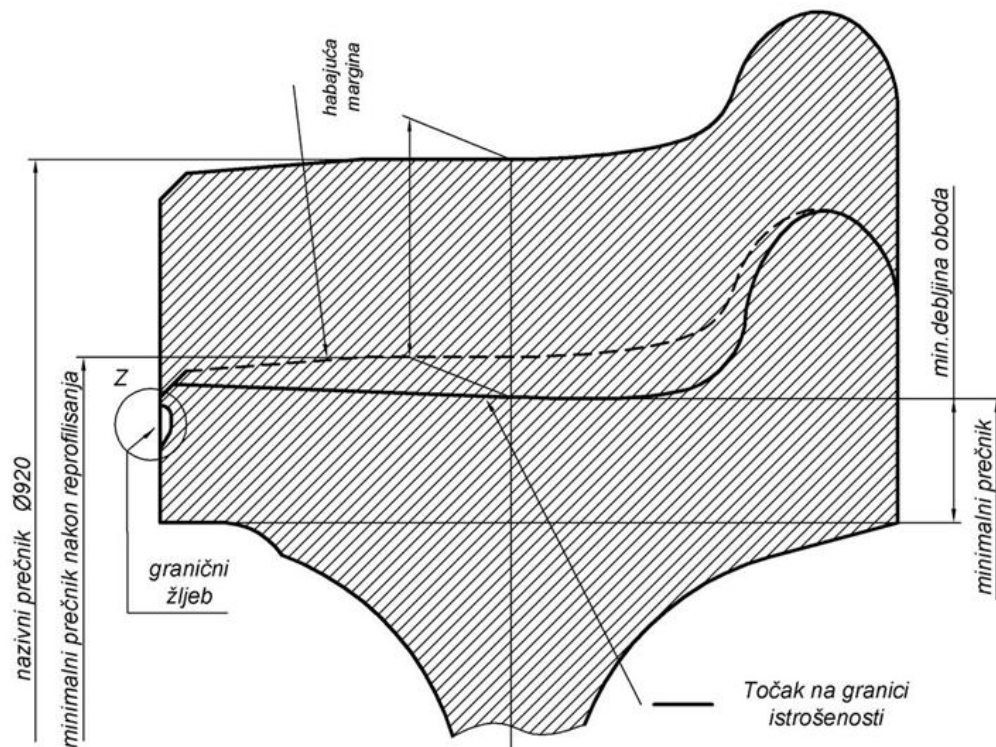
Naučna istraživanja su koncipirana na nivou tehničke opremljenosti železničkih radioničkih kapaciteta ovog vremena, kako naših zemalja tako i zemalja u okruženju koje su bile pod nekadašnjom upravom zajednice JŽ.

Tehnološki proces obnavljanja, navarivanjem venca monoblok točka kvaliteta ER7, železničkih vučenih vozila, dolazi tek nakon prekomernog pohabanog venca točka koji je proizvod neminovnog mehaničkog procesa trošenja. Ova pojava je neminovni rezultat dinamičkog kontakta točka sa šinom i kočionom papučom. Povećano habanje venca monoblok točka dolazi kod dotrajalih šina na prugama sa većim padovima gde je neophodno učestalo kočenje, kao i na prugama sa mnogo krivina. S obzirom na to da se venci monoblok točka habaju intenzivnije nego površina kotrljanja točka, kod vučenih železničkih vozila, neminovno je korekcijom (mašinskom obradom) skinuti toliko materijala do punog geometrijskog oblikovanja profila venca, tako da se u nekim slučajevima izvrši umanjeње nazivnog prečnika i do 40 mm. Na slici 2.5.1. je prikazan, „gubitak“ usled profilisanja mašinskom obradom (a), odnosno, „dobit“ u slučaju obnavljanja venca točka navarivanjem (b).



Slika 2.5.1. Ušteda ili gubitak materijala površine kruga kotrljanja monoblok točka kvl. ER7 u slučaju regeneracije ili samo profilisanja.

Na slici 2.5.2. je prikazana je veličina oboda monoblok točka namenjena za eksploataciono trošenje, a to je razlika nazivnog i minimalnog prečnika posle zadnje ponovne obrade točka.



Slika 2.5.2. Nazivni prečnik točka i minimalni prečnik posle zadnje ponovne obrade

Ponovno profilisanje venca monoblok točka je neekonomičan postupak, jer se takvim održavanjem prosečno gubi oko 50 kg materijala kao i zbog činjenice da se taj način može primeniti samo dva do tri puta, zbog ograničavajućeg minimuma prečnika monoblok točka.

Primenom tehničko-tehnološkog procesa obnavljanja venca navarivanjem, a sa teoretskog stanovišta opravdano se nameće mogućnost stvaranja prslina ispod navarenog sloja kao najopasnije moguće greške, te se iste mogu eliminisati ograničenim brojem reparatura (navarivanje) maksimalno 4 puta, a što u osnovi znači da se vek monoblok točka u tom slučaju produži 1 do 2 puta. Posmatrano sa ekonomskog aspekta, efekat ovog produženja veka točka čini značajnu uštedu novčanih sredstva pokazano u tabelama 2.5.1; 2.5.2 i 2.5.3.

EKONOMSKI POKAZATELJI TROŠKOVA ODRŽAVANJA MONOBLOK TOČKOVA SADAŠNJIM NAČINOM						
Red. br.	Nosioc troška	Točkova / vagon [kom]	Vrednost točka [euro]	Trošak točkova / vagon [euro]	Optimalni interval zamjene [god.]	Troškovi točkova u vagonu za ceo eksploatacioni vek od 40 god. [euro]
1.	Monoblok točak Ø920 mm kvaliteta mat. ER7	8	600	4.800	Nakon 4	48.000,00
2.	Raspresavnje i napresavnje točkova	8	75	600	Nakon 4	6.000,00
3.	Transportni troškovi do radionice raspresavnja i napresavanja	8	35	280	Nakon 4	2.800,00
4.	Ostali troškovi	0	0	0		0
UKUPNO:						56.800,00

Tabela 2.5.1. Troškovi održavanja monoblok točkova po sadašnjem tehnološkom postupku

EKONOMSKI POKAZATELJI TROŠKOVA ODRŽAVANJA MONOBLOK TOČKOVA PO PREDMETU DOKTORSKE DISERTACIJE						
Red. br.	Nosioc troška	Točkova / vagon [kom]	Vrednost točka [euro]	Trošak točkova / vagon [euro]	Optimalni interval zamjene [god.]	Troškovi točkova u vagonu za ceo eksploatacioni vek od 40 god. [euro]
1.	Monoblok točak Ø920 mm kvaliteta mat. ER7	8	600	4.800	Nakon 10	19.200,00
2.	Raspresavnje i napresavnje točkova	8	75	600	Nakon 10	2.400,00
3.	Transportni troškovi do radionice raspresavnja i napresavanja	8	35	280	Nakon 10	1.120,00
4.	Trošak održavanja točka navarivanjem venca točka	8	45	360	Nakon 10	1.440,00
UKUPNO:						24.160,00

Tabela 2.5.2. Troškovi održavanja monoblok točkova po predmetu doktorske disertacije

UŠTEDA PO VAGONU STVORENA NAČINOM ODRŽAVANJA PO PREDMETU DOKTORSKE DISERTACIJE		
1.	Po sadašnjem načinu održavanja	56.800,00 [euro]
2.	Održavanje po predmetu doktorske disertacije	24.160,00 [euro]
UŠTEDA (za ceo eksploatacioni vek vagona 40 godina)		32.640,00 [euro]

Tabela 2.5.3. Ušteda pri održavanju monoblok točkova po predmetu doktorske disertacije

Vreme eksploatacije navarenog monoblok točka je utoliko duže ukoliko navareni sloj ima veću i ujednačenu otpornost na habanje, kao i sve ostale mehničke karakteristike shodno međunarodnoj objavi UIC 812-3 i EN13262.

U ovome se i ogleđa suštinski elementi društvene opravdanosti istraživanja predmeta doktorske disertacije, naročito naših zemlja koje spadaju u red nerazvijenih ili zemlje u razvoju.

Metodologija istraživanja, pregled opreme i detaljan opis postrojenja i uređaja, primenjeni u eksperimentalnom radu u laboratoriji i pri eksploatacionim uslovima, koji su prezentovani u ovoj doktorskoj disertaciji su korisna literatura za buduća istraživanja u ovoj oblasti.

2.6. Metode istraživanja

S obzirom na složenost i kompleksnost tehničkog sistema, za donošenje najkompetentnijih odluka u predmetnoj doktorskoj disertaciji u procesima prepoznavanja oblika pouzdanosti tehničkog sistema–železničkog vozila u radu će se koristiti sistematske naučno-istraživačke metode.

- a) Od posebnih naučnih metoda i postupaka koristiće se *analitičko-sintetička i metoda klasifikacije*.
- *Analitičko-sintetička metoda*- Analiza je primenjena pristupom upoznavanja sa izvršenim istrživanjima na obnovljenom monoblok točku navarivanjem venca,
- b) Od opšte naučne metode u istraživačkom radu doktorske disertacije, koristiće se metoda *modelovanja*,
- c) Metode istraživanja, tehnike i postupci u izradi doktorske disertacije su naučno *posmatranje* koje će prethoditi *eksperimentalnoj*, a potom *eksploatacionoj metodi*.

Da bi se dobili podaci koji su relevantni za utvrđivanje pouzdane izvodljivosti novog tehnološkog koncepta održavanja vitalnog mašinskog elementa železničkog vozila, koristiće se metode analize rezultata kao verifikacioni osnov uspešnosti metodološkog koncepta istraživanja predmetne doktorske disertacije.

Smatramo da su predložene metode merodavne i pouzdane u verifikaciji predloženih rezultata i hipoteze istraživanja.

2.7. Organizacija istraživanja

U radu doktorske disertacije su jasno definisane organizacije, kao način obavljanja aktivnosti u okviru predmeta istraživanja, ko i gde će da obavi pojedine aktivnosti, koja ovlašćenja i odgovornosti imaju svi koji učestvuju u istraživanju. Na osnovu kompleksnosti i veličine tehničko-tehnološkog istraživanja, jasno je propisana organizaciona struktura koja sprovodi definisani proces istraživanja.

Autor disertacije koji je uočio problem, formulisao ga, rukovodilac je ovog istraživanja. Kandidat je sagledao veličinu formulisano problema i angažuje se na višegodišnjem prikupljanju i proučavanju odgovarajuće literature iz oblasti mašinstva, metalurgije, fizike, matematike, ekonomske racionalizacije i ostalih naučnih disciplina vezanih za savremenu dijagnostičku tehnologiju metala ovog vremena. Takođe, ogroman doprinos kandidatu za rešavanje formulisano problema je i plod desetogodišnjeg istraživanja na polju održavanja vitalnih elemnata železničkih tehničkih sistema kao i višegodišnjim radom i stečenim znanjem u preduzeću sistema „Bratstvo“ iz Travnika, u kome je kandidat obavljao

kreativne poslove u oblasti savremenih tehnologija održavanja i dijagnostikovanja sistema mašinskih elmenata, sklopova, postrojenja i tehničkih sistema vojne industrije.

Rukovodilac istraživanja (kandidat) je koncipirao projekt istraživanja na tehničko-tehnološkoj izvodljivosti, obnavljanja i dijagnostikovanja vitalnog mašinskog elementa železničkog vučnog vozila, postižući zadovoljavajući nivo pouzdanosti shodno odgovarajućim internim i eksternim zakonskim propisima železničkih uprava. Rukovodilac (kandidat) istraživanja je istraživanje koncipirao teoretskim izučavanjima izvodljivosti, eksperimentalnim istraživanjem tehnološke primenljivosti u kalsičnim radionicama ovog vremena, podvrgavajući navarivanju venca osam monoblok točkova kvaliteta ER7.

Dijagnostikovanjem stanja obnovljenih monoblok točkova savremenim dijagnostičkim tehnologijama bez razaranja, a potom dijagnostikovanje neophodnih preostalih parametara metodama i dijagnostičkim tehnologijama sa razaranjem na četiri monoblok točka u nadležnim Institutima i institucijama kao i laboratorijama. Laboratorijska eksperimentalna dokazivanja mehaničkih karakteristika, hemijske analize, ultrazvučne defektoskopije, mikrografskog i makrografskog ispitivanja i dokazivanja, zaostalih napona nakon obnavljanja - navarivanjem venca, sprovedeno u saradnji sa verifikovanim naučnim institucijama kao što su: Institut „Objedinjeni-Metaluruški Konbinat“ Viksa, Rusija, Institut železare Nikšić, Institut livnice čelika „Jelšingrad“ Banja Luka, Institut „Hasan Brkić“ Zenica, Institut „Mašinskog fakulteta“ Banja Luka, Laboratorijska kontrola „Bratsvo“ Subotica, Laboratorijska kontrola „Tvornica železničke opreme“ Kneževo i Sektora kontrole kvakliteta „Željeznice Republike Srpske“ Doboj.

Na osnovu sprovedenih teoretskih, eksperimentalnih dokazivanja izvodljivosti i pouzdanosti obnovljenih venaca monoblok točka kvaliteta ER7, rukovodilac (kandidat) obezbeđuje saglasnost od Tehničke komisije ŽRS, Uprave preduzeća ŽRS i Ministrastva veza i saobraćaja RS, za eksploataciono istraživanje, i stavlja u funkciju eksploatacije dva osovinska sklopa (četiri monoblok točka) na jedno obrtno postolje ternih kola serije **Uaddf br. 86 44 934 6002-1**, koja su u saobraćaju na prugama BiH, počev od 08.02.2010 godine do daljnjeg.

Pri svim procesima eksperimentalnog i eksploatacionog istraživanja kandidat je, osim rukovođenja ispitivanjima, vršio obradu i analizu dobijenih rezultata, odabir načina njihovog prezentovanja, pisanje završnog elaborata i celokupnim rezultatima sprovedenog istraživanja, izdvajanje ključnih rezultata istraživanja koji su prezentovani u okviru ove doktorske disertacije i izvođenje zaključaka koji pobijaju ili dokazuju postavljenu hipotezu.

U ceo proces ispitivanja institucionalnih laboratorija uključeni su naučni saradnici i stručnjaci koji su neophodni da bi se pouzdano izvršilo planirano ispitivanje. Zbog složenosti i obima istraživanja u okviru disertacije, formirano je više ekipa, angažovana je brojna oprema dislocirana na širem prostoru nekadašnje Jugoslavije, od kandidata je zahtevalo izuzetne napore u smislu koordinacije i sinhronizacije rada.

Rukovodilac istraživanja je sačinio „Program ispitivanja i dokazivanja stanja monoblok točka nakon obnavljanja i praćenja pri procesu eksploatacije“. Program je sadržavao detaljan plan i program istraživanja, prema propisanim upustvima i specifičnostima, a usklađeno internim i eksternim zakonitostima železnice. Kompleksnost laboratorijskog ispitivanja i prezentovanja rezultata, iziskovalo je različite laboratorije sa različitim tehnološkim i kadrovskim kapacitetima, te je kandidat uložio dodatne napore u cilju racionalnog korištenja.

3. TEORETSKA ISTRAŽIVANJA

Troškovi šteta koji nastaju u svim proizvodnim granama kao i na železničkim tehničkim sistemima pri eksploataciji, usled mehaničkog i hemijskog trošenja ogromni su za celu svetsku ekonomiju. Veliki broj ekonomskih stručnjaka i statističara nas opominju i istovremeno i podaci upozoravaju, koji govore koliko se količinski i vrednosno u svetu godišnje odbacuje jednodelnih železničkih točkova iz sve brže aktivne upotrebe, nakon habanja profila kotrljanja, u obliku sirovine, koja služi za proizvodnju metala odnosno kao otpadno gvožđe.

Nastojanjima da taj ekonomski faktor svedemo u realne okvire, shodno stepenu razvoja nauke i tehnologije vitalnog dela železničkog vozila, tj monoblok točka, koji je izložen pojavama trenja i trošenja i mogućnosti za njegovo smanjenje. U tom cilju akcentirati ćemo predmet intezivnih fundamentalnih istraživanja i traženja odgovarajućih primenjenih i neprimenjenih tehničkih rešenja za njihovo lečenje i ponovno vraćanje u proces eksploatacije. Predmet ove doktorske disertacije neminovno zahteva opsežna teoretska istraživanja, izučavajući mnogobrojne naučne i tehničke discipline, kao što su fizičke, zatim iz oblasti hemije, fizike, metalurgije, mehanike čvrstih tela, otpornosti materijala, mehanike fluida, termodinamike, nauke o prenosu toplote, tehnologije i poznavanje metala, mehaničke tehnologije i drugo.

Sa tih relevantnih zahteva, teoretsko istraživanje predmeta doktorske disertacije ima prevashodan cilj za izvršenje tehničko-tehnološke radnje, a da se pouzdanost monoblok točka nađe na istom ili većem tehničkom nivou. Takođe, kroz naučni proces teoretskog izučavanja, elaborisati ćemo dostignuta Evropska i svetska naučna saznanja iz oblasti jednodelnih železničkih točkova ovog vremena, koja ćemo implementirati kroz proces eksperimentalnog i eksploatacionog naučnog istraživanja, verifikujući postignuti nivo kvaliteta i pouzdanosti u naučno-istraživačkim institucijama i laboratorijama u zemljama iz našeg okruženja.

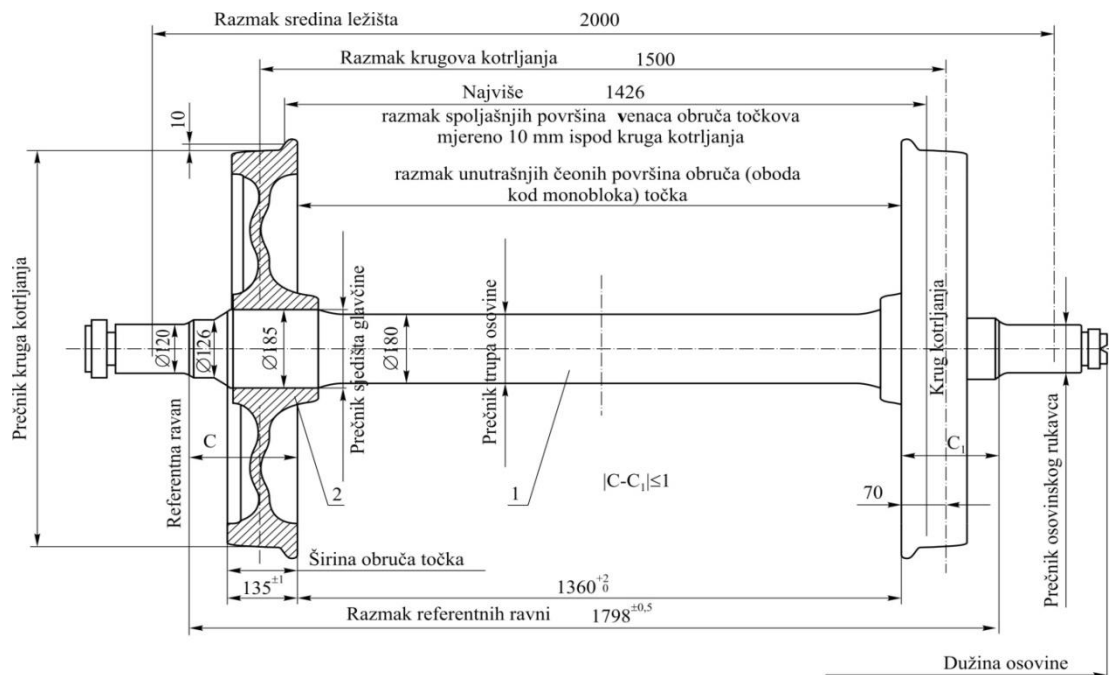
3.1. Opšte tehničke karakteristike osovinskog sklopa s navučenim monoblok točkovima kvaliteta ER7

Osovinski sklopovi su delovi kola od kojih najviše zavisi bezbednost saobraćaja. Spadaju u grupu vitalnih mašinskih elementa železničkog vučnog i vučenog voznog sredstva. U samom tehničkom sistemu obezbeđuju neposredni kontakt vozila sa šinom i upravljaju kolima. Od stanja celokupnog osovinskog sklopa, u prvom redu zavisi bezbednost i sigurnost, a zatim i mirnoća hoda vozila. Zbog toga se mora posvetiti posebna pažnja prilikom održavanja istog.

Osovinski sklopovi železničkih vozila izloženi su opterećenjima:

- mase sanduka kola,
- mase tereta,
- mase obrtnog postolja,
- mase delova koji su neposredno ugrađeni na osovinske sklopove,
- vertikalnim i horizontalnim udarnim silama, koje nastaju usled neravnina na površini kotrljanja,
- termičkim silama usled kočenja.

Na slici 3.1.1. prikazan je izgled osovinskog sklopa, za putničke i teretne vagone sa navučenim monoblok točkovima kvaliteta ER7 prečnika kruga kotrljanja $\varnothing 920$ mm.



Slika 3.1.1. Osovinski sklop putničkih i teretnih vagona koji se koč papučastom kočnicom, nazivnog prečnika točka $\varnothing 920$ mm. 1-osovina i 2- monoblok točak. [110]⁹

Osovinski sklopovi, zbog svog značaja determinisani su nizom standarda koji obrađuju: materijal za izradu, izgled, postupak izrade, način kontrole i eksploatacije, probleme održavanja, bezbednosna pitanja upotrebe itd. Takođe, standardi definišu i metode proračuna.

Znači da su sva pitanja, od projektovanja do kasacije osovinskog sklopa definisana kako internim tako i eksternim standardima JUS P.F.2.010, EN13260:2003 i UIC 813-1 objavom.

3.1.1. Klasifikacija najčešćih kvarova osovinskih sklopova sa navučenim monoblok točkovima kvaliteta ER7

3.1.1.1. Oštećenja

Pod ovim se podrazumeva promenjeno stanje osovinskog sklopa izazvano deformacijom promene strukture metala ili narušavanjem presovanih sklopova na osovini, uticajem mehaničkih oštećenja. Takođe, pod oštećenjem se ogleda i pomeranje upresovanog monoblok točka, kao i oštećenja na monoblok točkovima ili ležajevima.

3.1.1.2. Naprsline

Naprsline (pukotine) javljaju se na kritičnim prelazima i naponskim tačkama presovanja, glavčine točka (posebno sa unutrašnje strane točka kao i u glavčini točka) i obodu točka. Uzroci pojave su razni, ali bilo gde da se nađu uočeni okom, ultrazvukom ili ferofluksom, vode kasaciji osovinskog sklopa (ili točka), a za ponovljene slučajeve preporučljivo je od relevantnih institucija tražiti sistematski uzrok.

[110]⁹ UIC objava 812-2 Monoblok točkovi za vučna i vučena vozila-Dozvoljena odstupanja, 2 izdanje, decembar 2002, Pariz.

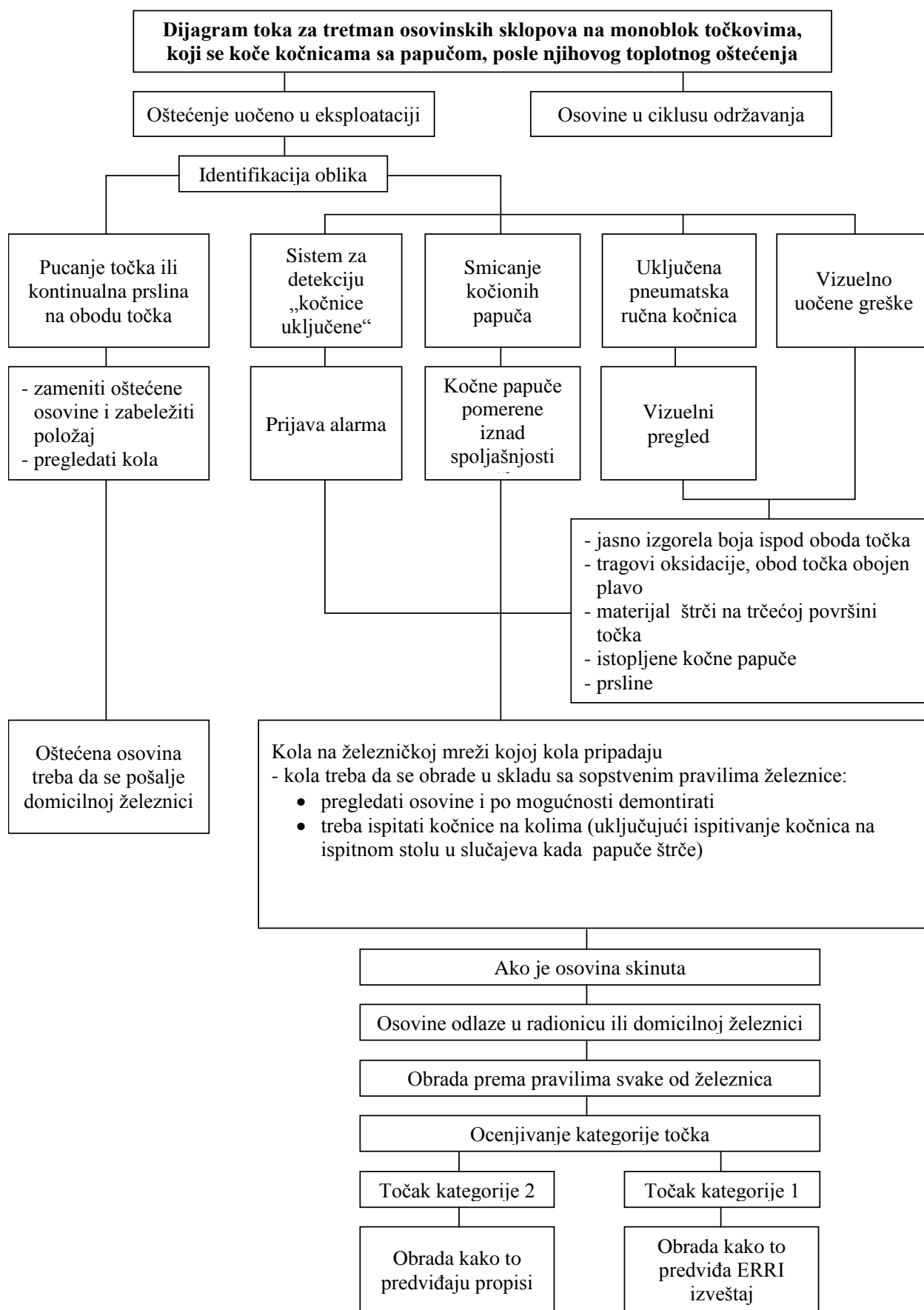
3.1.1.3. Razaranje

Razaranje (pucanje, odlom) uglavnom je posledica neblagovremenog kasiranja naprslog točka ili osovine. Havarije koje se dešavaju zbog ovog uzroka, najteže su (lom osovine ili odlom komada monoblok točka), a manifestacija štete je katastrofalna.

3.1.2. Postupak održavanja i identifikacija otkaza osovinskih sklopova

Mnoge Evropske organizacije i institucije su istraživale pouzdan i prihvatljiv način održavanja osovinskih sklopova kao i identifikaciju otkaza nastalih toplotnim oštećenjem pri kontaktu kočione papauče i točka. Izučavanjem istraživanja Evropskih istraživačkih institucija, koje su se bavile ovom problematikom, smatramo da je najpouzdaniji postupak održavanja osovinskih sklopova sa navučenim monoblok točkovima koji se koče papučom od SL, za brzine kretanja do 120 km/h, je predočio i posebnu pažnju koju je posvetio Evropski železnički istraživački institut (ERRI).

Na osnovu tih izučavanja, a sačinili smo tok tehničko-tehnološkog pristupa održavanja, osovinskih sklopova i identifikacije kvara, nakon toplotnog dejstva na površine kotrljanja ili mehničkih oštećenja pri statičkim i dinamičkim dejstvima, a koji se, uglavnom primenjuje u svim Evropskim železničkim upravama. Prikazani dijagram toka tehnološkom procesu održavanja i identifikacije otkaza osovinskih sklopova, slika 3.1.2.1.sadašnjim načinom održavanja i dijagnostikovanja.



Slika 3.1.2.1. Postupak održavanja i indentifikacije otkaza, osovinskih sklopova sa navučenim monoblok točkovima, koji se kočice sa livenom papučom

3.2. Monoblok točak

Monoblok točak je najvžniji i najodgovorniji deo obrtnog postolja, odnosno osovinskog sklopa. Pomoću njega se ostvaruje uzajamna veza između rama obrtnog postolja i šine. U sklopu svog tehničkog sistema (železničko vozilo), monoblok točkovi primaju i prenose sva vertikalna i horizontalna opterećenja, od sanduka na šine i obrnuto. Kod putničkih i teretnih vagona, a za brzine kretanja do 160 km/h, smanjenje brzine i zaustavljnje železničkog vozila vrši se trenjem kočionih papučica na površinu kotrljanja monoblok točka, pri čemu se kinetička energija pretvara u toplotu. Tu proizvedenu toplotu, uglavnom apsorbuje točak i veći deo predaje okolini, a manju toplotu zadržava zagrevajući se. Hlađenje monoblok točka je u progresivnom odnosu sa brzinom kretanja i neposrednim dodirima sa vazduhom, tako da se brže hlade delovi oboda monoblok točka, nego njegovi unutrašnji delovi.

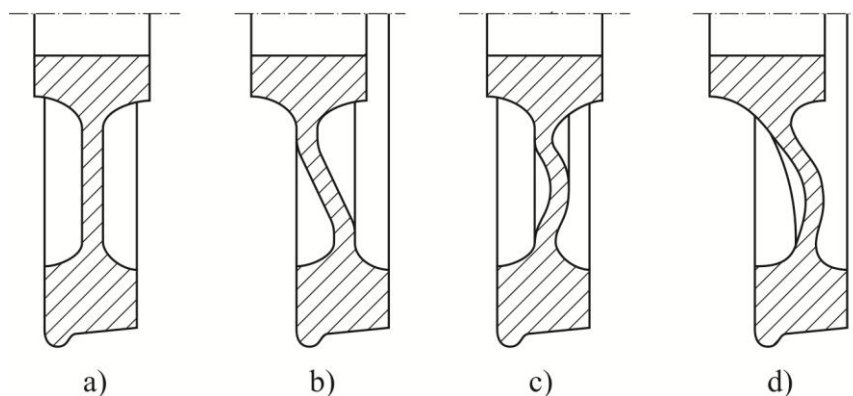
Do 1985. godine, uglavnom na putničkim i teretnim železničkim vozilima, dominirali su dvodelni točkovi ili takozvani bandažni. Elementi koji su odlučujući za eliminisanje iz funkcije eksploatacije bandažnih točkova su: labavljenje obruča, navlačenje obruča na disk točka, manji vek trajanja uobručenog točka – do zamene obruča u odnosu na monoblok točak, umanjeње pouzdanosti, otežano uravnoteženje, mogućnost smanjenja neovešajne mase i ograničene brzine kretanja.

Razvojem nauke i tehnologije u svetu, došlo je do korišćenja modernih proizvodnih tehnologija sa masovnom proizvodnjom i primenom u praksi, jednodelnih točkova odnosno monoblok točkova različitih nazivnih prečnika i oblika. Iza ovakvog konstruktivnog rešenja (monoblok točka) stoje velike železničke uprave i veliki železničko-metalurški kombinati Evrope i ostalih razvijenih zemalja sveta, te je ova vrsta točkova u potpunosti eliminisala primenu uobručenih točkova na putničkim i teretnim kolima, kao i ostalim pružnim vozilima.

Naučnim izučavanjem mnogih evropskih i svetskih istraživača koji su svoja teoretska istraživanja bazirali na definisanju konstruktivnog oblika i veličina elemenata monoblok točka, u cilju postizanja potpune pouzdanosti pri eksploataciji tehničkog sistema, naročito pri velikim brzinama kretanja vozova ovog vremena (preko 200 km/h), relevantna je činjenica poznavati funkcionalnost delova monoblok točkova koji su presudni za pouzdano izvršenje funkcije u tehničkom sistemu pri eksploataciji.

3.2.1. Konstruktivne izvedbe monoblok točkova prečnika Ø920

Razni periodi tehnološkog razvoja monoblok točkova, tehnološka tradicija proizvođača ili železničke uprave, te različiti rezultati eksperimentalnih i teoretskih istraživanja, doveli su do raznih rešenja ovih točkova sl. 3.2.1.1. Sva rešenja teže da točak bude što lakši i jeftiniji, da se što sporije troši, a da pouzdanost pri eksploataciji bude što veća.



Slika 3.2.1.1. Konstruktivna rešenja monoblok točkova, zastupljenih u železničkim transportnim sistemima: a) ravni vertikalni disk, b) ravni kosi disk, c) talasasti disk i d) radijus udubljeni-ispupčeni disk. [72]¹⁰

Različita konstruktivna rešenja diska imaju za cilj da se ublaže sile u tački dodira točkovi. Talasasti diskovi su predmet istraživanja naročito u Rusiji, gde početni rezultati ukazuju da se znatno prigušuju udari.

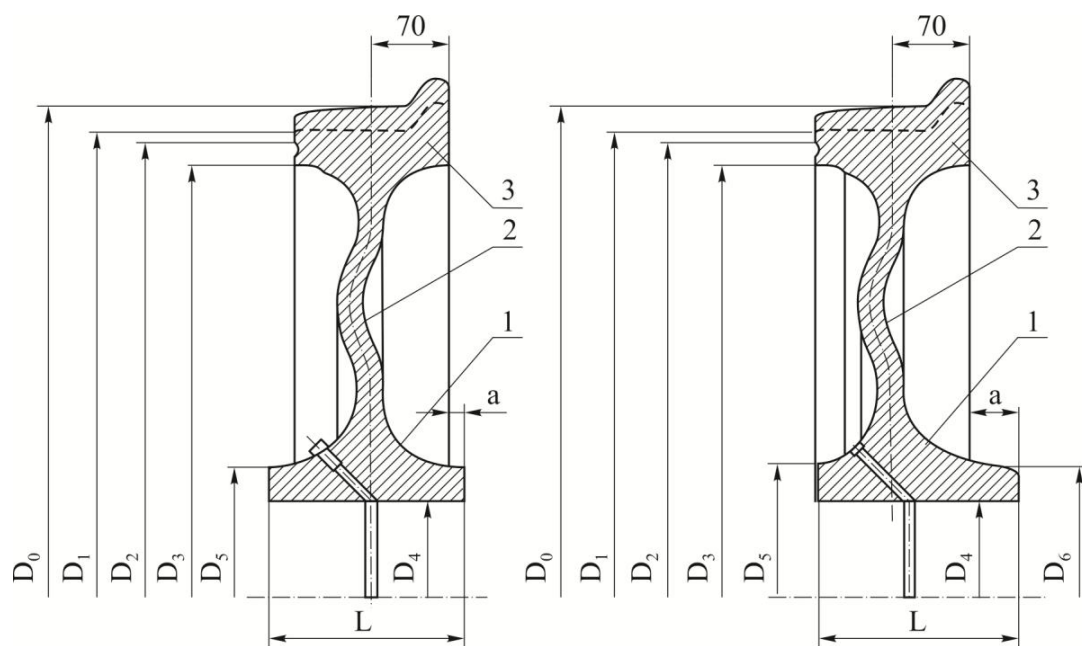
Ova izučavanja i te kako imaju veliki uticaj na predmet ove doktorske disertacije, posmatrjući sa tehničkog aspekta tj. ponašanje mehaničkih karakteristika profila monoblok točka pri procesu eksploatacije

Koristeći dostupnost svih novoistraženih i dokaznih činjenica koji karakterišu veću pouzdanost i ekonomičnost pri eksploataciji tehničkog sistema, sve evropske zemlje pa čak i preostali deo razvijenog sveta, železničke uprave, implementiraju novostvorenu istraživačko-tehničku vrednost i ozakonjuju za primenom kako internim tako i eksternim propisima i normama.

Na osnovu predmeta doktorske disertacije o novom tehničko-tehnološkom postupku izvodljivosti održavanja monoblok točka, za putnička i teretna železnička vozila, a koja saobraćaju brzinama do 120 km/h, primena istraživanja biće vršena na monoblok točku koji je usvojen i usklađen kako internim tako i eksternim propisima.

Na slici 3.2.1.2. prikazano je najnovije konstruktivno rešenje monoblok točka koju je usvojila EN 13262 i UIC 812-3, za osovinsku masu 220 [kN] za putnička i teretna kola, a primenjuju se u eksploataciji železničkih uprava pod nekadašnjim sistemom JŽ, (ŽRS), prečnika 920 mm prema JUS P. F2. 036. U tabeli su date njegove osnovne i bitne konstruktivne veličine, koje imaju uticaj i na predmet doktorske disertacije. Sa slike je vidljivo da se monoblok točak sastoji iz tri glavna elementa: 1) glavčine; 2) diska i 3) oboda.

[73]¹⁰ Jovanović, R., *Osovinski sklopovi željezničkih vozila*, Saobraćajni institut, Beograd, 1996.



Slika 3.2.1.2. Monoblok točkovi Ø920 mm za putničke i teretne vagon, osovinske mase 220 [kN], a usklađeni EN, UIC i JUS-om. [109]¹¹

Tip MBT	Veličine u mm								
	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	L	a
1	920	846	830	790/780	185	285	250	190	60
2	920	846	830	790/780	185	285	250	190	60
3	920	870	854	790	185	285	250	190	60
4	920	870	854	820	200	250	270	185	23
5	920	870	854	820	185	250	250	170	15
6	920	846	830	790	200	250	270	185	23

Tabela 3.2.1.1. Konstrukcione veličine bitnih parametara monoblok točkova Ø920 mm usklađeni EN, UIC i JUS-om [60]¹²

3.2.2. Tolerancije mera monoblok točka

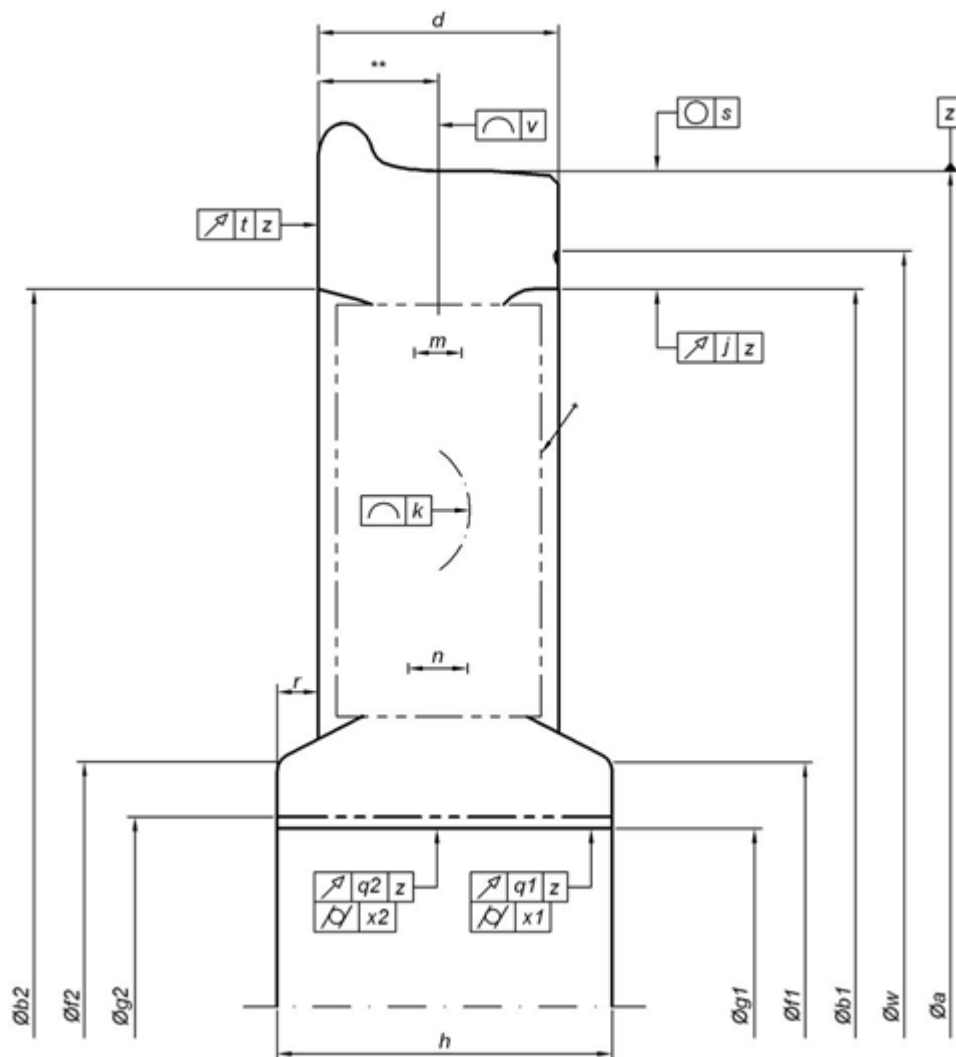
Definisanje tehničkog izgleda nekog mašinskog dela, kao i monoblok točka železničkog vozila, koji preferira kao vitaln železnički mašinski elemenat, definisan je odgovarajućim konstrukcionim crtežom i usklađen internim i eksternim železničkim standardima. U konkretnom slučaju geometrijski izgled i tolerancije mera monoblok točka kvaliteta ER7, usklađen je prema Međunarodnoj objavi UIC 812-3, kao i EN 13262. Predmet doktorske disertacije je baziran na ovom obliku i kvalitetu monoblok točka koji ima dominantnu eksploatacionu primenu u svim Evropskim zemljama na putničkim i teretnim vagonima. Značaj geometrijskih simbola opisani su na slici 3.2.2.1, a tolerancije mera i oblika dati su u tabeli 3.2.2.1. za monoblok točka Ø920 mm kvaliteta ER7.

[110]¹¹ UIC Objava 812-2: *Monoblok točkovi za vučna i vučena vozila – Dozvoljena odstupanja*, 2. izdanje, Pariz, decembar 2002,
[61]⁴ EN 13262

Oznaka	Simboli	Simboli	Mere u mm		
			Vrednosti kategorija 1	Vrednosti kategorija 2	Vrednosti kategorija 3
Spoljni prečnik	a		0/+4 ^b		0/+4 ^b
Unutrašnji prečnik (strana trčućeg kruga)	b1		0 / -2		0 / -4
Unutrašnji prečnik (strana mernog kola)	b2		0 / -2	0 / - 6	0 / -4
Profil trčće površine		v	≥ 0,1		≤ 0,2
Točka					
Zaobljenost trčće površine		s	≥ 0,1		≤ 0,2
Bočni graničnik		t	≤ 0,2		≤ 0,2
Visinski graničnik		j	≤ 0,2		≤ 0,2
Spoljašnji prečnik odvodnog žljeba	W		0 / +2		0 / +2
Spoljašnji prečnik (strana trčućeg kola)	f1		0 / +2	0 / +10	0 / +5
Spoljašnji prečnik (strana mernog kola)	f2		0 / +2	0 / +10	0 / +5
Prečnik otvora – prethodno bušeno	g1		0 / -2		0 / -2
Spremno za sklapanje	g2		u vezi sa crtežom ili standardima, da bi se obezbedila dobra funkcija točka	u vezi sa crtežom ili standardima, da bi se obezbedila dobra funkcija točka	u vezi sa crtežom ili standardima, da bi se obezbedila dobra funkcija točka
Unutrašnji prečnik glavčine - prethodno bušeno - spremno za sklapanje		x1 x2	≤ 0,1 ≤ 0,02 ^d		≤ 0,2 ≤ 0,02 ^d
Dužina	h		0 / +2 ^b		0 / +2 ^b
Prelaz glavčine u poređenju sa vencem točka	r		0 / +2 ^b		0 / +2 ^b
Nezaobljenost otvora prethodno bušenje ^c - spreman za sklapanje ^c	q1 q2	q1 q2	≤ 0,2 ≤ 0,1		≤ 0,2 ≤ 0,1
Položaj spojke na prelazu ka vencu točka i glavčini Spojka		k	≤ 4	≤ 8	≤ 8
Debljina spojke na prelazu ka vencu točka	m		+ 2 / 0	+8 / 0	+ 5 / 0
Debljina spojke u prelazu ka glavčini	n		+ 2 / 0	+10 / 0	+ 5 / 0

Tabela 3.2.2.1. Tolerancije mera monoblok točka [109]¹³

[110]¹³ UIC Objava 812-2: *Monoblok točkovi za vučna i vučena vozila – Dozvoljena odstupanja*, 2. izdanje, Pariz, decembar 2002.



Slika 3.2.2.1. Značaj simbola oblika bitnih parametara monoblok točka Ø920 mm. [60]¹⁴

3.2.3. Tehničke karakteristike elemenata monoblok točka

3.2.3.1. Glavčina

Glavčina monoblok točka je konstruktivno proračunata (eksperimentalno) i utvrđen je njen oblik i dimenzije, kako bi sva statička, dinamička i druga opterećenja pouzdano obavila svoju funkciju za eksploatacioni vek. Svi proračuni i eksperimentalna istraživanja su bazirani na pouzdanoj sigurnosti da pri navlačenju i eksploataciji unutrašnje naponsko stanje bude u granicama dozvoljenih, tj. do 300 [Mpa]. Pri tehnološkom procesu navlačenja monoblok točka na osovinu vrlo je bitno ispoštovati propisanu toleranciju i kvalitet obrade glavčine monoblok točka zbog toga što se 70% lomova osovine dešava uglavnom sa obe strane glavčine točka, a uzrok ovome je preteran (nedozvoljen) preklop rupe glavčine i osovine. Ovakvim zadorom uvećavaju se naponska stanja u glavčini što povećava mogućnosti rasprskavanja monoblok točka.

[61]¹⁴ EN 13262

3.2.3.2. Disk monoblok točka

Posmatrano sa slike 3.2.1.2. disk je najtanji ispod oboda, a najdeblji do glavčine. Tome je uzrok težnja da naponsko stanje točka, u predelu diska bude povoljno i bezbedno (sa teoretskog i eksperimentalnog istraživanja utvrđenog stanja). Ovaj problem je utoliko složeniji što povećanje debljine diska značajno umanjuje naponsko stanje u svakom delu točka, ali zato povećava masu točka odnosno, ukupnu masu voznog srestva. Ovakv odnos, pri istoj brzini i osovinskoj masi povećava sile u tački dodira točak-šina, a to traži još masivniji točak. Zbog toga veće železničke uprave kao i naučno istraživačke institucije rade na uobličavanju više oblika diska monoblok točka, a eksperimentalno se ispituje i traži oblik koji karakteriše najpovoljnije naponsko stanje.

Na osnovu izučavanja istraživačkih radova u svetu možemo dati pouzdan zaključak da točkovi talasastog diska imaju povećanu radijalnu elastičnost i izazivaju manje sile u vertikalnoj ravni. Time se povećava vek trajanja osovinskog sklopa i koloseka. Paralelno, menja se i kvalitet izrade točkova (materijalom i termičkom obradom) i došlo se do točkova kvaliteta od R2 do R9 primenom povećanog kvaliteta za veće osovinske mase i veće brzine vozova.

Određivanje optimalnog oblika monoblok točka, odnosno diska, jako je složen zadatak, posebno što je to jedan elemenat složenog oblika, a može se izraditi iz raznih čelika, raznom tehnologijom, tj. vrstom obrade. Zato odlučujući uticaj imaju precizni radijusi u predelu diska – do oboda i ka glavčini. Oni se kreću od 40 do 150 mm.

Sa aspekta umanjenja faktora koncentracije napona, na prelaz obod-disk i disk-glavčina, bolje je rešenje sa većim radijusom prelaznog zaobljenja. Međutim, rešenje sa većim radijusom do oboda ili glavčine obavezno vodi povećanju mase točka sa svim negativnostima koje su već navedene.[14]¹⁵.

3.2.3.3. Obod monoblok točka

Površina kotrljanja točkova se oslanja na šinu sa površinom oko $2,5\text{cm}^2$ koju opterećuju sile točkovnog statičnog pritiska od 60 do 115 [kN] i dinamičko opterećenje. Zato u dodirnoj zoni točka i šine dolazi do složenog kontaktnog naponskog stanja i deformacija. A na skretnicama na lošijoj pruži, uticajem ljuski i ravnih mesta na točkovima, oni su dinamički dodatno opterećeni (ponekad 5 do 7 puta većim udarom od statičnog opterećenja). Nadalje, kretanjem kola kroz krivine kao i pri vijugavom kretanju osovina u pravcu pruge (što je obavezno zbog razlike u prečnicima točkova u eksploataciji) dolazi do produžnog bočnog proklizavanja točkova, te pojave sila trenja klizanja. Ove pojave i te kako utiču na vek trajanja geometrijskih parametara venca monoblok točka koji je predmet novog tehničko-tehnološkog načina održavanja ove doktorske disertacije. Kretanjem osovinskih sklopova kroz krivine, kontaktom vanjskog venca na bočnu stranu šine, rezultuju se uzdužne obimne sile koje imaju znatan uticaj na habanje profila kruga kotrljanja točka. Zbog ovakve pojave na brdskim prugama, a koje uglavnom dominiraju na Bosanskohercegovačkim predelima, obod točka ima znatno manji eksploatacioni vek nego točkovi koje se eksploatišu u zemljama ravničarskih pruga bez manjih krivina.

Takođe, pri kočenju sa klasičnim kočnim papučama točkovi su izloženi i drugim silama trenja (po obodu i u podnožju kontakta točak - šina), što dovodi do jakog zagrevanja točkova.

[14]¹⁵ Bibik, G. A., *Proizvodstvo železnodorožnih koles*, Metalurgija, Moskva, 1982.

U prethodno navedenim uslovima važnu ulogu ima pravilan izbor prečnika i debljina oboda točka.

3.2.4. Uticaj prečnika monoblok točka na eksploatacione karakteristike

Istraživanje predmeta ove doktorske disertacije je baziran na održavnje monoblok točkova za teretna i putnička kola, prečnika \varnothing 920 mm i brzine kretanja do 120 km/h. Neminovnim trošenjem profila točka, pri eksploataciji, neophodno je vršiti održavanje profila točka, što ima za posledicu smanjenja prečnika točka, a to se odražava na sledeće tehničke parametre:

3.2.4.1. Povećanje prečnika točka pozitivno deluje u smislu:

1. povećanja kontaktne površine točka i šine, a time umanjena kontaktnog napona,
2. za isti transportni put, veći točak pravi manji broj obrtaja, što preko manjeg broja naponskih ciklusa – produžava vek osovine točkova i ležajeva,
3. veća površina točka se brže hladi pri istom intenzitetu toplote od kočenja papučama, te produžava vek trajanja točka i povećava mu sigurnost u radu,
4. umanjuje se otpor kretanja kola i voza,
5. ublažavaju se dinamička opterećenja pri kretanju uzduž pruge,
6. utiče se na smanjenje frekvencije oscilacija osovinskog sklopa, a time i obrtnog postolja kao i sanduka kola.

3.2.4.2. Smanjenje prečnika točka je povoljno zbog:

1. umanjena mase točkova, što vodi ublažavanju dinamičkih udara u tački dodira točak-šina,
2. snižava težinu vozila, što vodi većoj dinamičkoj stabilnosti i poboljšava mirnoću hoda vozila, a smanjuje dejstvo bočnih i uzdužnih horizontalnih sila koje deluju u težište vagona, umanjene dejstva bočnih sila na venac točka,
3. omogućava smanjenje krute baze obrtnih postolja i donjih postolja i tako vodi uštedi materijala za izradu vagona,
4. bolje se prilagođavaju u krivini malog radijusa, što vodi manjem trošenju venca točkova i šina,
5. omogućava nadgradnju većeg sanduka prema slobodnom profilu pruge što širi mogućnost prevoza tereta velikih gabarita.

U tabeli 3.2.4.1. dati su podaci pojedinih svetskih istraživača koji definišu postojanost korelacione veze između veličine prečnika točkova i točkovnog opterećenja, odnosno, dozvoljava se sve veće specifično opterećenje [kN/m] točkova sa porastom prečnika (jer se smanjuje kontaktni napon, usled porasta kontaktne površine).

U Rusiji, zbog većih nosivosti, kola (po srednjem opterećenju), vertikalno opterećenje točka ima tendenciju smanjenja točkovnog opterećenja, a nisu veća od 120 do 130 [kN/m].

Nazivni prečnik monoblok točka [mm]	Vertikalno, statičko opterećenje šine od točka [kN]	Odnos veličina vertikalnog statičkog opterećenja šine i prečnika točka [kN/m]
710	96	135
760	104	137
835	117	140
915	129	141
965	138	143
1015	146	144
1065	155	145

Tabela 3.2.4.1. Veza porasta prečnika monoblok točka u zavisnosti od točkavnog, statičkog opterećenja u SAD.[73]¹⁶

3.2.5. Profil monoblok točka

Profil točka železničkih vozila možemo definisati kao krivu liniju koja ostvaruje neposredni kontakt sa profilom šine.

Prvi počeci izučavanja ovog problema su bili zasnovani na uočenoj činjenici da je habanje profila točka, a pogotovo venca, najbrže kada je profil nov, a kasnije se usporava. Odatle je nastala ideja da je moguće doći do jedinstvenog najoptimalnijeg profila točka, bazirajući se na geometrijski polaz istraživanja na taj delimično pohabani profil.

Profil monoblok točka teretnih vagona i putničkih vagona, u skoro svim Evropskim železničkim upravama predstavlja aproksimaciju UIC-ORE (ERRI). Smatra se da je ovakav profil površine kotrljanja točka najpovoljniji za kombinovane vrste pruga (brdsko-ravničarske), kao i za pruge sa mnogo krivina. Na slici 3.2.5.2. prikazani su profili UIC-ORE, tj. profil koji je ujedno i predmet istraživanja doktorske disertacije za održavanje novim tehničko-tehnološkim metodama. Na istoj slici je prikazan profil točka po GOST-u, koji u neznatnim geometrijskim karakteristikama odstupa od UIC-ORE.

Danas u svetu veći broj železničkih uprava usvoili su svoj profil točka, a među njima ŽRS, ŽS, kao i ostale zemlje u okruženju koje su bile pod nekadašnjom železničkom upravom JŽ. Neke Evroske železničke uprave imaju i više usvojenih profila točkova zavisno od vrste vozila i prečnika eksploatacionih točkova.

Profil točka treba tačno obraditi s obzirom na to da ima višestruki značaj u eksploataciji, jer pre svega profil obezbeđuje sigurnu vožnju, mirnoću hoda i intenzitet potrošnje točka (venca točka) i šine. Zbog toga je profil definisan dvostruko, kao novoobrađeni profil i profil sa graničnim merama istrošenja u eksploataciji, posle čega se profil ponovo obrađuje.

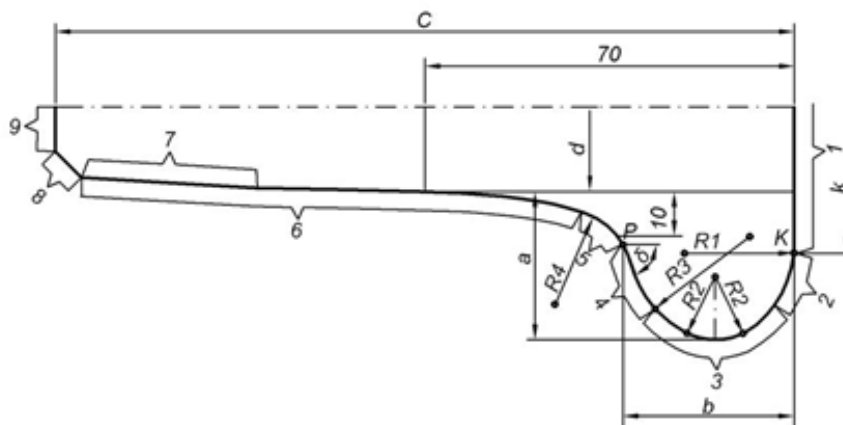
Ono što ovaj rad čini korakom ka tehničko-tehnološkom unapređenju održavanja venca jednodelnih železničkih točkova kvaliteta ER7, jeste regeneracija profila venca (navarivanjem) između ove dve obrade, uz udovoljenje elementata sigurnosti i pouzdanosti kao i ekonomske opravdanosti.

Formiranje profila točka mehničkom obradom uglavnom izvode radionice železničkih uprava, a koje poseduju odgovarajuću mašinsku opremu kao i opremu za dijagnostikovanje.

[73]¹⁶ Jovanović, R., *Osovinski sklopovi željezničkih vozila*, Saobraćajni institut, Beograd, 1996.

Mehanička obrada monoblok točka je danas dostigla veliki stepen unapređenja, s obzirom na to da je u poslednje vreme došlo do ekspanzije razvoja mašinske industrije, a pogotovo u razvijenim zemljama sveta.

Profil točka železničkih vučnih i vučenih vozila, zbog svog geometrijskog oblika možemo podeliti po zonama, a svka zona ima svoju vitalnu funkciju pri procesu eksploatacije po koloseku. Na slici 3.5.2.1. su prikazane zone profila točka, a u tabeli 3.5.2.1. su definisani stručni nazivi zona profila točka, definisane od strane Međunarodnih Objava i Pravilnika.



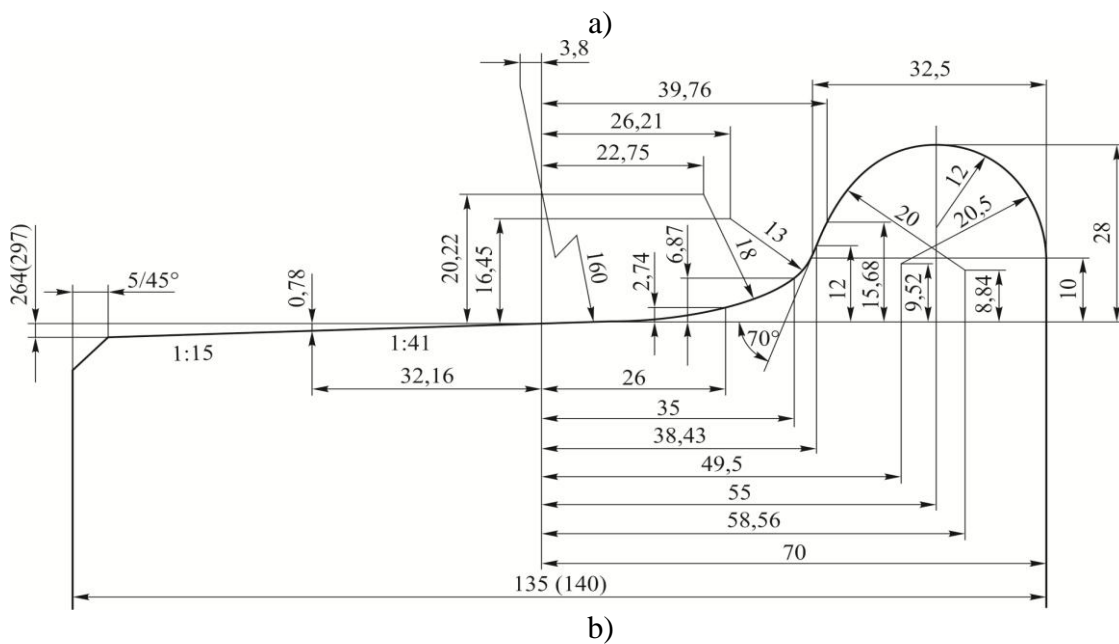
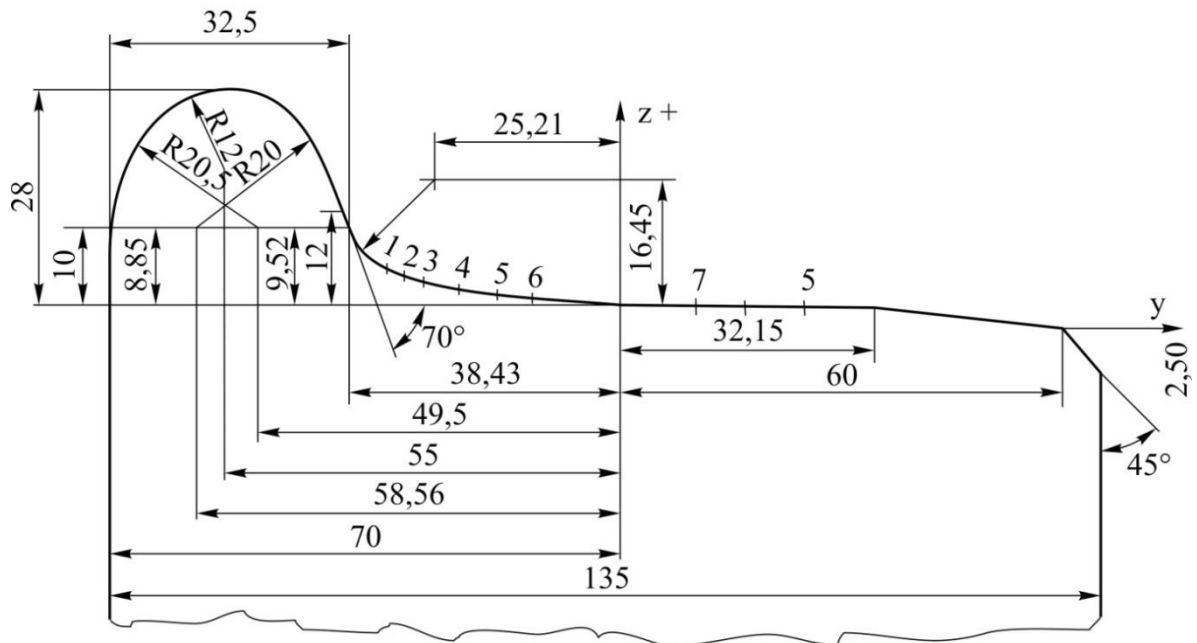
Slika 3.5.2.1. Zone profila točka železničkih vozila [140]¹⁷

Broj oznake	Opis zone profila točka
1.	Unutrašnja površina oboda monoblok točka
2.	Unutrašnja površina venca monoblok točka
3.	Vrh venca točka
4.	Spoljašnja površina venca monoblok točka
5.	Zaobljenje profila trčanja
6.	Površina kotrljanja venca točka
7.	Podužni nagib spoljašnjeg dela trčee površine
8.	Spoljašnja kosina profila trčanja
9.	Spoljašnja površina oboda monoblok točka

Slovna oznaka	Opis zone profila točka
a	Visina venca monoblok točka
b	Debljina venca monoblok točka
c	Širina oboda monoblok točka
d	Prečnik trčee površine monoblok točka
$r_1, r_2, i r_3,$	Poluprečnici zaobljenog kraja venca
r_4	Poluprečnik zaobljenog profila trčanja
δ	Ugao spoljašnje površine venca točka

Tabela 3.5.2.1. Opis zona profila monoblok točka [140]

[140]¹⁷ Standardi i objave ORE – UIC, iz oblasti točkova i osovina šinskih vozila.



Sika 3.2.5.2. Profil točka kotrljanja

a) Profil točka GOST 9036-76.

b) Profil točka UIC-ORE (koriste ŽRS, ŽS, FŽBiH i ostalih železničkih uprava u okruženju). [140]¹⁸

3.2.6. Matematički prikaz "UIC -ERRI" standardnog profila

Kao kod diska monoblok točka, sličan uticaj ima i funkcija promene profila monoblok točka[139],

$$Z = f(y) \quad [3.1]$$

[140]¹⁸ Standardi i objave ORE – UIC, iz oblasti točkova i osovina šinskih vozila.

Tako su pored date funkcije profila UIC-a, istraživanja MAV železnice (Mađarska) ukazala da je hiperbola [3.2], odgovarajuća onom profilu koji na toj železnici ima optimalan vek trajanja točkova.

$$\left(y = a + \frac{b}{x} \right) \quad [3.2]$$

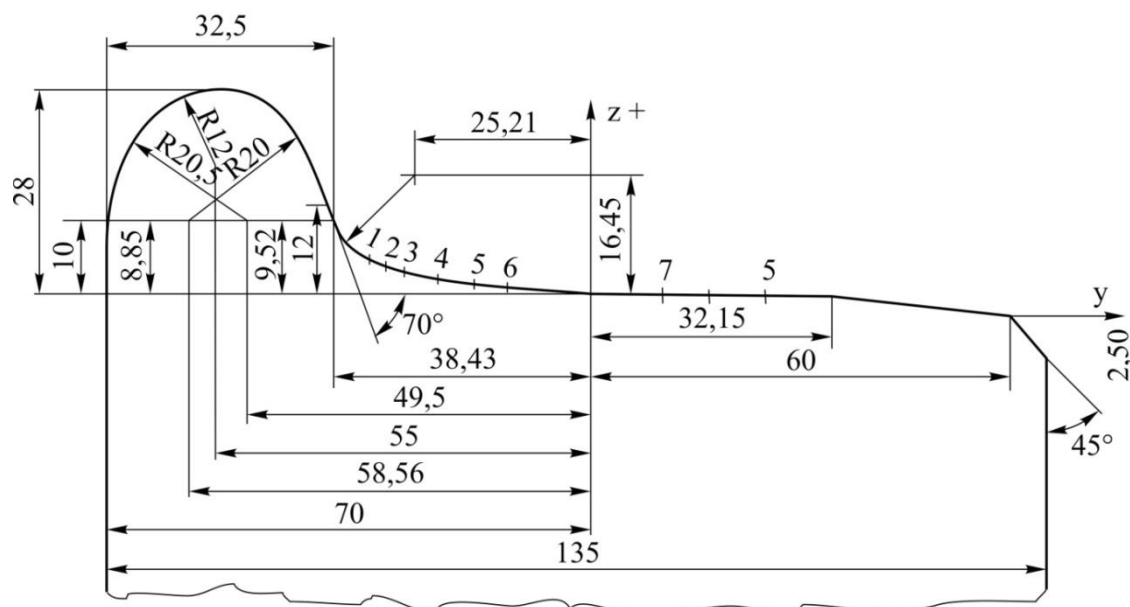
Ispitivanjima u Rusiji došlo se do saznanja da je kod njih optimalan profil točka parabola tipa

$$y = ax^b e^{cx} \quad [3.3]$$

gde su faktori: $a = 4,8$ do $5,4$; $b = 0,23$ do $0,25$; $c = 0,041$ do $0,053$.

Teoretskim istraživanjem Evropskog železničkog instituta, došlo se do saznanja da je profil točka UIC-ORRE koji se eksploatišu šinama tipa UIC-49 i UIC 60, a koje dominiraju Evropskim prugama, vek trajanja između profilisanja točka dva puta duži od oblika profila točka po standardu GOST 9036-76.

Na slici 3.2.6.1. prikazan je profil točka po UIC 812-3, u koordinatnom sistemu, a u tabeli 3.2.6.1 date su veličine koordinata.



Slika 3.2.6.1. Profil točka po UIC 812-3 u koordinatnom sistemu $Z = f(x)$.[140]¹⁹

Kota	1	2	3	4	5	6	7	8
Z	5,06	3,92	3,12	2,00	1,25	0,72	-0,20	-0,42
Y	-32,5	-30	-27,5	-22,5	-17,5	-12,5	10	25

Tabela 3.2.6.1. Koordinate UIC profila MBT.[139]

3.2.7. Habanje profila venca točka

Prvi počeci izučavanja ovog problema su bili zasnovani na uočenoj činjenici da je habanje profila točka, a pogotovo venca, najbrže kada je profil nov, a kasnije se usporava. Odatle je nastala ideja da je moguće doći do jedinstvenog najoptimalnijeg profila točka bazirajući se na geometrijski polaz istraživanja na taj delimično pohabani profil .

[140]¹⁹ Standardi i objave ORE – UIC, iz oblasti točkova i osovina šinskih vozila.

Pri eksploataciji svih železničkih vozila, neminovan je i prirodan proces habanja venca monoblok točka i površine kotrljanja, koji je grubo rečeno rezultat trenja nastalim između monoblok točka u dodiru sa šinom i papučom za kočenje. Tom neizbežnom mehaničkom pojavom, konstruktori su tehničko-tehnološki uredili funkciju odnosa, tako da je u sistemu trenja točak-šina element predviđen za veće habanje, točak. Pri brzom kočenju točak se ne okreće nego klizi i tako dolazi do mestimičnog trošenja i zagrevanja što dovodi do štetnih lokalnih promena u strukturi, pa čak i do pojava površinskih prslina, popularno nazvanih „ljusaka“ na gazećoj površini. Nakon ovakve pojave, neminovno je profilisanje monoblok točka, gde se, tom prilikom, prečnik umanjuje i za 15-35 mm. Povećano habanje venca i površine kotrljanja monoblok točka javlja se na prugama sa dotrajalim šinama i trasama sa mnogo krivina, što je na prostoru naših zemalja uglavnom zastupljeno.

Enormno trošenje venca i površine kruga kotrljanja monoblok točkova jeste na prugama sa većim padovima gde se u tom slučaju intenzivnije upotrebljavaju kočnice koje proizvode trošenje venaca. Ovo čak može rezultirati u predgrevanje točkova i dodatnog naponskog stanja u monoblok točkova, što često dovodi do promene čvrstoće materijala točka i time bude ugrožena bezbednost saobraćaja.

Isto tako, na enormnim uzbrdicama (usponima) često se primenjuje upotreba peska na vučnom vozilu (lokomotiva, pružno vozilo) radi sprečavanja proklizavanja, naročito u uslovima kada je kišno vreme ili sneg, te pesak koji sadrži elemente kvarcnih karbida, tvrdih mehaničkih karakteristika od materijala, monoblok točka kvaliteta ER7, znatno utiče na habanje profila dodira točaka sa šinom, svih vučenih železničkih vozila i tako ubrzano dovodi do enormnog trošenja venaca točka.

Pored toga bitno je napomenuti da na području železničkih uprava u okruženju se ne izvodi propisno održavanje šina kako na lokalnim istrošenim mestima šina, tako i na mestima spajanja šina varenjem, te je i time osjetno uvećano habanje profila kotrljanja točkova.

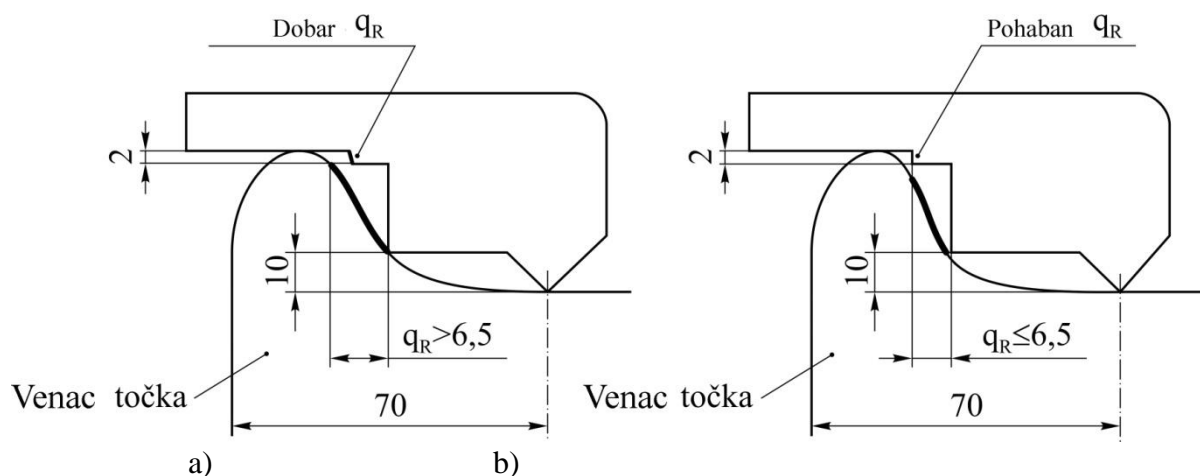
U svim letnjim mesecima trenje monoblok točkova je za 30% veće nego u kišnim periodima, a tada su habanja drastično veća te se potreba za profilisanjem, odnosno za regeneracijom i profilisanjem uvećava za 30% i više. Ispravnom eksploatacijom, tj. primenom kočnice i kvalitetnim održavanjem koloseka, između dva profilisanja, točkovi treba da pređu približno od 150.000 do 200 000 km.

Sve navedeni mehanički, konstrukcioni i procesno-eksploatacioni uzroci koji proizvode habanje venca i ostale površine dodira sa šinom i kočionom papučom, uslovljavaju za obaveznom tehničko-tehnološkom intervencijom, tj. za novim profilisanjem ili, eventualno, obnavljanjem venca navarivanjem, o čemu ova doktorska disertacija i teži da svojim istraživanjem omogući železničkim upravama u okruženju usvajanje i pristupanje ka praktičnoj primeni, za šta bi se znatno poboljšao ekonomski efekat železničkim upravama.

Za umanjeno procesa habanja venca monoblok točka, mnogi železnički instituti Evrope ulažu ogromna sredstva za iznalaženje najoptimalnije geometrije profila točka. Pomenuli smo, da su UIC i ORE trenutno definisali najpovoljniji geometrijski oblik profila točka, što ne znači da je to idelno rešenje, naprotiv, istraživači razvijenih zemalja su u stalnom praćenju i iznalaženju još optimalnijeg rešenja geometrije kruga kotrljanja, a pogotovo venca točka, pošto je on parametr kontrole pri eksploataciji i ocene za mogućnost nasatavka eksploatacije ili obaveznom tehničkom intervencijom-profilisanjem. Razlog ovom angažovanju stručnjaka i instituta jeste da potrošnja venca točka značajno čini trošak železničkim korporacijama, a time i sopstvenoj državi.

Tokom eksploatacije šinskih vozila habanje venca točkova se kontroliše karakterističnim merama: visinom venca V_v , debljinom venca D_v i merom q_R koja karakteriše nagib (strminu) i radijus korena venca. Količina materijala koja se skida prilikom reprofilsanja, zavisi od karaktera pohabanosti profila, a kreće u eksternim slučajevima i do 50 kg po točku.

Na slici 3.2.7.1. prikazan je profil granične vrednosti venca monoblok točka, gde su aktivne površine venca u meri (a) i venac točka gde su aktivne površine istrošene (b).



Slika 3.2.7.1. Granične veličine profila venca monoblok točka [143]²⁰

U cilju definisanja sasvim novog pouzdanog postupka održavanja venca obnavljanjem monoblok točka kvaliteta ER7, neophodno je pored navednih, istražiti sve relevantne geometrijske uzročnike koji produkuju ubrzano trošnje venaca. Sa te osnove nastojaćemo da ovo teoretsko istraživanje u doktorskoj disertaciji potkrepimo tezama Evropskih istraživača ovog problema i time reprezentujemo najuticajnije elemente koji produkuju ovu pojavu, a sigurni smo, da ona polazi od osnove spoja osovinskog sklopa i to u kontaktu točak–šina pri procesu kretanja po koloseku.

3.2.7.1. Opšte o dodiru točka i šine

Kad se točak sa opterećenjem od 90 do 150 kN osloni na šinu, oba tela u tački kontakta dobiju ugib, što rezultira kontaktnom površinom od 1,5 do 2,0 cm². Ta mala površ gde se susižu oba elementa obezbeđuju četiri osnovne funkcije: nosi vozilo, održava ga da se kotrlja po projektovanoj trasi, vodi ga kroz krivine, prenosi sile pokretanja i kočenja.

Vremenom se sve više zahtevalo od geometrijskog oblika kontakta površine dodira točak–šina u cilju povećanja brzine, uvećanja osovinskog opterećenja, dok je dinamika vozila unapređivana. Nekada su zahtevi suprostavljajući: za velike brzine od vozila se traži kruće horizontalno rešenje, što u krivinama povećava sile. Naponi pritiska po kontaktnoj površini (vršne vrednosti oko 1000 Mpa) više nego što šinski čelik može da podnese elastično. Kako je okolina neopterećena, čelik biva istisnut - mikrostruktura biva poremećena duž zrnastih granica u čeliku, pa će se šina plastično deformisati i habati.

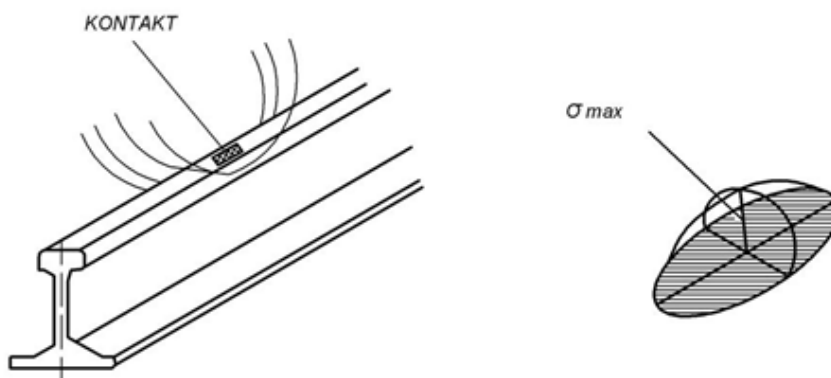
Osnovni parametri koji definišu kontakt točak–šina su: athezija, klizanje i habanje. Usvaja se da habanje uključuje odnošenje materijala usled plastičnog tečenja sa dodirne površine točka i šine. Adhezija i klizanje utiču jedno na drugo i menjaju oba aspekta habanja.

[143]²⁰ Standardi JŽS B1.025: Profil oblika točka i monoblok točka (Oblik i mere), Beograd, 1990.

Habanja i plastično tečenje je u bliskoj vezi sa geometrijom profila točka i šine i znatano utiče na dinamiku vozila.

Površina kontakta između točka i šine, kao geometrijska karakteristika zavisi od radijusa krivina dodirnih površina. Priroda sila na kontaktu će zavisiti i od uslova površine i okoline, koji uključuju hrapavost, prisustvo vode, snega, ulja, prljavština. Osobine materijala i profila točka i šine definišu njihovo sadejstvo, a najvažniji su: tvrdoća, žilavost i termička provodljivost materijala.

Hercova teorija objašnjava da elastična deformacija čelika točka i šine oformljuje elastičnu kontaktnu površinu, čija veličina je određena normalnom silom, a odnos osa elipsa zavisi od zakretljivosti profila točka i šine. Oslanjanje točka na šinu može da se dogodi u jednoj ili dve tačke slika 3.2.7.1.1. Koji slučaj će se desiti zavisi od stepena pohabanosti točka i šine koji su u dodiru a prema tabeli 3.2.7.1.1.



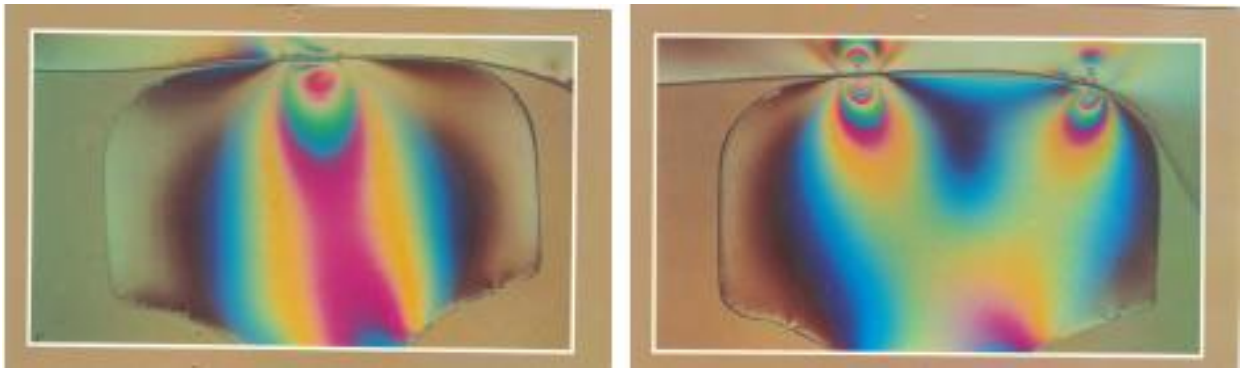
Slika 3.2.7.1.1. Otisak dodira točka na šinu

Kontakt u dve tačke nastaje obavezno i u krivinama gde usmeravajući osovinski slog gubi slobodu radijalnog samopozicioniranja, izazivajući usmeravajuću silu venca na spoljašnoj šini i primoravajući oba točka da prokliznu u pravcu centra krivine, prouzrokujući sile trenja na obe šine. Tačke dodira i raspored napona unutar glave šine za obe mogućnosti kontakta dobijen fotoelastičnim merenjem, dat je na slici 3.2.7.1.2.

Točak	Šina	Oblik dodira
Stanje istrošenosti		
Nov	Nova	Sigurno u dve tačke
Pohaban	Nova	U jednoj tački
Nov	Pohabana	U jednoj tački
Pohaban	Pohabana	Većinom u dve tačke

Tabela 3.2.7.1.1. Dodir točka i šine u zavisnosti od istrošenosti [57]²¹

[57]²¹ Dodir šina-točak, General Railwaz Review, Pariz, Br. 10, 1974.



a)

b)

Slika 3.2.7.1.2. Tačke dodira i raspored napona unutar glave: a-kontakt u jednoj tački, b-kontakt u dve tačke dodira dobijen fotoelastičnim merenjem [69]²²

Maksimalni kontaktni napon u sredini elipsoida prema teoriji Herca i Beljajeva može se odrediti prema izrazu [3.4.]:

$$\sigma_{max} = \alpha^3 \sqrt{\frac{QE^2}{R^2}} \quad \text{gde je koeficijent: } \alpha = \alpha\left(\frac{r}{R}\right), \text{ dat u tabeli 3.2.7.1. 2, [3.4.]}^{23}$$

r – radijus krivine šinske glave,

R – radijus krivine točka.

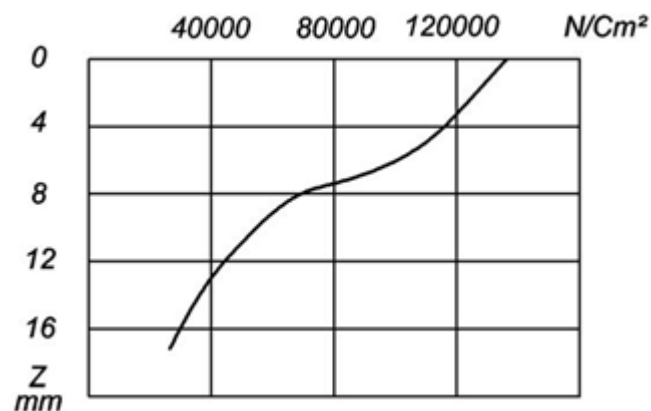
r/R	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.15	0.10	0.05	0.01
α	0.388	0.400	0.420	0.440	0.468	0.490	0.536	0.600	0.716	0.800	0.970	1.280	2.271

Tabela 3.2.7.1. 2. Koeficijent “ α ” sa odgovarajuće odnose r/R [68]

Vremenom, usled habanja, radijus iskrivljenja glave šine postaje beskonačan, te kontaktna površ postaje pravougaona, a kontaktni napon konstantan i za proračun se može usvojiti:

$$\sigma_{rač} = 0.6\sigma_{max} \quad [3.5]$$

Raspored kontaktnog napona po dubini šinske glave z dat je na slici 3.2.7.1.3.



Slika 3.2.7.1.3. Kontaktni naponi [69]²⁴

[69]²² ERRI pitanje D 72 - Analitička studija dodira točak/ukrštaj, Revue Generale des Chemins de fer, Februar 1962

[57]²³ Dodir šina-točak, General Railwaz Review, Pariz, Br. 10, 1974.

Maksimalni smičući napon u šinskoj glavi se iskazuje po obrazcu [3.6]²⁵:

$$\tau_{\max} = 0,3\sigma_{\text{rač}} \quad [3.6]$$

i dešava se upravno na šinu i na 4-6 mm dubine ispod kotrljajuće površi glave šine. Za veće vrdnosti sile trenja, površine u dodiru ne mogu da podnesu deformaciju i prokliznuće. Kako sila trenja postaje sve veća, klizanje se dešava na stalno povećavajućem delu kontaktne površi, sve do cele površi.

Kalker je razvio linearnu teoriju kontaktnog kotrljanja, koja preporučuje da sa vrlo malo klizanja i proklizavanja, područje klizanja bude tako malo da se može zanemariti. Zona athezije, s toga može da se usvoji da pokriva čitavo područje dodira sa konstantnim koeficijentom trenja. Ova teorija je pogodna za mala opterećenja točkom, čelike točka i šine velike tvrdoće i uslove novih i čistih točkova i šina. Međutim kako je u stvarnim uslovima u koloseku prisutno habanje sa velikim plastičnim tečenjem usled kontaktnih napona, postoji znatno odstupanje i od Hercovog i od Kalkerove teorije. Radijusi krivina i veličine kontaktnih površi radi toga se stalno menjaju, brže u početku, sa kasnijom sporom promenom (stabilizacijom). Kod težih železničkih vozila te promene su brže i veće. Faktori koji utiču na taj proces su:

- površina kontakta, odnosno veličina kontaktnog napona,
- plastičnost čelika,
- otpornost na habanje,
- površinska hrapavost i zaprljanost,
- nanešena opterećenja u tački dodira kontakta točak-šina.

Veličina kontaktnih napona između točka i šine je od 45 do 80 kN/cm². Moment savijanja u šini na sredini međupragovskog razmaka izazivaju napone savijanja šine od $\pm 5,5$ do $\pm 11,5$ kN/cm², kod UIC pruga i vozova, a na našim prugama napon je znatno veći. Ovaj moment zavisi od međupragovskog rastojanja, vrste šine i vertikalnog opterećenja točka na šinu, kao i od bočnih sila Y (t).

3.2.7.2. Sile u tački dodira točak šina i posledice habanja venca

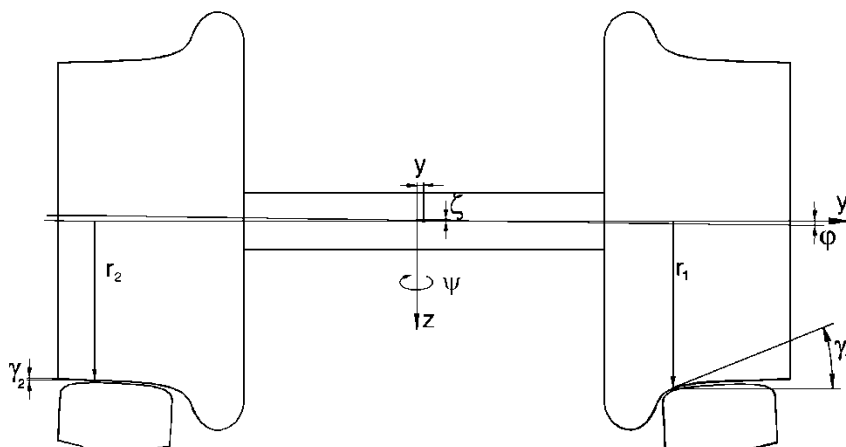
Kretanje šinskih vozila po koloseku je direktno zavisno od veze točak-šina. Ta veza se karakteriše silama koje se pojavljuju u dodiru. Za određivanje sila u dodiru potrebno je poznavati niz geometrijskih veličina, koje se tokom kretanja osovinskog sklopa po koloseku menjaju u zavisnosti od trenutnog položaja osovinskog sklopa u odnosu na kolosek. Položaj napadnih tačaka, pravci sila, a indirektno i intezitet sila u dodiru, zavise i od niza geometrijskih veličina, u koje spadaju:

1. Položaj tačke dodira na levom i desnom točku,
2. Položaj tačke dodira na levoj i desnoj šini
3. Poluprečnici trenutnih krugova kotrljanja u tačkama dodira (r_1, r_2) i njihova razlika (Δr),
4. Ekvivalentna konačnost
5. Ugao nagiba profila u tačkama dodira (γ_1, γ_2),
6. Poluprečnici krivine profila točka i šine u tačkama dodira,
7. Koeficijent ahaercovih kontaktnih napona u dodirnim tačkama kao merilo tih napona,

[69]²⁵ ERII pitanje D 72 - *Analitička studija dodira točak/ukrštaj*, , Revue Generale des Chemins de fer, Februar 1962

8. Ugao nagiba osovinskog sklopa prema horizontu (φ) i vertikalno pomeranje njegovog težišta(ζ)

Na slici 3.2.7.2.1. su prikazane pojedine od navednih veličina, koje se menjaju sa položajem osovinskog sklopa u odnosu na kolosek, te ih nazivamo funkcijama geometrije dodira. Položaj osovinskog sklopa u odnosu na kolosek definišemo sa koordinatom bočnog otklona od srednjeg položaja – Y ose, dok je ugao zakretanja oko vertikalne ose zanemarljiv- ψ . Možemo zaključiti da u ovakvom slučaju dolazi do neravnomernog habanja.



Slika 3.2.7.2.1. Veličine koje su u funkciji geometrije dodira [69]²⁶

Oblik funkcija geometrije dodira zavisi od sledećih parametara:

- Oblik profila točka,
- Oblik profila šine,
- Ugao nagiba ugrađene šine (najčešća je 1:20 i 1:40)
- Stvarna širina koloseka i spoljašnje rastojanje venca točkova u okviru dopuštenih graničnih tolerancija.

Tokom eksploatacije navedeni parametri se menjaju zbog habanja kruga kotrljanja točka kao i šine i znatno utiču na postojanost geometrijskih veličina venca točka.

Osnovni aspekti koji ilustruju uticaj i značaj geometrije dodira na sile između točka i šine i to [69]:

1. Kretanje maksimalnom brzinom na pravcu, kada se, pod određenim nepovoljnim uslovima može pojaviti intezivno vijuganje osovina, koje podrazumeva ekstremno velike bočne dinamičke sile.
2. Slučaj prolaska kroz krivinu, kada je sve vreme prisutna obična komponenta sile koja vrši skretanje vozila.

U oba navedena slučaja geometrija dodira ima vrlo bitnu ulogu pri procesu eksploatacije i trošenja profila kotrljanja.

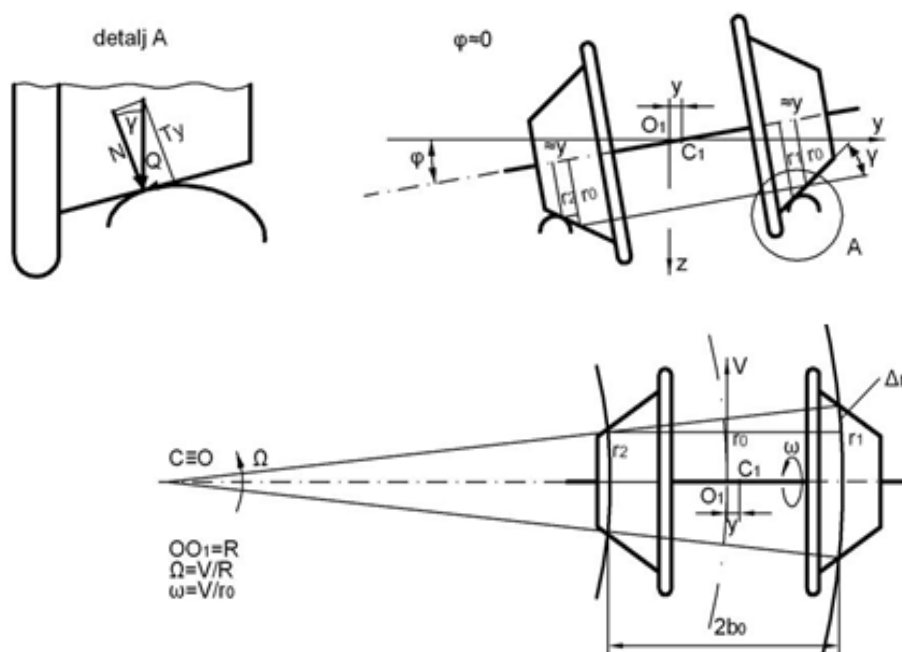
Iz navedenog, možemo zaključiti da mnogo tehničkih i geometrijskih parametra utiču na vek postojanosti venca i profila točka. U ovom delu doktoroske disertacije, pored

[69]²⁶ ERRI pitanje D 72 - *Analitička studija dodira točak/ukrštaj*, , Revue Generale des Chemins de fer, Februar 1962

pomenutog pririodnog procesa potrošnje profila točka, koje nastaje usled trenja nastalim između monoblok točka u dodiru sa šinom i papučom za kočenje, obradićemo i one aspekte koji ilustruju znatan uticaj i značaj geometrije dodira na sile između točka i šine, a tim slučajem se produkuju uvećana terenja, a time habanja venca ili profila kotrljanja monoblok točka kvaliteta ER7.

1. Habanje venca točka pri prolasku kroz krivinu bez klizanja,
2. Habanje venca točka pri prolasku kroz krivinu sa klizanjem,
3. Habanje venca točka pri promeni širine koloseka,
4. Uticaj geometrije dodira na habanje venca,
5. Uticaj geometrije dodira na habanje venca od dejstva sopstvene sile.

3.2.7.2.1. Habanje venca točka pri prolasku kroz krivinu bez klizanja



Slika 3.2.7.2.2. Sile pri prolazu kroz krivine bez klizanja [69]²⁷

Kod (kvanzi) koničnog oblika točka omogućeno je da osovinski sklop bez klizanja savlada dozvoljene krivine, tako što se venac točka koji je na vanjskom radijusu krivine približava šini i time prelazi duži put (povećava se prečnik kruga kotrljanja) u odnosu na unutrašnji točak, slika 3.2.7.2.2. Ovo ima za posledicu i uvećano habanje venca točka u ekstremnim slučajevima kada je venac u neposrednom kontaktu sa šinom, u odnosu na unutrašnji venac točka koji nije u neposrednom kontaktu sa šinom. U ovom slučaju osovinski sklop je pomeren u desnu stranu za veličinu y . Sa slike je vidljivo da funkcija $\Delta r(y)$ predstavlja jednu od funkcija geometrije dodira, a na osnovu izraza [3.7] ta funkcija je linearna.

$$\begin{aligned}
 r_1 &= r_0 + n \cdot y \\
 r_2 &= r_0 - n \cdot y \\
 \Delta r &= (r_1 - r_2) = 2n \cdot y \\
 p_0 &= \frac{r_1 + r_2}{2}
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

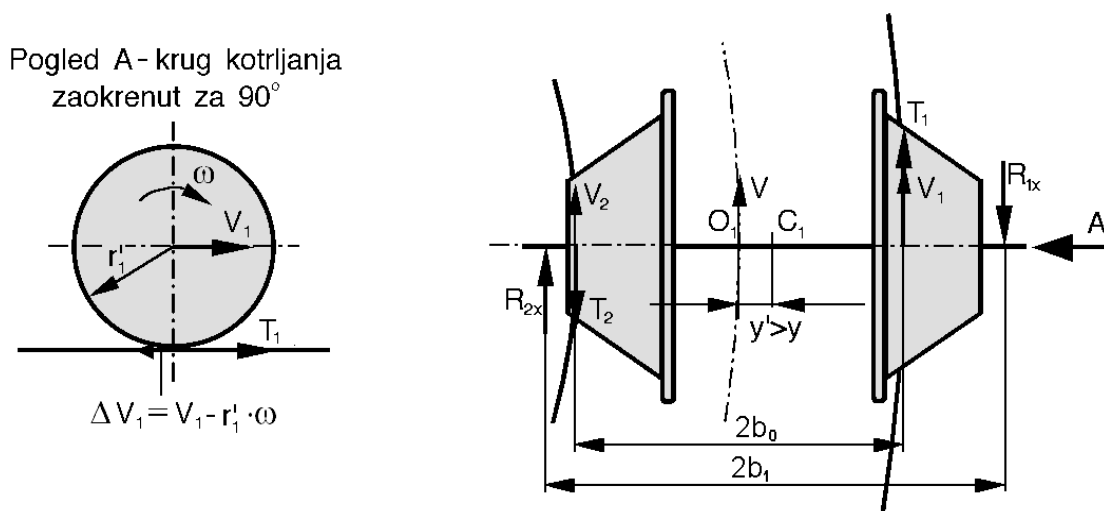
[69]²⁷ ERRI pitanje D 72 - Analitička studija dodira točak/ukrštaj, , Revue Generale des Chemins de fer, Februar 1962

3.2.7.2.2. Habanje venca točka pri prolazku kroz krivinu sa klizanjem

U slučajevima kada osovinski sklop koji je u sastavu nekog železničkog vozila koje prolazi kroz krivinu konstantnom brzinom V , tj rotira oko centa krivine O ugaonom brzinom Ω , centri krugova kotrljanja će, preko veze sa kolskim sandukom, biti prinuđen da vreme prolaza održavaju brzine date relacijom[3.8]:

$$\Delta V_1 = V_1 - r_1' \cdot \omega = r_1 \cdot \omega - r_1' \cdot \omega = (r_1 - r_1') \cdot \omega < 0 \quad [3.8]$$

Pretpostavimo da je osovinski sklop iz bilo kojeg razloga “suviše“ pomeren ka spoljašnjoj šini tako da je njegov položaj određen $y' > y_0$, $r_1' > r_1$, a $r_2' < r_2$. slika 3.2.7.2.3. Tačka dodira spoljašnjeg točka sa šinom imaće u odnosu na šinu relativnu brzinu:



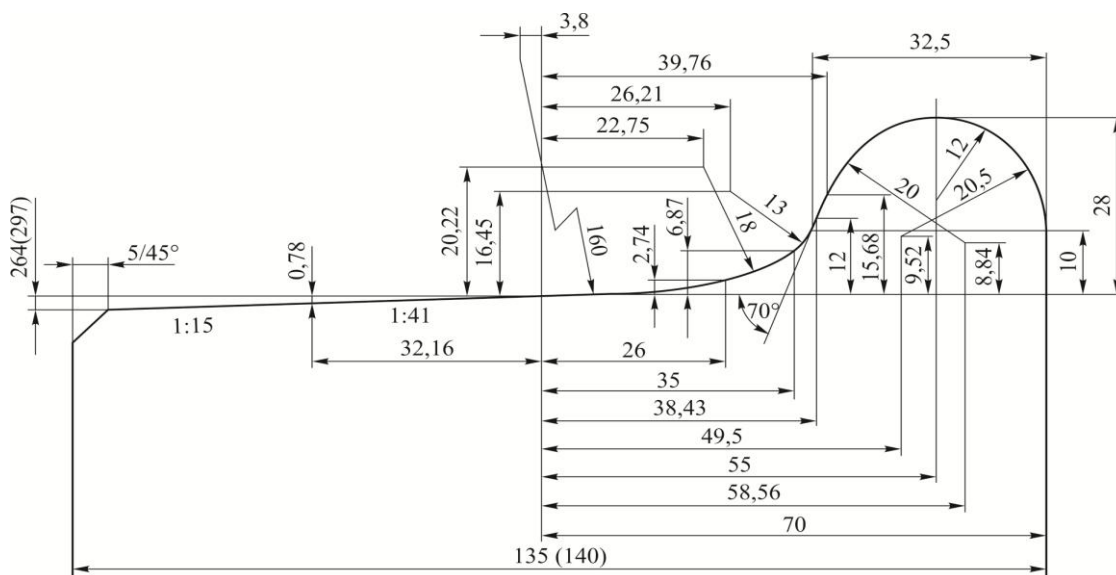
Slika 3.2.7.2.3. Uzdužne sile pri prolazku kroz krivinu sa klizanjem [69]²⁸

To znači da postoji relativno klizanje unazad, a kao posledica se javlja sila trenja T_1 usmerena unapred, što produkuje znatno brže trošenje profila venca. Na unutrašnjem točku je obrnuto.

$$\Delta V_2 = V_2 - r_2' \cdot \omega = r_2 \cdot \omega - r_2' \cdot \omega = (r_2 - r_2') \cdot \omega > 0, \quad [3.9]$$

Iz prethodnih razmatranja, vidan je značaj geometrije dodira, kako za prolazak kroz krivinu tako i za uvećano ili normalno trošenje profila venca i površine kotrljanja monoblok točka. Za pouzdani prolazak osovinskog sklopa kroz krivine i normalno trošenje profila kotrljanja neophodno je da geometrijski oblik profila kotrljanja točka profilišemo kao na slici 3.2.7.2.4.

[69]²⁸ ERRI pitanje D 72 - Analitička studija dodira točak/ukrštaj, , Revue Generale des Chemins de fer, Februar 1962



Slika 3.2.7.2.4. Profil točka UIC-ORE

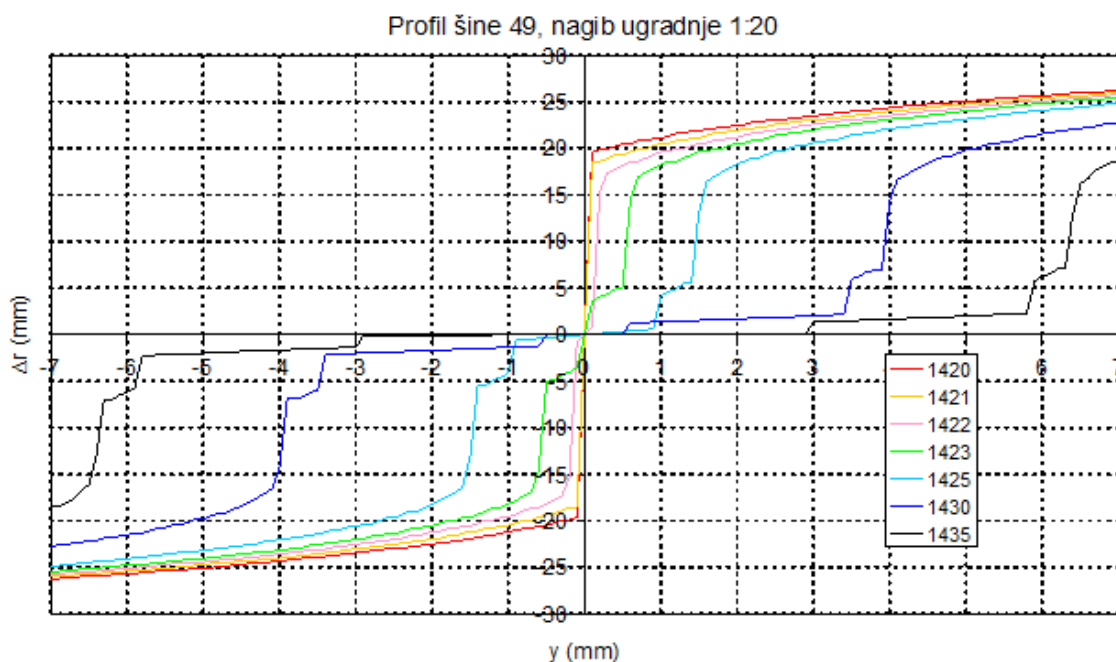
Željeznice Republike Srpske i Želznice Srbije, dominiraju prugama sa dosta oštih krivina, pa je očigledno da se pruge ŽRS i ŽS sa nagibom ugradnje šina 1:20 profila točka UIC-ORE nije pogodno, ali je u međunarodnom saobraćaju obavezno. Profil točka ŽRS i ŽS koji je skoro isti kao profil UIC-OER, takođe nije pogodan u pogledu uticaja na habanje venca na prugama sa mnogo krivina.

3.2.7.2.3. Habanje venca točka pri promeni širine koloseka

Izvodom iz zapisa službi koje održavaju kolosek na nivou železničkih uprava BiH, možemo konstatovati da na pojedinim mestima pruga BiH postoje suženja koloseka i do 1420 mm, istina na kratkim rastojanjima. Na osnovu te stvarne konsatacije, ovde ćemo se poslužiti simulacionim proračunom, analizirati nailazak jednog šinskog vozila na takvo suženje na dužini od 2 m, koji je činio saobraćajni institut "CIP" [49], Republike Srbije.

U tom istraživačkom radu, korišćen je program GED, pomoću koga su izračunate funkcije geometrije dodira venac-šina, za različite širine koloseka između 1435 i 1420 mm. Istrživanje je primenjeno koršćenjem novih profila točkova UIC 812-3-ORE u paru sa šinom tipa koje dominiraju na našim prugama, tj „49“ i nagibom ugradnje šine 1:20.

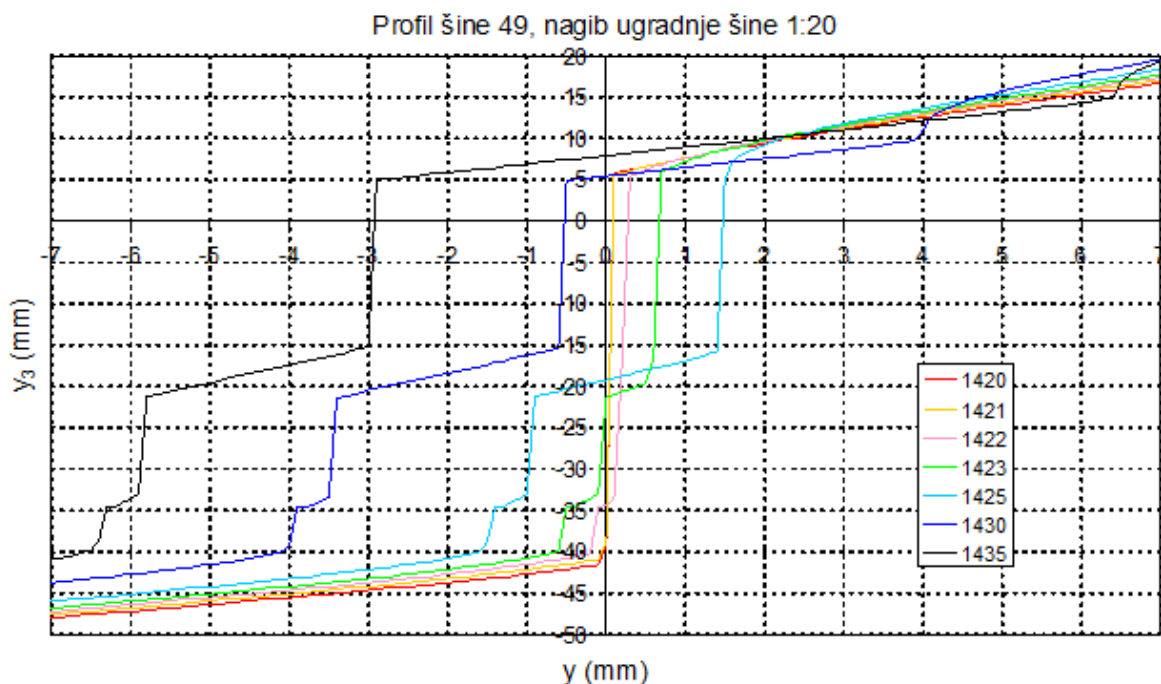
Na slici 3.2.7.2.5. je prikazana funkcija Δr navednog para profila za različite širine koloseka. Za normalnu širinu koloseka od 1435 m, postoji bočni zazor osovinskog sklopa u kolseku od $y = \pm 6,3$ mm. Iz toga dolazi do naglog skoka ove funkcije koji predstavlja početak penjanja točka na šinu. U ovom slučaju trenje koje nastaje između venca i boka šine (bočni zazor) je relativno malo naročito kada se radi o kolseku bez krivina. Sa smanjenjem širine koloseka, ovaj se zazor smanjuje. Tako, pri širini koloseka 1430 mm, bočni zazor pada na $y = \pm 3,9$, a pri širini koloseka 1425 mm iznosi samo $y = \pm 1,4$ mm. Poslednja smanjena širina koloseka pri kojoj novi profil točka može da pređe bez penjanja na nagib ka vencu je 1423 mm.



Slika 3.2.7.2.5. Δr funkcija pri različitim širinama koloseka [68]²⁹

Pri širini koloseka manjoj od 1423 mm ne postoji više bočni zazor osovinskog sklopa u koloseku, a pri 1421 mm se točkovi kotrljaju po delu venca sa nagibom od 70° . U ovom slučaju nastaje enormno trošenje profila venca koje produkuje vanplanskom profilisanju.

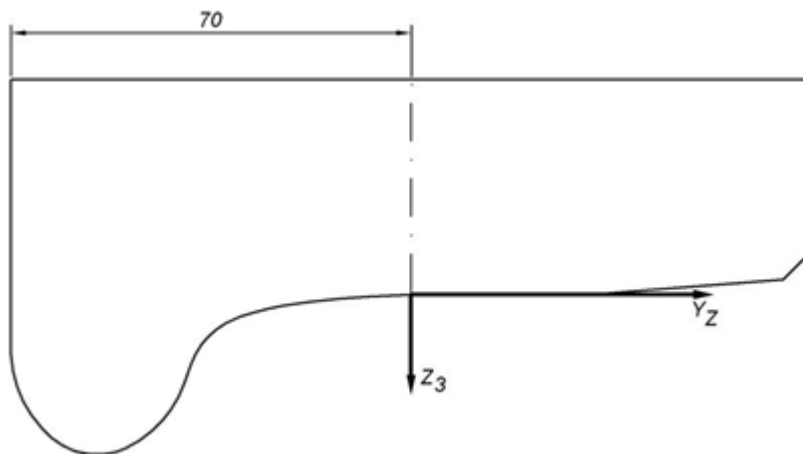
Na slici 3.2.7.1.6. je prikazan izračunati položaj tačke dodira na profil točka, pri različitim širinama koloseka, u funkciji bočnog pomeranja osovinskog sklopa u odnosu na kolosek-y. Koordinate y_3 tačke dodira točak-šina na profilu točka se meri od minimalnog kruga kotrljanja na spoljašnju stranu slika 3.2.7.2.7.



Slika 3.2.7.2.6. Položaj tačke dodira na profilu točka [69]³⁰

[69]²⁹ ERRI pitanje D 72 - Analitička studija dodira točak/ukrštaj, , Revue Generale des Chemins de fer, Februar 1962

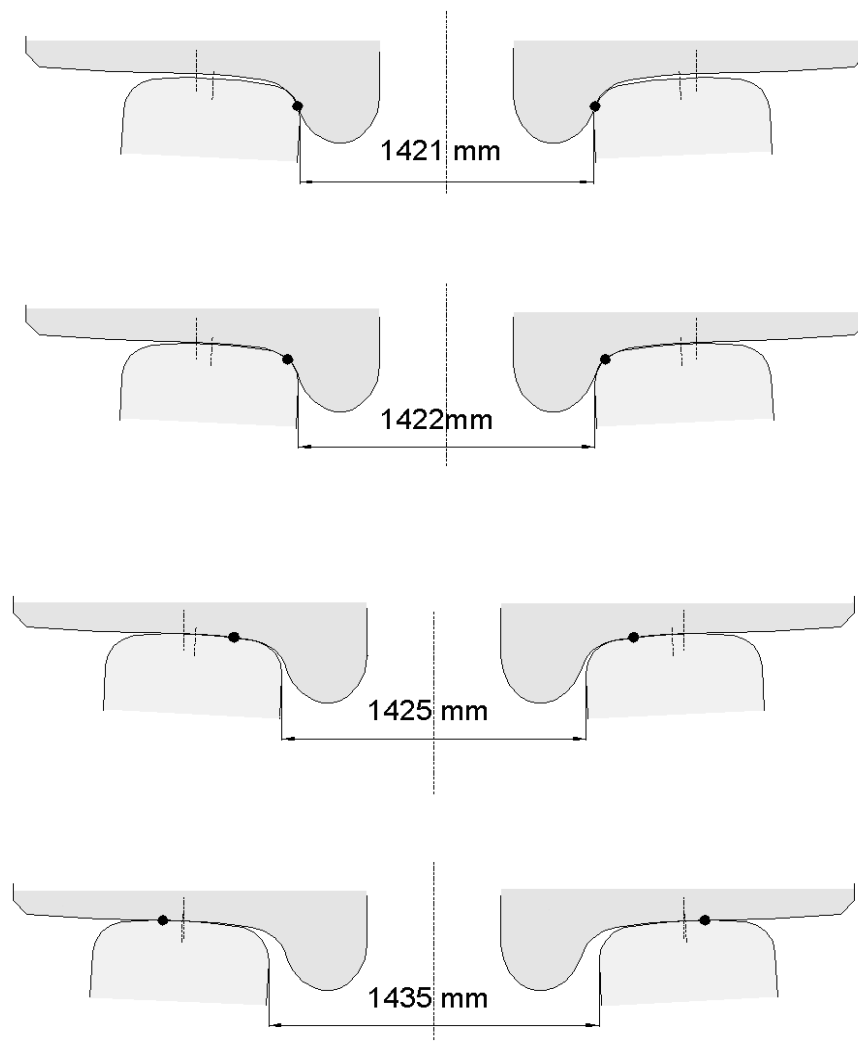
Za ovo razmatranje je značajno samo simetrični položaj osovinskog sklopa kada je $y = 0$. Sa slika 3.2.7.2.7. se može videti da se pri promeni širine koloseka od 1435 mm do 1420 mm tačka dodira na profil točka pomera od $z_3 = + 8,0$ mm do $z_3 = -38,8$ mm. Za nekoliko karakterističnih širina koloseka je ovo grafički ilustrovano na slici 3.2.7.2.8.



Slika 3.2.7.1.7. Profil kotrljanja točka u kordinatnom sistemu[69]

Suženje koloseka dovodi do porasta bočnih sila, zbog činjenice da se dodir točak-šina sa suženjem koloseka pomera ka vencu točka koji uvećava otpor kotrljanja, odnosno povećava se trenje, a time i habanje profila venca točka. Uvećani proces habanja venca, u ovakvim slučajevima nastaje kada su vagoni natovareni teretom, a time rezultira vertikalnom silom na točak i još više uvećava otpor kretanja, odnosno habanje.

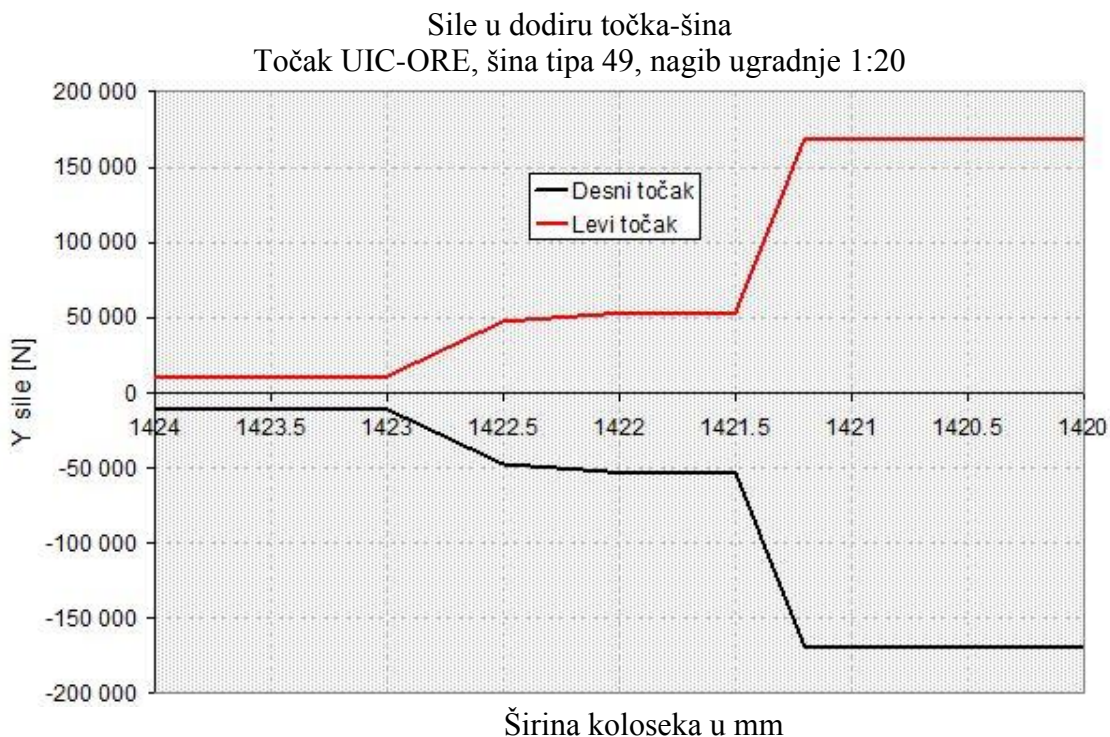
[69]³⁰ ERRI pitanje D 72 - *Analitička studija dodira točak/ukrštaj*, , Revue Generale des Chemins de fer, Februar 1962



Slika 3.2.7.2.8. Položaj tačke dodira pri različitim širinama koloseka

Suženje koloseka dovodi do porasta bočnih sila, zbog činjenice da se dodir točak-šina sa suženjem koloseka pomera ka vencu točka koji uvećava otpor kotrljanja, odnosno povećava se trenje, a time i habanje profila venca točka. Uvećani proces habanja venca, u ovakvim slučajevima nastaje kada su vagoni natovareni teretom, a time rezultira vertikalnom silom na točak i još više uvećava otpor kretanja, odnosno habanje.

U cilju smanjenja trošenja profila točka i šine, kao mogućih mehaničkih oštećenja točka i šine sa porastom bočne sile, u Saobraćajnom institutu CIP, izračunali su porast bočnih sila na oba točka u funkciji širine koloseka. Konstatovali su da bočne sile pri smanjenju širine koloseka ispod 1423 mm narasta najpre sa oko 11 kN na oko 53 kN. Pri smanjenju širine koloseka ispod 1422 mm bočna sila drastično skače na 169 kN slika 3.2.7.2.9.



Slika 3.2.7.2.9. Bočne sile na točkovima pri kretanju po suženom koloseku s vertikalnim opterećenjem 62 kN [134]³¹

Izračunate bočne sile na koloseku širine ispod 1422 mm pod navedenim uslovima su izuzetno velike, te pored uvećanog trošenja profila venca točka, mogu izazvati oštećenja šina, čupanje pričvrstnog pribora i oštećenje točkova. Bitno je poznavati da je prema UIC 510-5, za proračun čvrstoće točkova na zamor merodavna bočna sila koja iznosi $0,7Q_0$ (Q_0 je statičko opterećenje po točku). Iz navednog možemo zaključiti, da je izračunata sila više od tri puta veća od sile merodavne za proračun čvrstoće točka na zamor, što je svakako nedopustivo čak i kao izuzetno opterećenje koje se može pojaviti samo par puta u veku točka.

Kad bi se uzela u obzir velika vitopernost koloseka, što je praktično i postojano, neregularnosti u ogibljenju, udarni impulsi pri nailasku osovine na prevelika suženja, debalans točkovnih pritisaka, te mase od 200 Kn/osovini i $R= 0,625$ elektrolokomotiva svih serija, moguće je očekivati udarne sile i od 250 do 300 kN, ap i više.

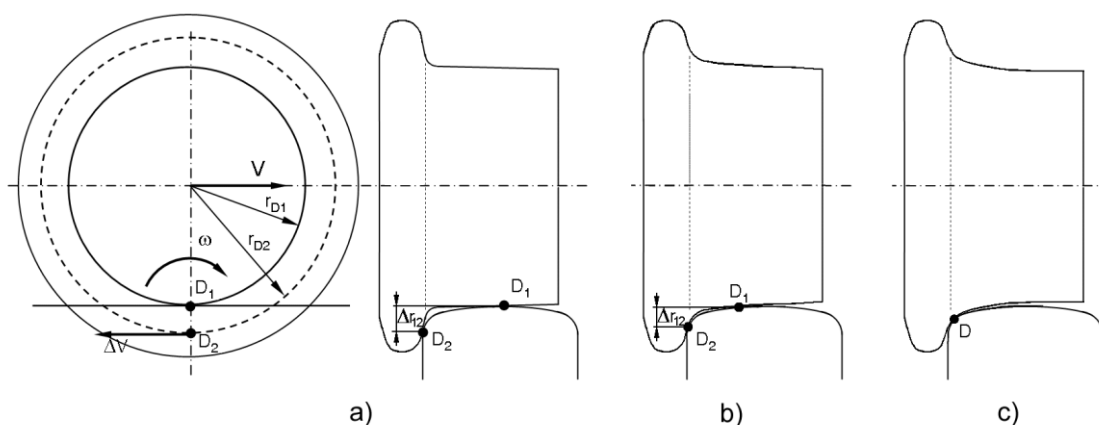
Ovakvo velike sile, na brojnim suženjima kakva su evidentna na prugama naših zemalja, enormno dovodi do trošenja parametra venca točka, a evidentno je i uzrok zavojnih lomova osovina reduktora vučnih železničkih vozila, na koncentracionom prelazu razlike prečnika. U ovom slučaju su bitne zavojne deformacije, više nego zavojni naponi u navedenoj zoni.

Ako ovome dodamo bočne neravnine na kolosečnim šinama između kontakta venac – bočna površina šine, što u realnim okolnostima i jesu, tada postoji manja ili veća proklizavanja, čije su posledice sile trenja i habanja geometrijskih površina kruga kotrljanja.

[134]³¹ Simić, G., *Istraživanje realne geometrije dodira točak-šina*, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd 1997.

3.2.7.2.4. Uticaj geometrije dodira na habanje venca

U savremenoj literaturi se intezitet habanja ocenjuje preko indeksa habanja, koji predstavlja rad tangencionalnih sila u dodiru točak-šina po jedinici pređenog puta. U slučaju dodira u dve tačke taj se indeks sastoji od dela vezanog za tačku D_1 i dela vezanog za tačku D_2 , slika 3.2.7.2.10. S obzirom da je redukovano klizanje daleko veće na vencu nego na površini kotrljanja, glavno habanje na prugama sa mnogo krivina je, ko što to i praksa potvrđuje, na vencu točka.



Slika 3.2.7.2.10. Uticaj geometrije dodira na habanje venca (Δr_{12})

U tački dodira D_2 na vencu, za naš slučaj je merodavna veličina rada sila trenja T_{x2} po jedinici pređenog puta. Dok tačka pređe put l , tačka D_2 prokliza za Δl , pa se za posmatrani slučaj indeks habanja može prikazati izrazom [3.10]³²:

$$I_h = \frac{T_{x2} \cdot \Delta l}{l} = \frac{T_{x2} \cdot \Delta V \cdot t}{V \cdot t} = \frac{T_{x2} \cdot \Delta V}{V} = T_{x2} \cdot \xi \quad [3.10]$$

$$\Delta V = \overline{D_1 D_2} \cdot \omega = \Delta r_{12} \cdot \omega$$

$$\Delta r_{12} = r_{D2} - r_{D1}, \quad \omega = \frac{V}{r_{D1}} \text{ - ugaona brzina obrtanja točka}$$

V – brzina kretanja osovinskog sklopa, odnosno šinskog vozila

Redukovano klizanje $\xi = \frac{\Delta V}{V}$ se može odredit koršćenjem relacije kao:

$$\xi = \frac{\Delta V}{V} = \frac{(r_{D2} - r_{D1}) \cdot \omega}{r_{D1} \cdot \omega} = \frac{\Delta r_{12}}{r_{D1}} \quad [3.11]$$

Pa ćemo za posmtrani slučaj imati

$$I_h = T_{x2} \cdot \frac{\Delta r_{12}}{r_{D1}} \quad [3.12]$$

$$\text{Sila } T_{x2} = \mu \cdot N_{D2} \quad [3.13]$$

N_{D2} - normalna reakcija u tački D_2 ,

μ - koeficijent trenja na vencu

[52]³² V.Lučnin, G.Simić i drugi, Metodologija utvrđivanja karaktera habanja točkova vučnih i vučenih vozila i razvoj optimalne geometrije dodira točak-šina za uslove JŽ, Izvještaj br. 5, Uticaj realne geometrije dodira na dinamičko ponašanje šinskih vozila i trošenje točka i šine, Izvještaj br. 5, Mašinski fakultet, Beograd 1999.

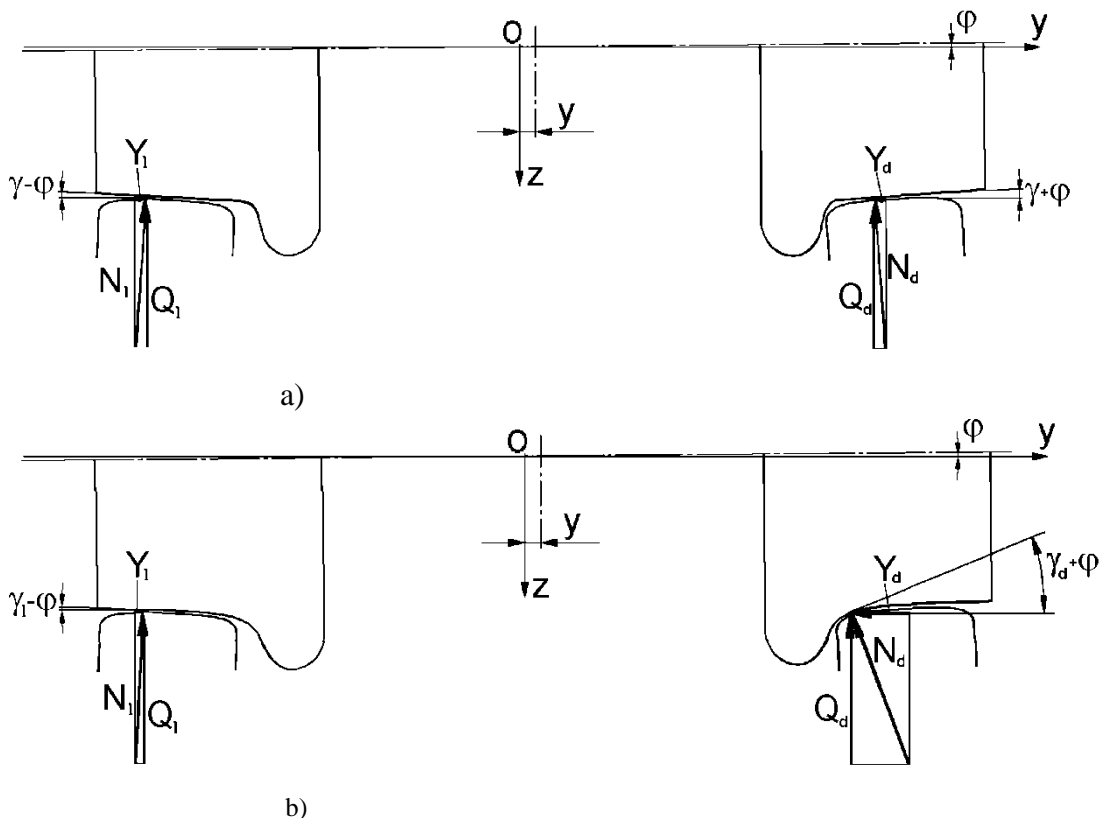
Na osnovu prethodnih izraza, možemo konstatovati da se na vencu javlja veliko habanje, zbog velike vrednosti redukovanog klizanja ξ , a ovo klizanje zavisi od vrednosti Δr_{12} . Sa druge strane habanje zavisi od sile T_{x2} , koja je funkcija normalne sile na vencu N_{D2} . Iz ovog zaključujemo da se habanje venca može smanjiti smanjenjem Δr_{12} i smanjenjem normalne sile u tački dodira na vencu N_{D2} . Na obe ove veličine se može značajno uticati putem geometrije dodira. Izborom odgovarajućeg profila točka u odnosu na šinu, moguće je doći do kombinacije profila točka i šine tako da se ko,pletno eliminiše dodir točak-šina u dve tačke, tj. da u funkciji Δr nema skokova ili su oni veoma mali.

3.2.7.2.5. Uticaj geometrije dodira na habanje venca od dejstva sopstvene sile

Na slici 3.2.7.2.11. prikazan je slučaj normalnih reakcija u dodiru točak-šina kod koničnog profila neposredno pre dodira venca i boka šine. Ako normalne reakcije na levom i desnom točku N_L i N_d razložimo na vertikalne i bočne komponente, sledi da će vertikalne komponente uravnotežiti težinu koja se oslanja na svki točak.

Bočne komponente u izostavljanju drugih uticaja tada određujemo po izrazu [3.14]:

$$\begin{aligned} Y_l &= Q_l \cdot \operatorname{tg}(\gamma_l - \varphi) \\ Y_d &= Q_d \cdot \operatorname{tg}(\gamma_d + \varphi) \end{aligned} \quad [3.14]$$



Slika 3.2.7.2.11. Uticaj geometrije dodira na bočne komponente sile dodira trenja[52]³³
a - konični profil
b - nekonični profil

[52]³³ V.Lučnin, G.Simić i drugi, Metodologija utvrđivanja karaktera habanja točkova vučnih i vučenih vozila i razvoj optimalne geometrije dodira točak-šina za uslove JŽ, Izveštaj br. 5, Uticaj realne geometrije dodira na dinamičko ponašanje šinskih vozila i trošenje točka i šine, Izveštaj br. 5, Mašinski fakultet, Beograd 1999

Rezultujuća bočna reakcija ove dve sile je [3.15]:

$$Y = Y_l - Y_d = Q_l \cdot \operatorname{tg}(\gamma_l - \varphi) - Q_d \cdot \operatorname{tg}(\gamma_d + \varphi) \quad [3.16]$$

Smatramo da opterećenja po točku približno jednak, odnosno (3.17):

$$Q_l \approx Q_d \approx Q_o \quad [3.17]$$

Sa slika je vidljivo, ako se obezbedi postepeno prelaz sa površine kotrljanja na venac, postiže se kontinualno rastuća povratna sila i smanjuje verovatnoća oštrih bočnih udara o šinu, a time se značajno smanjuje proces habanja odnosno trošenja profila venca.

3.2.7.2.6. Uticaj osovinskog opterećenja na proces habnaja profila točka

Poznato nam je, da na osnovu osnovne dinamičke funkcije kotrljanja točka po horizontalnoj ravni bez klizanja, sa dejstvom statičkog opterećenja na točak i te kako zavisi od trenja koje nastaje u dodiru točk-šina. Sa tog stanovišta habanje profila točka nje zanemarljivo ovom dinamičkom funkcijom imajući za činjenice uticajne faktore koji produkuju habanje kao što je kvalitet površine (profil šine) po kojoj se kotrlja točak uz stalno sadejstvo kombinovanog statičko-dinamičkog opterećenja točka.

Izučavanjem ove problematike, u cilju pouzdanog ostvarenja hipoteza ove doktorske disertacije, tj. postizanje kvaliteta navara, analiziraćemo Evropska istraživanja koja su sprovedna po ovom problemu. Polovinom 2005 godine, Evropski istraživački železnički institut su vršili istrživanja po predmetu produkcije habanja točkova kvaliteta ER7, pri kontinuiranom statičkom opterećenju po osovinskom sklopu, a pri brzinama od 120 km/h i 140 km/h, i različitim eksploatacionim prečnicima točkova i šinama standardnog kvaliteta.

Ova istraživanja su pokazala da za naš predmet doktorske disertacije neće značajno uticati statičko opterećenje po osovinskom sklopu, imajući za činjenice da predmet doktorske disertacije se odnosi na teretna i putnička kola koja koriste osovinske sklopove sa navučenim monoblok točkovima prečnika, minimalnog (donja eksploataciona granica, istrošenosti) Ø860mm do novog nazivnog prečnika Ø1000 mm, a za brzine kretanja do 120 km/h. Rezultati tog istraživanja su pokazali da se dozvoljava statičko osovinsko opterećenje i do 22,5 t, koje je i verifikovala Međunarodna objava UIC432, a granične normalne vrednosti opterećenja prezentovani su u tabeli 3.2.7.2.1. Iz tabele je vidljivo da satatička opterećenja po osovinskom sklopu od 20 t, pri brzini od 120 km/h, su u dozvoljenim granicama i ne možemo smatrati znatno uticajnim na potrošnju profila točka. U našem slučaju predmet doktorske disertacije se odnosi na statičko opterećenje po osovinskom sklopu koje se kreće od 10 do 18 t i pomenute eksploatacione prečnike koji su u graničnim veličinama između 840 i 1000 mm, to ilustruje na povoljan odnos ovog uticajnog faktora na potrošnju profila točka.

Opseg za prečnik točka (mm)	Dozvoljeno opterećenje(t) po osovini pri maksimalnoj brzini kola (km/h) od:	
	120 Normalne vrednosti	Izuzetne vredosti
1 000 do 920	20	
920 do 840	20	
840 do 760	18	
760 do 680	16	
680 do 630	14	
630 do 550	12	14
550 do 470	10	12
470 do 390	7,5	9,5
390 do 330	5	7,5

Tabela 3.2.7.1.1. Dozvoljena opterećenja po osovinskom sklopu [142]³⁴

3.3. Karakteristike materijala monoblok točka ER7

Izbor materijala za monoblok točak veoma je važan tehnički zadatak, jer materijal ima uticaj na vek trajanja točka, kao i bezbednost saobraćaja. Industrijskim razvojem železničko transportnih sistema, razvijala se i proizvodnja jednodelnih točkova kako u količini tako i različitog oblika i kvaliteta. Čeličane i kovačnice moćnih industrijskih zemlja, su težile da se tržištu ponude jednodelni železnički točkovi koji će omogućiti veće statičko opterećenje osovinskih sklopova, a time rešavaju vrlo bitne zahteve tržišno-eksploatacione revolucije železničkih uprava razvijenih zemalja. Zbog tih zahteva, proizvođači monoblok točkova, krajem 19 veka na tržište izbacuju nove generacije jednodelnih točkova kako po svom obliku tako i po kvalitetu. Od te dobi do danas veliki broj istraživača i naučnih železničkih institucija bave se ovim problemom, težeći da se sa što manje materijala proizvede pouzdan oblik točka, kao i da se proizvodni procesi maksimalno automatizuju zbog sve veće tržišne potražnje. Ovom tehnološkom revolucijom, proizvođači monoblok točkova, osvajaju nove generacije jednodelnih železničkih točkova, kavaliteta ER6, ER7, ER8 i ER9 termički poboljšanom i kaljenom stanju. Do danas, dominantnu funkciju u eksploatacionim procesima, a na teretnim i putničkim vagonima, za brzine kretanja do 200 km/h, imaju monoblok točkovi kvaliteta ER7, kao najpouzdaniji točkovi ovog vremena.

Međunarodnom objavom UIC-a 812-3/1984, pored definisanja tehničkih uslova za kontrolu i isporuku monoblok točka, ova objava definiše i kvalitet materijala svih vrsta monoblok točkova, koji se dobivaju od nelegiranog valjanog čelika. Ova zakonodavana železnička međunarodna objava, obavezuje sve Evropske železničke uprave, za usklađivanje svojih internih standarda i istovremeno obavezuje za primenom točkova

[142]³⁴ Standardi JŽ, UIC-a., EN.; JUS P. F2.213, JUS P.F2. 036, UIC-812-3 i EN 13262 812-3,

kvaliteta ER7 u međunarodnim saobraćajnim eksploatacijama na putničkim i teretnim vozovima za brzine kretanja do 200 km/h.

UIC 812-3 definiše tehničke uslove kvaliteta materijala za sve vrste monoblok točkova:

- termički neobrađen: R1, R2, R3
- termički neobrađen normalizovan: R1N, R2N, R3N
- termički obrađen poboljšan-kaljen: ER6, ER7, ER8 i ER9

Zavisno od kvaliteta materijala monoblok točkova, objava UIC 812-3 propisuje maksimalne vrednosti sadržaja hemijskih elemenata, kao i termičko stanje točka prikazano u tabeli 3.3.1., a u tabeli 3.3.2. date su mehničke karakteristike oboda monoblok točkova svih kvaliteta.

Kvalitet Čelika	Hemijski sastav – maksimalan sadržaj (%)											Napomena
	C	Mn	Si	P ²⁾	S ²⁾	Cr	Ni	Mo	Cu	V	(Cr+Mo+Ni)	
R1	0,48	0,90	0,50	0,035	0,035	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	0,50	(N)stanje, termički neobrađeni i normalizovan
R2	0,58	0,90	0,50	0,035	0,035	0,30	0,30	0,05	0,30	0,05	0,50	
R3	0,70	0,90	0,50	0,035	0,035	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	0,50	
ER6	0,48	0,75	0,40	0,035	0,035	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	0,50	Točkovi u (T) ili (E) stanju Termički obrađen
ER7	0,52											
ER8	0,56											
ER9	0,60											
	0,80											

Tabele 3.3.1. Sadržaj maksimalnih vrednosti hemijskih elementa u materijalu monoblok točka i termičko stanje, svih kvaliteta [142]³⁵

Vrsta Materijala	Metalurško Stanje	Jačina na kidanje Rm N/mm ²	Izduženje %	Udarne žilavost (U-zarez kod 20°C) Ak Nm/cm ²
R1	-	600-720	12	-
	N	600-720	18	15
R2	-	700-840	9	-
	N	700-840	14	10
R3	-	800-940	7	-
	N	800-940	10	10
ER6	T	780-900	15	15
ER7	T	820-940	14	15
ER8	T i E	860-980	13	15
ER9	E	900-1050	12	10

Tabela 3.3.2. Mehničke osobine materijala monoblok točka [142]

Kako smo pomenuli da na osnovu mehničkih pogodnosti kao i sklonosti formiranja unutrašnjih incijalnih grešaka koje mogu da dovedu do rasprsnuća točka pri eksploataciji, a za Evropske pruge, najpouzdaniji su monoblok točkovi kvaliteta ER7. Ove dokaze su potvrdili mnogobrojni Evropski istraživači, a koje je uvažila međunarodna objava UIC.

[142]³⁵ Standardi JŽ, UIC-a., EN.; JUS P. F2.213, JUS P.F2. 036, UIC-812-3 i EN 13262 812-3,

3.4. Tehnologija izrade polufabrikata monoblok točka kvaliteta ER7

Monoblok točkovi, kao i monoblok točak kvaliteta ER7 se rade iz čelika dobijenog u Simens-Martinovim ili elektro-pećima. Obajvom UIC 812-3 su definisani svi tehnički uslovi preispitivanja kvaliteta i isporuke monoblok točkova od nelegiranih valjanih čelika. Na osnovu karakteristika navedenih pod tačkom 3.3. monoblok točak kvaliteta ER7 sadrži maksimalne hemijske elemente prikazane u tabeli 3.4.1.

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V
≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤
0,52	0,80	0,40	0,04	0,04	0,30	0,30	0,05	0,30	0,05

Tabela 3.4.1. Hemijski sastav materijala točka kval. ER7, po UIC 812-3 [111]³⁶

Tehnološkim procesom proizvodnje monoblok točkova postižu se različite mehaničke karakteristike venca točka u odnosu na spojku točka. Ovo ima uticaj na odražavanje mehaničkih karakteristika celokupnog profila kotrljanja i venca, pri eksploataciji, a za ovaj istraživački deo rada je od značaja poznavati te mehaničke karakteristike kako bi u eksperimentalnom i eksperimentalno-eksploatacionom delu ove doktorske disertacije postigli odgovarajuće rezultate i time se ostvarile postavljene hipoteze. U tabeli 3.4.2. date su vrednosti mehaničkih karakteristika venca i spojke monoblok točkova ER6, ER7, ER8 i ER9.

Kvalitet čelika	Venac točka			Spojka	
	R_{eH} (N/mm ²) ^a	R_m (N/mm ²)	A ₅ %	Umanjenje R_m (N/mm ²)	A ₅ %
R6T	≥ 500	780/900	≥ 15	≥ 100	≥ 16
R7T	≥ 520	820/940	≥ 14	≥ 110	≥ 16
R8T	≥ 540	860/980	≥ 13	≥ 120	≥ 16
R9E	≥ 580	900/1050	≥ 12	≥ 130	≥ 14

Tabela 3.4.2. Mehničke osobine venca točka i spojke točkova [111]

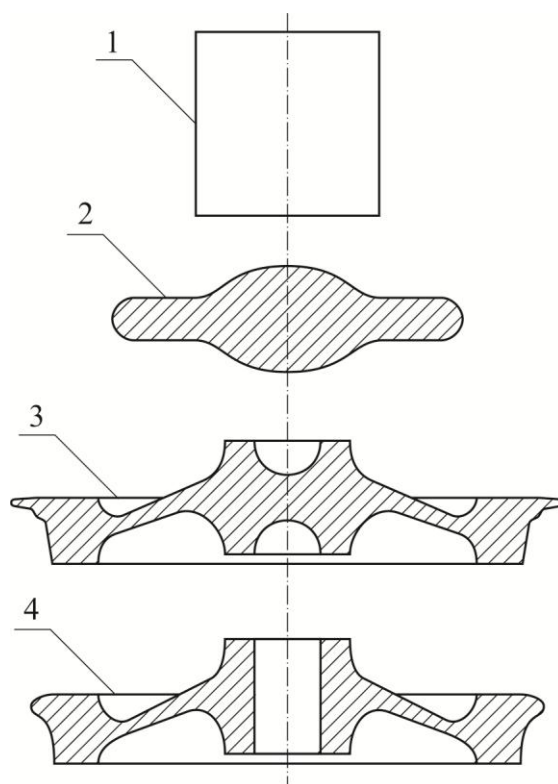
Umanjenje čvrstoće na zatezanje spojke u odnosu na čvrstoću na zatezanje venca istog točka, pri ispitivanju treba da postigne predočene vrednosti, granicu elastičnosti spojke definišemo kao konvencionalnu računsku vrednost po obrazcu [3.18].

$$R_{p0,2f} \quad [3.18]$$

Proizvodnja monoblok točka kovanjem do danas nije šire rasprostranjena u serijskoj proizvodnji, verovatno zbog toga što je za kovanje točkova potrebno imati izuzetno masivnu, skupu i složenu tehnološku liniju koja podrazumeva kombinaciju kovanja i valjanja. Od Evropskih zemalja tehnološku moć drže Rusi „Kedr“, Francuzi „Valdin“, i Česi „Bohumin“, plasirajući svoje točkove po celom svetu. Takođe je poznato da proizvodnja monoblok točkova kapitalno van Evropskih zemalja vrši firma „Chembersburg“ SAD,

[111]³⁶ UIC Objava 812-3: Tehnički uslovi za isporuku monoblok točkova od valjanog nelegiranog čelika za vučna i vučena vozila, 5. izdanje od 1.1.84

tehnološkim postupkom kovanjem bez valjanja, i to sa linijom protivudarnih čekića sa masom padajućeg bata 11,34; 15,87 i 40 t. Redosled tog kovanja prikazan je na slici 3.4.1..



Slika 3.4.1. Izrada monoblok točka kovanjem, po tehnološkom postupku firme "Chembersburg", SAD. [73]³⁷
1-odrezani ingo,
2-prva faza kovanja,
3-druga faza kovanja,
4-konačna obrada kovanjem (profilisanje).

Utvrđeno je da mehaničke osobine čelika, geometrijska tačnost i ekonomski efekat procesa kovanjem u poređenju s točkovima proizvedenim kovanjem i valjanjem imaju niz prednosti:

- manji utrošak materijala, kao rezultat manjih dodataka materijala na dimenzije točka, sa mogućnošću uticaja na kontrolu tih dimenzija u procesu kovanja,
- smanjenje „disbalansa” točkova i grešaka (uključci, zasukanost) na njegovoj površini,
- bolji raspored vlakana u površinskom sloju oboda (venca) točka, što ima velikog uticaja na trošenje točkova (50%),
- pojednostavljenje tehnološkog procesa usled manjeg broja agregarta (opreme) i operacija.

U Rusiji je 1970. godine isproban tehnološki proces izrade monoblok točkova kovanjem. Rezultati su potvrdili pretpostavljene prednosti kovanih točkova nad kovano-valjanim. Izrada jedne serije izvedena je na presi sile 300 [MN]. Mehanička i termička obrada, te serije točkova bila je izvedena prema razrađenoj tehnologiji, posle čega su upoređene geometrijske veličine oblika, mehanička svojstva i makrostruktura sa kovano-valjanim točkovima. U rezultatima je utvrđeno da je uložena težina za kovane točkove manja za 20 kg po jednom točku. Makrostruktura kovanih monoblok točkova nakon upoređenja sa

[73]³⁷ Jovanović, R., *Osovinski sklopovi željezničkih vozila*, Saobraćajni institut, Beograd, 1996.

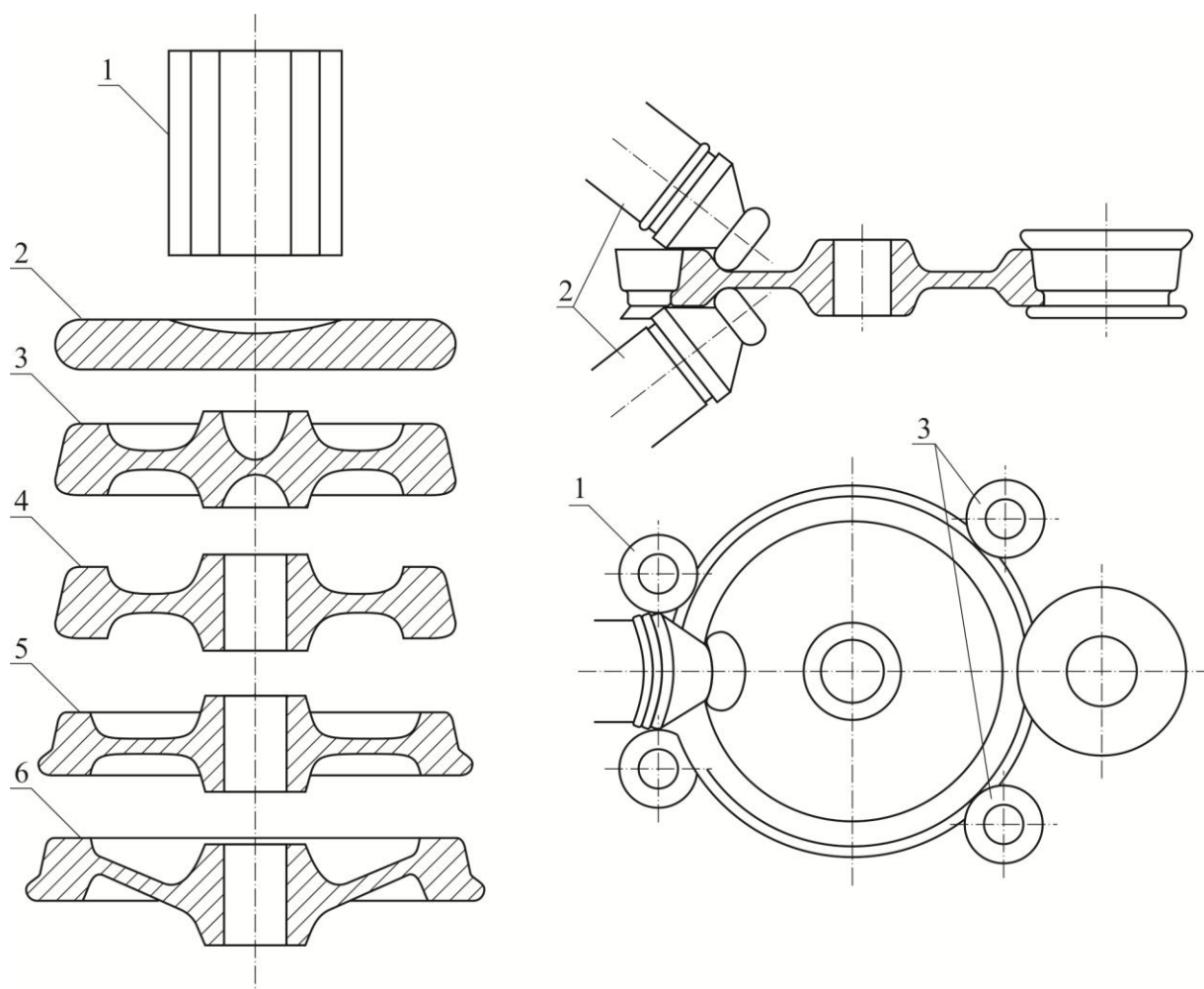
strukturu serijski proizvedenih točkova po postupku kovano-valjani, u zoni oboda točka i uz obod priležući dio diska točka, odlikuje se povećanom strukturnom homogenošću, sitnozrnatošću i sabijenošću.

Mehanička svojstva tih točkova su iznad svakog očekivanja po svim parametrima u odnosu na kovano-valjane točkove. Posebno su ta svojstva bolja kod udarne žilavosti i plastičnosti. Kao zaključak izvedena je pretpostavka da kovani monoblok točkovi treba da imaju veću sigurnost i duži vek trajanja u eksploataciji.

Iz svega iznesenog možemo konstatovati da velike metalurške kompanije puno ulažu u iznalaženje najoptimalnijeg tehnološkog rešenja proizvodnje monoblok točkova, a nasuprot tome, u istoj dobi tehnološke revolucije, proizvodnje jdnodelnih točkova železničkih vozila, kvaliteta ER7, skoro ništa se značajno nije uradilo po pitanju tehničko-tehnološkog procesa održavanja tih točkova.

3.4.1. Tehnološki proces proizvodnje monoblok točkova (polufabrikat) u svetu

U zemljama Evrope, monoblok točkovi se proizvode kombinovanim tehnološkim postupcima, kovanjem i valjanjem, koji su uglavnom eksploatišu na celom prostoru Evrope pa i šire. Taj tehnološki postupak proizvodnje monoblok točkova je prikazan na slici 3.4.1.1.



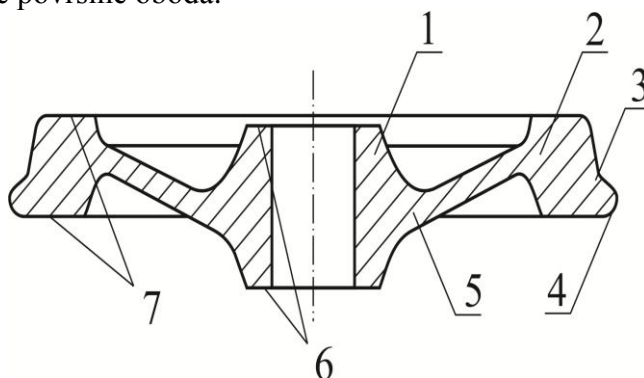
- 1- Sirov ingot;
- 2 - Prehodno oblikovani otpresak na presi 20 [MN];
- 3 i 4 - Kovanje prstena u alatu na presi 50 [MN];
- 5 - Oblikovanje točka na valjačkom stanu;

- 6 - Valjanje venaca točka na valjačkom stanju;
- 7 - Savijanje diska i kalibriranje točka na presi dvojnog dejstva silom 35 [MN];
- 8 - Probijanje otvora u glavčini točka na presi 35 [MN].

Slika 3.4.1.1. Šematski prikaz tehnološkog postupaka proizvodnje monoblok točkova presovanjem i valjanjem prema firmi "Dejvi Junajted i Tejlor"[73]³⁸

Za ovakav tehnološki postupak proizvodnje monoblok točkova, uglavnom se primenjuju hidraulične prese za kovanje i valjački stanovi za valjanje (razvlačenje) oboda venaca točka. Proizvod, odnosno polufabrikat monoblok točka, je prikazan na slici 3.4.1.2. a čine ga njegovi sastavni delovi:

- 1- glavčina,
- 2- obod,
- 3- površina kotrljanja,
- 4- venac točka,
- 5- disk,
- 6- čela glavčine,
- 7- bočne površine oboda.



Slika 2.2.3.1.2. Izgled polufabrikata monoblok točka sa oznakama sastavnih delova koji se terminološki koriste u železničkoj korespondenciji

Evropske poznate firme koje danas proizvode monoblok točkove i opremu za izradu monoblok točkova kovanjem i valjanjem:

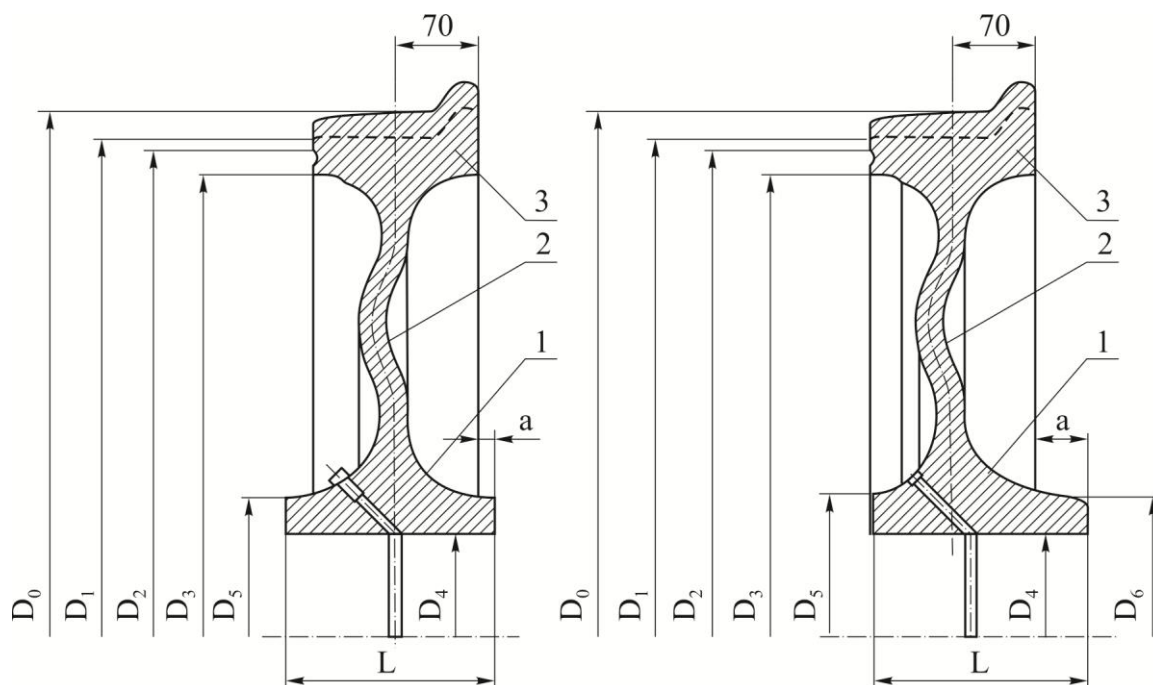
- Zapadnoj Nemačkoj - „Sohldemann” i „Wagner” (80 točkova/h)
- Rusiji - „Uralmašzavod” (120 točkova/h)
- Rusiji - „Viksa” (140 točkova/h)
- Poljskoj- "Bohumin" (80 točkova/h)
- Francuska- „Valdini“(90 točkova/h)

3.4.2. Mehanička obrada polufabrikata monoblok točka

Mehanička obrada sa skidanjem strugotine, monoblok točka, ima visoke zahteve u pogledu tačnosti izrade i čistoće površinske obrade. Obrađuju se površine kruga kotrljanja - venca točka, strane i centralni otvori. Sve geometrijske veličine kao i kvalitet obrađenih površina usaglašen je sa konstrukcionim crtežom koji je u interoperabilan Međunarodnim normama i objavama. Izmena bilo kojeg detalja ili dužinske veličine, pri mehaničkoj obradi, mora biti odobrena od strane sopstvene železničke uprave kao naručioca monoblok točkova, kada je u pitanju interna eksploataciona upotreba ili saglasnost međunarodnih zakonodavnih propisa i objava, kada se radi u namjeni točkova za Međunarodne eksploatacione potrebe.

[73]³⁸ Jovanović, R., *Osovinski sklopovi željezničkih vozila*, Saobraćajni institut, Beograd, 1996.

Na slici 3.4.2.1. prikazan je izgled monoblok točka kvaliteta ER7 za putnička i teretna železnička vozila koji se koče livenom kočionom papučom, za brzine kretanja do 160 km/h, a usklađen Međunarodnom objavom UIC 812-3.



Slika 3.4.2.1. Monoblok točak putničkih i teretnih železničkih vozila prema UIC 812-3[110]³⁹

Obrada polufabrikata monoblok točka se izvodi na automatizovanim mašinama, u ovo vreme uglavnom CNC linijama, uz primenu poluautomatskih transportno-manipulativnih sredstava ili robotizovane transportne linije. Ove tehnološke radnje izvode proizvođači monoblok točkova.

Ovakvi obrađeni monoblok točkovi se podvrgavaju navlačenju na osovine koja je zasebna tehničko-tehnološka aktivnost, te posebnu pažnju nećemo posvetiti ovoj tehnologiji navlačenja, imajući za činjenicu sam uticaja na predmetnu temu doktorske disertacije.

3.5. Ekonomska opravdanost obnavljanja venaca monoblok točka navarivanjem

Nasuprot pomenutoj tehnološkoj revolucionarnoj moći, automatizovanih linija i postrojenja za proizvodnju i mehaničku obradu monoblok točkova, u istoj dobi tehnološke revolucije, skoro ništa se značajno nije uradilo po pitanju tehničko-tehnološkog postupka održavanja tih točkova navučeni na osovine, pri procesu eksploatacije. Moramo poznavati da svaka naredna mehanička obrada se izvodi u sklopu sa osovinom, železničkim žargonom nazvnim osovinskm sklopom, a obrada se svodi na samo profilisanje površine kotrljanja, nakon habanja venca. Eksploatacija pohabanih venaca monoblok točkova je moguća nakon

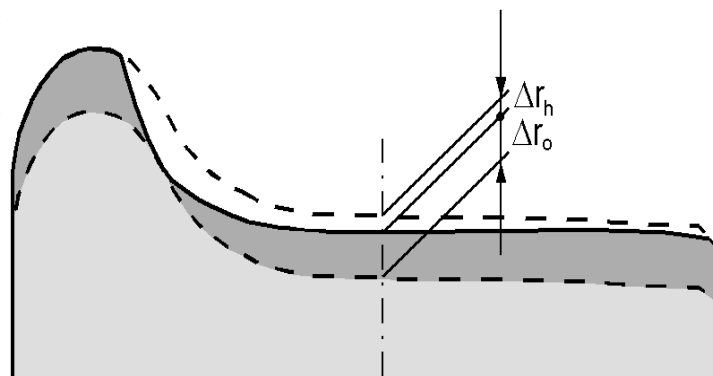
[110]³⁹ UIC Objava 812-2: *Monoblok točkovi za vučna i vučena vozila – Dozvoljena odstupanja*, 2. izdanje, Decembar 2002.

profilisanja celokupne površine kruga kotrljanja, a do geometrijskog formiranja graničnih vrednosti venca monoblok točka. Ovakvom tehničko-tehnološkom intervencijom, postupak je vrlo skup i neekonomičan održavanja venaca ososvinkih sklopova, s obzirom na to da se ovo može izvesti samo dva do tri puta, za svog eksploatacionog veka, imajući u vidu ograničenje nazivnog prečnika točka. Ove tehničko-tehnološke procese uglavnom izvode sopstvene železničke uprave u vlastitim radioničkim prostorima.

Istrživanjem ovog problema ustanovili smo da je smanjenje prečnika točka profilisanjem, četiri do pet puta veće od veličine habanja površine kotrljanja nastalo procesom eksploatacije, vidljivo sa slike 3.5.1.

$$\Delta r_o = 4 \div 5 \Delta r_h \quad [3.19]$$

Teoretskim istraživanjem konstatujemo da profilisanje ekonomski neopravdanog tehničko-tehnološkog postupka održavanja venca osovinskih točkova, tema doktorske disertacije je zasnovana na istrživačko-naučnom dokazivanju izvodljivosti i primenjivosti novih, a savremenih tehnologija za odžavanje venaca monoblok točkova kvaliteta ER7, detaljno sprovedeno u eksperimentalnom i eksploatacionom istraživanju ove doktorske disertacije.



Slika 3.5.1. Smanjenje prečnika točka usled habanja i mašinske obrade

Na prugama železničkih uprava naših zemalja, kod kojih, uglavnom, dominiraju pruge sa dosta krivina, razlog za reprofilisanjem je, ili dostignuta minimalna $q_{R\text{mera}}$, ili dostignuta minimalna debljina venca. U uslovima loše geometrije dodira, lošeg stanja koloseka i pri odsustvu ili nedovoljne primene podmazivanja venca točkova ili bokova šina u krivinama, broj pretrčanih kilometara između dve obrade je često veoma mali. Ako se ovome dodaju prekomerna odstupanja kao što su neparalelnost ili romboidnost osovinskih sklopova, nedozvoljeno velike razlike u prečnicima levog i desnog točka na istom osovinskom sklopu tad nastupaju i ekstremni slučajevi veoma malog broja pretrčanih kilometara između dve obrade.

Na isključivo ravničarskim prugama razlog reprofilisanja može biti suviše velika visina venca koja nastaje dominantnim habanjem profila točka na površini kotrljanja. Kod nekih evropskih železnica sa veoma dobrim prugama, razlog reprofilisanja može biti i nastanak olučastog udubljenja na gazećoj površini koji stvara „lažni venac“ čija je posledica dodira točka i šine u jednoj vrlo uskoj zoni. Sa povećanjem pređenog broja kilometara između dva reprofilisanja na takvim prugama značajno raste učešće ravnih mesta, ljuskanja površine kotrljanja, nastanak mikroprskotina, odvajanja materijala i drugih oštećenje usled zamora na gazećoj površini točka. Zbog toga se, dešava da se pre redovne opravke vrši preventivno održavanje profila točkova, skidanjem jednog sloja materijala i time omogućujući da točak

izdrža eksploatacionu funkciju do sledeće planske opravke, bez većeg rizika za oštećenje, zbog veoma velikog broja pređenih kilometara.

U slučaju kada se obrada vrši usled velike visine venca ili drugih oštećenje na gazećoj površini, količina skinutog materijala pri obradi je relativno mala. U slučaju kada se obrada vrši usled male debljine venca ili male mere q_R količina skinutog materijala je utoliko veća ukoliko su pomenute dve mere manje, pošto se dobijanje početnog (punog) profila može postići samo značajnim smanjenjem prečnika točka.

Smanjenje prečnika točka određuje koliki će biti njegov vek, pošto je raspoloživa debljina materijala za obradu ograničena. Takva situacija je ilustrovana na slici 3.5.1. na kojoj je označeno smanjenje na poluprečniku točka usled habanja sa Δr_h , a skidanje pri obradi da bi se dobio početni profil sa Δr_o .

Mnoge Evropske železničke uprave, još pre pola veka su ukazivale na stvaranju znatanog troška opisanim načinima održavanja, a ništa konkretno se nije uradilo, izuzev uvođenja takozvanog međuprofila ili ekonomskog profila. Međuprofil ili takozvani ekonomski profil podrazumeva obradu profila koji ima nešto manju debljinu venca od debljine novog profila, a reprofilisiranje se ne vrši kada je to opravdano na pun profil točka. Ovakvim tehnološkim zahtevom se manje materijala skida obradom i time ne toliko značajno produžava vek točka. Ocena ekonomske opravdanosti se, sasvim uprošćeno, svodi na sledeće: ako se na točku do njegovog rashodovanja izvrši veći broj obrada na međuprofil, povećavaju se ukupni troškovi vezani za obradu i uvećano isključenje voznog sredstava iz funkcije saobraćajne eksploatacije. Ako je ovim ušteda veća od povećanja troškova, obrada na međuprofil se isplati.

U svakom konkretnom slučaju ta isplativost zavisi od niza specifičnih činilaca i odluka bi se mogla doneti tek sveobuhvatnim tehničko-ekonomskim analizama, što kao upitni ekonomski razlog, železničke uprave nisu ovo prihvatile kao vidno ekonomično rešenje održavanje venaca osovinskih sklopova.

Izučavajući mnoge istraživače i naučne institucije koji su se bavile ovim problemom, a posebno nas je podstakao Evropski železnički istraživački institut – ORE, iz 1979 godine koji je analizirao problematiku trošenja i održavanja venca monoblok točkova kvaliteta ER7, kao i funkciju međuprofila i postupka obnavljanja pohabane zone venca. Nažalost, ova izučavanja su doživela samo teorijske mogućnosti ne upuštajući se u detaljna istraživanja i dokazivanja izvodljivosti [119]⁴⁰.

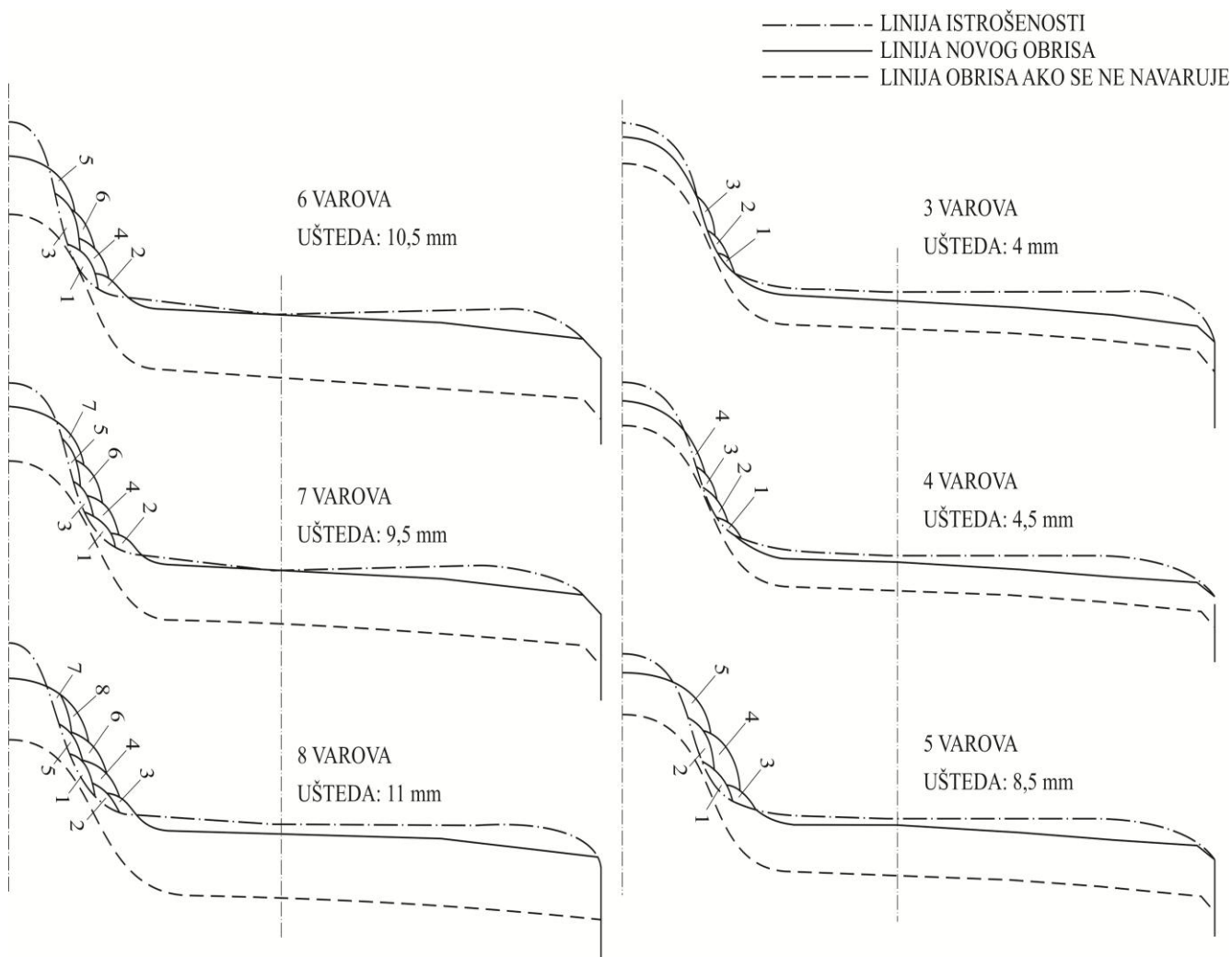
Iz svega navednog, dovedeni smo u neophodnost razmišljanja i naučnog istraživanja, kako smanjiti nekorisno skidanje materijala obradom, te nas je dovelo do predmetne teme doktorske disertacije.

U železničkoj eksploataciji, na prvo mesto stavlja se pouzdanost tehničkog sistema pri procesu eksploatacije. U doktorskoj disertaciji, je posebno obrađeno i dokazan nivo pouzdanosti primenom novog tehničko-tehnološkog postupka održavanja venaca metodom obnavljanja. Kroz ceo istraživački rad doktorske disertacije će biti posvećen poseban akcenat ovoj tehničkoj karakteristici primenujujući najnovija dostignuća teoretskog

[119]⁴⁰ ORE B79 Rp 3: *Forschungen und Untersuchungen für ein rationelles Verfahren zur Umrissberichtung durch Auftragsschweissen oder Verringerung des Spurkranzes oder durch ein kombiniertes Verfahren*, Utrecht Oktober 1966.

saznanja o tehnikama i tehnologijama dijagnostikovanja i ista primenjena kroz eksperimentalna i eksploataciona istraživanja u delu doktorske disertacije

Drugi uticajan tehnički parametar za uspešnost ove doktorske disertacije je postizanje zadovoljavajućeg nivoa ekonomske opravdanosti. U metodološkom konceptu ove doktorske disertacije implementirali smo nivo ekonomske opravdanosti predmeta doktorske disertacije. Zavisno od stanja istrošenosti venca, kao i nanošenja broja navara na profil venca ekonomska opravdanost proporcionalno postiže svoj nivo. Na slici 3.5.2. je prikazana ušteda skidanja materijala sa profila površine kotrljanja monoblok točka kval. ER7, primenom tehnološkog postupka obnavljanja venca navarivanjem, u zavisnosti od pohabanosti i broja navara.



Slika 3.5.2. Ušteda materijala monoblok točka kvaliteta ER7 primenom tehnološkog postupka navarivanja venca, u zavisnosti od pohabanosti i broja navara

Slike pokazuju, da je, u praktičnom slučaju kad venac monoblok točka doživi minimalnu debljinu venca tj. V_d 25 mm, i max. visinu V_v 33 mm i q_r 6,5, tada je najekonomičniji broj navara 8, kako bi se postigla ušteda mašinskom obradom skidanja materijala od približno 11 mm. U ovom slučaju, a zbog postizanja povoljnih metalografskih rezultata i ostalih zahtevnih parametara kvaliteta, kao i eliminacije nepoželjnih prslina, koji će biti studiozno obrađeni u nastavku teorijskog i eksperimentalnog istraživanja ove doktorske disertacije, najpovoljniji je izbor redosleda nanošenja navara kao na slici 3.5.2.

Možemo konstatovati da ponovnim profilisanjem (bez obnavljanja) venca i površine kruga kotrljanja monoblok točka je neekonomičan postupak, jer bi se prosečno mašinskom obradom struganjem skinulo oko 50 kg materijala, ili, drugim rečima, ovaj postupak se može primeniti samo tri puta za svog eksploatacionog veka.

Postupak regeneracije (obnavljanjem-navarivanjem) pohabanih venaca monoblok točkova, kvaliteta ER7 čini korak vidnoj ekonomskoj opravdanosti, produžavajući mu eksploatacioni vek minimalno 1÷2 puta, uz zadovoljenja svih neophodnih tehničkih parametara koji su regulisani međunarodnom objavom UIC 812-3.

3.6. Dijagnostika monoblok točka kvaliteta materijala ER7

S obzirom na složenost i kompleksnost železničkog vozila, za donošenje najkompetentnijih odluka u predmetnoj doktorskoj disertaciji u procesima prepoznavanja oblika pouzdanosti tehničkog sistema–železničkog vozila, sasvim opravdano se nameće pristupu teoretskom, eksperimentalnom i eksploatacionom istraživanju. Ovim teoretskim postavkama, zasnovanim na naučnim izučavanjima izvodljivosti obnavljanja venca monoblok točka kvaliteta ER7 navarivanjem, uslovno zavarljivog čelika, odgovorno se nameće težnja za sveobuhvatnim pristupima naučnog dokazivanja sprovednim kroz opsežan istraživački rad. Taj istraživački rad, a za dijagnostiku stanja istraživačkog predmeta nameće za potrebu primene savremenih tehnika i analiza, dijagnostikovanja u cilju dostizanja propisanog nivoa kvaliteta venca, a time i celokupnog monoblok točka.

Monoblok točak kvaliteta ER7, je predmet opsežnog tehničkog dijagnostikovanja, imajući u vidu da je reč o vitalnom elementu železničkih vučenih i vučnih vozila. Kao takav odgovoran mašinski element, postupak dijagnostikovanja je determinisan međunarodnom objavom UIC kao EN i ISO standardima.

Za relevantne dijagnostičke metode i postupke ispitivanja, ove doktorske disertacije, bazirali smo se na one koje su sprovedene nakon mehničke, završne obrade monoblok točka, a usklađene prema železničkoj međunarodnoj objavi UIC 812-3. Kroz teoretski deo istraživanja, analizirane su sve dijagnostičke metode i postupci, a potom identifikovano stanje monoblok točka nakon proizvodnje, a u delu eksperimentalnog i eksploatacionog istraživanja, ti dijagnostički rezultati služiće kao polazni i uporedni pokazatelji nakon obnavljanja venca i eksploatacionog istraživanja. Relevantne tehnike dijagnostikovanja i prezentovani njihovi rezultati za ocenu sposobnosti monoblok točka kvaliteta ER7 su:

1. hemijske analize,
2. ispitivanje na kidanje,
3. ispitivanje udarne žilavosti,
4. ispitivanje tvrdoće po poprečnom preseku oboda točka,
5. ispitivanje tvrdoće venca i površine kotrljanja,
6. pravac sopstvenih zaostalih napona,
7. ispitivanje kvaliteta , mikrografsko i makrografsko ispitivanje,
8. ispitivanje ultrazvukom,
9. dinamičko uravnoteženje masa,
10. ispitivanje izgleda i mera.

3.6.1. Hemijska analiza

Uzorkovanje materijala za hemijsku analizu uzima se 15 mm ispod trčee površine, glodanjem strugotine približno 50 gr. koja će hemijskom analizom dati maksimalne sadržaje hemijskih elemenata prikazanih u tabeli 3.6.1.1. Ovaj tehnički zahtev se mora sprovesti prema postupku koji je opisan u ISO/TR zahtevima.

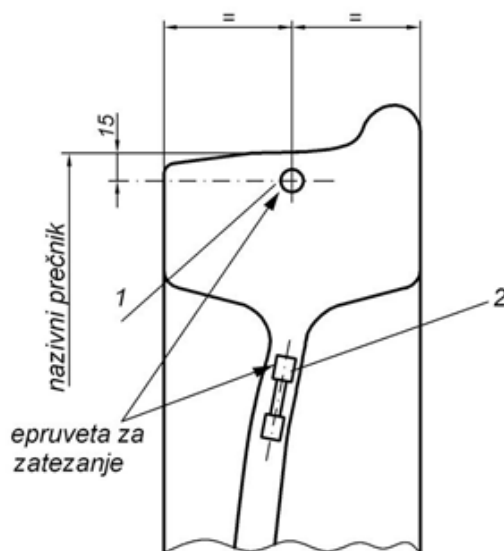
Kvalitet Čelika	Maksimalni udeo % ^a										
	C	Si	Mn	P ^b	S ^{b,c}	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Cr+Mo+Ni
ER7	0,52	0,40	0,80	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50

Tabela 3.6.1.1. Procentualni sadržaj hemijskih elemenata u monoblok točka kvaliteta materijala ER7 [142]⁴¹

- a- Za posebne namene mogu se u okviru maksimalnih sadržaja prihvatiti izmene zahteva.
- b- Moguće je dogovoriti maksimalni sadržaj od 0,025 % kod tendera ili u slučaju narudžbe.
- c- Kod tendera i dobijanja narudžbe može se dogovoriti minimalni sadržaj sumpora prema metodi proizvodnje čelika, da bi se postigla zaštita od stvaranja riseva usled vodonika.

3.6.2. Ispitivanje na kidanje

Za monoblok točkove kvaliteta ER7, tj poboljšanog oboda, epruveta se uzima iz oboda i venca točka kao na slici 3.6.2.1. Položaj uzimanja epruveta je usklađen prema objavi UIC 812-3. Epruvetu treba pripremiti, shodno uslovima ISO/82 i to da prečnik bude min. Ø10 mm, a dužina pet puta veća od prečnika.



Slika 3.6.2.1. Položaj i mesto uzorkovanja epruvete za ispitivanje zateznjem [142]

[142]⁴¹ Standardi JŽ., UIC-a., EN.; JUS P. F2.213, JUS P.F2. 036, UIC-812-3 i EN 13262 812-3,

Postupak ispitivanja će biti sproveden prema EN 100002-1. Rezultati probe koje treba postići na zatezanje spojke-obod i venca monoblok točka kvaliteta ER7 dati su u tabeli 3.6.2.1.

Kvalitet čelika	Venac točka			Spojka	
	$R_{eH}(N/mm^2)^a$	$R_m(N/mm^2)$	$A_5\%$	Umanjenje $R_m(N/mm^2)^b$	$A_5\%$
ER7	≥ 520	820/940	≥ 14	≥ 110	≥ 16

a-Ako nema izražene granice elastičnosti treba izračunati konvencionalnu graničnu vrednost $R_{p0,2f}$
b- Umanjenje čvrstoće na zatezanje spojke u odnosu na čvrstoću na zatezanje venca istog točka

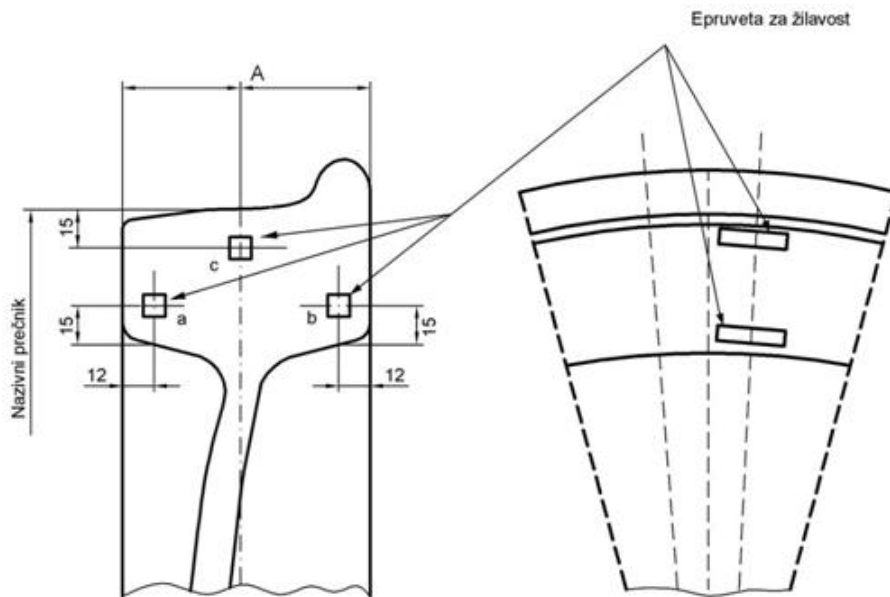
Tabela 3.6.2.1. Mehničke osobine spojke (obod) i venca točka kvaliteta ER7

3.6.3. Ispitivanje udarne žilavosti

Ispitivanje udarne radnje loma zarezane epruvete po Charpiju je jedno od najstarijih mehaničkih metoda ispitivanja materijala u eksploatacionim uslovima, a služi za utvrđivanje njegove otpornosti prema krtom lomu. Na Charpijevu klatnu ispituje se jednim udarcem s brzinom obično 5 do 5,5 m/s zarezane epruvete (s U-zarezom ili V-zarezom) . Radnja (energija) utrošena za lom epruvete (izražena u džulima J) je mjera žilavosti materijala, a zahtjeva se kako kod razvoja novih materijala tako i kod provjere gotovih materijala, te kod analize loma regenerisnih materijala.

Železnički propisi su regulisali ovu mehničku karakteristiku sprovođenja ispitivanja, koja se isključivo vrši u akreditovanim laboratorijama proizvođača monoblok točkova. Uzorkovanje epruvete sa U-zarezom i V-zarezom se isključivo primenjuje za ispitivanja žilavosti novih monoblok točkova kvaliteta ER7, kako oboda tako i diska točka. Udarne radnje loma treba da se ispituje standardizovanim epruvetama kvadratnog poprečnog preseka sa zarezom u obliku slova U (oznaka KU) i V (oznake KV) prikazno na slici 3.6.3.2.

Uzorkovanje epruveta je takođe regulisano železničkim normativima, a u ovom istraživačkom radu, mi ćemo to izvršiti tako da udovoljimo normative i uvećamo stepen pouzdanosti obnovljenog venca uzorkovanjem epruveta i iz samog venca točka. Na slici 3.6.3.1. prikazana su mesta i pložaj uzorkovanja epruveta iz monoblok točka. Za utvrđivanje važne vrednosti žilavosti materijala monoblok točka, ispitivanju ćemo podvrgnuti iz svake skupine po tri iste epruvete, tako da uzdužni položaj epruvete bude u pravcu valjana točka, pri čemu nesme biti veće rasipanje vrednosti od 30% u odnosu na minimalnu propisanu vrednost datu u tabeli 3.6.3.1. (samo jedna od njih može imati nižu vrednost). Ove zahtevne karakteristike su regulisali železnički normativi kao što je UIC 812-3, za kvalitet materijala monoblok točka ER7, date u tabeli 3.6.3.1.



Slika 3.6.3.1. Položaj i mesto uzorkovanja epruvete za ispitivanje udarne žilavosti[142]⁴²

Sa teorijske osnove posmatrano, uticajni faktori na žilavost materijala monoblok točka kvaliteta ER7 su:

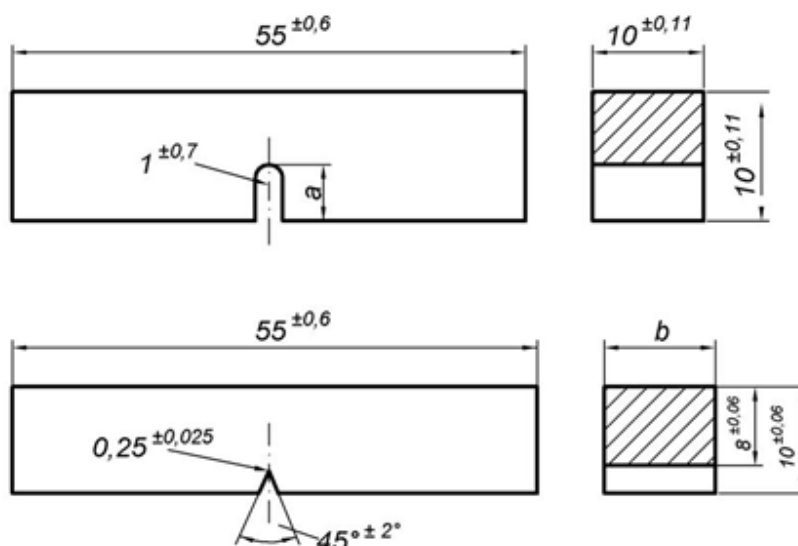
- temperatura ispitivanja
- mikrostruktura materijala monoblok točka, posebno veličina zrna
- oblik i dimenzija zareza
- brzina udara

Temperatura ispitivanja ima najveći uticaj na žilavost, odnosno na udarnu radnju loma. Žilavost materijala opada sa snižavanjem temperature ispitivanja. To je, uopšte, zbog toga što se snižavanjem temperature snižava i plastičnost, odnosno deformabilnost materijala. Mikrostruktura ima takođe veliki uticaj na žilavosti materijala. Naručito povoljno utiče na žilavost smanjivanjem veličine zrna.

Dimenzije epruvete različito utiču na žilavost materijala. Najmanje utiče dužina epruvete, dok širina i debljina utiču slično na smanjivanje žilavosti.

Brzina udara Charpyjevog klatna nema znatnijeg uticaja na žilavost materijala ako je u rasponu 3 do 7 [m/s], dok znatno veće brzine 20-50 [m/s] smanjuju žilavost zbog smanjenog udjela plastične deformacije. Na slici 6.1.3.3. prikazan je šematski postupak rada Sharpy – klatna.

[142]⁴² Standardi JŽ., UIC-a., EN.; JUS P. F2.213, JUS P.F2. 036, UIC-812-3 i EN 13262 812-3,



Slika 3.6.3.2. Standardna epruveta kvadratnog oblika sa „U“ i „V“ zarezom

Udarne žilavost se izražava kao utrošena energija (energija loma) za deformaciju i lom zarezane epruvete po obrazcu [3.20] :

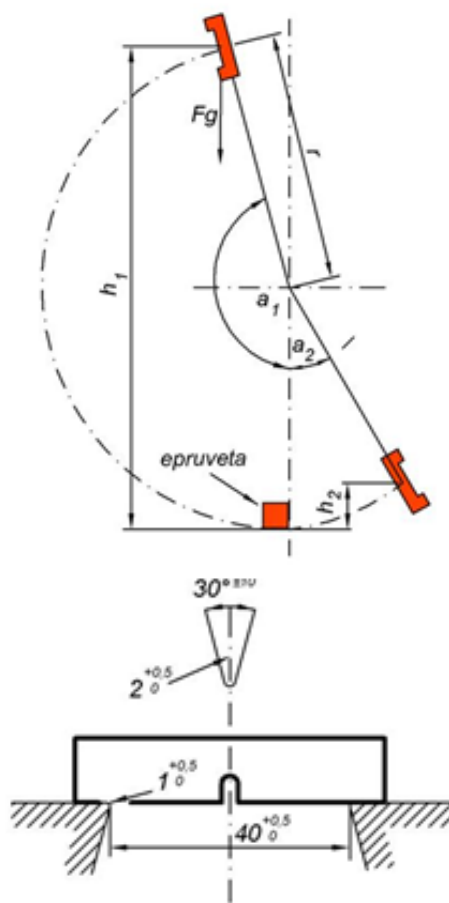
$$E = mg\Delta h \quad [3.20]$$

m [kg] - masa udarnog malja

$g = 9,81$ [m/s²] - gravitaciono ubrzanje, tj. $G = mg$ - težina udarnog malja

$\Delta h = h_1 - h_2$ [m] - visinska razlika između dva položaja udarnog malja

E [J] - energija loma (udarna žilavost)



Slika 6.1.3.3. Šematski postupak rada Sharpy – klatna

Vrednosti žilavosti koje zadovoljavaju železničke normative navedene su u tabeli 3.6.3.1. U tabeli se navode pojedinačne prosečne i najmanje vrednosti ispitanih epruveta iz jednog monoblok točka. Pod 20° C korišćemo probe sa U-zarezom, a pod -20° C korišćiće se probe sa V-zarezom. Postupak ispitivanja će biti sproveden prema EN 10045-1

Kvalitet čelika	K (Joule) pod + 20° U-zarez		K (Joule) pod - 20° C V-zarez	
	Prosečne vrednosti	Min.vrednosti	Prosečne vrednosti	Min. vrednosti
ER7	≥17	≥ 12	≥ 10	≥ 7

Tabela 3.6.3.1. Vrednosti koje treba postići za probu udarom [142]⁴³

3.6.4. Ispitivanje tvrdoće po poprečnom preseku oboda i venca točka

Opšte o ispitivanju tvrdoće

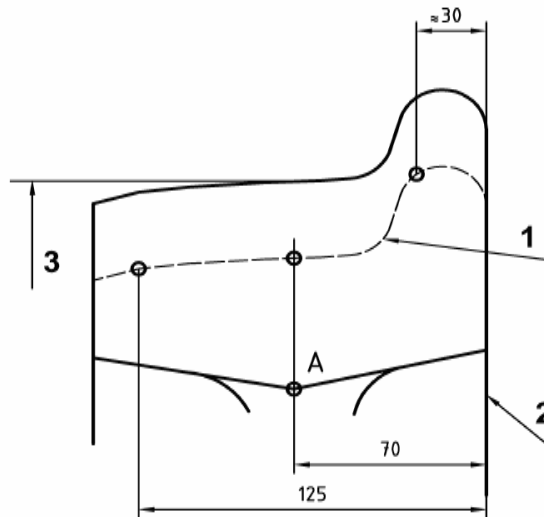
Pod tvrdoćom podrazumevamo mehničko svojstvo materijala, tj. otpor kojim se suprotstavlja jedno telo ka prodiranju drugog tvrđeg tela u njegovu površinu. Ova mehnička karakteristika spada u jednu od važnijih statičkih metoda ispitivanja tvrdoće materijala nekog mašinskog elementa. Tvrdoća se može odrediti svakog materijala pa i monoblok točka sledećim metodama:

- statičkim,
- dinamičkim i
- specijalnim.

Kod statičkih metoda sila ispitivanja koja deluje na utiskivač postepeno raste do maksimalne vrednosti. Kod dinamičkih ispitivanja sila na utiskivaču se ostvaruje udarom, ili se pak tvrdoća određuje na osnovu elastičnog odskoka utiskivača od površine koja se ispituje. Najčešće, u praksi, korišćene su metode statičke i dinamičke. Kao teorijska podloga ekperimentalnom i eksploatacionom istraživanju je osnova kojom težimo udovoljiti železničke normative i dodatnim ispitivanjem venca točka koji je predmet novog tehničko-tehnološkog načina održavanja u cilju postizanja potpune pouzdanosti točka pri eksploataciji. U tom procesu ispitivanja tvrdoće vršićemo standardnim statičkim metodama po Brinel (HB) i Rokvelu (HRc) dinamičkom metodom odskoka.

Uzorkovanje i mesta ispitivanja tvrdoće po poprečnom preseku, prikazano je na slici 3.6.4.1. Za ovu mehničku karakteristiku neophodno je iseći etalon ploču debljine minimalno 20 mm, od komponentnog radijalnog poprečnog preseka naplatka (oboda) i njegovog prelaza u disk točka. Ova epruveta se uzima iz spojnog segmenta slika 3.6.4.1. a jedna površina treba da se pripremi shodno uslovima EN ISO 6506-1

[142]⁴³ Standardi JŽ., UIC-a., EN.; JUS P. F2.213, JUS P.F2. 036, UIC-812-3 i EN 13262 812-3,



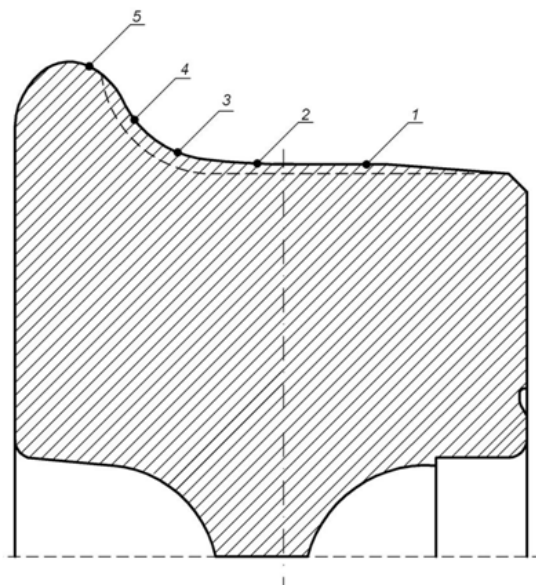
Slika 3.6.4.1. Položaj i mesto ispitivanja tvrdoće po poprečnom preseku oboda

Otisci tvrdoće su prikazani na slici 3.6.4.1. i to na rastojanjima od 5 mm od nominalne kotrljajuće površine i u tačkama „A“ i „B“. Tačke „B“ se poklapaju sa graničnim prečnikom. Ispitivanje tvrdoće venca treba izvesti najmanje na pet tačkaka na radijalnom preseku venca točka, kako je prikazano na slici 3.6.4.1. Ako debljina područja istrošenosti iznosi više od 35 mm, potrebno je postići vrednosti iz tabele 3.6.4.1. do dubine od 35 mm ispod trčee površine.

Rezultat tvrdoće po poprečnom preseku oboda i venca treba da se nađu u granicama 235-285 HB. Pri mernju koristiti prečnik merne kuglice od 5mm.

3.6.5. Ispitivnje površinske tvrdoće venca i površine kotrljanja

Nakon mehničke obrade sa skidanjem strugotine, svaki monoblok točak treba da se podvrgne ispitivanju tvrdoće po Brinelu, na ravnim površinama oboda točka koji se nalazi naspram venca točka. Mesto ovog ispitivanja tvrdoće treba da se izvede za 25 mm ispod nominalnog kruga kotrljanja, slika 3.6.5.1. Tvrdoća oboda monoblok točka i profila venca, treba da se kreće od 235 do 285 HB.



Slika 3.6.5.1. Mesto ispitivanja tvrdoće po profilu točka

Pored ovog ispitivanja, a za predmet ove doktorske disertacije neophodno je izvršiti ispitivanja površinske tvrdoće kotrljanja i venca točka. Merenja površinske tvrdoće profila venca točka treba izvesti minimalno na četiri merne tačke i to: na podnožju korena venca, spoljašnja površina venca monoblok točka sa dva merna mesta i vrhu venca. Ovo merenje će biti izvedeno savremenim uređajem metodom odskoka.

Za čitavu zonu habanja venca točka važe minimalne vrednosti koje su navedene u tabeli 3.6.5.1. (za svako merenje) tvrdoće po Brinelu.

Na prelazu između venca točka i oboda spojke, tvrdoća može da bude manja, više od 10 poena nego vrednost na granici habanja.

Kvalitet čelika monoblok točka	Minimalne vrednosti tvrdoće po Brinelu	
	Kategorija 1-za brzine preko 200 km/h	Kategorija 2-za brzine do 200 km/h
ER7	245	235

Tabela 3.6.5.1. Osobine tvrdoće u vencu točka [111]⁴⁴

3.6.6. Pravac sopstvenih zaostalih napona

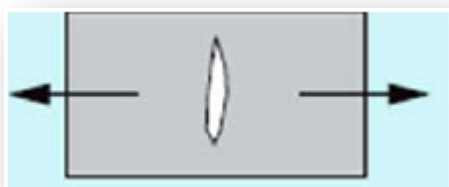
Zaostala naprezanja su naprezanja koja ostaju unutar komponente ili strukture nakon što se uklone sve vanjske sile koje na nju deluju. Zaostala naprezanja nastaju nakon plastične deformacije usled mehaničkih ili termičkih opterećenja ili usled faznih pomeranja. Kako je monoblok točka pri eksploataciji izložen kombinovanim složenim opterećenjima, to jest, mehanički i termički procesi doprinose stvaranju naprezanja koji mogu da produkuju u veće incijalne pukotine i time do rasprskavanja monoblok točka. Zaostala naprezanja se sastoje od kombinacije tri tipa naprezanja:

Tip - I Makro naprezanja

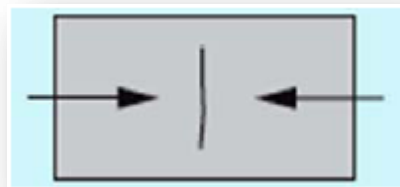
Tip - II Mikro naprezanja veličine zrna (usled anizotropije zrna ili usled prisutnosti više faza)

Tip -III Naprezanja unutar zrna usled nesavršenosti kristalne rešetke

Zaostala naprezanja u nekom mašinskom elementu pa i monoblok točku železničkih vozila mogu biti: naprezanja na pritisak (negativna) ili na zatezanje (pozitivna), slika 3.6.6.1.



a) „+“



b) „-“

Slika 3.6.6.1. Unutrašnja naprezanja a) na zatezanje (pozitivna) i b) na pritisak (negativna)

[111]⁴⁴ UIC Objava 812-3: Tehnički uslovi za isporuku monoblok točkova od valjanog nelegiranog čelika za vučna i vučena vozila, 5. izdanje od 1.1.84

Zaostala pozitivna naprezanja (zatezna), otvaraju inicijalne pukotine i povećavaju propagaciju pukotine. Zaostala negativna naprezanja na pritisak, nastoje da zatvaraju pukotine i usporavaju njenu propagaciju. Ova negativna naprezanja su za predmetno-naučnoistraživački rad pozitivnija zbog postojanosti zaostalih naprezanja u obodu i vencu točka pozitivnih naprezanja, a tehničko-tehnološkim procesom navarivanja dovodi do propagacije negativnih naprezanja što umanjuje intenzitet propagacije pozitivnih zaostalih naprezanja i time tehničkih elementa „točka“ približava stanju zadovoljavajućeg nivoa zaostalih napona. Ova proizvedena propagacija negativnih naprezanja, tehničko-tehnološkim postupkom održavanja venca točka kvaliteta ER7, i te kako daje značaj ovom naučno-istraživačkom radu, daje pouzdane elemente za primenljivost ove mehaničke karakteristike.

Poznato je da pri izradi monoblok točkova, kombinovanim tehnološkim postupkom, tj. kovanjem i valjanjem, a potom termičkom obradom poboljšanja, sa teoretskog gledišta nije moguće u potpunosti svesti zaostale napone na apsolutni minimum. Međutim, sa aspekta pouzdanosti pri eksploataciji, zadovoljavajući nivo zaostalih napona u spojci i obodu monoblok točka kvaliteta ER7, je do 300 Mpa. Dijagnostiku stanja zaostalih naprezanja pre navarivanja, posle navarivanja i u procesu eksploatacije će biti merena na eksperimentalnim monoblok točkovima. Ti dijagnostički pokazatelji su jedni od bitnijih za donošenje odluka tehničke izvodljivosti predmeta doktorske disertacije.

Spojka točka ili disk točka, je složeni deo monoblok točka, pošto je izložen raznim opterećenjima pri eksploataciji kao što su: dinamička, statička i kombinovana. Naučnim posmatranjem sa tog aspekta, neminovno nam je posvetiti veću pažnju dijagnostikovanja zaostalih napona odnosno trajne čvrstoće. Nezavisno od kvaliteta čelika monoblok točka, spojka mora biti sposobna da podnese napone na istezanje $\Delta\sigma$ od preko 10^7 promena opterećenja bez nastanka riseva sa verovatnoćom od 99,7%. U tabeli 3.6.6.1. date su vrednosti koje treba postići za osobine trajne čvrstoće spojke odnosno monoblok točka, dobijene proračunom. [23]

Stanje kod isporuke monoblok točka	$\Delta\sigma$ N/mm ²
Obradeno	450
Neobrađeno	315

Tabela 3.6.6.1. Vrednosti koje treba postići za osobine trajne čvrstoće [142]⁴⁵

Svrha ovih vrednosti je, da se obezbedi pouzdana mogućnost trajne čvrstoće proizvoda u cilju postizanja povoljnijih rezultata u odnosu na dozvoljene napone koji su definisani pri konstrukciji spojke za njenu trajnu formu.

Pošto ima mnogo približnih faza kod proračunavanja čvrstoće točka, nije upitno da se pravi razlika medju četiri kvaliteta čelika, ER6, ER7, ER8 i ER9.

Kao probe za ispitivanje trajne čvrstoće uzimaju se točkovi u stanju isporuke, čija hrapavost površine stoji u skladu sa propisima, tj UIC objavi 812-3, odnosno prikazana u tabeli 3.6.9.1

Postupak ispitivanja mora da omogući stvaranje napona na savijanje u spojki. Ispitivanja treba sprovesti tako, da ona daju statističke postupke analiza za ocenu rezultata ispitivanja

[142]⁴⁵ Standardi JŽ., UIC-a., EN.; JUS P. F2.213, JUS P.F2. 036, UIC-812-3 i EN 13262 812-3,

trajne čvrstoće. Postupak ispitivanja se kontroliše merenjem radijalnih napona, koji vladaju u području spojke koje je ugroženo od riseva.

Izvodljivost ovakvog postupka možemo primeniti metodom za iznalaženje promene preostalih naprezanja po obimu u dubini ispod trčee površine uz pomoć dilatacionih mernih traka (postupak sa razaranjem). Ovaj postupak dijagnosticiranja preostalih napona je primenljiv kada se dijagnostikuje veća skupina ili serija na jednom uzorku iste šarže, imajući u vidu da se radi o dijagnostici sa razarnjem, a on se sprovodi u proizvođačkoj fabarici nakon završne dijagnostike kao obavezni deo tehnološkog procesa proizvođača. Postupak se sastoji od operacija rastavljanja, koje vode ka sve većem oslobadjanju od preostalih sopstvenih naprezanja u vencu točka. Promena stanja sa sopstvenim naprezanjima, koja se dobijaju posle svakog postupka rezanja, određuje se pomoću merenja deformacija sklopa na površini pomoću dilatacionih mernih traka (DMT). Promena stanja unutar venca točka dobija se linearnom interpolacijom stanja koje se izračunava na površini. Proračun se izvodi samo za radijalni poprečni presek, pošto se usled termičke obrade, što je poznato iz iskustva, stvara ravnomerno stanje preostalog napona po obimu. Proizvođači monoblok točkova moraju da dijagnostikuju visinu sopstvenih naprezanja na pritisak u smeru po obimu, koji se mere u blizini trčee površine. Oni moraju biti između 80 i 150 N/mm², što znači da moraju biti jednaki nuli na dubini od 35 do 50 mm ispod trčee površine.

Opisane tehnike dijagnostikovanja vrše prizvođači monoblok točkova kao obavezni deo proizvodno-tehničko-tehnološkog procesa i dokumentovanom dijagnostičkom dokumentacijom. Ove primenjene metode dijagnostikovanja neće biti predmet našeg istraživanja u eksperimentalnom i eksploatacionom delu, već ćemo uvažiti polazne vrednosti naponskog stanja i trajne čvrstoće u tom vremenu pri isporuci, a polazne vrednosti za istraživanje i promene nastale procesima eksperimentalnog i eksploatacionog istraživanja vršćemo savremenim dijagnostičkim tehnikama bez razaranja, odobrene od strane internih železničkih propisa kao i UIC i EN, što će biti detaljno obrađeno u tom delu naučno istraživačkog rada.

Potreba i težnja svetskih naučnih institucija i istraživača je da se u ovim složenim dinamičkim procesima održavanja životnog veka čoveka, posebna pažnja posveti pouzdanosti tehničkih sistema pri procesima eksploatacije. Takva pristupna opredeljnja vodećih svetskih naučnih institucija i istraživača, doveli su do proizvodnje novih generacija dijagnostičkih tehnika i tehnologija. Tako je na polju dijagnostikovanja zaostalih napona, u složenim i odgovornim delovima tehničkog sistema, primenjene i dokazane, nove generacije kontrole i merenja zaostalih napona, kao što su:

1. **Mernje difrakciom X zraka.** U suštini ovom tehničkom metodom merenja zaostalih napona se izvodi preko udaljenosti između kristalografskih ravnina,
2. **Merenje mernim trakama.** Ova metoda daje informaciju o iznosu napona ispod površine objekta ispitivanja. Da bi se oni odredili, potrebno je poznavati relaksacione funkcije k_1 i k_2 koje zavise od dubine izbušenog prstena.
3. **Merenje krtim lakovima.** Za ovu metodu potrebno je posedovati specijalne pripremljene lakove koji se nanose sprejom. Nakon sušenja laka, lokacija i smer glavnih naprezanja se dobiju posmatranjem malih pukotina na laku. Ova tehnika merenja zaostalih napona, ne daje kvantitativne rezultate, nego informacije o smeru i karakteru naprezanja. Često se koristi u kombinaciji sa drugim tehnikama, npr. za pozicioniranje mernih traka.
4. **Merenje fotoelastičnim oblogama.** Fotoelasticimetrija je eksperimentalna metoda za određivanje naprezanja i deformacija. Zasniva se na promeni osobina prelamanja svetlosti posebnih materijala (Araldit- B) kad su napregnuti. Za merenje zaostalih naprezanja koriste se fotoelastične obloge.

- 5. Merenje ultrazvukom.** Ova metoda spada u noviju generaciju tehnika dijagnostikovanja. Ako u materijalu postoji zaostala naprezanja, brzina zvuka zavisi od polarizacije. Kako polarizovani ultrazvučni talasi imaju različite brzine, dolazi do interferencije, a time dolazi do promene amplitude i faze emitovanih talasa, na osnovu čijeg merenja se može utvrditi stanje naprezanja.
- 6. Druge metode** koje su manje primenjene u industriji kao što su: Magnetna metoda (magnetnoelastični efekat), Raman spektroskopija, Sinhrotron i Difrakcija neutrona.

Uvažavajući interne i eksterne železničke propise, od predloženih tehnika dijagnostikovanja zaostalih napona, kao i pogodnosti primene i pouzdanosti, kroz sveobuhvatni proces eksperimentalnog i eksploatacionog istraživanja primeniće se tehnike kontrole i merenja zaostalih napona ultrazvukom. Smatramo da odabrana tehnika dijagnostikovanja ove mehaničke karakteristike je meritorna i pouzdana za dokazivanje hipoteza predmeta doktorske disertacije.

U volumenu venca monoblok točkova koji su predmet istraživanja, dijagnostikovaćemo ultrazvučnom tehnikom stanje sopstvenih zaostalih naprezanja. U tu svrhu se koristi efekat dvostrukog trčanja. Relativna razlika perioda trčanja dvaju transverzalnih talasa, koji se šire duž istog smera glavnih napona i vibriraju uvek paralelno prema jednom od dva druga smera glavnih naprezanja, direktno je proporcionalna razlici dva naprezanja, koji deluju u smeru vibriranja talasa. Iz perioda trčanja dveju osovina dobija se razlika dva glavna naprezanja.

$$[3.21]^{46}$$

$$\sigma_{\text{cir}} - \sigma_{\text{rad}} = k \frac{(t_{\text{rad}} + t_{\text{cir}})}{t_{\text{cir}}}$$

σ_{cir} , σ_{rad} : glavna naprezanja u radijalnom smeru i po obimu,

t_{rad} , t_{cir} : vreme trčanja transverzalnih talasa u radijalnom i smeru oscilacija

k: akustoelastična konstanta

Rezultati koji su postignuti na jednoj mernoj tački, predstavljaju prosečnu vrednost diferencija glavnih naprezanja, koja deluju u volumenu zvučnog polja. Ovi rezultati uzimaju u obzir naprezanja u radijalnom području i merenja će pokazati, da su ona dovoljno mala i osim toga merenja koja se sprovode po ovom postupku se mogu smatrati reprezentativnim za naprezanja po obimu i kao posledica toga mogu se koristiti da bi se verifikovala istrživanja po ovoj tehničkoj dijagnostici.

Pravci zaostalih napona treba da teže u smeru po obimu venca i oboda monoblok točka, a postupak dijagnostikovanja treba izvesti u najmanje četiri merna polja spojke, oboda i venca točka (4x90°).

3.6.7. Mikrografsko i makrografsko ispitivanje materijala

Za ova ispitivanja uzorkuje se epruvete određenog broja u odnosu na šaržu, u konkretnom slučaju epruvete će biti uzorkovane iz oboda i venca točka iz dva monoblok točka različitih osovinskih sklopova. Šarže i godina proizvodnje tih uzorkovanih monoblok točkova su istog porekla kao i monoblok točkovi koji su podvrgnuti eksploatacionom delu istraživanja. Priprema etalona za ispitivanje je potrebno izvesti shodno tehničkim propisima i standardima EN tj. propisno brušenjem i poliranjem kako bi pouzdano odredili strukturu čelika točka.

[142]⁴⁶ Standardi JŽ., UIC-a., EN.; JUS P. F2.213, JUS P.F2. 036, UIC-812-3 i EN 13262 812-3,

Stepen čistoće dobiće se mikrografskim ispitivanjem prema ISO 4967:1998, postupak „A“. Vrednosti koje treba održati navedene su u tabeli 3.6.7.1.

Vrsta uključka	Kategorija 1. za brzine veće 200km/h		Kategorija 2. za brzine do 200km/h	
	Debela serija max.	Tanka serija max.	Debela serija max.	Tanka serija max.
A(sumpor)	1,5	1,5	1,5	2
B (aluminijum)	1	1,5	1,5	2
C (silikati)	1	1,5	1,5	2
D (globularni oksidi)	1	1,5	1,5	2
B+C+D	2	3	3	4

Tabela 3.6.7.1. Stepen čistoće koji treba održati za mikrografsko ispitivanje [142]⁴⁷.

3.6.8. Ispitivanje ultrazvukom

3.6.8.1. Opšte o ultrazvučnoj defektoskopiji

Defektoskopija je naučna disciplina koja se bavi iznalaženjem grešaka materijalne homogenosti. Osnovna namjena je otkrivanje i određivanje podpovršinskih grešaka u materijalu i zavarenom spoju regulisanim euronormama EN 26520. To je samo jedan mali dio od velikog broja korištenih metoda koje se koriste u nerazarajućem ispitivanju materijala. Nedostatak ove metode je da se njome otkriva i određuje greška koja je nastala prije njenog provođenja. Ne može poslužiti u ličnom sprečavanju nastajanja greški u materijalu.

Ispitivanja ultrazvukom zasniva se na pronalaženju i određivanju lokacije defekta u materijalu, koji se nalaze na dubini od 1 do 2000 mm kod metalnih i nemetalnih materijala, pomoću propuštanja ultrazvučnih Ui talasa kroz materijal.

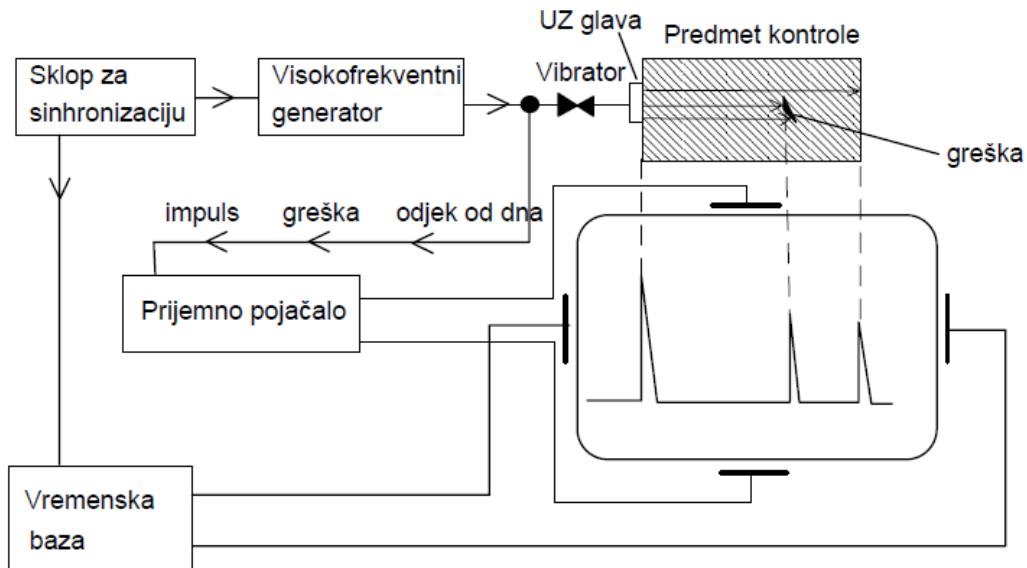
Ultrazvuk je tako materijalno treperenje sredine čija je učestalost veća od 50000 Hz, pa omogućuje njegovo prodiranje u materijal. Prostiranje ultrazvuka kroz materijal praćeno je izvesnim rasipanjem, zbog čega nastaje razlika između količine ulaznih i izlaznih ultrazvučnih talasa, što se prati na odgovarajućem osciloskopu uređaja. Kod ultrazvučnih defektoskopa najviše se koristi za dobijanje ultrazvučnih talasa piezoelektrični efekat. Pri tome se korišćenjem piezokristala vrši pretvaranje električne energije u mehaničku učestalost od 500-1000 MHz. Za ispitivanje materijala koriste se uglavnom frekvence 1-6 MHz. Prema obliku ispitivanog materijala "glave" su oblikovane, tako da stvaraju podužne, poprečne i površinske talase.

Način otkrivanja grešaka u materijalu zasniva se na tonskim, impulsnim-eho i rezonantnim metodama, koje u suštini registruju na odgovarajući način ulazne i izlazne talase - "signale". Prolaskom kroz homogeni materijal, npr. kod tonskih metoda visina tona zvuka je ujednačena, a pri nailasku na grešku dolazi do njegove promene.

Kod impulsnih-eho metoda prolaz ultrazvučnih talasa kroz materijal (odnosno, pri njihovom nailasku na grešku), zasnovan je na istom principu kao i kod impulsnih uređaja, sa tom razlikom što se signali - ulazni i izlazni - uočavaju na ekranu u vidu svetlosnih signala. Signal greške nalazi se između ulaznog i izlaznog signala na odstojanju koje je proporcionalno dubini lokacije greške.

[142]⁴⁷ Standardi JŽ., UIC-a., EN.; JUS P. F2.213, JUS P.F2. 036, UIC-812-3 i EN 13262 812-3,

Ultrazvučne metode su vrlo efikasne za merenje debljine čeličnih materijala koji nisu pristupačni sa obe strane, sa tačnošću 0,01 mm. Materijal koji se podvrgava ispitivanju ne doživljava nikakvo razaranje i defektoskopija se može ukomponovati u tehnološki proces proizvodnje ili kao završna faza kontrole gotovih proizvoda ili polufabrikata. Na slici 3.6.8.1. prikazana je osnovna šema rada ultrazvučnih defektoskopa.



Slika 3.6.8.1. Šema rada ultrazvučnog defektoskopa [38]⁴⁸

Dijagnostikovanje ultrazvučnom defektoskopijom, monoblok točkova kvaliteta ER7, sa teoretskog stanovišta, izučićemo, samo ona ispitivanja, koja su relevantana i uticajna za sprovođenje eksperimentalnog i eksploatacionog istraživačkog dela ove doktorske disertacije.

Ispitivanje grešaka u obodu i vencu monoblok točka, ispituje se ultrazvučnom defektoskopijom, uvođenjem ultrazvuka u dva pravca i to:

- vertikalno u odnosu na unutarnju stranu oboda točka, uvođenjem ultrazvuka u poprečnom pravcu.
- vertikalno u odnosu na kotrljajuću stranu oboda i venca točka, radijalno uvođenje ultrazvuka.

Ispitni delovi monoblok točka izvoditi tako da se reprodukuje, što je moguće, veća zapremina, koja se ispituje i da mrtva zona ipod ispitne površine nesme da prekorači 30 mm pri poprečnom uvođenju ultrazvuka i 10 mm pri radijalnom uvođenju ultrazvuka. Postupak ultrazvučnog dijagnostikovanja izvršiti sa nominalnom frekvencijom 2-4 MH. Zavisno od tehničkog nivoa ultrazvučnog aparata, podešavanjem ispitnog sistema i procenu pokazatelja eha, mogu da se primene uporedni etlon naplatak sa vencem točka ili DGS (AVG) metoda.

[38]⁴⁸ Vuković, V.,: *Ispitivanje materijala metodama bez razaranja*, Međunarodni stručni skup, „Efikasnost i upravljanje“, Banja Luka, 2008 god.

3.6.8.2. Granice grešaka

Venac monoblok točka

Venac točka ne sme imati nikakve veće ili jednako velike unutrašnje greške nego što su otvori na ravnom dnu na istoj dubini. Prečnici ovih standardnih grešaka vide se u tabeli 3.6.8.1.

Prečnik standardne greške (mm)	Kategorija 1, (za brzine preko 200 km/h)	Kategorija 2, (za brzine do 200 km/h)	
	1	2	3

Tabela 3.6.8.1. Prečnici standardne greške [142]⁴⁹

Na vencu monoblok točka kvaliteta ER7, ne sme se dobiti nikakvo slabljenje eha sa zadnjeg zida koji je jednak ili veći od 4 dB kod aksijalnog ispitivanja.

Spojka monoblok točka

Spojka ne sme imati:

- više od 10 eha visine veće ili jednake indikaciji $\varnothing 3$ mm standardne greške.
- eha visine veće ili jednake indikaciji $\varnothing 5$ mm standardne greške.

Razmak između dve dozvoljene greške mora da iznosi najmanje 50 mm.

3.6.9. Dinamičko uravnoteženje masa

Kao obavezna tehnološka radnja pri procesu izrade monoblok točkova obaveza proizvođača je da dovede točkove u dozvoljne vrednosti uravnoteženja mase. Zavisno od eksploatacione namene monoblok točkova različite su vrednosti neuravnoteženih masa. U tabeli 3.6.9.1. su prikazane dozvoljene vrednosti neuravnoteženja točka, zavisno od za koje brzine kretanja su namenjeni.

Svrha eksploatacionog prometa točkova	Maksimalno dozvoljeni ostatak neuravnoteženih masa [gr]
Točkovi za vozila koja saobraćaju većom od 250km/h	25
Točkovi za vozila koja saobraćaju većom od 200km/h	50
Točkovi za vozila koja saobraćaju većom od 120km/h	75
Točkovi za vozila koja saobraćaju većom od 80km/h	125

Tabela 3.6.9.1. Maksimalne granične vrednosti neuravnoteženih masa [110]

Dinamičko uravnoteženje masa se izvodi na namjenskim mašinama, a odstranjivanje materijala u cilju postizanja zadovoljavajućeg uravnoteženja izvodi se neposredno nakon mehaničke kod proizvođača točkova. Obradom struganjem skida se određena količina materijala na mestima prelaza oboda u disk. Ova dinamička neuravnoteženost ne može se znatno promeniti pri procesu eksploatacije, kao i primenom novog tehnološkog postupka održavanja osovinskih sklopova tj. regeneracijom venca točka-navarivanjem. To znači da za istraživnje predmeta doktorske disertacije ovoj tehničkoj karakteristici nema potrebe

[142]⁴⁹ Standardi JŽ., UIC-a., EN.; JUS P. F2.213, JUS P.F2. 036, UIC-812-3 i EN 13262 812-3,

posvećivati nikakve naučno-istraživačke elemente koji bi uticali na promenljivost uravnoteženja.

3.6.10. Ispitivanje izgleda i merne veličine

U pogledu njihovog radnog angažovanja monoblok točkovi se mogu obraditi kompletno ili delimično. Njihova površina ne sme imati nikakva ulegnuća na mestima koja nisu označena u standardom UIC 812-3.

Delovi, koji ostaju kao „kovani“ i/ili „valjani“ moraju se peskirati i potpuno zaštititi i moraju se ulivati kroz meke dobro spojene prelaze u obradjena područja. Prosečna hrapavost površine (Ra) „obradjenih“ ili delova koji su „spremni za sklapanje“ data je u tabeli 3.6.10.1.

Područje točka	Stanje kod isporuke	Rapavost Ra [μ m] Kategorija 1, za brzine veće od 200 km/h	Rapavost Ra [μ m] Kategorija 2, do 200 km/h
Otvor	Obradeno spremno za montažu	$\leq 12,5$ 0,8 do 3,2	$\leq 12,5$ 0,8 do 3,2
Spojka i glavčina	Obradeno	$\leq 3,2$	$\leq 12,5$
Površina trčee površine	Obradeno	$\leq 6,3$	$\leq 12,5^d$
Površine venca točka	Obradeno	$\leq 6,3$	$\leq 12,5^d$

Tabela 3.6.10.1. Hrapavost površine točkova [Ra] u stanju isporuke [111]⁵⁰

Rapavost površine točka [Ra] u stanju isporuke po tabeli 3.6.10.1. mora da se proveri upoređenjem sa uzorcima rapavosti ili da se izmeri meračem rapavosti na ravnim površinama. Propisane površina bez grešaka treba da se dokaže ispitivanjem sa magnetnim praškom, u skadu sa ISO 6933.

Geometrija i dimenzije točkova definisna je pomoću crteža, a isti su usklađeni sa UIC i EN, a čini sastavni deo narudžbe pri snabdevanju monoblok točkova, a slobodne veličine, ako nije regulisano ugovorn, potrebno je sledeće maksimalne dužine smatrati indikacijama grešaka:

- 2 mm na obradjenim površinama
- 6 mm na neobradjenim, kovanim ili valjanim površinama

Ova ispitivanja se isključivo sprovode pri proizvodnji točkova, posle termičke obrade u gotovom obradjenom stanju pre nanošenja sloja antikorozivne zaštite.

Znatni uticaj na istraživački proces doktorske disertacije ove geometrijske karakteristike nemaju, ali je obavezno postići sve navedene geometrijske parametre venca i trčee površine točka, koji nisu definisani crtežom, nakon sprovednog tehničko-tehnološkog zahvata.

[111]⁵⁰ UIC Objava 812-3: Tehnički uslovi za isporuku monoblok točkova od valjanog nelegiranog čelika za vučna i vučena vozila, 5. izdanje od 1.1.84

3.7. Opšte o obnavljanju postupkom navarivanjem

Opšta definicija navarivanja je postupak nanošenja dodatnog materijala topljenjem na osnovni deo koji se navaruje. Uglavnom se za navarivanje koriste isti postupci kao kod zavarivanja.

Ukoliko se postupak navarivanja primenjuje za reparaturu dela, što je u konkretnom slučaju, i kao zaštita od habanja, tada je izbor odgovarajućih legura dodatnog materijala veliki problem, zbog velikog broja legura (nekoliko hiljada se primenjuje za navarivanje) i različitih tehnologija i uslova u kojima rade sastavni delovi mašina.

Za izbor postupaka za navarivanje postoje brojni kriterijumi i uzimaju se zavisno od konkretnog slučaja. To su najčešći:

- stepen produktivnosti (efikasna količina istopljenog metala),
- mogućnost automatizacije ili mehanizacije,
- što manji stepen mešanja osnovnog i dodatnog materijala, čime se sprečava preveliko razblaženje legirajućih elemenata u navaru,
- minimalni utrošak dodatnog materijala po jedinici navara,
- minimalni utrošak vremena za operaciju navara,
- minimalna priprema za navarivanje,
- postizanje odgovarajuće geometrije navara i mogućnost oblikovanja navara za funkcionalnu eksploataciju,
- postizanje ujednačenog sadržaja legirajućih elemenata,
- postizanje ujednačene tvrdoće,
- postizanje povoljnih strukturnih karakteristika navara, ostvarenje navara bez grešaka oblika i homogenosti,
- svođenje termičke obrade posle navarivanja na najmanju meru,
- eliminacija svih vrsta prskotina u navaru i osnovnom materijalu,
- zadovoljenje promene zaostalih napona u navaru i osnovnom materijalu,
- opremljenost pogona za navarivanje, odnosno potrebna odgovarajuća mašinska postrojenja i uređaji.

Sa opšteg stanovišta gledano, obnavljanje postupkom navarivanjem, se uspešno izvodi na ravnim i zakrivljenim površinama. Ravne površine se izvode postupkom odvojenih gusenica i njihanjem, dok se zakrivljenim površinama može izvesti na tri načina: po izvodnicama, po kocentričnim krugovima, po spirali.

3.7.1. Teoretske mogućnost primene navarivanja

Navarivanje tvrdih spojeva, kao mera za smanjenje habanja, ima u svetu pa i našim zemljama, u odgovarajućoj meri široku primenu. Primenjuje se u raznim granama privrede:

b) Metalurgija čelika i obojenih metala:

- na opremi željezničkih transportnih sistema,
- na opremi za sinterovanje,
- na opremi za valjanje (npr. valjaonički stanovi),
- na visokim pećima (na transporterima),
- opremi za kalupovanje
- opremi mašinske industrije itd.

c) Građevinarstvo:

- Oprema za izvođenje zemljanih radova (bageri, dozeri, strugači, ravanlice, utovarivači, valjci, nabijači itd.),
- oprema za otkop i preradu kamena (čekići za bušenje, drobilice, mlinovi, sita, itd.),

d) Industrija motornih vozila:

- navarivanje noževa,
- navarivanje prenosnih zglobnih mehanizama,
- navarivanje plugova,
- navarivanje raznih alata za obradu zemlje.

e) Industrija prerade:

- navarivanje mlinova za mlevenje minerala, usitnjavanje, sita, pužnih transportera, dozatora i sličnih delova izloženih intenzivnom habanju u hemijskoj industriji,
- navarivanje delova mlinova čekićara, drobilica, transportera i sličnih uređaja u industriji cementa,
- navarivanje delova za pripremu, transport materijala, oblokovanje materijala u ciglarskoj industriji,
- navarivanje ivica alata za oblokovanje, istiskivanje i rezanje u staklarskoj industriji,
- navarivanje delova obrtne pumpe, dodavača transportera, noževa, presa za paletiranje i ostalih delova u industriji za preradu šećerne repe.

3.7.2. Teoretske osnove o zavarljivosti materijala monoblok točka kvaliteta ER7

Svaka kompleksna osobina metala i legura nazvana zavarljivost, tako i materijal monoblok točka kvaliteta ER7, ima sledeće tri ključne karakteristike zavarljivosti:

- operativna zavarljivost, koja određuje uslove kvalitetnog izvršenja navarenog spoja topljenjem,
- metalurška, koja karakteriše fizičko-hemijske promene metala nastale u procesu zavarivanja (navarivanja),
- konstruktivna ili opšta zavarljivost, pomoću koje određujemo osobine repariranog monoblok točka kvaliteta ER7, sa ciljem da se ustanovi njihova sklonost ka obrazovanju prslina.

3.7.3. Operativna zavarljivost monoblok točka kvaliteta materijala ER7

Operativna zavarljivost treba da pokaže ponašanje metala pri topljenju i ciljanoj mogućnosti dobijanja kvalitetnog navarenog spoja sa osnovnim materijalom, uz primenu operativne zaštite i predgrevanja. Da bi teoretske osnove zavarljivosti monoblok točka kvaliteta ER7 bio izvodljiv, posmatrano sa tehničkog aspekta, neophodno je uzeti u istraživanje i analizu svih uticajnih elementa pa i hemijski sastav osnovnog materijala kao i stanje mehaničkih karakteristika monoblok točka, koji su glavni pokazatelji izvodljivosti ove vrlo produktivne tehničko-tehnološke radnje.

Udeo hemijskih elementa u monoblok točku kvaliteta ER7, dat je u tabeli 3.7.3.1., a mehaničkih karakteristika 3.7.3.2.. Ove vrednosti su propisane međunarodnom objavom UIC 812-3, te ih u ovom teoretskom delu istraživanja, smatramo za relevantnim pokazateljima za ovaj deo ovog istraživačkog rada.

Kvalitet čelika	Maksimalni udeo % ^a										
	C	Si	Mn	P ^b	S ^{b,c}	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Cr+Mo+Ni
ER7	0,52	0,40	0,80	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50

Tabela 3.7.3.1. Hemijski sastav materijala i mehaničkih osobinama monoblok točka kvaliteta ER7, definisane međunarodnom objavom UIC 812-3 [111]⁵¹

- a-* Za posebne namene mogu se u okviru maksimalnih sadržaja prihvatiti izmene zahteva.
- b-* Moguće je dogovoriti maksimalni sadržaj od 0,025 % kod tendera ili u slučaju narudžbe.
- c-* Kod tendera i dobijanja narudžbe može se dogovoriti minimalni sadržaj sumpora prema metodi proizvodnje čelika, da bi se postigla zaštita od stvaranja riseva usled vodonika.

Zate. čvrstoća N/mm ²	Min. izduženje %	Min. žilavost Nm/cm ²	Tvrdoća HB	Ekvivalentnost C
820-940	14	15	235-285	0,68

Tabela 3.7.3.2. Prosečne mehničkih karakteristika oboda i venca monoblok točka kvaliteta ER7 [142]⁵²

Izučavanjem Evropskih teoretičara 19, 20 i 21 veka, o metalurgiji zavarivanja i navarivanja, možemo slobodno reći da predmet doktorske disertacije će činiti složena tehničko-metlruška istraživanja, imajući za činjenice hemijske nepogodnosti čelika točka, kao i metalruško stanje, odnosno mehničke karakteristike oboda i venca točka. To znači da predočene vrednosti tabelama 3.7.3.1. i 3.7.3.2. karakterišu, da pouzdana izvodljivost navarivanja materijala monoblok točka ER7, spada u grupu uslovno zavarljivih čelika.

Ovakvoj našoj konstataciji je fundamentalna podloga mnogobrojnih istraživača i teoretičara koji su svoje, uglavnom, teoretske istraživačke radove definisali kao uslovno kritičnim materijalom za zavarivanje elemenata koji pripadaju složenim tehničkim sistemima. Njihova bazna ocena ove konstatacije je nepovoljan sadržaj ugljenika, odnosno ekvivalentnosti kojom su dozirane znatno nepovoljne mehničke karakteristike.

Imajući za činjenice navedene teoretske stavove, ubeđeni smo, da doktorska disertacija ima teoretsku opravdanost istraživanja, samo, ako se tehničko-tehnološkim postupkom ekvivalentnost svede van granice kritičnosti pri izvođenju tehnološke radnje navarivanja venca, a time smo pouzdani da je stvorena verovatnoća za eliminaciju svih oblika prslina, kao osnovne i najopasnije greške koja, u stvari, i karakteriše samu zavarljivost. Sprovođenje ovakavog tehničko-tehnološkog postupka navarivanja venca, nameće se potreba za obaveznom primenom dijagnostikovanja stanja točka nad kojim je primenjen ovaj tehnološki zahvat, u cilju postizanja potpune pouzdanosti izvedenog zahvata. Svakako pouzdanost ovog tehnološkog postupka, obnavljanja venca monoblok točka navarivanjem,

[111]⁵¹ UIC Objava 812-3: *Tehnički uslovi za isporuku monoblok točkova od valjanog nelegiranog čelika za vučna i vučena vozila*, 5. izdanje od 1.1.84

[142]⁵² *Standardi JŽ., UIC-a., EN.; JUS P. F2.213, JUS P.F2. 036, UIC-812-3 i EN 13262 812-3,*

potvrđiće eksperimentalno-eksploataciona istraživanja koja i jesu najrelevantniji pokazatelj uspešnosti predmeta ove doktorske disertacije.

Primenom tehnoločkog procesa navarivanja venca točka, predgrevanjem, je plod dugogodišnjeg izučavanja i istraživanja u oblasti zavarljivosti čeličnih materijala na železničkim tehničkim sistemima. Nepovoljnosti hemijskih i mehničkih karakteristika materijala monoblok točka ER7 kao i sadržaja ugljenika, za ostvarljivost hipoteza je zasnovano na kvalitetnom odabiru namjenskog dodatnog i zaštitnog materijala, dobijenim odgovarajućim matematičko-fizičkim i metalurškim metodama, kao i adekvatnim proračunom predgrevanja oboda i venca točka, možemo ostvariti hipoteze ove doktorske disertacije.

Analizirajući mnoge istraživačke radove, priznatih svetskih istraživača i teoretičara u oblasti zavarljivosti čelika i predgrevanja, opredelili smo se za primenom metode predgrevanja točka, po Seferijanu, koja će biti detaljno obrađena u poglavlju eksperimentalnog istraživanja ove doktorske disertacije.

Navedene naučne postavke opravdano navode da je moguće očekivati različito ponašanje materijala monoblok točka kvaliteta ER7, pri tehničko-tehnološkom procesu navarivanja. Navedne teoretske naučne činjenice ukazuju na sasvim realno produkovanje u ZUT-e veća ili manja pojava krutih struktura i nedozvoljenih vrednosti toplote.

Iz dijagrama raspada austenita ovog čelika, tj. ER7, određeno je kritično vreme hlađenja u intervalu 800-550 °C, slika 5.4.6.1.1. poglavlju 5.4. pri kojem se u strukturi, uglavnom, ne zapaža potpuni martenzit i ono iznosi 25 s. Ovo kritično vreme hlađenja regulišemo izborom najoptimalnijeg prečnika elektrodne žice za navarivanje tj. $\phi 3$ mm, kao i količinu unete toplote. Cilj ovoga jeste da se u ZUT-e ostvari sa što nižim sadržajem martenzita.

Stvarana ZUT-e imaće heterogenu strukturu, a u zavisnosti od rastojanja zone stapanja. Zone u oblasti A1 temperature će pokazati lokalno omekšavanje, a u eksperimentalnom delu istraživačkog rada utvrdićemo merenjem mikro tvrdoće na uzetim isečcima i predočiti rezultate, koji će se po ovoj teoretskoj osnovi naći u granicama dozvoljenog.

Navedeno lokalno prisustvo omekšanih zona je nepoželjno. Razlog je što se pri eksploataciji osovinskih slogova sa navučenim monoblok točkovima kvaliteta R7T, ciklično opterećuju venci, a kao rezultat dolazi do plastične deformacije koja se tako koncentriše da raste rizik od nisko cikličnog zamora. Međutim, svakom navedenom regeneracijom venac monoblok točka, se prethodno obradi, tj skidanjem strugotine (priprema za navarivanje do 3 mm), i time ćemo umanjiti ovu nepoželjnu pojavu, tj. svesti u granice dozvoljenog odstupanja, tako da se mogu očekivati povoljni rezultati što će dokumentovati eksperimentalni deo istraživačkog rada ove doktorske disertacije.

3.7.4. Metaluruške karakteristike materijala ER7

Metaluruška i lokalna zavarljivost materijala monoblok točka kvaliteta ER7 karakteriše fizičko-hemijske promene metala monoblok točka nastale u procesu navarivanja. Ova metaluruška karakteristika nameće potrebu poznavanja uticaja najbitnijih hemijskih elementa u osnovnom materijalu pri procesu transformacije, koja je detaljno objašnjena u poglavlju 3.10.

3.7.5. **Konstruktivna zavarljivost materijala monoblok točka kvaliteta ER7**

Konstruktivna ili opšta zavarljivost venca monoblok točka kvaliteta ER7 očituje se sklonošću navarenog sloja na vencu točka, ka pojavi prslina, ili njenu osetljivost prema dejstvu zone spajanja.

Prsline koje mogu da se jave usled navarivanja venca monoblok točka, možemo svrstati u tri grupe:

- a. Hladne prsline u ZUT ispod prvog i drugog navara, koje najčešće nastaju usled krhkih struktura kaljenja, kao posledica nedovoljne temperature predgrevanja, nepravilnog redosleda polaganja navara ili prisustva difundovnog vodonika.
- b. Vruće prsline kristalizacionog ili cirkulacionog tipa, koje najčešće nastaju zbog pregrevanja venca monoblok točka. Ponekad, vruće prsline mogu da se jave i u drugim oblastima navarenog sloja, ukoliko je navar bio izložen ekstremno velikim količinama unete toplote.
- c. Zamorne prsline koje se javljaju u eksploataciji, usled niskocikličkog zamora, kao rezultat smanjenja plastične deformacije u omekšanoj zoni. Oni se zapažaju u osnovnom materijalu paralelno sa ZUT, u oblasti prelaza oboda u gazeću površinu.

Na osnovu teoretskih izučavanja predmeta ovog problema, poznatih teoretičara ovog vremena, a u vezi navedenih nepoželjnih prslina, ovom problemu ćemo posvetiti posebnu pažnju pri sprovođenju sasvih novih tehničko-tehnološkog postupka održavanja venca monoblok točka kvaliteta ER7, a koji će uticati na eliminaciju navedenih nepoželjnih prslina, kao što su:

a) **Hladne prsline**

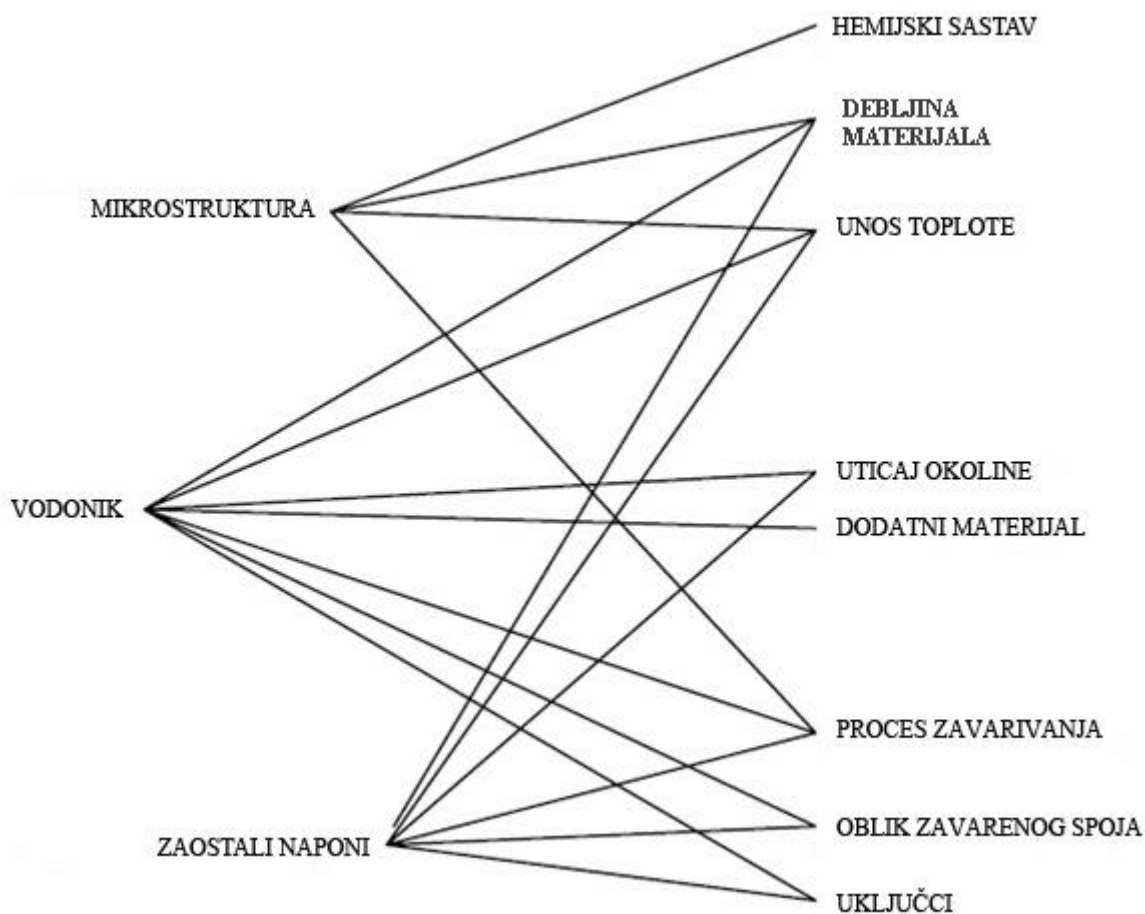
Pomenuli smo da je materijal venca monoblok točka kvaliteta ER7, osetljiv na pojavu hladnih prslina, s obzirom na to da se u ZUT ne može u potpunosti isključiti prisustvo martenzita, kao i svodenje difudovnog vodonika u navaru na minimalnu meru, te je sa te osnove neophodno preduzimanje dodatne tehnološke radnje, tj. primene temperature predgrevanja oboda točka. Sa aspekta teoretskog istraživanja, a koje ćemo primentiti pri eksperimentalnom istraživanju, to je moguće postići perfektnim sušenjem elektrodne žice za navarivanje kao i zaštitnog praška, lagerovanje u električnoj komornoj peći na konstantnoj temperaturi od 40°C. Uticajni faktor na eliminaciji navedenih nepoželjnih prslina takođe značajno utiče radna temperatura izvođenja tehnološkog procesa navarivanja venca. Temperatura ne sme biti manja od 16⁰C.

Hladne prsline nastaju nakon izvršenog zavarivanja na temperaturi nižoj od 250 - 200 °C. [1]. Nazivaju se i zakašnjele hladne pukotine. Mogu se pojaviti i par dana nakon zavarivanja. Mogu biti uzdužno ili poprečno položene na zavar ili na prelaz u osnovnom materijalu. S obzirom na smer rasprostiranja, govorimo o longitudinalnim (L) i transferzalnim (T) pukotinama. Mogu biti vidljive i nevidljive za ljudsko oko, odnosno mikro ili makro pukotine.

Glavni uzročnici nastajanja hladnih pukotina su:

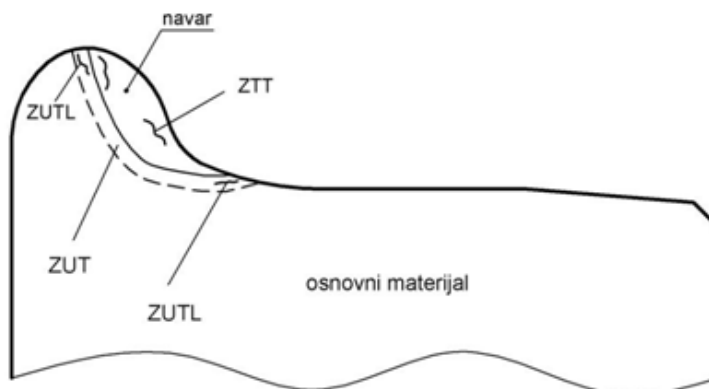
- nepovoljnog položaja uključaka u zavaru,
- zbog skupljanja zavara – delovanje naprezanja, postojanje zaostalih napetosti,
- kod struktura metala zavara,
- zbog prisutnosti vodonika u zavaru,
- kod metala sklonog otvrdnjavanju, naročito u ZUT-u,
- zbog sklonosti materijala prema zakaljivanju.

Za stvaranje hladnih pukotina neophodni su svi navedeni uzročnici, nastajanje je veće ukoliko je veći njihov uticaj prikazanih na slici 3.7.5.1.



Slika 3.7.5.1. Šema uzročnika nastajanja pukotina

Prepoznavanje hladnih prslina možemo videti sa površine preloma gde je pukotina svetla, za razliku od toplih pukotina kod kojih je prelomna površina tamnija. Kod toplih pukotina obavezno se zapaža površinska oksidacija jer nastaju na povišenim temperaturama. Na slici 3.7.5.2. su prikazana moguća mesta pojave hladnih prslina, nakon navrivanja venca monoblok točka železničkih vozila.



Slika 3.7.5.2. Lokacije i orijentacije hladnih prslina

Proces nastajanja hladnih prslina uzrokom vodonika

Nastajanje hladnih pukotina je vrlo složen postupak. Vodonik u talini zavara kod visokih temperatura se nalazi u atomskom stanju. Pri hlađenju vodonik prelazi u molekularno stanje i smešta se u materijal na mestima gde su nastale sitne greške i u tim mestima nastaju vrlo visoki pritisci. Zbog uticaja visokih lokalnih pritisaka oni se međusobno povezuju u manju ili veću pukotinu, posebno kada još dodatno deluju, visoko naprezanje nastalo zbog skupljanja metala zavara. Hladne pukotine su vrlo česte kod reparaturnih zavara, uglavnom kod slabo zavarenog čelika ili na mestima gdje su nakon zavarivanja vrlo visoka zaostala naprezanja što možemo da kažemo da je slučaj i monoblok točka. Najveći uzročnik nastajanja hladnih pukotina je vodonik. On dolazi u zavar razlaganjem vlage na visokim temperaturama, u oblozi elektrode odnosno zaštitnog praška ili u zaštitnom plinu ali i iz drugih nečistoća koje se nalaze na površini mjesta zavara kao što su: vlaga, hrđa, masnoća. Ponekad vodonik koji je ostao zarobljen u zavarenom spoju ne izaziva pukotine. Međutim, na površini loma mogu se uočiti tzv. "riblje oči" i "pahuljice". Ta su mesta karakteristična jer se na njima nakupio vodonik koji nije defundirao iz zavarenog spoja. On predstavlja diskontinuitet u zavarenom spoju, a to dovodi do smanjivanja pouzdanosti obnovljenog venca monoblok točka pri eksploataciji.

b) Tople prsline

Ove pukotine nastaju na visokim temperaturama, postupkom hlađenja taline do čvrstog stanja. Prostiru se po granicama zrna materijala i to najčešće po dužini u sredini zavara, a moguće su i u ZUT-u. Posljednja faza skrućivanja metala zavara kod visokih temperatura dovodi do naprezanja koju zavar ne može izdržati, što se smatra glavnim uzrokom nastajanja toplih pukotina. Nastajanje toplih pukotina može se objasniti na slijedeći način:

- talinu popunjava dio između stranica žlijeba ili kanala navarivanja, a skrutnjavanje zavara započinje od stranica koje su hladnije i ide prema sredini,
- ako nadvlada skupljanje u procesu između skupljanja i skrućivanja, zrna materijala će ostati razdvojena u toplom stanju- topla pukotina,
- između zrna skrućenog materijala preostaje tanki film taline u završnoj fazi skrutnjavanja. Područje skrutnjavanja materijala skuplja se u smjeru suprotnom od pravca skrutnjavanja.

Postoje kristalizacione i likvacione tople pukotine. Kristalizacijske tople pukotine nastaju pri kristalizaciji u zoni taljenja. Kristalizacija metala zavara je pojava koja se dešava pri hlađenju rastaljenog materijala u žlebu-kanala zavara. Eventualne nečistoće koje se zadese ostaju zarobljene između kristala. Usled skupljanja zavara djelovanjem naprezanja dolazi do nastajanja tople pukotine.

Likvidacijske pukotine najčešće nastaju u zoni uticaja toplote. Njihovo nastajanje je poprečno ili okomito na uzdužnu od zavara. Nastaju zbog nečistoća koje su raspoređene pogranicama zrna osnovnog materijala u zoni uticaja toplote. Prilikom hlađenja zavarenog spoja, a zbog delovanja naprezanja, dolazi do nastajanja toplih pukotina likvidacijskog tipa, na mestima gdje se nalaze nečistoće. Nečistoće su zbog uticaja toplote pri zavarivanju navarivanja venca, delimično ili potpuno rastaljene. Dakle, u zoni uticaja toplote nije došlo da taljenja osnovnog materijala, ali je zbog omekšavanja ili taljenja "tankih slojeva filma" od nečistoća došlo do pada čvrstoće po granicama kristalnih zrna.

Veliki uticaj eliminacije toplih prslina nastojaćemo eliminisati proračunom odgovarajućih režima rada, tj. optimalnom vrednošću jačine struje kao i brzine nanošenja navara, posebno u kritičnoj zoni navarivanja, tj. vrh venca monoblok točka.

c) Zamorene prsline

Prsline koje se nađu ispod navarenog sloja tj. u osnovnom materijalu monoblok točka, a koje su posledica zamora materijala ili zaostalih napona u materijalu monoblok točka, sa ultrazvučnom defektoskopijom eliminisaćemo takve točkove ako je to u granicama neupotrebljivosti ili nemogućnosti dorade.

Na osnovu prezentovanih, nepoželjnih pojava, odnosno svih vrsta prslina, sa pouzdanošću možemo konstatovati da prsline ispod navarenog sloja na vencu točka kao i obodu, karakterišemo kao najopasniju vrstu greške. Težnja celokupnog istraživačkog rada ove doktorske disertacije je da posebnu pažnju posvetimo pouzdanim tehnologijama i metodama dijagnostikovanja u cilju otkrivanja ove opasne greške.

U cilju stvaranja zdrave osnove za korektnim nivoom pouzdanosti eliminacije produkovanih toplotnih prslina, nastalih pri navarivanju venca, uticajan je i faktor nanošenja broja navara na venac točka, što ćemo svakako svesti na broj koji ne prouzrokuje produkciju izvan nedozvoljenih zaostalih napona, a to je maksimalno osam navara. Broj primenjenih tehničko-tehnoloških postupaka sa ovakvim tehnološkim metodama održavanja venca monoblok točka ograničili smo na četiri sa naizmeničnim obnavljanjem venca navrivanjem i samoprofilisanjem, što je siguran pokazatelj održavanja zamora i prslina, u dozvoljenim granicama. Ovakvim pristupom održavanja venca monoblok točka kvaliteta ER7, zadržava odnos količine osnovnog materijala venca minimalno 68%, a ostatak je dodatni materijal. Posmatrano sa stanovišta eksploatacionog - živog točka, ovaj tehničko-tehnološki postupak održavanja venca monoblok točka, je u suštini i njegov eksploatacioni vek.

3.8. Zamor materijala i dinamička čvrstoća točka ER7

Zamor materijala predstavlja proces postepenog razaranja putem nastanka i produkcije prskotine do loma dela u eksploataciji pod dejstvom promenljivog opterećenja. Zamor materijala je osnovni faktor koji utiče na dinamičku čvrstoću.

Osnovne odlike ovog procesa su:

- Da se odigrava pri promenljivim opterećenjima koja su znatno niža od statičkih opterećenja,
- Da u najvećem broju slučajeva u nastalom lomu nema vidljivih znakova plastične deformacije
- Oštrij i obično nepredvidivi uticaj na čvrstoću usled neravnomernosti strukture, zareza, korozionog dejstva, zaostalih napona i dr.

Površina loma usled zamora ima karakterističan izgled, na kojoj se mogu uočiti dve međusobne različite površine, zona zamora i zona nasilnog loma. Zona zamora ima glatku i tamnu površinu u kojoj se uočavaju linije porasta zamorne prskotine, a nalaze se na mestima povećane koncentracije napona usled:

- konstruktivnih (prelazna zaobljenja, zarezi, rupe i sl.),
- površinskih (zarezi od alata za obradu),
- tehnoloških (razugljeničenja i oksidisana mesta, pore, prsline i gasni mehuri),
- eksploatacionih (korodirana i udarena mesta) i
- drugih defekata.

U predmetu istraživačkog rada dinamička čvrstoća materijala venca i oboda monoblok točka se ogleda kroz sprovedana statička i dinamička ispitivanja. Železnički propisi UIC i EN definišu proces dijagnostikovanja i ispitivanja dinamičke čvrstoće monoblok točka pri procesu proizvodnje. Ova ispitivanja su sastvni deo redovnog tehnološkog postupka proizvodnje točkova, a svedena su na uzorkovanje u odnosu na šržu i broj komada. Pored standardih metoda i postupaka ispitivanja zamora, uzorkovanog točka, podleže razbijanju slobodnim batom čekića koji karakteriše potrebne parametre: nastajnje loma, vrstu loma, produkciju incijalne pukotine broj napuknuća, broj rasprskanih delova itd. Ova ispitivanja neće biti predmet istraživanja ove doktorske disertacije, iz opravdanih razloga što proces obnavljanja venca navrivanjem ne može proizvoditi takav nivo unutrašnjih napreznja koji mogu ugroziti dinamičku čvrstoću celokupnog monoblok točka. Ovu konstataciju će potvrditi statička i dinamička ispitivanja uzorkovanih monobloka, kao i dijagnostičke tehnike bez razaranja pre, posle navarivanja i eksploatacionim procesom dijagnostikovanja.

Za ispitivanje zamaranjem u eksperimentalnom delu ovog istraživačkog rada, sprovedena su sva statička i dinamička ispitivanja kao i dijagnostikovanja koja traže posedovanje odgovarajuće tehničke opreme kao što je:

- Mašinu –Puztor za statičko ispitivanje zatezanjem,
- Mašinu –Šarpijevo klatno za dinamičko ispitivanje udarom,
- Mjerne aparate površinske tvrdoće,
- Dijagnostičke ultrazvučne uređaje: defektoskope, uređaj za merenje zaostalih napona,
- Merne pribore itd.

3.8.1. Faktori koji utiču na dinamičku čvrstoću monoblok točka železničkih vozila

Na vrednost dinamičke čvrstoće monoblok točka, utiču mnogi faktori i njihov je uticaj određen navedenim, brojnim ispitivanjima:

1. Legirajući elementi koji se dodaju čelicima, u cilju poboljšavanja svojstava čvrstoće, načelno poboljšavaju i dinamičku čvrstoću,
2. Prisutne nečistoće i nemetalni uključci negativno utiču na dinamičku čvrstoću i to u znatno većoj meri od hemijskog sastava. Posebno na smanjenje dinamičke čvrstoće utiču nemetalni uključci preko svog oblika i dimenzija, a prema nekim teorijama oni su glavni uzročnici zamora materijala. Treba istaći da njihov uticaj zavisi od prirode samih uključaka, odnosno njihovog ponašanja u toku tople prerade, kao i njihovog položaja i orijentisanosti u odnosu na pravac valjanja.
3. Vrlo opasni su uključci koji se plastično deformišu i svojim ostrim ivicama izazivaju koncentraciju napona, posebno kod čelika povećane čvrstoće kao što je materijal monoblok točka kavliteta ER7,.
4. Termička obrada monoblok točka utiče u znatnoj meri na poboljšanje dinamičke čvrstoće preko strukture. Najpodesnija struktura je ferit, koja ima najveći odnos $R_m/R_D = 0,5$, a veoma povoljno utiču i sitne čestice cementita dobijene pri bejnitnom kaljenju. Zaostali austenit utiče na smanjenje dinamičke čvrstoće, ali tek pri sadržaju preko 10%.
5. Na pojavu zamora znatnog uticaja ima stanje površinskog sloja. Tako, npr. uklanjanjem površinskog razugljeničenog sloja u znatnoj meri se povećava dinamička čvrstoća, a takode dinamička čvrstoća raste ako se u toku ispitivanja epruveta polira.
6. Kod većih navarivanja većih razmera i veličina šava, treba računati i na trosno naponsko stanje zateznih zaostalih napona. To može dodatno uticati na otpornost konstrukcije na lom, jer se materijal, u tom slučaju, ponaša krtije, a time je lakša

inicijacija prsline, koja se zbog karaktera loma brže širi. Za širenje takve prsline ne treba mnogo energije. Dovoljna je energija koja postoji u obliku deformacione energije opterećene konstrukcije i to dok je deformacija isključivo elastična. Iz tih razloga, reparature treba obavljati veoma pažljivo i ako je moguće na kritičnim delovima posle zavarivanja smanjiti nivo zaostalih napona.

7. Energije opterećene konstrukcije i to dok je deformacija isključivo elastična. Iz tih razloga, reparature treba obavljati veoma pažljivo i ako je moguće na kritičnim delovima posle zavarivanja, smanjiti nivo zaostalih napona.
8. Na dinamičku čvrstoću utiče i način prerade čelika, pa tako kovani čelik u odnosu na liveni čelik ima znatno veću osetljivost na zarez. Pored navedenih faktora na vrednost dinamičke čvrstoće, utiču i drugi faktori:
 - Koncentratori napona (radijusi zaobljenja, zarezi itd),
 - Zaostali unutrašnji naponi,
 - Naponsko stanje,
 - Agresivnost sredine (elektrolitička i gasna korozija),
 - Primenjena učestalost promene spoljnog opterećenja, a posebno kombinovanih,
 - Ojačanje površinskog sloja nakon navrivanja i eksploatacije,
 - Površinsko samozakaljenje i dr.

Kao zaključnu konstataciju, možemo, uopšteno, reći da zamor materijala je ključni parametar dinamičke čvrstoće i stabilnosti svakog mašinskog dela pa i monoblok točka, a posebno posle sprovedenog tehničko-tehnološkog procesa obnavljanja venca. To znači da je uticaj zaostalih napona nakon navrivanja sigurno postojan, ali sveobuhvatni tehničko-tehnološki postupak obnavljanja venca navrivanjem, uz posebnu primenu predgrevanja, hlađenja, kontrolisanog unosa toplote, dodatnog i zaštitnog materijala, mogu i te kako, obezbediti zadovoljavajuće parametre koji garantuju trajnu dinamičku čvrstoću.

3.9. Uticajni faktori na strukturne transformacije ugljeničnih čelika (čelik monoblok točka kvaliteta ER7) pri EPP postupku navarivanja

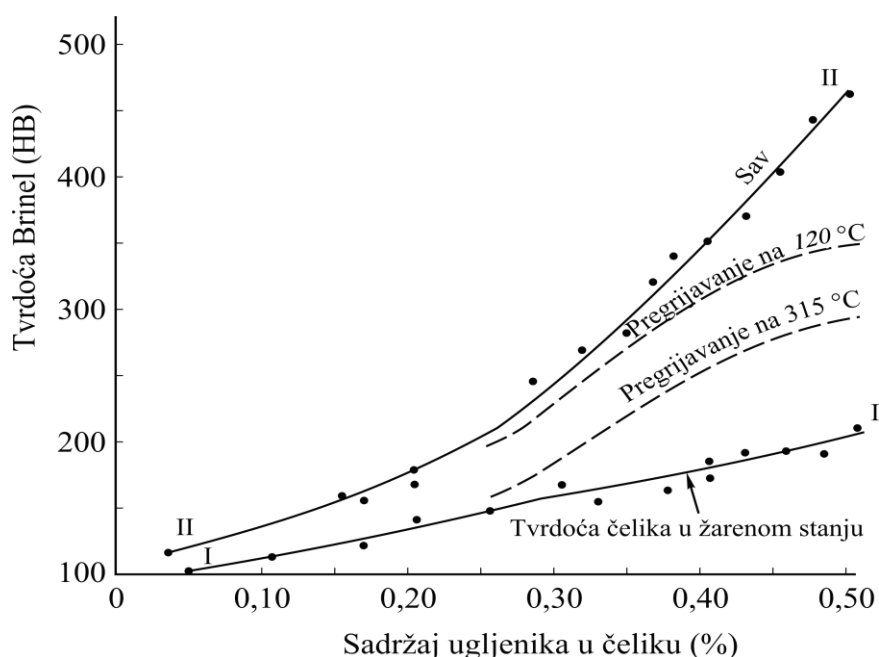
3.9.1. Uticaj ugljenika na strukturne transformacije osnovnog materijala

Uticaj ugljenika na strukture transformacije u zoni ispod zavara pokazuje različite vrednosti tvrdoće između poboljšanog i napuštenog čelika i zavarenog čelika, gde tvrdoća raste sa koncentracijom ugljenika. Ta razlika, koja iznosi 30 do 40 HB za niskougljenični čelik sa 0,10 do 0,15% ugljenika, prelazi 250HB za čelik 0,50% ugljenika što i jeste materijal monoblok točka kvaliteta ER7.

Ugljenik u čelicima ove vrste (niskolegirajući) je osnovni element koji određuje njihovu pogodnost za zavarivanje. U slučaju feritnih čelika, on doprinosi kako povišenju zavarljivosti u zoni pod uticajem toplote, tako i formiranju prsline u zoni ispod navara, obrazujući karbide pri termičkoj obradi hrom-molibdenih čelika.

Sadržaj ugljenika u nisko legiranim zavarljivim čelicima treba da bude ograničen. U konkretnom slučaju sadržaj ugljenika je 0,46 do 0,52% što ukazuje na obavezu preduzimanja posebnih tehničko-metalurških mera pri tehnološkom procesu navarivanja venca monoblok točka. Ovo ukazuje za obavezu preduzimanja predgrevanja oboda monoblok točka u cilju postizanja zadovoljavajućih tehničkih, metalurških i hemijskih parametra navara i venca monoblok točka.

Na slici 3.9.1.1. kriva „I“ prikazuje promenu tvrdoće ugljeničnog čelika u poboljšanom i napuštenom stanju pri navarivanju, a kriva „II“ pokazuje promenu tvrdoće navara. Druge dve krive pokazuju uticaj predgrevanja do 120°C i 315°C na strukturne promene pri navarivanju.



Slika 3.9.1.1. Uticaj sadržaja ugljenika u čeliku monoblok točka na strukturne transformacije pri navarivanju [131]⁵³

Na bazi predočenog, a u cilju izbegavanja stvaranja inicijalnih pukotina kao najosnovnijih mana, tako i pribegavanje izjednačavanju tvrdoće osnovnog i navarenog materijala, neminovno je da izvršimo predgrevanje oboda i venca monoblok točka na temperaturi koju ćemo primeniti dobijenu proračunom na bazi uticajnih elemenata, po Seferijanu. Ovaj istraživački deo tehnoloških veličina, definisan je u eksperimentalnom delu ovog istraživačkog rada, poglavalje 5.4.

3.9.2 Uticaj ugljenika na tvrdoću materijala u zavisnosti od brzine navarivanja

Uticaj brzine zavarivanja na tvrdoću, je, utoliko značajniji, koliko je sadržaj ugljenika u čeliku veći. Pri navarivanju čelika sa sadržajem ugljenika oko 0,50%, strukture su trustitno-martenzitne, pri brzinama navarivanja 10 [cm/min], a teži ka strukturama kaljenja kada brzine navarivanja dostignu vrednost do 40 [cm/min]. [131]

To znači da je vrlo bitno i uticajno na kvalitet navar, brzina navarivanja venca monoblok točka kvaliteta ER7 kako bi tvrdoća imala zahtevnu veličinu tj. 235÷285 HB. Ovi tehnološki parametri režima navarivanja definisani su na bazi teoretskog istraživanja i primenjeni su u eksperimentalnom delu disertacije.

3.9.3. Uticaj ostalih legirajućih elemenata na zavarljivost materijala monoblok točka kvalitet R7T

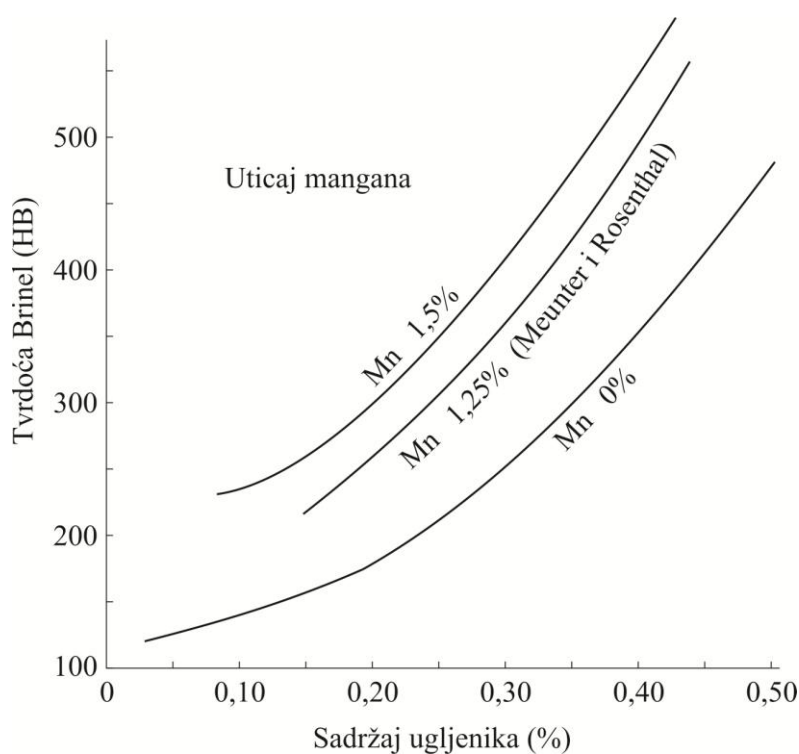
Mangan je gamogeni element, povišava zakaljivost čelika, te njegov sadržaj treba ograničiti izuzev u posebnim slučajevima kada presudno značenje imaju povišena tvrdoća

[131]⁵³ Seferijan, D., *Metalurgija zavarivanja*, Građevinska knjiga, Beograd, 1969.

čelika i otpornost prema habanju [131]⁵⁴ U materijalu monoblok točka kvaliteta ER7, sadržaj mangana je 0,65-0,95%. U zavarljivim čelicima sadržaj mangana nesme preći 2%.

Osim navedenog, mangan je snažan dezoksidirajući elemenat i kao sastojak obloženih elektroda ili elektrodnih žica za navarivanje, svojim reakcijama sa tečnim metalom doprinosi dezoksidaciji i legiranju materijala šava (navara). Bitno je i to da je uticaj mangana sa gledišta metalurške zavarljivosti čelika četiri puta slabiji od uticaja ugljenika. U slučaju čelika sa povišenim sadržajem mangana, u prisustvu ugljenika (što je u konkretnom slučaju), treba pribeći predgrevanju kada vrednost ekvivalentnog ugljenika prelazi 0,45% odnosno Mn/C može da bude kriterijum za kvalitet čelika, a takođe i kriterijum za njegovo ponašanje pri zavarivanju.

Uticaj sadržaja mangana u osnovnom materijalu, prikazan na slici 3.9.3.1. na tvrdoću zone predgrevanja jednog šava i shodno tome, na metaluršku zavarljivost. Ovaj dijagram pokazuje da zakaljivost čelika veoma brzo raste čak i pri malim koncentracijama mangana, kada se sadržaj ugljenika u čeliku povećava.



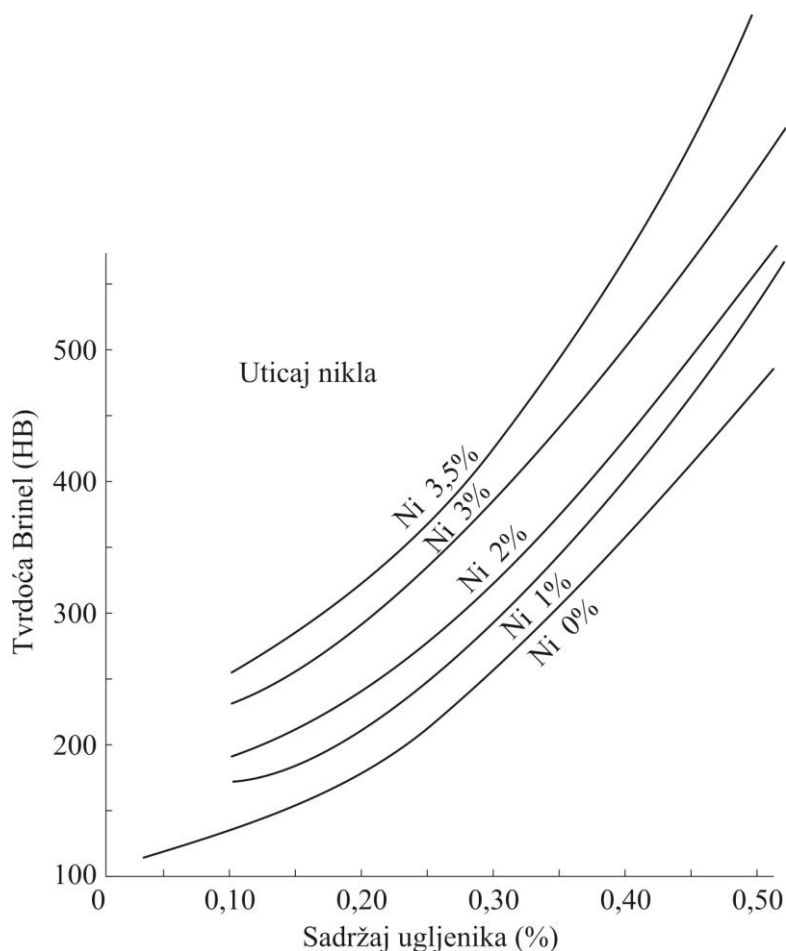
Slika 3.9.3.1. Uticaj sadržaja mangana u osnovnom materijalu na karakter transformacije elektrolučnim zavarivanjem u zavisnosti od sadržaja ugljenika [131]

Silicijum kao alifageni elemenat, snažno je redukujuće sredstvo, slično manganu. Njegov sadržaj u materijalu monoblok točka kvaliteta ER7 je 0,4-0,55, a sa postavki teoretskih izučavanja, njegov sadržaj u čeliku treba da bude ograničen, jer povećava sklonost materijalu vara (navara) ka pojavi prslina. Sadržaj silicijuma, koji se menja u zavisnosti od vrste čelika, načina proizvodnje, sadržaja ugljenika i mangana u konstrukcionim čelicima treba da bude ograničen na 0,15 do 0,30%. U istopljenom materijalu elektroda sadržaj silicijuma može da dostigne vrednost i 0,40 do 0,50%, [129] kao što je u predmetnom slučaju.

[131]⁵⁴ Seferijan, D., *Metalurgija zavarivanja*, Građevinska knjiga, Beograd, 1969.

Nikl, gamogeni elemenat, povišava zavarljivost kao ugljenik i mangan. U niskougljениčnim čelicima ($C \leq 0,15\%$), pri odsustvu drugih legirajućih elemenata, dozvoljava se sadržaj od 3 do 5% nikla bez velikog dejstva na krtost materijala šava. [131]

U materijalu monoblok točka kvaliteta ER7, sadržaj nikla se kreće u granicama 0,28 do 0,35%. Bitno je, takođe, poznavati da, a radi efikasnosti izbora elektrodne žice pri malim koncentracijama, nikl poboljšava deformacionu sposobnost materijala šava, usitnjava zrno i povoljno deluje na temperaturu prelaza u krto stanje. Na slici 3.3.9.2. dat je dijagram uticaja nikla na tvrdoću zone pod uticajem toplote. Uticaj nikla na tvrdoću zone pod uticajem toplote prikazan je na slici 3.9.3.2.[131]⁵⁵



Slika 3.9.3.2. Uticaj sadržaja nikla u osnovnom materijalu na transformaciju pri zavarivanju-navarivanju u zavisnosti od sadržaja ugljenika [131]

Sa slike je vidljivo da je uticaj nikla na mehaničke osobine metala manji nego uticaj mangana; tako npr. pri koncentraciji ugljenika 0,25%, čelik sa 1,25% mangana deluje kao čelik sa 2,5% nikla i tada obezbeđuje oko 300 HB.

Hrom kao alfaogeni elemenat u niskolegiranim konstrukcionim čelicima udružen je uglavnom sa drugim elementima, niklom, molibdenom. On povećava zakaljivost čelika. [8]⁵⁶

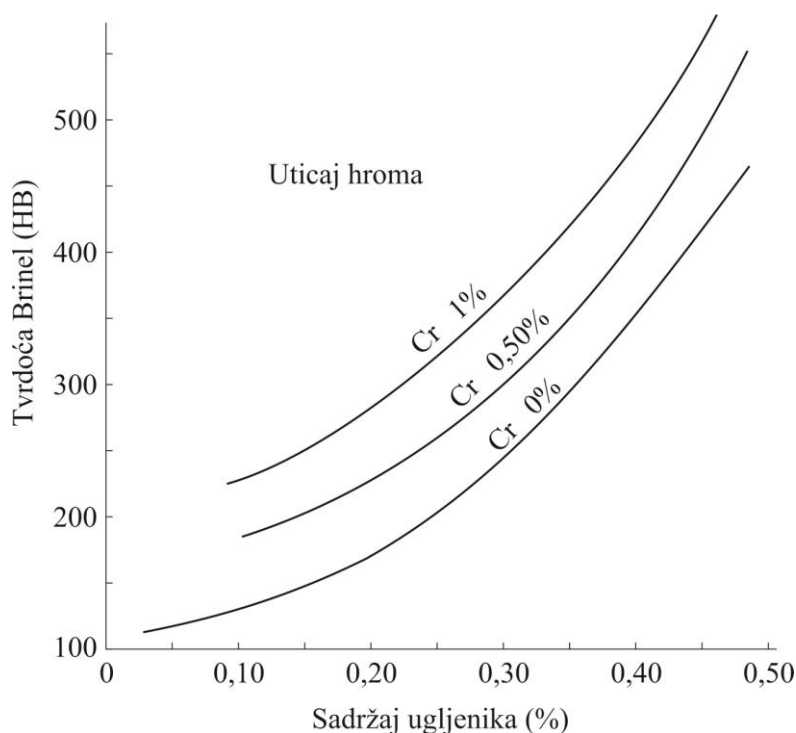
Bitno je, radi zavarljivosti, poznavati sledeće: loša osobina hroma sa tačke gledišta operativne zavarljivosti sastoji se u obrazovanju teško topivog oksida, koji pri

[131]⁵⁵ Seferijan, D., *Metalurgija zavarivanja*, Građevinska knjiga, Beograd, 1969.

[8]⁵⁶ Blagojević, A., *Materijali u mašinstvu*, Univerzitetska knjiga, Banja Luka, 1987.

oksiacetilenskom zavarivanju obavezno treba odstraniti pomoću specijalnog topitelja. S obzirom na to da je odstranjivanje oksida hroma olakšano prisustvom bazične troske, te obložene elektrode sa jezgrom iz hromnog čelika treba proizvoditi sa oblogom (ili zaštitnim prahom) bazičnog tipa. Ovaj legirajući elemenat ima suštinski uticaj na stepen zakaljivosti u zoni pod uticajem toplote za vreme procesa navarivnja venca monoblok točka slika 3.9.3.3.[43]

Sa slike je vidljivo progresivno povećanje tvrdoće u zoni pod uticajem toplote ispod navara, sa povećanjem sadržaja kako ugljenika tako i hroma.



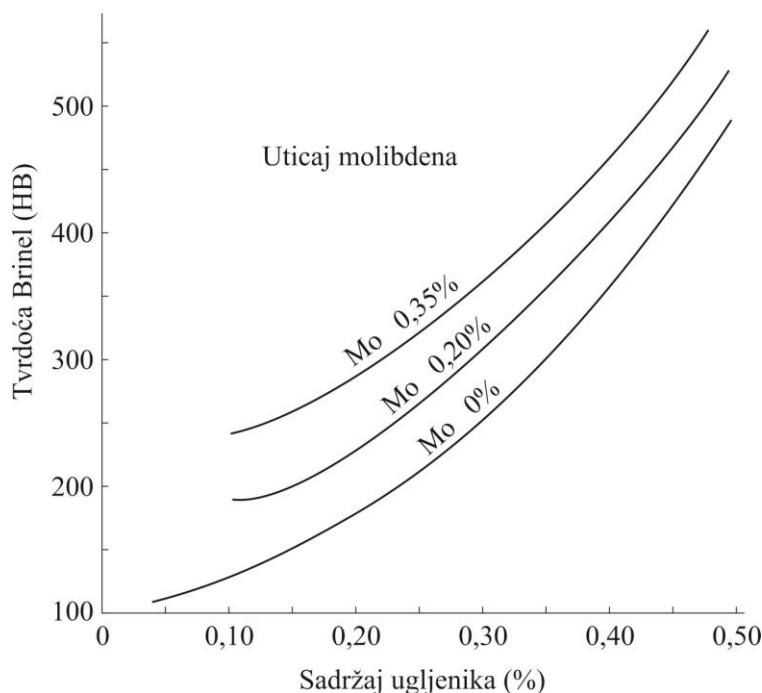
Slika 3.9.3.3. Uticaj sadržaja hroma u osnovnom materijalu na karakter transformacije pri navarivanju u zavisnosti od sadržaja ugljenika [131]⁵⁷

Molibden povišava zakaljivost čelika, te je stoga u ugljeničnim čelicima, bogatih ugljenikom, njegov sadržaj ograničen na 0,25 do 0,35%. Čak i u malim koncentracijama kao u konkretnom slučaju 0,05% molibden povišava vatrostalnost i otpornost čelika prema pucanju. Sa ove tačke gledišta molibden je važan legirajući elemenat u niskolegiranim čelicima za ER7. Uticaj molibdena na tvrdoću zone pod uticajem toplote navarenog spoja prikazan je na sl.3.9.3.4.[41]⁵⁸

Sa slike možemo konstatovati da pri većim sadržajima molibdena zakaljivost čelika znatno raste a metalurška zavarljivost čelika se pogoršava. Zbog toga je pri zavarivanju čelika sa sadržajem molibdena neophodno predvideti specijalne mere predostrožnosti.

[131]⁵⁷ Seferijan, D., *Metalurgija zavarivanja*, Građevinska knjiga, Beograd, 1969.

[41]⁵⁸ Vuković, V.,: *Primena praškom punjenih elektrodnih žica kod navarivanja bandažnih točkova železničkih vozila*, Međunarodni stručni skup, „Efikasnost i upravljanje“ Banja Luka, 2008 god..



Slika 3.9.3.4. Uticaj sadržaja molibdena u osnovnom materijalu na karakter transformacije pri navarivanju u zavisnosti od sadržaja ugljenika [131]⁵⁹

Vanadijum veoma brzo povišava zakaljivost čelika, te njegov sadržaj treba da bude strogo ograničen. Njegov sadržaj retko prelazi vrednost 0,1%. U našem slučaju, sadržaj vanadijuma u materijalu je 0,05%. Vanadijum se sve više upotrebljava, paralelno sa molibdenom, za legiranje nekih postojećih i vatrostalnih zavarljivih čelika.

Aluminijum je alifageni element i predstavlja snažno redukujuće sredstvo pri veoma malim koncentracijama. Dezoksidacija čelika aluminijumom umanjuje štetan uticaj na starenje, blagodareći obrazovanju nitrida aluminijuma. Elektroдна žica tj. dodatni materijal sadrži 0,095% Al, što omogućava veću otpornost prema oksidaciji pri visokim temperaturama.

Na bazi prethodnog izlaganja o uticajnim elementima na zavarljivost zakaljivih čelika vidi se da svi navedeni legirajući elementi, koji čelicima daju visoke mehaničke karakteristike, kao u konkretnom slučaju monoblok točka kvaliteta ER7, u isto vreme povišavaju njihovu zakaljivost, a kao posledica toga je njihova sklonost ka pojavi prslina. S druge strane, možemo konstatovati da prisustvo vodonika može pod dejstvom nastalih lokalnih napona u monoblok točku prilikom eksploatacije, da bude uzrok krtih lomova navarenog venca, te je zbog toga za predmetnu regeneraciju navarivanja venca monoblok točka, kvaliteta ER7 neophodan izbor bazične niskovodonične elektrođne žice. Pored metalurških karakteristika, vrlo bitan i suštinski stabilizatorsko-provodni zaštitni prašak je neophodan, u cilju pouzdano-kvalitetnog izvršenja ovog tehnološkog zahvata. Zbog uticaja zakaljivosti skoro većeg dela legirajućih elementa, neophodno je preduzimanje dodatnih tehnoloških mera, to jest, predgrevanja oboda i venca točka.

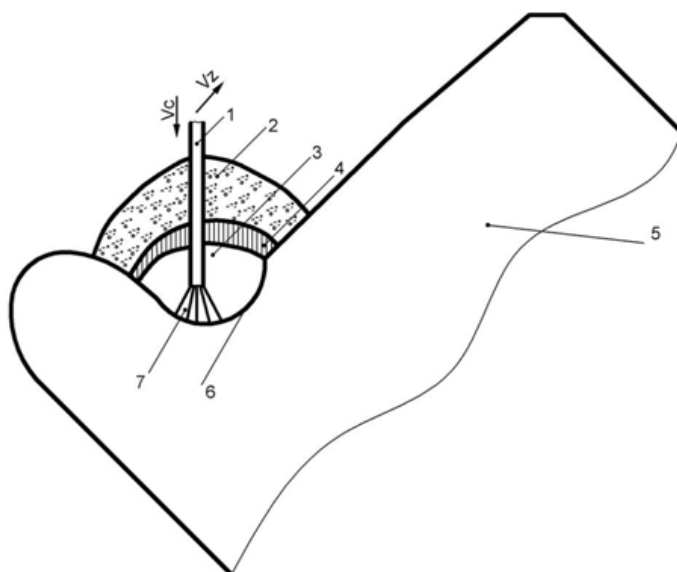
[131]⁵⁹ Seferijan, D., *Metalurgija zavarivanja*, Građevinska knjiga, Beograd, 1969.

3.10. Teoretske osnove izvodljivosti obnavljanja venca navarivanjem, EPP postupak

Opšte o EPP postupku varenja-navarivanja

Zavarivanje pod praškom (EPP) je postupak zavarivanja poznat još od 1929. godine i jedan je od prvih automatizovanih postupka zavarivanja. Potrošnja dodatnih materijala za EPP postupak, u Evropi, 1974. godine je iznosila 8 % potrošnje svih dodatnih materijala, a 2002. godine taj procenat je pao na 6 % zbog povećane upotrebe žica za zavarivanje u zaštiti gasa, koja se počela sve više upotrebljavati u automatizovanim i robotizovanim postupcima zavarivanja. U godinama do 2010 godine, udeo zavarivanja pod praškom je porastao na 19,5 %. Uzrok tome je bilo povećanje upotrebe EPP postupka kod navarivanja (u kombinacijama sa žicama, trakama i punjenima žicama) i povećana upotreba kod zavarivanja cevi.

Elektrolučno zavarivanje pod praškom (EPP) je postupak spajanja topljenjem i očvršćavanjem osnovnog (5) i dodatnog metala (1) pomoću električnog luka (7) koji se pod slojem praška (2) stvara i održava između osnovnog materijala i elektrodne žice, sl. 3.10.1. Metalna kupka (3) je potpuno zaštićena od okoline slojem praška koji se delimično topi i očvršćava kao troska (4), a delimično ostaje u nepromenjenom stanju, sl. 3.10.1. Uloga praška kod EPP postupka je analogna ulozi obloge kod elektrode pri ručnom elektrolučnom zavarivanju. Usled niske toplotne provodljivosti praška toplotni gubici su manji, a topljenje metala efikasnije.



Slika 3.10.1. Šematski prikaz EPP postupka navarivanja venca točka sa jednom elektrodnom žicom

Za razliku od klasičnog elektrolučnog postupka, gde jačina struje, napon električnog luka i brzina zavarivanja mogu da se menjaju u relativno uskim granicama, kod EPP postupka raspon promena je znatno veći, što omogućava efikasniju primenu ovog postupka, naročito ako je neophodna velika produktivnost kao kod debljih materijala i dužih šavova. Danas u svetu sve više se primenjuju postrojenja i aparati sa dve i više elektrodne žice: u varijanti sa zajedničkom metalnom kupkom, koja se odlikuje jedinstvenom kristalizacijom metala šava i bržim hlađenjem, ili u varijanti sa zasebnom metalnom kupkom, koja se odlikuje sporijim hlađenjem.

Prenos dodatnog materijala kod EPP postupka zavarivanja može da bude krupnim ili sitnim kapima, zavisno od jačine struje. Pri tome rastopljeni vrh elektrodne žice postaje konusan i kreće se kružno oko svoje ose, uz istovremeno njihanje, kao klatno. Kapi koje se odvoje od vrha žice mogu da se prenesu kroz luk ili kroz rastopljeni sloj praška, sl. 5.5.8. U svakom slučaju opasnost od rasprskavanja praktično ne postoji, a pitanje prenosa dodatnog metala je od znatno manje važnosti nego kod MAG/ MIG postupka.

Prednosti EPP postupka u odnosu na druge elektrolučne postupke za navarivanje venca monoblok točka su:

- veliko iskorišćenje,
- velike brzine zavarivanja,
- sporije hlađenje rastopa,
- velika dubina uvarivanja,
- minimalno razbrizgavanje,
- automatizacija postupka,
- mogućnost zavarivanja sa više žica,
- moguća je primena punjene žičane elektrode,
- mali gubici,
- mogućnost primene različitih prašaka,
- luk se pod slojem praška ne vidi i količina štetnih gasova nije velika, što znatno poboljšava uslove rada zavarivača,
- sigurnom zaštitom zone topljenja od dejstva spoljnih faktora,
- smanjenjem opasnosti od neprovarenog korena,
- smanjenjem nivoa uzdužnih, poprečnih i ugaonih deformacija,
- većim koeficijentom iskorišćenja toplote,
- uspešno izvođenje postupka navarivanja (reparaturno),
- omogućava zavarivanje i navarivanje materijala velikih debljina (30-50mm),
- veliku primenu u poluautomatskim radioničkim uslovima,
- velika brzina zavarivanja (efikasnost).

Nedostaci ovog postupka su:

- relativno velike investicije u zavarivačke automate,
- zavarivanje se izvodi samo u horizontalnom položaju, izuzev u posebnim slučajevima kada se koriste dodatni uređaji (pozicioneri),
- nije moguće zavarivanje u prisilnim položajima,
- mogućnost sistemske greške,
- potrebni posebni uslovi skladištenja praška i žice,
- složeniji uređaji (dovođenje žice, automatska regulacija daljine luka, CC/CV karakteristika)
- primenjiv za deblje materijale.

Izuzetno je pogodan za primenu zavarivanja-navarivanja, niskougljeničnih i niskolegiranih konstruktivnih čelika, kao i srednje i visokolegiranih čelika. EPP postupak je izuzetno pogodan za navarivanje rotacionih mašinskih delova u cilju reparaturnog procesa održavanja, kao što je slučaj predmeta ovog istraživačkog rada.

3.10.1. Dodatni materijali

Dodatni materijali za zavarivanje EPP postupkom su elektrodna žica i prašak, ukoliko sadrži legirajuće elemente. Elektrodne žice su različitog hemijskog sastava, zavisno od namene, a po pravilu imaju veći sadržaj mangana, radi smanjenja sklonosti šava ka vrućim prslinama i niži sadržaj ugljenika, radi smanjenja krtosti metala šava. Zbog povećane

opasnosti od pojave poroznosti, elektrodne žice se proizvode sa kontrolisanim sadržajem fosfora, sumpora i ugljenika.

Najekonomičnije legure za navare otporne na habanje su sa hromom kao osnovnim legirajućim elementom, pri čemu treba da bude ispunjen uslov: $9 < Cr/C < 22$. Još veća otpornost na habanje postiže se uvođenjem volframa, vanadijuma i bora a na račun smanjenja Hroma. Legure za navarivanje su razvrstane u sedam glavnih grupa koje osim hemijskog uključuju i neke mehaničke osobine navara (tvrdoća navara), kao i metode za nanošenje navara. Glavni kriterijumi pri razmatranju legura za navarivanje venca monoblok točka kvaliteta ER7, po ovoj metodi su:

- otpornost na abrazivno habanje,
- otpornost na udar - kod udarnih opterećenja biraju se legure sa manjom tvrdoćom povećanom žilavošću (otpornost na abrazivno habanje i udar se međusobno isključuju, jer se visoka tvrdoća postiže samo na račun pada žilavosti),
- otpornost na toplotu i koroziju.

Teško je utvrditi kako će se neka legura ponašati u složenim uslovima rada koji obuhvataju više vrsta naprezanja, kao što je točak železničkih vagona. Za pravilan izbor legure i postupka, treba imati puno znanja i iskustva, kao i rezultate odgovarajućih laboratorijskih istraživanja. Ovoj teoretskoj istraživačkoj postavci, definisanja dodatnog materijala, u mnogome je pomogla za eksperimentalni deo istraživačkog rada u kome je definisana potrebnim hemijsko-mehničkim parametrima elektrodna žica, i primenjena procesu obnavljanja venca navarivanjem.

Prema EN i drugim standardima, elektrodne žice su standardizovane kako na osnovu dimenzionalnih parametra tako i zavisno od namene odnosno legirajućih elementa. Predmet istraživanja navarivanja venca monoblok točka kvaliteta čelika ER7, zahteva dodatni materijal koji treba da odgovara mehaničke, hemijske metarluške, karakteristike navara, te je namenskog karaktera sa sadržajem odgovarajućeg hemijskog udela, a ova problematika je prezentovana u eksperimentalnom delu ovog istraživačkog rada.

3.10.2. Zaštitni materijali

Sastav i baznost praška za zavarivanje utiču na tok oksidacije i redukcije, a time i na uslove primarne i sekundarne kristalizacije materijala šava. Radi postizanja odgovarajućeg hemijskog sastava šava, osim baznosti, važan je i sadržaj MnO u prašku. Prema sadržaju MnO praškovi se dele na visokomanganske (>35% MnO), srednjemanganske (15–30% MnO) i niskomanganske (<15% MnO) [41]⁶⁰. Baznost praška može da se izračuna po obrazcu [3.22], što je i učinjeno.

$$B = \frac{(CaO+MgO+K_2O+Na_2O+CaF_2+(MnO+FeO)/2)}{SiO_2+(Al_2O_3+TiO_2+ZrO_2)/2} \quad [3.22]^{61}$$

U zavisnosti od namene praškovi se proizvode za zavarivanje niskougljeničnih, niskolegiranih, srednjelegiranih i visokolegiranih čelika, za zavarivanje obojenih metala, kao i za razne vrste navarivanja. Prašak je u hemijskom smislu bazni za $B > 1,3$; kiseo za $B < 0,9$; neutralan za $0,9 < B < 1,3$. Kiseli prašak se primenjuje za niskougljenične čelike, a

[41]⁶¹ Vuković, V.: *Primena praškom punjenih elektrodnih žica kod navarivanja bandažnih točkova železničkih vozila*, Međunarodni stručni skup, „Efikasnost i upravljanje“ Banja Luka, 2008 god..

bazni za legirane čelike. Po standardu JUS H.B1.060 i EN, praškovi se dele i označavaju prema načinu proizvodnje, granulaciji (krupnoći zrna), mehaničkim svojstvima, nameni za određene jačine i vrste struje zavarivanja, brzini zavarivanja i naponu praznog hoda pri zavarivanju naizmeničnom strujom.

Prema načinu proizvodnje praškovi se dele na: topljene (T), aglomerisane (A), sinterovane (S), mešane (M). Prema karakteru troske, praškovi se dele na kisele i bazne, a prema stepenu legiranja metala šava na pasivne (koji ne legiraju rastop) i aktivne (koji legiraju rastop).

Prašak se bira i koristi isključivo u kombinaciji sa određenom elektrodnom žicom, prema preporuci proizvođača. Upotreba praškova je dozvoljena samo u suvom stanju, pa vlažan prašak treba obavezno osušiti. Ako se izrađuje isti prašak u više granulacija, za manje jačine struje zavarivanja upotrebljava se grublja granulacija [40].

Kvalitet materijala monoblok točka ER7, je od nelegiranog ugljeničnog čelika sa sadržajem ugljenika do 0,5 %, što karakteriše uslovno zavrljivim čelikom. Zbog toga, zaštitni prašak niskolegirane elektrodne žice, je namenskog karaktera, koji ne samo da sadrži stabilizatore i hemijske sastojke koje obrazuju metalurške troske, već i dezoksidatore i legirajuće komponente namenjene za obezbeđenje potrebnih mehaničkih karakteristika materijala navara na venac monoblok točka. I ovaj deo istraživanja i definisanja zaštitnog materijala za navarivanje venca monoblok točka, je detaljno obrađen u eksperimentalnom istraživačkom poglavlju.

3.10.2. Tehnologija zavarivanja

Tehnološki proces zavarivanje pod praškom: usled dejstva toplotnog fluksa dolazi do topljenja elektrode i osnovnog materijala. Na površini rastopa formira se sloj šljake koja odnosi nečistoće na površinu, štiti var od agresivne sredine i koncentriše toplotu unutar vara. Stvrdnuta šljaka prekriva cijeli var. Primenuje se za zavarivanje materijala svih debljina počev od 2 mm pa naviše. Zavarivanje pod praškom ima najširu primjenu: sve vrste čelika, od nelegiranih do visokolegiranih i legiranih niklom uz primenu mnogobrojnih načina zavarivanja. U skladu sa zahtevima, danas u svetu je usavršeno više tehnika zavarivanja pod praškom počev od jedne elektrode sa jednom izvorom do kombinacije sa 4 izvora sa dvije elektrode (žice) na svaki izvor. Mnogobrojni evropski proizvođači dodatnog i zaštitnog materijala i uređaja, ovog vremena, nude tehnologiju za bilo koji zahtev vezano za zavarivanje pod praškom, a u cilju postizanja maksimalne produktivnosti i kvaliteta zavarivanja i navrivanja.

Osnovni parametri EPP zavarivanja su vrsta i jačina struje, napon električnog luka, brzina zavarivanja i prečnik elektrodne žice. Uticaj osnovnih parametara je objašnjen u eksperimentalnom delu doktorske disertacije, pa su ovde date samo specifičnosti vezane za EPP postupak. Osim osnovnih parametara, na oblik metala šava bitnije utiču još i vrsta i granulacija praška, položaj elektrodne žice i radnog komada.

Treba imati u vidu da jačina struje direktno određuje brzinu topljenja elektrodne žice, odnosno efikasnost procesa, pa se po pravilu teži što većoj vrednosti jačine struje. Maksimalna jačina struje je ograničena dozvoljenom gustinom struje, odnosno prečnikom žice. Povišenjem napona luka povećava se potrošnja praška i pospešuje prelaz legirajućih elemenata iz praška u metal šava. Međutim, suviše visok napon luka daje oblik šava koji je sklon prslinama i nalepljivanju.

Kao što je već pomenuto, elektrolučno zavarivanje pod praškom je moguće samo u horizontalnom položaju, ili sa malim nagibom radnog komada. Za navrivanje venca monoblok točka potrebno je venac i površinu kotrljanja točka dovesti u horizontalnu ravan tako da se elektrodna žica i zaštitni prašak dovode okomito pod uglom približno od 90° . Dovođenje u ovakav položaj omogućuje nam namenski izrađen rotaciono nagibni uređaj, isključivo namenjen za ovu tehnološku radnju, navarivanje venca monoblok točkova železničkih vozila.

Proces navarivanja venca izvodimo postupkom sa unapred lukom i toplotom koji su usmereni prema osnovnom metalu, usled čega se dobija umeren rastop navara na venac točka.

3.10.4. Struje za sprovođenje EPP postupka navarivanja venca monoblok točka

Kod EPP zavarivanja koristi se jednosmerna struja strmopadajuće ili blagopadajuće karakteristike, kao i naizmjenična struja blagopadajuće karakteristike. Izvor struje treba da obezbedi relativno veliku jačinu struje (najčešće 300–1500 A) što može da se po potrebi postigne i paralelnim vezivanjem više izvora [41]⁶².

Primena strmopadajuće karakteristike zahteva pažljivo praćenje dužine električnog luka i njegovo održavanje u što užim granicama, jer nema efekta samoregulacije kao kod blagopadajuće karakteristike. Regulacija dužine luka se postiže automatskim podešavanjem brzine dovođenja žice koja se povećava ako se poveća dužina i napon luka, i obrnuto. Kod primene blagopadajuće karakteristike koristi se efekat samoregulacije. Ovaj način regulacije je po pravilu povoljniji od prethodnog jer je reakcija na promenu napona gotovo trenutna zbog velike promene jačine struje i brzine topljenja elektrodne žice, odnosno dužine luka. Treba imati u vidu da je ova prednost blagopadajuće karakteristike izraženija kod predmeta manje debljine.

U slučaju primene naizmjenične struje obavezno se koristi blagopadajuća karakteristika jer je električni luk nestabilniji po prirodi stvari, pa bi dodatna nestabilnost usled inercije pri regulaciji kod strmopadajuće karakteristike bila neprihvatljiva. Prednost naizmjenične struje je u manjem skretanju električnog luka, tako da je pogodna za veće intenzitete struje i zavarivanje sa dve žice. Jednosmernom strujom se bolje kontroliše oblik i veličina metala šava, a uspostavljanje luka je mnogo lakše, što posebno važi za indirektnu polarnost. S druge strane direktna polarnost daje najveće brzine topljenja dodatnog metala, ali i manju dubinu uvarivanja, pa dolazi u obzir za tanje limove. Prema tome izbor vrste struje kod EPP zavarivanja zavisi od konkretnog problema.

Veliki unos energije ograničava upotrebu postupka za zavarivanje materijala kod kojih se traži što niži unos energije. Zato postupak nije pogodan, npr. za zavarivanje nerđajućih i sitnozrnatih čelika. Upotreba postupka je ograničena i kod zavarivanja u prinudnim položajima.

3.10.5. Ostali uticajni faktori na zavarljivost materijala monoblok točka ER7

Navarivanje pod prahom se u praksi dosta koristi zbog visoke produktivnosti i visokog kvaliteta izvedenih navara. EPP navarivanje najčešće se pimenjuje za navarivanje velikih

[41]⁶² Vuković, V.: *Primena praškom punjenih elektrodnih žica kod navarivanja bandažnih točkova železničkih vozila*, Međunarodni stručni skup, „Efikasnost i upravljanje“ Banja Luka, 2008 god..

cilindričnih delova. Navarivanje se izvodi neprekidnim procesom uz obrtno kretanje dela koji se navaruje kao glavnog kretanja i translatornog kretanja navarivačke glave, duž ose točka, kao pomoćnog kretanja.

Za dobru zavarljivost materijala monoblok točka, pri upotrebi EPP postupka, važan je pravilan izbor praška i žice. Na hemijski sastav i mehaničke osobine zavarenog spoja utiču:

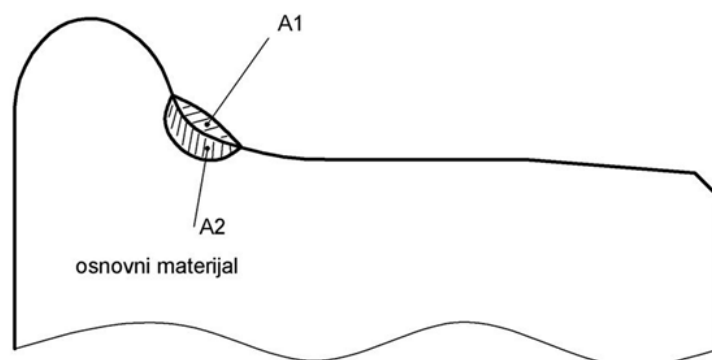
- sastav osnovnog materijala,
- hemijski sastav dodatnog materijala,
- fizičko-hemijske i metalruške karakteristike zaštitnog praška,
- tehnički parametri postupka navarivanja venca monoblok točka,
- čistoća osnovnog materijala je važan faktor, naročito kod većih brzina navarivanja, zbog moguće pojave poroznosti navara.

Pri izboru kombinacije praška/žice uzeti su u obzir:

- uklanjanje troske,
- sposobnost zavarivanja na nečistim površinama,
- brzinu zavarivanja,
- mogućnost višeslojnog zavarivanja,
- cenu i potrošnju praška,
- mehaničke osobine navara, osnovnog, materijala i u ZUT-u.

3.10.6. Odnos spajanja dodatnog i osnovnog materijala na vencu monoblok točka

Odnos mešanja se karakteriše kao procentni udeo osnovnog materijala u navaru. Njegovim porastom opadaju korisne osobine navara (tvrdoća, otpornost na habanje i sl.). Na slici 3.10.6.1. prikazan je poprečni presek navara i osnovnog materijala venca točka. Odnos mešanja može se odrediti iz poprečnog preseka navara nakon navarivanja venca monoblok točka po obrazcu [3.23]:



Slika 3.10.6.1. Odnos mešanja dodatnog i osnovnog materijala [35]

$$D = A2 / (A1 + A2) \quad [3.23]^{63}$$

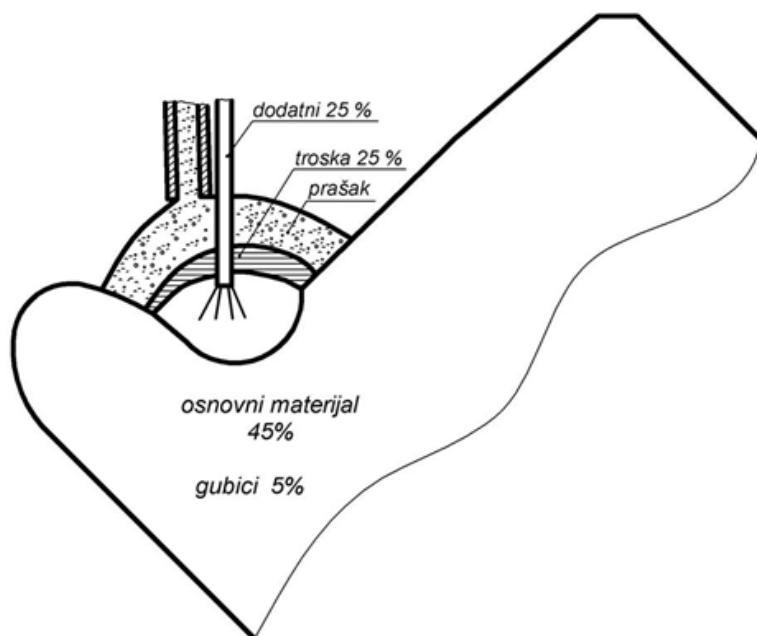
- D odnos mešanja $0 < D < 1$;

- A2 površina uvara

- A1 površina navara

[35]⁶³ Vuković, V., Adamović, Ž., Vuković, M.: *Zavarivanje i navarivanje u mašinstvu*, Društvo za energetska efikasnost Bosne i Hercegovine (RS), Banja Luka, 2009.

Tako na primer odnos mešanja od 10 % ($D = 0,1$) znači da navar sadrži 10 % osnovnog materijala i 90 % legure za navarivanje. Ponekad se primenom odgovarajućeg međusloja odnos mešanja znatno smanjuje i istovremeno smanjuju nepoželjne posledice koje nastaju zbog različitih koeficijenata širenja osnovnog materijala i legure za navarivanje. Udeo učesnika materijala pri procesu EPP varenja grube vrednosti su prikazane na slici 3.10.6.2. koje mogu da znatno i odstupe uz primenu savremenih tehnoloških rešenja i opreme ovog vremena.



Slika 3.10.6.2. Procentualni udeo učesnika u procesu EPP postupkom navrivanja venca

Odnos mešanja sa naučnog aspekta može varirati od 1 do 60 % zavisno od izabranog procesa navarivanja, kao i vrste osnovnog materijala i legure za navarivanje. U ovom istraživačkom radu, a u ekstremnom slučaju pohabanosti venca točka i navarivanjem u meri do zadovoljavajućih geometrijskih parametara venca, odnos mešanja je 25% dodatni materijal, a 45% osnovni materijal. Ovaj pokazatelj je zadovoljavajući gledano sa stanovišta mehaničkih karakteristika koje treba da udovolji venac točka, (statička, dinamička i kombinovana opterećenja). Naučni podaci govore da odnos mešanja progresivno raste kod EPP postupka varenja i navarivanja i kreće se od 10 do 50 %. Na odnos mešanja se može uticati promenom parametara navarivanja: jačina struje, brzina polaganja navara, veličina preklapanja susednih navara.

3.11. ZAKLJUČAK

Teorijska izučavanja predmeta doktorske disertacije su koncipirana na istraživanjima primenljivosti najnovijih tehničko-tehnoloških metoda i postupaka održavanja vitalnih delova železničkih transportnih sistema, odnosno monoblok točka kvaliteta ER7.

Kako nam je poznato da se radi o izuzetno odgovornom železničkom elementu, kome pripada dominantna odgovornost za bezbednost saobraćaja, neophodno je naučno istraživačka izučavanja, predmeta doktorske disertacije, koncipirati od same proizvodnje polufabrikata pa do eksploatacije ovog vitalnog mašinskog dela. U cilju tome, teoretskim istraživanjem smo posebnu naučnu pažnju posvetili izvodljivosti i primenljivosti tehnika dijagnostikovanja, kako pri sprovođenju tehničko-tehnološkog postupka održavanja venca točka, tako i pri procesu eksploatacije, u cilju postizanja nivoa pouzdanosti, shodno međunarodnim normama UIC 812-3, EN 13262 kao i internim propisima. Pored tehničkih

metoda sa razaranjem metala, posvećena je vidna teoretska izučavanja i istraživanje primenljivosti tehničkih dijagnostičkih metoda i postupka bez razaranja, na polju ultrazvučne defektoskopije.

Znatan deo teoretskog istraživanja posvećen je istraživanju ubrzane mehaničke pojave habanja venca točka, kao i uzročnicima koji produkuju ovu nepoželjnu mehaničku pojavu pri procesu eksploatacije. Pokazano je da smo u ovom delu istraživanja, a koje je zasnovano na izučavanju velikog broja evropskih teoretskih istraživača, ove problematike, došli do pouzdanih tehničkih činjenica da vodeću ulogu ubrzanog habanja venca točka pri eksploataciji, čini stanje koloseka, usponi, padovi i krivine pruga. Ove dominantne tehničke karakteristike, detaljno smo implementirali u ovom delu istraživačkog rada, a koji mogu da budu od znatne koristi železničkim upravama naših zemalja.

Posebnu pažnju u teoretsko-istraživačkom delu predmeta doktorske disertacije posvetili smo izučavanju osnovnih uticajnih elmenta na kvalitetno izvođenje tehničko-tehnološkog procesa održavanja venca monoblok točka kvaliteta ER7. Koncept tog tehnološkog postupka čine sledeći bitni elementi:

- provera stanja monoblok točka dijagnostičkim ultrazvučnim metodama,
- provera mehaničkih karakteristika točka, uzorkovanjem epruveta iz pokusnog osovinskog sklopa iste šarže i godine proizvodnje, kao i iz atestne dokumentacije,
- provera hemijskog sastava materijala monoblok točka kvaliteta ER7 uzorkovanjem strugotine,
- vizuelna kontrola točkova,
- dijagnostika zaostalih napona u vencu i obodu monoblok točka,
- predgrevanje oboda monoblok točka na temperaturu od 153 °C,
- regulisanja kritičnog vremena hlađenja između 800 ÷ 500°C,
- priprema dodatnog i zaštitnog materijala u odgovarajućim elektro-komornim pećima na temperaturi 30 ÷ 40°C,
- definisanje tehnoloških režima rada pri procesu navarivanja,
- definisanje redosleda nanošenja navara i samog broja navara na korenu i venca točka,
- tehnološki uslovi radne prostorije izvođenja tehničko-tehnološkog procesa navarivanja,
- tehnički nivo mašina za navarivanje venca točka, minimalnog tehnološkog stepena automatizacije tj. poluatomatski.

Svi navedeni elementi imaju bitan uticaj na eliminaciju prslina pri procesu navarivanja kako bi zadovoljili zahteve mehaničkih karakteristika venca i oboda monoblok točka shodno internim i eksternim železničkim propisima. Takođe teoretski deo istraživačkog rada ukazuje na neophodnost tehnološkog postupka kontrole ispitivanja kako kvaliteta navara na vencu monoblok točka, tako i oboda monoblok točka gde su eventualno strukturne promene mogle da nastanu.

Teoretskim istraživanjem došli smo do zaključka da je, od presudne izvodljivosti i pouzdanosti primene novih tehnologija održavanja venca monoblok točka kvaliteta ER7, svojstvo i osobina metala i legura točka, ka metalruškom procesu zavarljivosti. Tu karakteristiku spajanja metala elektrodne žice i monoblok točka kvaliteta ER7, istraživali smo na ključnim karakteristikama, a to su:

- operativna zavarljivost, koja određuje uslove kvalitetnog izvršenja navarenog spoja topljenjem,
- metalurška, koja karakteriše fizičko-hemijske promene metala nastale u procesu zavarivanja (navarivanja),

- konstruktivna ili opšta zavarljivost, pomoću koje određujemo osobine repariranog monoblok točka kvaliteta ER7, sa ciljem da se ustanovi njihova sklonost ka obrazovanju prslina.

Ovim mašinsko-metalruškim karakteristikama, posebno smo dali akcenat na pažnju teoretskog izučavanja i istraživanja, na postizanju pouzdane izvodljivosti spajanja čelika monoblok točka kvaliteta ER7 varenjem, sa dodatnim materijalom, zasnovanom na realnim osnovama formiranja kvaliteta navara na vencu i sklonosti ka obrazovanju prslina. Teoretskim istraživanjem smo zaključili da te nepoželjne i najopasnije moguće greške mogu da budu:

1. Hladne prsline u ZUT ispod prvog i drugog navara, koje najčešće nastaju usled krutih struktura kaljenja, kao posledica nedovoljne temperature predgrevanja, nepravilnog redosleda polaganja navara ili prisustva difundovnog vodonika.
2. Vruće prsline kristalizacionog ili cirkulacionog tipa, koje najčešće nastaju zbog pregrevanja venca monoblok točka. Ponekad vruće prsline mogu da se jave i u drugim oblastima navarenog sloja, ukoliko je navar bio izložen ekstremno velikim količinama unete toplote.
3. Zamorne prsline koje se javljaju u eksploataciji, usled niskocikličkog zamora, kao rezultat smanjenja plastične deformacije u omekšanoj zoni. Oni se zapažaju u osnovnom materijalu paralelno sa ZUT, u oblasti prelaza oboda u gazeću površinu.

Zbog mogućeg stvaranja ovih prslina ispod navarenog sloja, kao najopasnije moguće greške, istraživanjem smo prezentovali mogućnosti eliminacije istih, ograničenim brojem primene novog tehnološkog postupka održavanja venca točka (navarivanja), maksimalno 4 puta, a što u osnovi znači da se vek monoblok točka, u tom slučaju produžava 1 do 1,5 puta, a ovo predstavlja u suštini i ekonomsku opravdanost u ovoj naučno-istraživačkoj oblasti.

4. EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE

Na osnovu visokog stepena funkcije odgovornosti železničkih vozila koja eksploatišu monoblok točkove kvaliteta ER7, sa jedne strane i odgovarajućih zakonskih železničkih odredbi koje determinišu način održavanja i životni vek monoblok točkova sa druge strane, nužno nam je nametnut problem legalizacije sprovođenja eksperimentalnog istraživanja. Taj problem je zahtevao zvanično odobrenje same železničke uprave i resornog Ministarstva za železnicu Republike Srpske.

Na osnovu dugogodišnjih naučnih istraživanja sprovedenih na polju održavanja vitalnih delova železničkih vozila, pa i samog monoblok točka kvaliteta ER7, i realizovanih istraživačkih rezultata, predloženi plan i program istraživanja predmeta disertacije je odobren od strane pomenutih institucija polovinom 2009 godine.

Vrlo složen metodološki koncept eksperimentalnog istraživanja je uslovio mnogobrojne akreditovane laboratorije i naučno-istraživačke institucije u Rusiji, Republici Srpskoj, Republici Srbiji i Republici Crnoj Gori, pa čak i šire u dokazivanju i prezentovanju eksperimentalnih dijagnostičkih rezultata na uzorcima monoblok točka koji su podvrgnuti eksperimentalnom istraživanju.

Tehničko-tehnološki proces obnavljanja venaca monoblok točkova kvaliteta ER7 je realizovan u radioničkim prostorima Železnice Republike Srpske, u Banjoj Luci, a složene dijagnostičke tehnologije i postupci u inštiutima i laboratorijama: Objedinjeni Metaluruški

Konbinat „Viksa“ Rusija, Livnica čelika ”Jelšingrad” Banja Luka; “Mašinski fakultet” Banja Luka; “Metalotehna” Kneževo; “Železara” Nikšić i “Bratstvo” Subotica.

Tehničko-tehnološki proces obnavljanja venca monoblok točka kvaliteta ER7, obuhvatao je sledeće tehnološke procese:

1. opis i funkcija osovinskog sklopa sa navučenim monoblok točkovima kao pedmeta istraživanja,
2. gubitak radne sposobnosti osovinskog sklopa,
3. dijagnostika stanja monoblok točkova, predmeta eksperimentalnog istraživanja,
4. sprovođenje tehnološkog procesa navarivanja venca monoblok točka kvaliteta ER7,
5. Mašinska obrada profila venca i površine kotrljanja monoblok točka.

U laboratorijama za metalruško mehanička ispitivanja “Metalotehna” Kneževo i “Železara” Nikšić, pripremljene su epruvete i sprovedna celokupna mehnička ispitivanja na uzorcima i epruvetama osnovnog i dodatnog materijala. Hemijske karakteristike osnovnog i dodatnog materijala monoblok točka izvršena su u livnici čelika “Jelšingrad” Banja Luka, a ostale dijagnostičke tehnike zasnovane na bazi ultrazvučne defektoskopije izvršene su od strane dijagnostičara-specjalista, Željeznice Republike Srpske, “Bratstva” Subotica i Mašinskog fakulteta Banja Luka.

Eksperimentalno istraživački proces predmeta disertacije, usklađen je prema planu i programu celokupnog istraživačkog procesa, sačinjenog od strane istraživača, u vremenskom periodu od septembra 2008 do marta 2010 godine.

Dobijeni rezultati eksperimertalnog istraživanja, verifikovali su polaznu osnovu za pouzdan nastavak procesa eksploatacionog istraživanja, koje je sprovedeno prema planu i programu ove doktorske disertacije.

4.1. Osovinski sklopovi

U svim evropskim železničkim upravama, pa i našim zemljama operiše veliki broj serija voznih sredstava postižući maksimalne brzine kretanja do 120 km/h. Ta brzina je u razvijenim evropskim zemljama, uglavnom, zastupljena kod teretnih vagona, a u našim zemljama ceo železnički saobraćaj se, uglavnom, odvija brzinama kretanja do 120 km/h. Ovakva brzina kretanja vozova na našim prugama zavisi od više tehničkih faktora, a dominantni su:

- vozna sredstva koja operišu našim prugama su projektovana za brzine do 120 km/h,
- stanje obrtnih postolja voznog sredstva,
- stanje koloseka ne dozvoljava bezbednu primenu većih brzina izuzev pojedinačnih deonica,
- reljefni položaj pruge, tj. sa velikim brojem krivina, uspona i padova,
- konstrukciona izvedba sistema za kočenje vagona,
- vučna vozna sredstva su projektovana za brzine do 120 km/h (dizel i elektro lokomotive)
- elektrifikacije pruge itd.

Pri eksploataciji tehničkih sistema – železnička vozila, dominantnu funkciju za pouzdano vršenje eksploatacije, imaju osovinski sklopovi. To su elementi obrtnog postolja koji determinišu osnovnim sklopom za izdržljivost projektovane brzine kretanja. Na slici 4.1.1. prikazano je jedno od mnogobrojnih vrsta obrtnog postolja železničkih vagona, koje se u većoj meri eksploatiše na vagonima naših železničkih uprava.



Slika 4.1.1. Obrtno postolje železničkog vagona na kome su ugrađeni eksperimentalni osovinski sklopovi

Obrtna postolja spadaju u takozvani trčeci deo železničkih vagona. Čine ga dva osovinska sklopa sa ležištima, sistem ogibljenja, delovima kočnih uređaja, sve povezano zajedničkom konstrukcijom zvanom ramom.

Osovinski sklopovi su tačnije dvoosovinska ili višeosovinska kolica, na koja se oslanja sanduk kola preko obrtne šolje, klizačem opruga i drugih oslonaca. Ova veza je takva da se obrtno postolje slobodno okreće u horizontalnoj ravni, u odnosu na sanduk kola, za vreme prolaza kola kroz krivine.

Zahvaljujući malom razmaku osovina u obrtnom postolju, robusnoj konstrukciji i dobrom ogibljenju, omogućeno je dobrom kretanju vozila u krivine, miran i siguran hod. Veza između vozila i osovinskih sklopova postaje elastičnija, smanjeno je habanje osovinskih točkova uz povećanje bezbednosti saobraćaja.

Primenom adekvatnog ogibljenja u obrtnom postolju, snižavaju se otpori kretanja kola, smanjuju vertikalna pomeranja sanduka kola pri prelazu preko neravnina koloseka, daje se mogućnost ugradnje više povezanih sistema, ogibljenje sa prigušivačima, oscilacija (amortizera), što poboljšava kvalitet hoda kola. Obrtna postolja su izložena opterećenjima mase sanduka kola i tereta, vučne i kočne sile kao i svih vertikalnih i horizontalnih sila nastalih prilikom kretanja kola po pravom delu pruge i u krivinama. Obrtna postolja su tako konstruisana, i spojena sa postoljem da je olakšana njihova ugradnja i demontaža ispod postolja kola, kao i to da je demontaža osovinskih sklopova izvodljiva bez većih remontnih zahvata u cilju efikasnijeg procesa održavanja. Osnovni element obrtnog postolja je osovinski sklop.

Osovinski sklop čini: osovina i dva monoblok točka, čvrsto navučениh na osovinu. Na slici 4.1.2 je prikazan jedan od četiri osovinska sklopa koji su predmet istraživanja ove

doktorske disertacije. Proces eksperimentalnog istraživanja, obnavljanje venaca monoblok točka, izvodimo u sklopu sa osovinom tj. osovinskim sklopom.



Slika 4.1.2. Eksperimentalni osovinski sklopovi sa navučenim točkovima kvaliteta ER7, prečnika Ø 920 mm

Eksperimentalno i eksploataciono istraživanje koje ćemo sprovesti nad osovinskim sklopovima, je od najbitnijih zadataka u cilju postizanja uspešnosti predmeta doktorske disertacije. Sveobuhvatni naučno-istraživčki proces predmeta doktorske disertacije primenjen je na sledećim osovinskim sklopovima, koji eksploatišu monoblok točkove kvakiteta čelika ER7, tabela 4.1.1.

Na četvoroosovinskom teretnom vagonu serije Uaddf zž-86 44 934 6002-1 ugrađeni su dva osovinska sklopa na kojima je primenjen tehničko-tehnološki postupak održavanja, a na druga dva osovinska sklopa su bez primenjenog tehničko-tehnološkog postupka. Razlog ovome je analiza i komparacija svih dijagnostičkih rezultata validnih za naučno posmatranje i donošenje naučnih odluka i postupaka ostvarenja ovog naučno-istraživačkog rada. Ovom eksploatacionom istraživanju je prethodilo eksperimentalno istraživanje primenjeno na dva osovinska sklopa, tj četiri monoblok točka koja su istog kvaliteta materijala čelika tj. ER7. Ova eksperimentalna istraživanja imala su prevashodan cilj da se sveobuhvatnim tehničko-tehnološkim postupkom obnavljanja venca točka uz primenu savremnih tehnologija dijagnostikovanja, sa i bez razaranja analiziraju relevantni dijagnostički pokazatelji koji potvrđuju izvodljivost predmeta doktorske disertacije i time stvaraju preduslove za ostvarenje hipoteza doktorske disertacije.

Vagon Uaddf žž-86 44 934 6002-1	Osovinski sklop	Monoblok točak kvalitet materijala ER7		Napomena
OBRTNO POSTOLJE II.	06584/85	45	Točkovi, obnovljenih venaca	
		44		
	06744/85	18/1		
		18/9		
OBRTNO POSTOLJE I.	00514/78	1L	Točkovi ne obnovljenih venaca (samo profilisani)	
		1D		
	00006/87	2L		
		2D		

Tabela 4.1.1. Osovinski sklopovi ugrađeni na teretni vagon serije Uaddf žž-86 44 934 6002-1 u cilju eksploatacionog istraživanja

I. Osovinski sklopovi, namenjeni eksperimentalnom istraživanju

U tabeli 4.1.2. prikazani su eksperimentalni osovinski sklopovi sa navučenim monoblok točkovima kvaliteta materijala čelika ER7, nad kojima je primenjen novi tehničko-tehnološki koncept održavanja venca navarivanjem, a potom podvrgnuti savremenim tehnikama dijagnostikovanja i uzorkovanju epruveta za laboratorijska ispitivanja. Dobijeni dijagnostički rezultati služili su za analizu naučnim posmatranjem na osnovu kojih je stvorena baza naučno-istraživačkog dokazivanja izvodljivosti, pouzdanosti, ekonomičnosti i primenljivosti ovog koncepta održavanja venca monoblok točka.

Osovinski sklop	Monoblok točak kvaliteta materijala ER7
261229/69	01
	02
11694/83	03
	04

Tabela 4.1.2. Monoblok točkovi kvaliteta ER7, za eksperimentalno istraživanje

4.2. Gubitak radne sposobnosti

Fizički otkaz osovinskih sklopova karakteriše postupni gubitak radne sposobnosti celokupnog tehničkog sistema-železničkog vozila. Taj momenat se, zapravo nalazi na granici između radno sposobnog i radno nesposobnog stanja sistema. Ako se tehnički sistem – železničko vozilo nalazi u neispravnom stanju, za sprečavanja fizičkog otkaza u njegovom radu neophodno je izvršiti odgovarajuće aktivnosti održavanja, što obezbeđuje dalju eksploatacija sistema.

Postupak dijagnostikovanja stanja sistema sadrži se u logičnoj obradi neke objektivne suštinske informacije, koja dolazi do tehničkog sistema „u radu“ u određenom trenutku vremena. Ta informacija dolazi u obliku sistema simptoma (gubljenje geometrijskih veličina, spoljnih zvukova) koji direktno karakterišu stanje sistema.

U procesu otkrivanja neispravnosti pojedinih delova sistema (železničko vozilo) mogu se nalaziti u tri stanja: „u radu“ (radno sposoban), „u otkazu“ (neradno sposoban) i u neispravnom stanju. Tražene neispravnosti sadržane su u određivanju delova sistema koji ne odgovaraju tehničkim uslovima i ne reaguju na zadato dejstvo.

U predmetnom istraživanju, određivanja ili utvrđivanje radnog stanja vrši se dijagnostikovanje i mjerenja važnih radnih parametara monoblok točka koji su regulisani zakonskim propisima UIC i EN normama, koji se radi eksploatacione sposobnosti i pouzdanosti funkcionisanja tehničkog sistema (železničko vozilo) moraju održavati u tolerancijama. Ove mere dijagnostike kako smo već definisali, su veoma raznovrsne i zauzimaju znatan obim pri praktičnoj primeni tehničke dijagnostike.

U teoretskom delu istraživanja predmeta doktorske disertacije, detaljno smo prezentovali otkaz osovinskog sklopa koji onemogućava tehničkom sistemu da obavi funkciju cilja. Teoretskim istraživanjem fokusirali smo se na osnovne uzročnike koji su proizveli gubitak radne sposobnosti osovinskog sklopa, a to su: mehaničke, toplotne, hemijske, metalruške itd. Na osnovu izučavanja mnogih istraživača na problemu prirodnog trošenja – habanjem materijala profila točka, kao i njihovo sprečavanje ili umanjenje, kroz ta istraživanja detaljno smo prezentovali pored identifikacije otkaza i način otklanjanja otkaza vitalnog mašinskog dela osovinskog sklopa tj. monoblok točka. Ubedljive tehničko-tehnološki pokazatelje teoretskog istraživanja, primenićemo eksperimentalnom metodološkom konceptu ovog naučno-istraživačkog rada, i ugrađenim na jednom obrtnom postolju, odnosno dva osovinska sklopa ili četiri monoblok točka, koji su u funkciji eksploatacije na teretnom vagonu serije Uaddf zž broj vagona 86 44 934 6002-1. Za komparaciju dijagnostičkih rezultata, koristićemo upareno obrtno postolje na istom železničkom vozilu, odnosno dva osovinska sklopa koja nisu podvrgnuta ovom eksperimentalno-metodološkom konceptu održavanja venaca monoblok točkova.

4.3. Dijagnostika stanja monoblok točkova

Pod opštim pojmom tehničke dijagnostike podrazumevamo sve aktivnosti koje se sprovode sa ciljem ocene trenutnog tehničkog stanja sistema, sa rastavljanjem ili bez rastavljanja, radi preduzimanja planiranih aktivnosti održavanja ili davanja prognoze tehničkog stanja sistema u budućnosti. Obezbeđenje visokog nivoa pouzdanosti tehničkih sistema – železničko vozilo, u eksploataciji jedan je od osnovnih faktora koji trebamo obezbediti dijagnostičkim tehnikama i tehnologijama primenjenim na vitalni deo tj. monoblok točak. U ovom delu istraživanja doktorske disertacije, biće primenjene meritorne koncepcije pojedinačnih ispitivanja i dijagnostikovanja, bazirane na pojedinačnom registrovanju grešaka, a time i otkaza, čime se postiže povišenje efikasnosti ispitivanja ocene pouzdanosti. Uvođenjem ovakvog postupka registrovanja otkaza, sa selektivnom registracijom i očitavanjem dijagnostike stanja i generisanje parametara pouzdanosti za eksperimentalna ispitivanja, postižu se zadovoljavajuće vrednosti faktora efikasnog dijagnostikovanja. Ovakvim pristupom dijagnostikovanja eliminišu se svi potencijalni elementi otkaza, koji bi dovodili do obezvređivanja ukupnog sprovedenog istraživanja, a time ovaj istraživački rad bi izgubio svoju naučnu vrednost.

Tehnička dijagnostika osovinskih sklopova, odnosno monoblok točkova, je sastavni deo procesa održavanja prema stanju, kojim utvrđujemo tehničko stanje osovinskog sklopa pri procesu eksploatacije.

Postavljanje dijagnoze monoblok točka koji je u funkciji složenog tehničkog sistema, traži veći broj složenih dijagnostičkih parametara. Svaki dijagnostički parametar može biti povezan sa više strukturnih, a veličina svakog od njih može ukazati na neku neispravnost. To znači da ako je broj dijagnostičkih parametara n , broj mogućih stanja dijagnostikovanog sistema je „ 2^n “. Prema tome postavljanje dijagnoze se svodi na to da se iz niza mogućih stanja dijagnostikovanog sistema izdvoji ono relevantno i stvarano.

U eksperimentalnom istraživanju predmeta doktorske disertacije primenjene su dijagnostičke metode i postupci iz sledećih naučnih oblasti:

0. hemijska,
1. tehnološka,
2. mehanička,
3. fizička,
4. defektoskopska,
5. strukturna.

Tehničko-tehnološki postupak obnavljanja venca monoblok točka kvaliteta ER7, prate dijagnostičke metode i postupci, fazno primenjene shodno zahtevima i potrebama praćenja stanja kao i tehnološkog postupka održavanja osovinskih sklopova. Utvrđivanje radnog stanja osovinskog sklopa, korišćene su, odgovarajuće dijagnostičke metode i postupci uz primenu odgovarajuće instrumentacije. Za teoriju raspoznavanja stanja osovinskih sklopova, analizirani su dijagnostički rezultati, naučnim posmatranjem, shodno zahtevima visokog stepena pouzdanosti železničkih vozila definisanih internim i eksternim propisima. Kroz sveobuhvatni proces istraživanja predmeta doktorske disertacije, primenjene su četiri karakteristične faze dijagnostikovanja stanja i analize dijagnostičkih rezultata i to:

1. pre početka primene tehničko-tehnološkog postupka obnavljanja venca,
2. nakon izvođenja tehničko-tehnološkog postupka obnavljanja venca,
3. tokom eksplotacionog istraživanja,
4. nakon sprovednog eksplotacionog istraživanja.

4.3.1. Dijagnostika stanja pre primene tehničko-tehnološkog postupka održavanja venca točka navarivanjem

Polazni dijagnostički rezultati, korišćeni su za praćenje promena kroz ceo eksperimentalni i eksperimentalno-eksplotaciono istraživački proces. Za ovaj deo eksperimentalnog istraživanja, izvršena su sledeće tehnike dijagnostikovanja:

1. vizuelna kontrola i identifikacija osovinskih sklopova i monoblok točkova,
2. dijagnostika geometrijskih veličina osovinskih sklopova i monoblok točkova,
3. ispitivanje površinske tvrdoće, površine kotrljanja i venca,
4. analiza hemijskog sastava materijala monoblok točkova,
5. ultrazvučna defektoskopija oboda i venca monoblok točka,
6. merenje zaostalih napona u obodu i vencu monoblok točka,
7. merenje omskog otpora osovinskog sklopova.

4.3.1.1. Vizuelna kontrola i identifikacija osovinskih sklopova i monoblok točkova

Vizuelna kontrola osovinskih sklopova, sprovedena je u cilju otkrivanja i analize rezultata grubih površinskih grešaka i oštećenja, kao na primer mehnička oštećenja nastala

dinamičkim ili statičkim opterećenjem, zarezima, većim površinskim prslinama, poroznošću i dr. Ova grubo dijagnostika stanja osovinskih sklopova sprovedena je golim okom i uvećalom od 20 X. Ovom dijagnostikom osovinskih sklopova i monoblok točkova, potvrdili smo kompletnost i vizuelnu funkcionalnost, kojom smo konstatovali da su svi osovinski sklopovi bez vidljivih elemenata koji ukazuju na oštećenja i nedozvoljene mane.

Identifikacijom osovinskih sklopova, definisali smo sve potrebne tehničko-eksploatacione podatke, obuhvaćene od vremena proizvodnje dela (osovine i monoblok točka) pa do stavljanja u eksperimentalnu i eksploatacionu funkciju istraživanja na železničkom voznom sredstvu, prikazano u tabelama 4.3.1.1.1.; 4.3.1.1.2. i 4.3.1.1.3.

Obrtno postolje	Broj os. skl.	Značenje	Podaci	Mon. točak br.	Značenje	Podaci	
UGRAĐENE NA II. OBRTRNO POSTOLJE VAGONA serije Uadbfz ž broj 86 44 934 6002-1	06584 / 85	<ul style="list-style-type: none"> - br. šarže - serijski broj - kvalitet čelika - godina i mesec proizvodnje - proizvođač - ugrađen na obrtno postolje - ugrađena na kola 	153 ER7 11/85	44	<ul style="list-style-type: none"> - montaža - nazivna mera Ø točka - tolerancija sile presovanja - tolerancija zadora - tip sredstva za podmazivanje - crtež i oznaka točkova - proizvođač točkova 	85 920 Loj Viksa	
				45	<ul style="list-style-type: none"> - montaža - nazivna mera Ø točka - tolerancija sile presovanja - tolerancija zadora - tip sredstva za podmazivanje - crtež i oznaka točkova - proizvođač točkova 	85 920 Loj Viksa	
	06744/85		153 ER7 11/85	Rusija II. Uadbfzž	18/1	<ul style="list-style-type: none"> - montaža - nazivna mera Ø točka - tolerancija sile presovanja - tolerancija zadora - tip sredstva za podmazivanje - crtež i oznaka točkova - proizvođač točkova 	85 920 Loj Viksa
					18/9	<ul style="list-style-type: none"> - montaža - nazivna mera Ø točka - tolerancija sile presovanja - tolerancija zadora - tip sredstva za podmazivanje - crtež i oznaka točkova - proizvođač točkova 	85 920 Loj Viksa

Tabela 4.3.1.1.1. Tehničko-eksploatacioni podaci osovinskih sklopova nad kojima je sproveden proces eksperimentalnog i eksploatacionog istraživanja

Obrtno postolje	Broj os. skl.	Značenje	Podaci	Mon. točak br.	Značenje	Podaci	
UGRADENE NA I. OBRITNO POSTOLJE VAGONA serije Uadbf zž broj 86 44 934 6002-1	005142/78	<ul style="list-style-type: none"> - br. šarže - serijski broj - kvalitet čelika - godina i mesec proizvodnje - proizvođač - ugrađen na obrtno postolje - ugrađena na kola 	87	1L	<ul style="list-style-type: none"> - montaža - nazivna mera Ø točka - tolerancija sile presovanja - tolerancija zadora - tip sredstva za podmazivanje - crtež i oznaka točkova - proizvođač točkova 	80 920	
			ER7 12/78			Loj	
	000006/87		Bohumi n	<ul style="list-style-type: none"> - br. šarže - serijski broj - kvalitet čelika - godina i mesec proizvodnje - proizvođač - ugrađen na obrtno postolje - ugrađena na kola 	1D	<ul style="list-style-type: none"> - montaža - nazivna mera Ø točka - tolerancija sile presovanja - tolerancija zadora - tip sredstva za podmazivanje - crtež i oznaka točkova - proizvođač točkova 	80 920
			I. Uadbfzž				Loj Viksa
			78		2L	<ul style="list-style-type: none"> - montaža - nazivna mera Ø točka - tolerancija sile presovanja - tolerancija zadora - tip sredstva za podmazivanje - crtež i oznaka točkova - proizvođač točkova 	88 920
							ER7 12/87
2D	<ul style="list-style-type: none"> - montaža - nazivna mera Ø točka - tolerancija sile presovanja - tolerancija zadora - tip sredstva za podmazivanje - crtež i oznaka točkova - proizvođač točkova 	88 920					
		I. Uadbfzž	Loj Bohumin				

Tabela 4.3.1.1.2. Bitni eksploatacioni podaci osovinskih sklopova nad kojima je sproveden proces eksperimentalnog i eksploatacionog istraživanja

U priloženom tabelarnom pregledu, prikazani su svi neophodni podaci osovinskih sklopova i monoblok točka potrebni za metodološku evidenciju života istih potrebnu za železničke uprave tj. ŽRS, kao i za naše naučno-istraživačke potrebe, predmeta doktorske disertacije. Osovinski sklopovi su ugrađeni na tertni vagon serije **Uaddf zž broj 86 44 934 6002-1** koji je eksploatcionu funkciju obavljao i obavlja na prugama BiH, Republike Srbije i Republike Hrvatske. U obrtnom postolju vagona **II.** ugrađeni su osovinski sklopovi sa monoblok točkovima nad kojima je sproveden celokupni metodološki koncept predmeta doktorske disertacije, a na postolju **I.** ugrađene su osovine sa monoblok točkovima koji nisu predmet ovog naučnog istraživanja, a korištene su za komparativne dijagnostičke i merne karakteristike. Ovde smo imali za cilj praćenja i dijagnostikovanja stanja radi uporednih naučnih analiza u odnosu na predmetne monoblok točkove doktorske disertacije. Ovi monoblok točkovi su porekla, kvaliteta i godina proizvodnje približni eksperimentalno-eksploatcionim, tako da treba očekivati vrlo relevantne dijagnostičke rezultate.

U tabeli 4.3.1.1.3. prikazani su identifikacioni podaci osovinskih sklopova i monoblok točkova koji su predmet eksperimentalnog istraživačkog koncepta doktorske disertacije. Ovakav sprovedeni pristup istraživanja imao je za neophodnost sprovođenja dijagnostičkih tehnika sa razaranjem, kako bi ti relevantni rezultati obezbedili nivo pouzdanosti pristupu eksploatcionom istraživanju. Poznato je, da vodeći evropski železnički instituti koji se bave razvojem, tehničkim unapređenjem vitalnih delova železničkih vozni sredstava, pod obavezno uključuju sveobuhvatne dijagnostičke postupke i metodologije dokazivanja zbog izuzetno zahtevnog stepena sigurnosti pri eksploatciji.

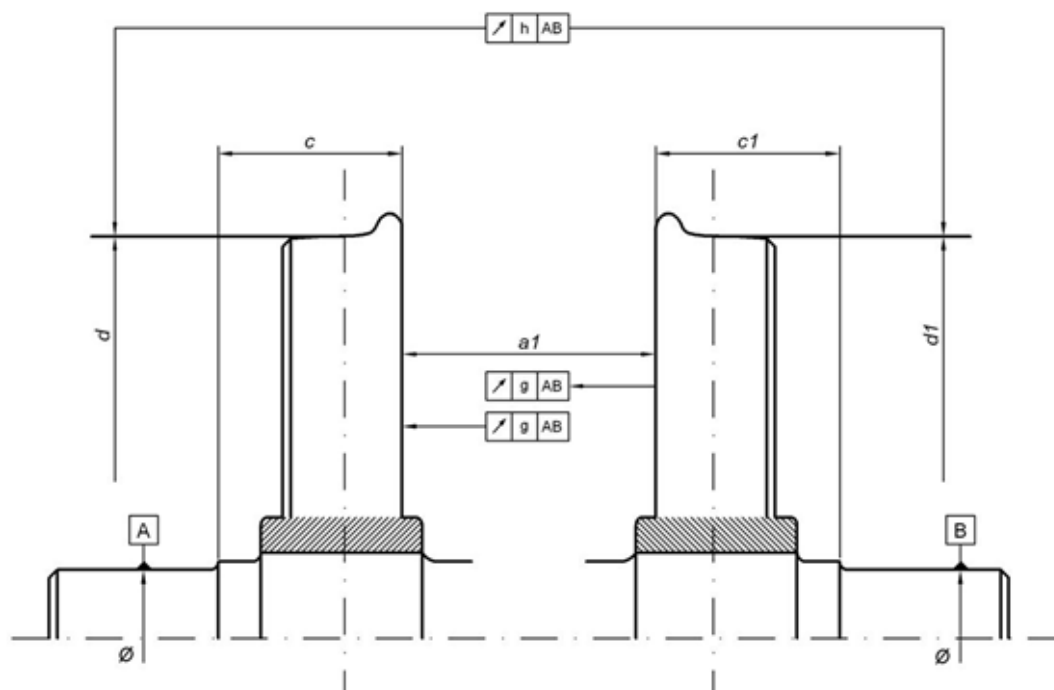
	Broj os. skl.	Značenje	Podaci	Monoblok točak br.	Značenje	Podaci
MONOBLOK TOČKOVI, PREDMET EKSPERIMENTALNOG ISTRAŽIVANJA BEZ PRIMENE U EKSPLOATACIJI	261229/69	- br. šarže - serijski broj - kvalitet čelika - godina i mesec proizvodnje - proizvođač - ugrađen na obrtno postolje - ugrađena na kola	53 ER7 8/69 Bohumin ÷ ÷	01	- montaža - nazivna mera Ø točka - tolerancija sile presovanja - tolerancija zadora - tip sredstva za podmazivanje - crtež i oznaka točkova - proizvođač točkova	88 920 Loj Bohumin
				02	- montaža - nazivna mera Ø točka - tolerancija sile presovanja - tolerancija zadora - tip sredstva za podmazivanje - crtež i oznaka točkova - proizvođač točkova	70 920 Loj Bohumin

	11694/83	- br. šarže	87	03	- montaža	83
		- serijski broj	÷		- nazivna mera Ø točka	920
		- kvalitet čelika	ER7 10/83		- tolerancija sile presovanja	
		- godina i mesec proizvodnje	Bohumin		- tolerancija zadora	Loj
		- proizvođač	÷		- tip sredstva za podmazivanje	÷
		- ugrađen na obrtno postolje	÷		- crtež i oznaka točkova	Bohumin
		- ugrađena na kola	Uadbfzž	04	- montaža	83
					- nazivna mera Ø točka	920
					- tolerancija sile presovanja	
					- tolerancija zadora	Loj
					- tip sredstva za podmazivanje	÷
					- crtež i oznaka točkova	Bohumin
					- proizvođač točkova	

Tabela 4.3.1.1.3. Bitni eksploatacioni podaci osovinskih sklopova, korišteni za eksperimentalno istraživanje

4.3.1.2. Dijagnostika geometrijskih parametara osovinskih sklopova

Za ocenu stanja i eventualne radne sposobnosti osovinskog sklopa, a shodno zahtevima tehničke dokumentacije i železničkih propisa, sproveden je skup geometrijskih procedura kontrole i merenja, dužinskih veličina i oblika osovinskog sklopa i monoblok točka. Ova prva instrumentalizovana dijagnostika daje samo deo tehničkih dijagnostičkih parametara za primenom koncepta održavnja predmeta doktorske disertacije. Na slici 4.3.1.2.1. i 4.3.1.2.2. prikazani su sprovedni dijagnostičke kontrole i merenja, a rezultati su prikazani u tabelama 4.3.1.2.1.; 4.3.1.2.2.;4.3.1.2.3. i 4.3.1.2.4.



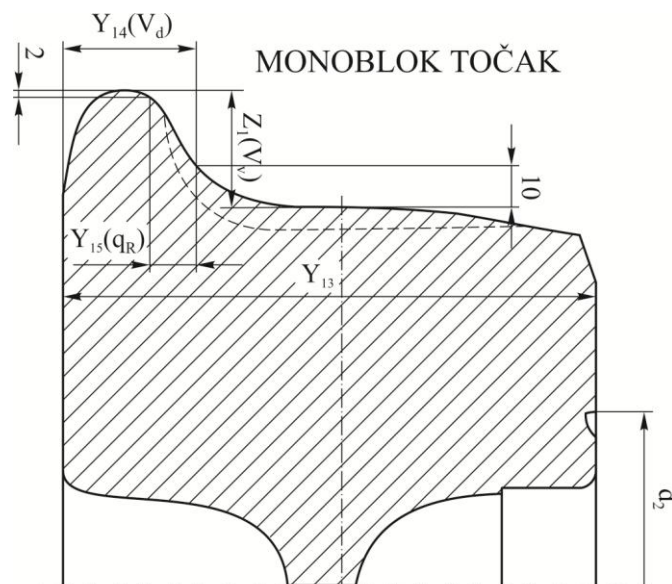
Slika 4.3.1.2.1. Geometrijski parametri oblika osovinskog sklopa [114]⁶⁴

Opis	simbol	kategorija ^b (za brzine do 120 km/h)		kategorija ^a (za brzine veće od 120 km/h)
		mm	mm	mm
		a	b	
Razmak između unutrašnjih površina ^a	a_1	+2 ^b 0		+ 2 ^b 0
Razlika rastojanja između unutrašnje površine svakog točka i odnosne ravni (površina naleganja zaptivnog prstena ležaja)	$c - c_1$ ili $c_1 - c$	≤ 1		≤ 1
Razlika u prečniku kružne putanje	$d - d_1$ ili $d_1 - d$	≤ 0,5	≤ 0,3	≤ 0,3
Kružni tok prečnika kružne putanje	h	≤ 0,5	≤ 0,3	≤ 0,3
Kretanje u ravni na unutrašnjoj površini točkova ^a	g	≤ 0,8	≤ 0,5	≤ 0,3

^a mereno 60 mm ispod gornje ivice ivice bandaža.
^b tolerancije se mogu menjati, zavisno od specijalne izvedbe kolskog sloga.

Tabela 4.3.1.2.1. Tolerancije veličina osovinskog sklopa

[114]⁶⁴ UIC Objava 813: Tehnički uslovi za isporuku osovinskih sklopova za vučna i vučena vozila –Dozvoljena odstupanja i montaža, 2. izdanje, Beograd, Decembar 2003.



Slika 4.3.1.2.2. Označavanje geometrijskih parametara profila kotrljanja i venca monoblok točka železničkih vozila [142]⁶⁵

Naziv veličine	Oznaka dužinske mere	Nazivna mera	Stvarne veličine			
			Osovinski sklop 261229/69		Osovinski sklop 11694/83	
Unutrašnje odstojanje točkova	y ₁	1360 ⁺²	1360		1361	
Prečnik kruga kotrljanja	d ₁	920 ⁺⁴ ₋₇₄	01	02	03	04
			846	846	848	848
Debljina venca	y ₁₄ (Vd)	32,5 ^{+0,5} _{-7,5}	22,5	22,1	24,5	24,4
Visina venca	Z ₁ (Vv)	28 ⁺³ _{-0,5}	32	32,3	32	32,1
Širina oboda	y ₁₃	135 ^{±1}	136	136	135,9	135,6
Oblik venca	q _R	max.10,8 min. 6,5	7,3	7,1	7,4	7,3

Tabela 4.3.1.2.2. Bitni eksploatacioni parametri eksperimentalnih osovinskih sklopova i točkova mereni pre procesa obnavljanja venca

[142]⁶⁵ Standardi JŽ., UIC-a., EN.; JUS P. F2.213, JUS P.F2. 036, UIC-812-3 i EN 13262 812-3,

Naziv veličine	Oznaka dužinske mere	Nazivna mera	Stvarne veličine			
			Osovinski sklop 06584 / 85		Osovinski sklop 06744/85	
Unutrašnje odstojanje točkova	y ₁	1360 ⁺²	1361		1360,5	
Prečnik kruga kotrljanja	d ₁	920 ^{+4 -74}	44	45	18/1	18/9
			902,7	903	910,8	911,2
Debljina venca	y ₁₄ (Vd)	32,5 ^{+0,5 -7,5}	22,2	21,8	21,0	21,4
Visina venca	Z ₁ (Vv)	28 ^{+3 -0,5}	32,0	32,6	32,5	32,1
Širina oboda	y ₁₃	135 ^{±1}	135	135,4	136,1	136,8
Oblik venca	q _R	max.10,8 min. 6,5	6,5	6,4	6,6	6,3

Tabela 4.3.1.2.3. Bitni eksploatacioni parametri eksperimentalnih osovinskih ugrađenih na vagona Uaddf zž broj 86 44 934 6002-1 pre primene tehnološkog procesa obnavljanja venca

Naziv veličine	Oznaka dužinske mere	Nazivna mera	Stvarne veličine			
			Osovinski sklop 00514 / 78		Osovinski sklop 00006/87	
Unutrašnje odstojanje točkova	y ₁	1360 ⁺²	1360,7		1361	
Prečnik kruga kotrljanja	d ₁	920 ^{+4 -74}	1L	1D	2L	2D
			914,7	915	915,8	916,2
Debljina venca	y ₁₄ (Vd)	32,5 ^{+0,5 -7,5}	22	22,2	22,1	21,8
Visina venca	Z ₁ (Vv)	28 ^{+3 -0,5}	31,2	32	31,8	31,3
Širina oboda	y ₁₃	135 ^{±1}	135	135,4	136,1	136,8
Oblik venca	q _R	>6,5	6,3	6,5	6,4	6,2

Tabela 4.3.1.2.4. Bitni eksploatacioni parametri komparativnih osovinskih sklopova ugrađenih na obrtnom postolju I. Tertnog vagona Uaddf zž broj 86 44 934 6002-1 pre revizije

Ocenu sposobnosti osovinskih sklopova za eksploatacionu funkciju, uglavnom detrminišu geometrijski parametri venca točka. Sprovedna kontrola i merenja geometrijskih veličina i oblika, celokupnih parametara svih točkova, konstatovano je da su svi osovinski sklopovi, odnosno monoblok točkovi, van radnog stanja, tj. u stanju otkaza. Geometrijski parametri venca, kod svih monoblok točkova koji su predmet istraživanja, nalazili su se ispod minimalnih dozvoljenih veličina i oblika, te za takvo stanje je stvoren preduslov za

nastavak metodološkog koncepta istraživanja, tj. primenom novog tehnološkog rešenja održavanja venca monoblok točka, kvaliteta ER7 obnavljanjem.

4.3.1.3. Ispitivanje tvrdoće površine kotrljanja i venca

U teoretskom delu istraživanja opisali smo suštinske ciljeve ispitivanja tvrdoće nekog mašinskog dela, pa tako i bitnih delova monoblok točka kvaliteta materijala ER7. Ova mehnička karakteristika i te kako spada u jednu od vrlo važnijih dijagnostičkih pokazatelja dobijenu od eksperimentalnih monoblok točkova i to pre procesa obnavljanja venca, nakon samog tehničko-tehnološkog procesa obnavljanja i tokom eksploatacionog procesa točkova. U ovakvim uslovima, a procesom eksperimentalnog istraživanja nužno je bilo primeniti ispitivanje tvrdoće na pojedinim elementima monoblok točka po sledećim metodama:

- statičkim,
- dinamičkim i
- specijalnim.

U ovom delu istraživanja, sprovođenje merenja tvrdoće je vršeno po profilu kotrljanja i vencu točka, a rezultati su služili za komparativne vrednosti u odnosu na vrednosti dobijene nakon obnavljanja venca točka i tokom eksploatacionog istraživanja. Tvrdoća po poprečnom preseku nije izvodljiva u ovom delu istraživanja, jer time bi doveli do razaranja monoblok točka uzorkujući etalone, što bi onemogućilo daljni proces istraživanja.

Ispitivanje površinske tvrdoće profila kotrljanja stacionarnim uređajima nije izvodljivo imajući za činjenice gabaritne veličine osovinskih sklopova, te je bilo potrebno iznalaziti nova savremena rešenja ispitivanja površinske tvrdoće profila monoblok točka kvaliteta ER7. Ova mehnička karakteristika je potrebna za praćanje eventualnog poremećaja uzrokovan primenom tehničko-tehnološkog postupka održavanja venca točka. Kao pouzdan i najpogodniji uređaj za ispitivanja površinske tvrdoće primenjen je savremeni mobilni uređaj za merenje tvrdoće sa malim opterećenjima odskoka po metodi UCI, prikazan na slici 4.3.1.3.1.

Opšte o mobilnim uređajima za merenje tvrdoće

Kod konvencionalnih uređaja tvrdoće prema Rockwellu, Brinellu ili Vickersu uvek je potrebno dostaviti ispitni deo na merni sto aparata. Kako to iz praktičnih razloga, u našem slučaju nije bilo izvodljivo, kao i iz razloga same ispitne geometrije, primenili smo savremeni mobilni uređaj za merenja tvrdoće materijala monoblok točka. Ovakvi savremeni uređaji danas na svetskom tržištu, doživljavaju ekspanziju zbog svoje pogodnosti i pouzdanost, pri merenju, a mi smo se opredelili za primenu mobilnog aparata prema UCI odskoka (eng. Ultrasonic Contact Impedance).

Za primenu ovog mobilnog aparata, uticali su veći broj opravdavajućih činjenica kao što su: pouzdanost kvaliteta rezultata ispitivanja, direktno očitavanje na displeju, primenljiv na složene geometrijski ispitne površine, ekonomičnost itd. Posebno se koristi u slučajevima kad se svojstva materijala moraju odrediti u malim tolerancijama, npr. za određivanje očvršćivanja deformacijom na kovanom čeliku, što i jeste naš slučaj.

S druge strane, relativno mali otisci UCI sonde omogućuju ispitivanje tvrdoće zavarenih spojeva, a posebno u kritično važnim zonama uticaja toplote.

UCI metoda odskoka, zasnovana je na funkciji rada ispitivanja tvrdoće na principu metoda ultrazvučnom kontaktnom impedancijom. UCI sonda u osnovi se sastoji od Vickersovog dijamanta pričvršćenog na vrhu metalne šipke (slika 4.3.1.3.1). Piezo-električni pretvarači pobuđuju šipku u longitudinalnu oscilaciju. Umesto metalne šipke (koju nazivamo oscilirajuća šipka) nalazi se spiralna opruga koja je jednim krajem pričvršćena, a slobodnim

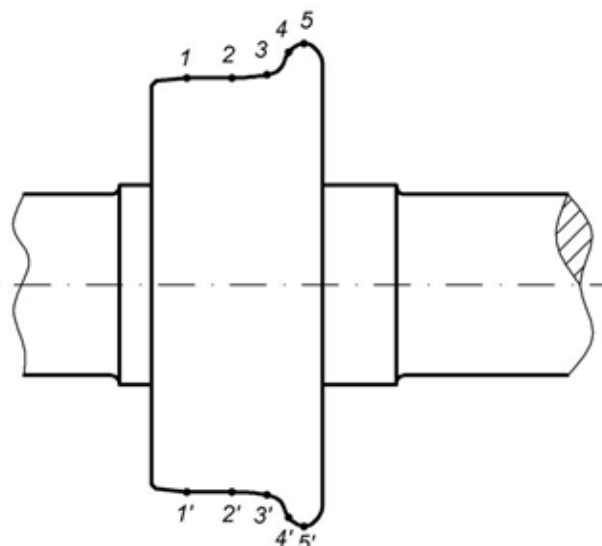
krajem oscilira pri rezonantnoj frekvenciji od 70 kHz. Na samom vrhu opruge nalazi se kontaktna pločica, ili Vickersov dijamant. Ispitni materijal s kojim Vickersov dijamant dolazi u kontakt takođe se može zamisliti kao spoj manjih spiralnih opruga postavljenih okomito na površinu kao atomsku vezu dva atoma međusobno povezanih „oprugom“. Ako Vickersov dijamant takne i jednu od tih „atomskih opruga“, i to od vrlo tvrdog materijala u koji dijamant može samo malo prodreti, i posledica tome dolazi do ostvarenja malog otiska, nakon čega se dodatna opruga, tj. masa, veže za veliku spiralnu oprugu. To dovodi do pomaka rezonantne frekvencije.

UCI metoda odskoka (eng. Ultrasonic Contact Impedance), je metoda posebno priznata na polju savremene dijagnostike standardizovana u skladu s ASTM A 1038.



Slika 4.3.1.3.1. Ispitivanje površinske tvrdoće mobilnim uređajem sa malim opterećenjima merne igle

Tvrdoća materijala monoblok točka kvaliteta čelika ER7, je usaglašana kako međunarodnim propisima tako i internim standardima. Ova objava UIC 812-3 definiše da tvrdoća površine kotrljanja i venca točka treba biti u granicama 235 do 285 HB, nakon mehničke obrade. Na slici 4.3.1.3.2. prikazana su mesta merenja površinske tvrdoće po profilu kotrljanja u dve podeone suprotne merne linije tj. u podeli od 180° , a svaka podeona linija je merena u pet karakterističnih ispitnih mesta. Rezultati ovog ispitivanja površinske tvrdoće prikazani su u tabeli 4.3.1.3.1.



Slika 4.3.1.3.2. Položaj mernih tačaka za ispitivanja tvrdoće na profilu kotrljanja

Osovinski sklop	06584 /85		06744/85		Br.točka	06584 / 85		06744/85	
	Mj. tačke	44	45	18/1		18/9	Mj. tačke	44	45
1	252	260	250	265	1'	253	251	252	246
2	251	250	250	250	2'	254	251	253	248
3	264	258	262	258	3'	266	262	256	257
4	256	254	261	257	4'	260	258	259	257
5	251	248	250	248	5'	249	252	256	252

a)

Osovinski sklop	261229/69		11694/83		Br.točka	261229/69		11694/83	
	Mj. tačke	01	02	03		04	Mj. tačke	01	02
1	252	246	250	245	1'	253	261	252	260
2	266	273	258	256	2'	248	254	248	248
3	268	255	252	260	3'	266	262	256	265
4	252	260	251	258	4'	250	255	248	255
5	248	254	249	249	5'	248	254	248	251

b)

Tabela 4.3.1.3.1. Rezultat ispitivanja površinske tvrdoće pre obnavalnja venca

a) tvrdoća profila točka namenjenih za istraživanje procesom eksploatacije,

b) tvrdoća profila točka eksperimentalnih osovinskih sklopova namenjenih za istraživanje u laboratorijskim uslovima.

Rezultati ispitivanja tvrdoće profila kotrljanja i venca eksperimentalnih monoblok točkova, ukazuju na neujednačenu površinsku tvrdoću po profilu točka. Vidljivo je da uža gazeća površina točka (tačka 1 i 2) koja je u stalnom kontaktu sa šinom, a u odnosu na ostali deo površine kotrljanja točka, tvrdoća je znatno uvećana. Ovo je posledica deformacionog gnječjenja materijala pri statičkom i dinamičkom opterećenju vozila na točak, koji nastaje procesom kretanja. Ova pojava za očekivati je i tolerantna, a kao rezultat te uvećane

tvrdće dovodi do sporijeg habanja tog dela površine kotrljanja, dok profil venca (tačka 3, 4 i 5) zbog geometrije dodira sa šinom i dejstva kombinovanih opterećenja (prezentovano u teoretskom delu istraživačkog rada) je izložen bržem trošenju (habanju) u odnosu na površinu kotrljanja točka. Zbog toga je habanost profila venca osnovni i glavni geometrijski parametar koji detriminiše otkaz točka, a time i isključenje iz procesa eksploatacije železničkog vozila, radi podvrgavanja tehnološkog procesa održavanja profila venca i vraćanja u radno stanje osvonskog sklopa, a time i železničkog vozila.

4.3.1.4. Analiza hemijskog sastava materijala eksperimentalnih monoblok točkova

Veoma je važno poznavati sastav i strukturu čelika monoblok točka, radi njegove ocene zavarljivosti, odabiru dodatnog i zaštitnog materijala za navarivanje venca kao i sklonosti ka obrazovanju incijalnih prislina, nastalih pri tehničko-tehnološkom procesu navarivanja. Prisutnost pojedinih elemenata u čeliku ima štetan uticaj na njegove mehaničke i druge osobine, dok postoje takođe i elementi koji, iste te osobine poboljšavaju.

Opšti sastav čelika monoblok točka kvaliteta ER7, uslovljen je još pri samom postupku njegove izrade. Pored ugljenika kao osnovnog elementa koji ulazi u sastav čelika u makasimalnom procentu od 0.52 % tu su još i drugi mnogobrojni elementi. U prvom redu to su managan, silicij, fosfor, sumpor, bakar, hrom, nikl, molibden i vanadijumi neki nemetalni uključci koji mogu biti sulfidne, oksidne i silikatne prirode. Ovi elementi direktno utiču na kvalitet monoblok točka kao i njihova količina i raspodela. Prateće primese u čeliku vode poreklo iz rude željeza (mangan, silicij, fosfor); iz goriva (sumpor) i od sredstava za dezoksidaciju (mangan i silicij). Količina pratećih elemenata zavisi kako od polazne sirovine (rude, goriva, topitelja), tako i od samog postupka dobijanja čelika.

Metodom uzorkovanja strugotine iz oboda eksperimentalnih monoblok točkova, izvršeno je ispitivanje hemijskog sastava ugljeničnog niskolegiranog čelika, a rezultati su prikazani u tabeli 4.3.1.4.1.

Hemijski elementi, maksimalni udeo %		C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
Po UIC 812-3 i EN13262, točka ER7		0,52	0,8	0,40	0,020 0,04	0,015 0,04	0,30	0,30	0,30	0,08	0,05
Broj os. sklopa	Broj točka	Eksperimentalni monoblok točkovi									
06584 / 85	44	0,50	0,70	0,31	0,016	0,013	0,19	0,22	0,25	0,06	0,022
	45	0,48	0,75	0,32	0,013	0,011	0,17	0,28	0,27	0,05	0,023
06744/85	18/1	0,49	0,74	0,31	0,012	0,012	0,18	0,19	0,23	0,05	0,020
	18/9	0,51	0,76	0,30	0,016	0,013	0,14	0,23	0,26	0,03	0,026
261229/69	01	0,47	0,72	0,30	0,015	0,014	0,14	0,19	0,24	0,03	0,023
	02	0,48	0,74	0,29	0,011	0,013	0,16	0,25	0,27	0,05	0,022
11694/83	03	0,49	0,74	0,30	0,013	0,011	0,15	0,19	0,25	0,04	0,022
	04	0,47	0,73	0,30	0,015	0,014	0,14	0,18	0,24	0,04	0,022

Tabela 4.3.1.4.1. Učesće hemijskih elemenata u materijalu eksperimentalnih monoblok točkova, preuzeti iz atestne dokumentacije

Pored sadržaja ugljenika, elemente koji ulaze u sastav čelika monoblok točka, možemo klasifikovati na:

- a) korisni elementi – legirajući elementi u čeliku točka,
- b) štetni elementi u čeliku točka,
- c) skriveni štetni elementi u čeliku točka.

Korisni elementi u materijalu monoblok točka kvaliteta ER7

Mangan - Mn

Mangan je jedan od veoma značajnih legirajućih elemenata u čeliku monoblok točka. Mangan znatno utiče na povećanje stabilnosti austenita i povećava njegov stepen podhlađivanja. Prednost sadržaja Mn od 0,8 u čeliku monoblok točka znatno utiče na povećanje prokaljivosti, povećanoj čvrstoći i sniženoj tački hlađenja. Brojne prednosti sadržaja mangana u čeliku točka, kao i na polju habanja gde mangan čeliku točka daje veće povećanje čvrstoće pri deformaciji. Površinski sloj koji se obrazuje veoma je tvrd i otporan prema habanju.

Nikl - Ni

Nikl proširuje oblast postojanja γ -čvrstog rastvora na dijagramu stanja Fe-Fe₃C. Nikl kao element koji stvara grafit, nalazi se u čvrstom rastvoru u feritu, znatno povećavajući njegovu čvrstoću bez primetnog snižavanja žilavosti. Nikl ima naročito velik uticaj na hemijska i fizička svojstva čelika monoblok točka.

Hrom - Cr

Poboljšavanje strukture čelika monoblok točka dobija se legiranjem hroma i nikla. Zajedničko prisustvo hroma i nikla predodređuje visoka eksploataciona svojstva monoblok točka, uvećanjem tvrdoće i otpornosti prema habanju. Monoblok točka sa sadržajem Hroma od 0,3% je proizveden u kombinovanim tehnološkim postupkom, valjanjem i kovanjem, uz primenu termičke obrade poboljšanja. Racionalnim dodavanjem Hroma, dobijaju se znatna poboljšanja eksploatacionih i tehnoloških karakteristika monoblok točka, a to su:

- a) povećavaju se mehanička svojstva (čvrstoća, plastičnost),
- b) povećava se prokaljivost,
- c) smanjuju se unutrašnji naponi i krivljenje usled primene mekše sredine kaljenja,
- d) povećava se elastičnost,
- e) poboljšavaju se eksploatacioni kvaliteti u uslovima složenog naponskog stanja itd.

Molibden - Mo

Molibden deluje na osobine čelika već kod 0,2%. Znatno povećava zateznu čvrstoću čelika na povišenim temperaturama, sprečava puzanje čelika. Takođe sprečava i krtost popuštanja, tj. smanjenje žilavost pri popuštanju u temperaturnom području 475-6000 °C kod čelika legiranih hromom i manganom ili hromom i niklom. Molibden proširuje područje stabilnosti ferita i doprinosi hemijskoj stabilnosti čelika u korozivnim sredinama koje su jako zasićene jonima hlora. Snižava sklonost čelika prema pojavi pukotina.

Vanadij - V

Deluje slično kao molibden. Povećava otpornost čelika prema starenju. Poboljšava stabilnost čelika pri popuštanju. Kao i volfram, vanadij se upotrebljava kao mikrolegirajući element kod čelika povišene visoke čvrstoće. Vanadij je aktivni dezoksidator i degazator, čime utiče na prečišćavanje čelika i poboljšava zavarljivost na račun vezivanja ugljenika u karbide i gasova u okside i nitride.

Štetni elementi u materijalu monoblok točka

Sumpor - S

Sumpor je prvi od pratećih elemenata u svakom čeliku pa i monoblok točku koji se pretežno ubraja u štetne elemente i njegov sadržaj se nastoji što više sniziti prilikom proizvodnje. Izuzetak čine samo čelici za automate kod kojih se namerno dodaje u količini od 0,2 do 0,3% u kojima izaziva stvaranje kraće strugotine, zbog krtosti. U zavisnosti od načina proizvodnje u čelicima uvek ostaje 0,005 do 0,006% (najviše do 0,007%) a kod livova i do 0,15% sumpora. Sumpor se vrlo malo rastvara u γ -željezu (do 0,07%), a u α -željezu verovatno ni malo.

Preobražajni procesi kod ternernih Fe-S-C legura još uvek nisu dovoljno ispitani. Postojalo je mišljenje, da se ti procesi odvijaju potpuno isto kao i kod Fe-C legura, a s obzirom na nerastvorljivost sumpora u željezu. Novija ispitivanja su pokazala da se ipak sumpor rastvara u rešeci željeza. Naime, smatra se da je kod kvalitetnih čelika sumpor delimično rastvoren u rešeci željeza, dok se kod trgovačkih kvaliteta on, uglavnom, nalazi u međukristalnom sloju.

Bilo ja dosta rasprava o tome da li količina ugljenika utiče na rastvorljivost sumpora u željezu. Prema nekim autorima taj uticaj je beznačajan. Treba još napomenuti da se smatra da sumpor može zamenti i izvestan broj atoma ugljika u rešetci cementita, što ga na neki način stabilizuje. [131]⁶⁶

Sumpor za razliku od drugih pratilaca željeza, silicijuma, mangana i fosfora stvara već pri minimalnim koncentracijama jednu posebnu, karakterističnu fazu u mikrostrukturi željeza – sulfid željeza FeS. Ovaj je prljavo žute boje i kao nemetalni uključak uočava se već na poliranom uzorku koji nije nagrizan. Prema dijagramu stanja trebao bi se već pri malom sadržaju sumpora očekivati pojavu (Fe + FeS) – eutektikuma sa niskom tačkom topljenja na granicama zrna (kristala željeza).

Da bi se sumpor učinio neškodljivim i da bi se isključila opasnost od krtosti u crvenom žaru, povećava se sadržaj mangana u legurama čelika. Mangan stvara sa sumporom sulfid MnS koji se topi tek na 1610°C i koji se izdvaja iz rastopa kao primarni kristal i to u vidu sivo-plavih kristala.

Fosfor - P

Fosfor pripada grupi elemenata koji sužavaju područje γ – područje željeza. Već počev od 0,6% fosfora legure Fe-P bez ugljika su čisto feritne. Kristali austenita koji sadrže fosfor pokazuju izvanredno jaku sklonost prema pojavi segregacije u kristalu, što je uslovljeno velikom temperaturnom razlikom između likvidus i solidus linije, kao i malom brzinom difuzije fosfora u željezu. Da bi došlo do izjednačavanja razlika u koncentraciji fosfora unutar kristala γ -čvrstog rastvora, potrebno je dugo žarenje neposredno ispod solidus-temperature (difuziono žarenje).

Segregacija fosfora je nepoželjna u čeliku monoblok točka, jer ona predstavlja štetnu nehomogenost strukture. Zone sa različitim sadržajem fosfora imaju različitu tvrdoću, čvrstoću i žilavost. Fosfor kod čelika monoblok točka može da izazove i pojavu **krtosti u hladnom** koja se karakteriše porastom čvrstoće i padom žilavosti.

[131]⁶⁶ Seferijan, D., *Metalurgija zavarivanja*, Građevinska knjiga, Beograd, 1969.

Skriveni štetni elementi u materijalu monoblok točka

Azot - N

Rastvorljivost azota u α -željezu je neznatna i iznosi najviše 0,10% na 5900°C. Snižanjem temperature rastvorljivost se osetno smanjuje i na sobnoj temperaturi pada na oko 10-5%. Slično legurama željeza sa ugljenikom i legure željeza sa azotom pokazuju sposobnost kaljenja i starenja. Starenje izazvano azotom dovodi do znatnog povećanja krtosti čelika, što se uglavnom ispoljava u većoj osetljivosti na udar, odnosno u padu udarne žilavosti.

Ako se ispituju mehaničke osobine čelika na povišenim temperaturama, ne nailazi se na neprekidan pad tvrdoće i čvrstoće i porast izduženja i kontrakcije, kao kod bakra nikla, bronz, aluminija i drugih metala i legura. Čelici sklone starenju naginju pojavi tzv. Lüdersovih linija. Ove linije nastaju pri maloj deformaciji i predstavljaju područja u kojima pod dejstvom naprezanja dolazi do lokalnog klizanja.

Vodonik - H

Vodonik pripada primesama čelika iako se ne javlja neposredno u mikrostrukturi, već može samo da se dokaže po svom štetnom dejstvu. Vodonik u čelik najčešće dospeva iz dodataka ili iz nedovoljno osušenog zida peći ili lonca. Željezo i čelik u čvrstom stanju rastvaraju vodonik iz pećnih gasova pri žarenju. Obično se vodonik nalazi u željezu u atomarnom obliku i stvara sa željezom intersticijski čvrst rastvor, slično ugljeniku i azotu.

Pukotine usled naprezanja prouzrokovane vodonikom nazivaju se bele pege. One se javljaju pri hlađenju posle kovanja ili valjanja uz temperaturu oblasti oko 200°C. Opasnost od pojave ovih pukotina naročito je velika u slučaju kada se veliki otkivci suviše brzo hlade, tako da se vodonik iz vremenskih i prostornih razloga ne može osloboditi. Na izbruscima upravnim na pravac plastične deformacije bele pege se poslije luženja u HCl javljaju u vidu pravih ili savijenih pukotina, dugih nekoliko mm ili cm.

Kiseonik - O

Kiseonik je apsolutno štetan prateći element u čeliku monoblok točka i pri proizvodnji čelika se uvek nastoji njegov sadržaj svesti na što manji vrednost. Skoro sav sadržaj kiseonika nalazi se u čeliku u obliku oksida Fe, Mn, Si i Al zavisno od korištenih sredstava za dezoksidaciju čelika, a kreće se od 0,005 do 0,060%. Oksidi navedenih elemenata su nemetalni uključci koji deluju u čeliku kao zarezi smanjujući karakteristike čvrstoće, žilavost i deformabilnosti, naročito u poprečnom smeru. Željezo stvara sa kiseonikom tri oksida romboedarski Fe₂O₃, kubni Fe₃O₄ i kubni FeO, koji sadrži najviše željeza i prisutan je samo ponekad u čeliku kao mikrokonstituent pod nazivom vistic.[131]⁶⁷.

Sprovednom hemijskom analizom materijala monoblok točka kvaliteta ER7, konstatovan je kvalitativni i kvantitativni sastav čelika svih eksperimentalnih monoblok točkova. Ovo ispitivanje sprovedeno je u hemijskoj laboratoriji livnice čelika „Jelšingrad“ Banja Luka. Analiza je imala za cilj provere hemijskog sastava eksperimentalnih monoblok točkova shodno projektovanoj dokumentaciji kao važećim internim i eksternim železničkim propisima, u cilju uticaja na daljnji tok eksperimentalnog istraživanja predmeta doktorske disertacije. Stvarni pokazatelji hemijskog sastava materijala monoblok točkova, su dali osnovu za definisanje ekvivalentnog ugljenika koji je ključan za proces proračuna i analize predgrevanja oboda i venca točka.

Iz priloženih rezultata vidljivo je da postoje neznatna odstupanja pojedinih hemijskih elementa, međutim udeli odstupanja su toliki da nisu produkovali mogućnost poremećaja koncepiranog toka eksperimentalnog istraživanja.

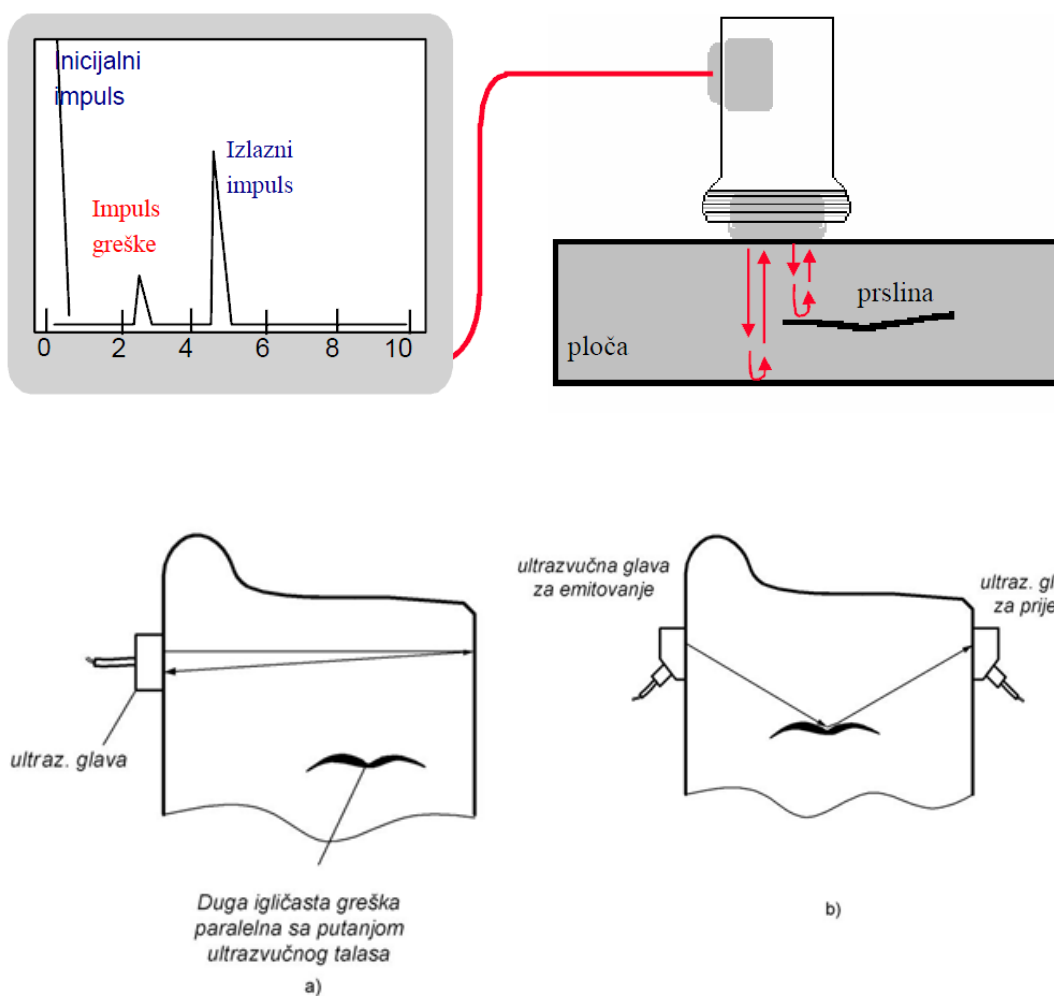
[131]⁶⁷ Seferijan, D., *Metalurgija zavarivanja*, Građevinska knjiga, Beograd, 1969.

4.3.1.5. Ultrazvučna defektoskopija oboda i venca monoblok točka

1. Opšte o načinu primene ultrazvučnog defektoskopa

Kroz materijal ispitnog dela, šalju se ultra-zvučni talasi određenog spektra frekvencije. Tu se podrazumeva traženje grešaka u materijalu pomoću ultrazvuka ili kako se to naziva ultrazvučna defektoskopija. Od izvora ultrazvuka šire se ultrazvučni talasi kroz materijal koji se kontroliše. Ako u materijalu u ispitnom postoji greška, iza nje će, zavisno o vrsti greške, ultrazvučni talasi oslabiti ili se neće pojaviti (odbiju se od greške). Ultrazvuk je naziv za frekvencije iznad područja čujnosti, za ovu metodu se koriste frekvencije od 0,5 – 10 MHz. To je kontrola koja svojim delovanjem ne utiče na svojstva zavarenog spoja.

U praksi, a i u ovom istraživačkom radu, se najčešće koristi metoda prozvučavanja pri čemu se koriste ravne i ugaone ultrazvučne glave. Na slici 4.3.1.5.1. prikazana je šema rada ultrazvučnog defektoskopa.



Slika 4.3.1.5.1. Određivanje greške impulsno-ehom metodom, šematski prikaz

Kod impulsnih-eho metoda, prolaz ultrazvučnih talasa kroz materijal (odnosno, pri njihovom nailasku na grešku), zasnovan je na istom principu kao i kod impulsnih uređaja, sa tom razlikom što se signali - ulazni i izlazni - uočavaju na ekranu u vidu svetlosnih signala. Signal greške nalazi se između ulaznog i izlaznog signala na odstojanju koje je proporcionalno dubini lokacije greške.

Sprovođenjem ultrazvučne defektoskopije, identifikuju se veličine greški, položaj i orijentacija istih. Zato je za kvalitetno provođenje potrebno mnogo iskustva i stručnog znanja što je i prednost i nedostatak kod primene ove metode.

Prednosti i nedostatke primene ultrazvučne metode kontrole kvaliteta zavarenih spojeva:

a) prednosti:

- nije bitna debljina predmeta;
- potreban je pristup samo s jedne strane;
- okolina nema uticaj na metodu;
- uređaj i pribor su mali i lako prenosivi;
- provođenje ne zahteva zaštitna sredstva i dr.

b) nedostaci:

- složeni oblici mogu biti nepogodni za provođenje;
- uvežbavanje operatora je dugotrajno i
- pouzdano određivanje greške zahteva pristup s više strana, a time i značajan utrošak vremena.

2. Ultrazvučna dijagnostika oboda i venca monoblok točka

Bez obzira na navedne nedostatke ova metoda je u širokoj primeni na dijagnostikovanju stanja vitalnih delova železničkim transportnim sistemima, kako pri tehnološkim procesima proizvodnje pojedinih vitalnih delova, tako i pri eksploatacionim funkcijama samog sistema. Za celeokupno eksperimentalno i eksploataciono istraživanje predmeta doktorske disertacije, neizbežna je bila primenena ultrazvučne defektoskopije kao meritorna tehnika dijagnostikovanja venca i oboda monoblok točka.

Za ovu dijagnostičku tehniku, korišten je ultrazvučni uređaj tipa USM 35X S proizvodnje Kraus-Kramer iz Nemačke. Ovaj ultrazvučni aparat je mobilnog tipa, sa mogućnošću procene veličine DAC/TCG ili DGS krivulje su memorisane za sve sonde tehnika odjeka, amplituda procena veličina provodi se ili u dB iznad DAC krivulje ili u ekvivalentnoj veličini reflektor (ERS).

Posebne prednosti ovog aparata:

- mala težina i malih dimenzionalnih veličina,
- kućište uređaja je vodootporno i sigurnosnoj izvedbi IP 66,
- okretni regulator za direktni pristup podešavanju pojačanja, a takođe i za primenu trenutno odabrane funkcije,
- dvostruki monitor za merenje debljine od kontaktne plohe do prvog odjeka, ili među dva odjeka od zadnje stene, uključujući i merenje debljine na ispitnim objektima sa zaštitnom prevlakom uz tačnost 0,01 mm u odnosu na čelik,
- monitor sa povećanjem, povećanje monitora preko cele širine ekrana,
- 5,7", ¼ VGA-TFT prikaz u boji digitalizovanih signala (320x240 pixela, 115x86 mm),
- AGA izlaz za vanjski dodatni monitor,
- jedostavno uočavanje refleksije kada se koristi ugaona sonda pomoću promene boje i prikazanog podataka, uključujući i opis, mogućnost dokumentovanja pisačem,
- povećano merno područje: do 9999 mm (čelik), zavisno od frekvencijskog područja,
- poluatوماتsko baždarenje sa dva odjeka,
- podešavanje učestalosti okidanja sonde u deset koraka sa ciljem izbegavanja neželjenih (fantomskih) signala kod dugačkih odjeka,
- odabir frekvencijskog područja za radnu sondu,
- način prikaza signala: puno ispravljeni signal, pozitivna ili negativna poluperioda i neispravljeni (RF) signal,
- prikaz četiri očitavanja i jedno uvećano na A-prikazu, definisano od rukovaoca.

Na slici 4.3.1.5.2. prikazan je ultrazvučni aparat koji je primenjen za defektoskopiju oboda i venca monoblok točka, pri procesu eksperimentalnog i eksplotacionog istraživanja doktorske disertacije.



Slika 4.3.1.5.2. Ultrazvučni defektoskopski aparat korišten pri pocesu sprovođenja eksperimentalnog i eksploatacionog istraživanja

Primenjena ultrazvučna defektoskopija ima za cilj otkrivanja greški u obodu i vencu monoblok točka koji su predmet eksperimentalnog i eksploatacionog istraživanja ove doktorske disertacije, a mogu da prouzrokuju mehanička oštećenja ili produkuju u veće greške koje ugrožavaju pouzdanost tehničkog sistema u našem slučaju železničko vozilo. Ova vrlo bitna tehnika dijagnostikovanja stanja eksperimentalnih monoblok točkova sprovedena je u tri faze:

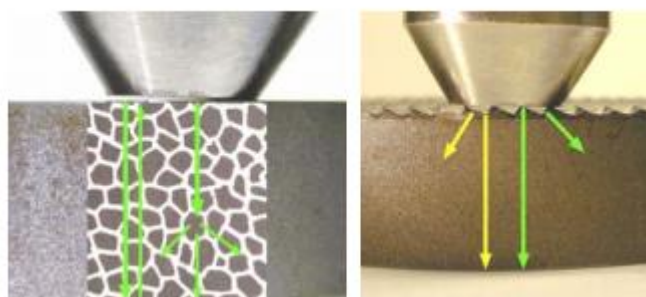
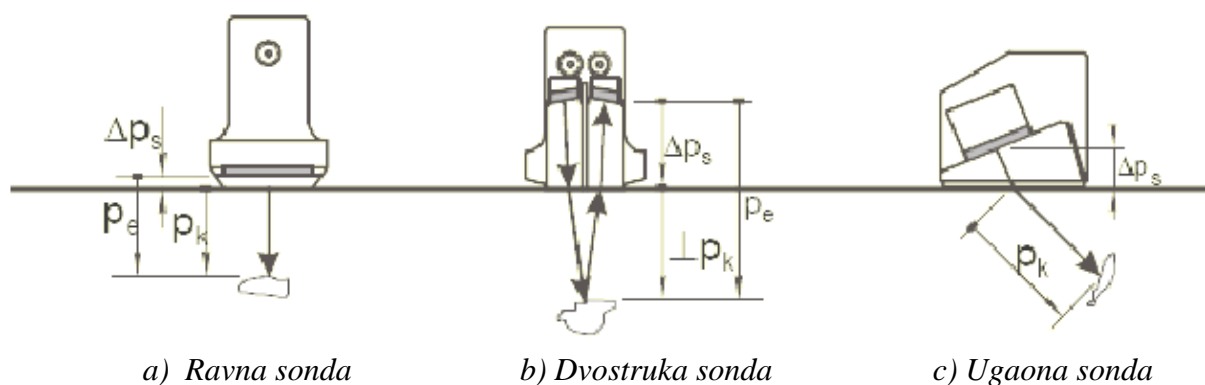
- greške uslovljene topljenjem upućuju na metalurške procese kod ulivanja tečnog metala u kalup (početno oblikovanje),
- greške uslovljene preradom nastaju u različitim fazama proizvodnje, kao što su deformisanje (valjanje i kovanje), sečenje i spajanje-navlačenjem monoblok točka na osovinu,
- greške uslovljene procesom navarivanja venca u navaru, venca i obodu monoblok točka,
- greške uslovljene eksploatacijom, nastale usled mehaničkih ili korozivnih opterećenja za vreme eksploatacionog istraživanja.

Otkrivanje pomenutih grešaka svakako je najpovoljnije, kada se otkrije u samom procesu nastajanja, a time se postiže zadovoljavajuća pouzdanost monoblok točka pri eksploataciji. Odstranjivanje grešaka u samom obodu monoblok točka, nije izvodljivo, a tehnike identifikovanja vrste, veličine i kategorije greška je od presudnog značaja za donošenje odluka za pouzdanu eksploatacionu funkciju.

Ultrazvučnom defektoskopijom, imali smo za cilj identifikovanje kategorije greške u materijalu oboda i venca eksperimentalnih monoblok točkova kao što su:

- plinski uključci,
- nemetalni uključci,
- lunckeri,
- dvoslojnost,
- pukotine i druge greške karakteristične za pojedine postupke obrade.

Geometrijski oblik profila monoblok točka spada u složeniju kategoriju oblika za praktično sprovođenje ultrazvučnog ispitivanja grešaka. Zbog toga upotreba jedne ultrazvučne glave za emitovanje i prijem bi otkrila većinu slučajno orijentisanih grešaka, međutim tada bi se mogle propustiti tanke i duge greške čija je osa paralelna sa putem ultrazvučnog talasa. Da bi se ovo izbeglo i sa pouzdanošću dijagnostikovala svaka greška u materijalu venca točka, neophodno je bilo primeniti složene tehnike sa odvojenim ultrazvučnim glavama za emitovanje i prijem. Ta složenost uslovljavala je dobru obučenos rukovaoca aparata uz obaveznu primenu ravnih, dvostrukih i ugaonih sonde. Na slici 4.3.1.5.3. prikazane su skice korištenih sonde za otkrivanje eventualnih grešaka u obodu i vencu monoblok točka.



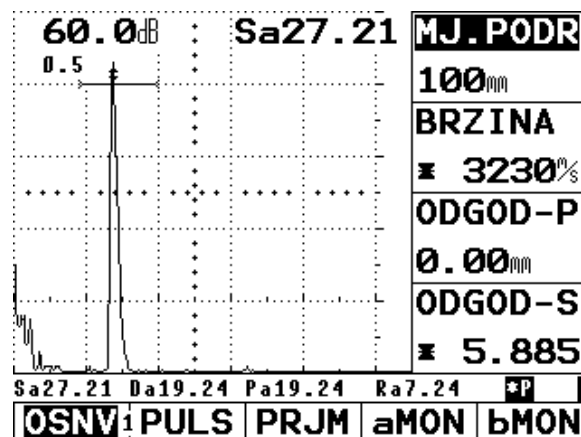
Slika 4.3.1.5.3. Korišćene sonde procesom defektoskopije točka

Proces ultrazvučnog ispitivanja materijala oboda i venca točka, pre tehničko-tehnološkog procesa navarivanja, je zahtevao ispravnu primenu celokupnog uređaja tako da ispitne glave moraju biti u bliskom kontaktu sa površinom uzorka, u protivnom bi se pojavili lažni eho. Kontakt se ostvaruje stavljanjem uljnog filma između ultrazvučne glave i površine uzorka, tako da između nje postoji vazdušni međuprostor. Na slici 4.3.1.5.4. prikazano je ultrazvučno dijagnostikovanje venca i oboda eksperimentalnih monoblok točkova, pre navarivanja venca.

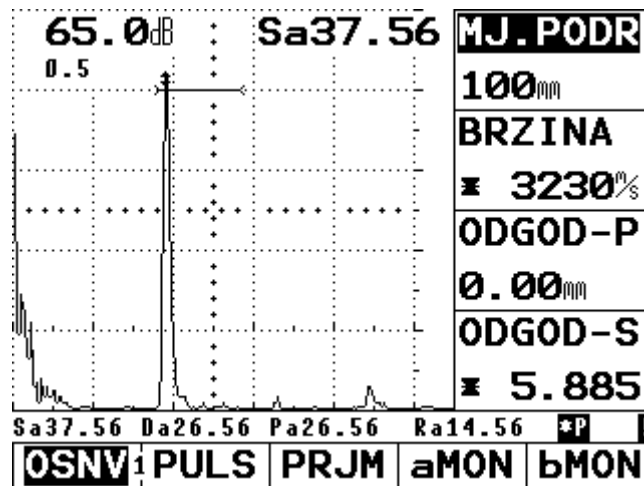


Slika 4.3.1.5.4. Ispitivanje grešaka u materijalu oboda i venca monoblok točka pre primene novog tehničko-tehnološkog postupka-navarivanjem

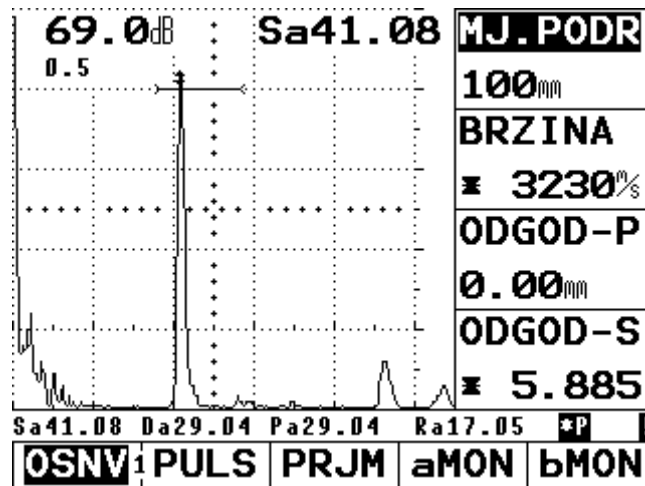
Eksperimentalni deo istraživanja, tj. ultrazvučno ispitivanje stanja oboda i venca materijala eksperimentalnih monoblok točkova, sprovedno je po celom obimu oboda i venca točka. Na slikama 4.3.1.5.5; 4.3.1.5.6; 4.3.1.5.7. i 4.3.1.5.8. računarskom tehnikom prikazani su dijagram koji ukazuju na postojanost bezopasnih mikroskopskih grešaka u obodu materijala eksperimentalnih monoblok točkova, a nastali su kao posledica nepotpunog kristalizacionog utapanja strukture materijala pri mehaničkoj toploj obradi valjanjem i kovanjem. Razvoj i tendencija produkovanja identifikovanih stabilnih strukturnih grešaka biće praćene i sa stanovišta tehnika zanaja njihovog karaktera opisan procesom ovog istraživačkog rada. Opisani rezultati sa grafikona prezentovani su u tabeli 4.3.1.5.1. za ove točkove namenjenih eksperimentalnom i eksperimentalno-eksploatacionom istraživačkom procesu.



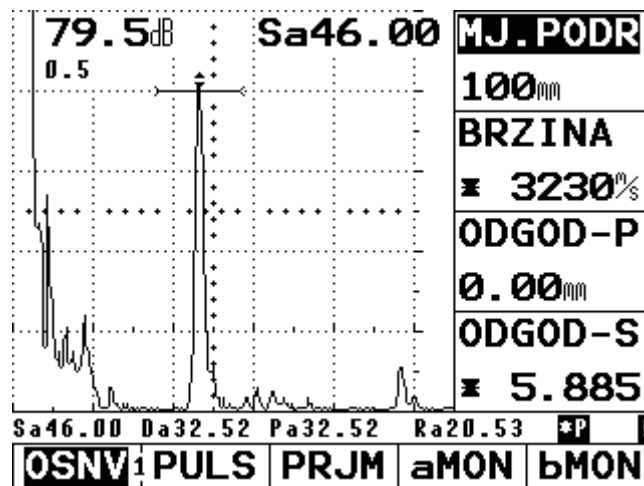
Slika 4.3.1.5.5. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka br. 44



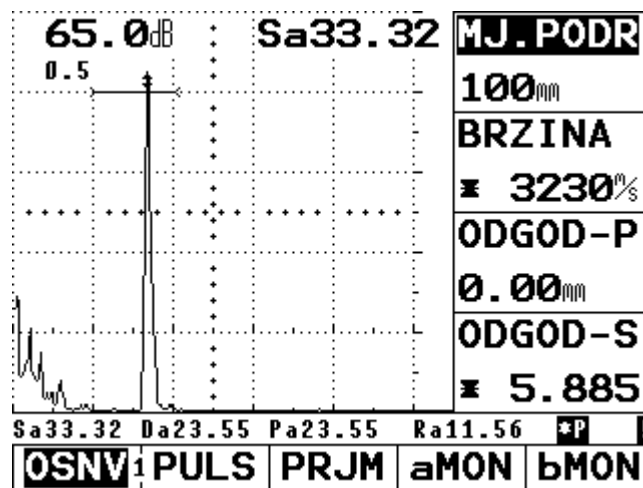
Slika 4.3.1.5.6. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka br. 45



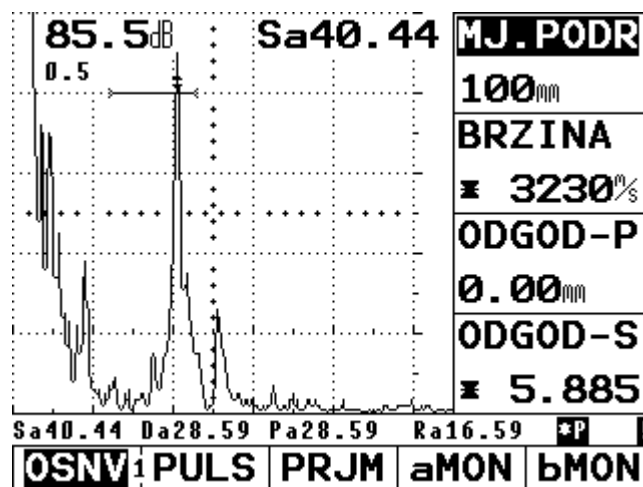
Slika 4.3.1.5.7. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka br. 18/1



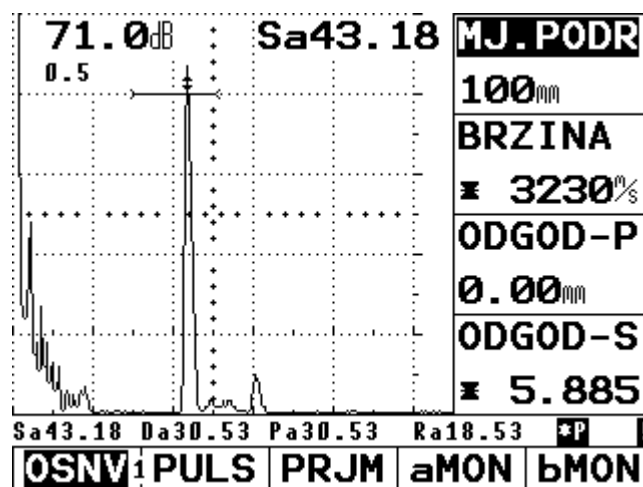
Slika 4.3.1.5.8. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka br. 18/9



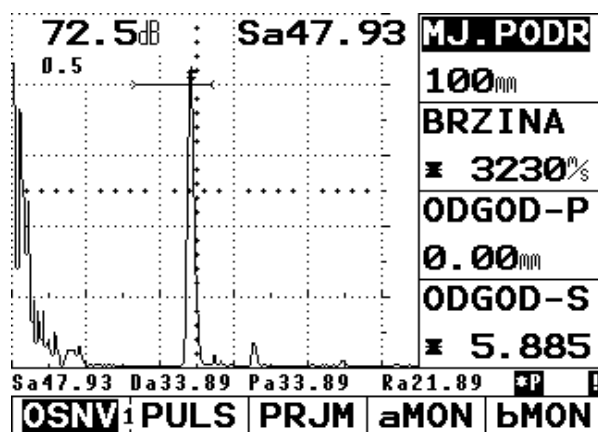
Slika 4.3.1.5.9. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka br. 01



Slika 4.3.1.5.8. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka br. 02



Slika 4.3.1.5.10. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka br. 03



Slika 4.3.1.5.11. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka br. 04

Ovo istraživanje sprovedno je od strane nadležnih laboratorijskih ispitivača ŽRS tokom 2010 godine, uz nadzor istraživača, sa atestiranom dijagnostičkom opremom koja je meritorna za verifikaciju stanja monoblok točkova i stavljena u eksperimentalno-eksploatacionu funkciju.

R.B	BR.OSOVINSKOG SLOGA	Br. MBT	OPISNI REZULTATI	ISTRAŽIVAČKA NAMENA
1.	06584 / 11.85	44	Direktnim ultrazvučnim prozvučavanjem venca i oboda mbt. nisu zapažene nedozvoljene greške u materijalu venca i oboda točka.	Za eksperimentalno-eksploataciono istraž.
		45	Nisu zapažene nedozvoljene greške u materijalu venca i oboda točka.	Za eksperimentalno-eksploataciono istraž.
2.	06744/11.85	18/1	Nisu zapažene nedozvoljene greške u materijalu venca i oboda točka.	Za eksperimentalno-eksploataciono istraž.
		18/9	Nisu zapažene nedozvoljene greške u materijalu venca i oboda točka.	Za eksperimentalno-eksploataciono istraž.
3.	261229/69	01	Nisu zapažene nedozvoljene greške u materijalu venca i oboda točka.	Za eksperimentalno istraž.
		02	Nisu zapažene nedozvoljene greške u materijalu venca i oboda točka.	Za eksperimentalno istraž.
4.	11694/83	03	Nisu zapažene nedozvoljene greške u materijalu venca i oboda točka.	Za eksperimentalno istraž.
		04	Nisu zapažene nedozvoljene greške u materijalu venca i oboda točka.	Za eksperimentalno istraž.

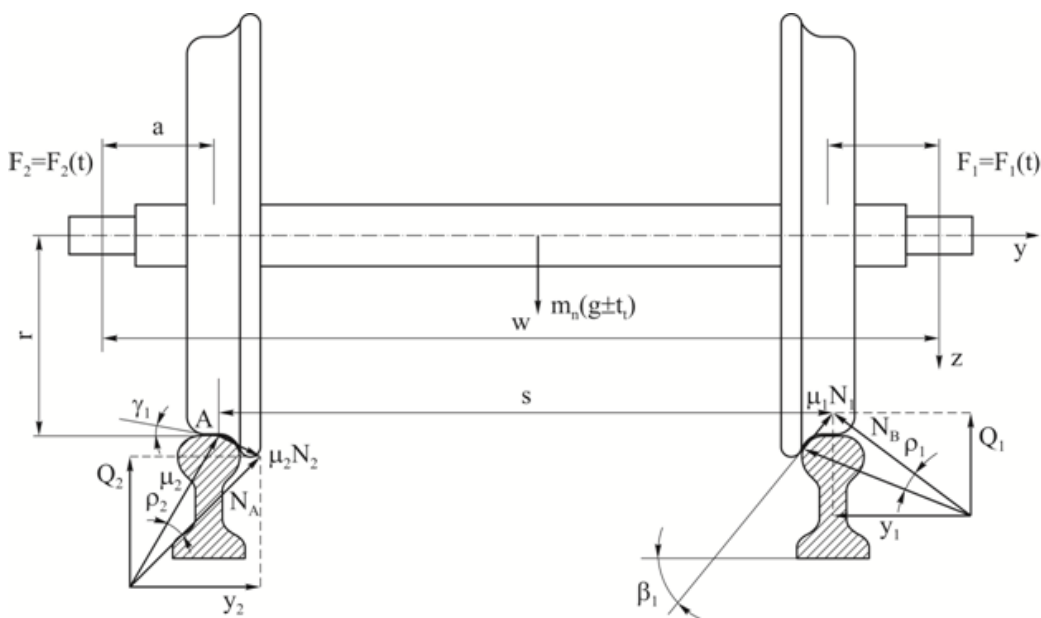
Tabela 4.3.1.5.1. Opisni rezultati ultrazvučnog ispitivanja oboda i venca eksperimentalnih monoblok točkova kvaliteta materijala ER7

4.3.1.6. Merenje zaostalih napona u obodu i vencu monoblok točka

Pomenuli smo da su zaostala naprezanja, naprezanja koja ostaju unutar komponente ili strukture nakon što se uklone sve vanjske sile koje na nju deluju. Zaostala naprezanja nastaju nakon plastične deformacije usled mehaničkih ili termičkih opterećenja ili usled faznih pomeranja. Kako je monoblok točak pri eksploataciji izložen kombinovanim složenim opterećenjima, odnosno da mehanički i termički procesi doprinose stvaranju naprezanja koji mogu da produkuju u veće incijalne pukotine i time do rasprskavanja odnosno otkaza monoblok točka. Opsežnim teoretskim izučavanjem i analizom, prezentovali smo uzroke i pojavu nastanka zaostalih napona u monoblok točku pri procesu eksploatacije, kao i tehnike njihovog identifikovanja, karakter i intenzitet. Takođe smo obradili u teoretskom istraživanju da karakter naprezanja u monoblok točka mogu biti na pritisak - negativana, zatvaraju pukotinu i usporavaju njenu propagaciju i zatezna koja produkuju ka otvaranju pukotine i povećavaju propagaciju, tj. pozitivna.

Na osnovu teoretske analize radnih i kritičnih napona sprovedena je dijagnostika stanja u obodu i vencu eksperimentalnih monoblok točkova, pre obnavljanja venca navarivanjem. Ova vrlo važna tehnika dijagnostikovanja je izvodljiva, isključivo, nekom od metoda, bez razaranja, a kao meritorna metoda primenjena je ultrazvučna metoda merenja.

Pored napona koji su nastali posle termičke obrade uzrokovani tehnologijom izrade monoblok točkova, njihovu produkciju čine kombinovana statičko-dinamička opterećenja, tj. prouzrokuju naponi sila u tri pravca (F_y , F_x , F_z) Dekartovog koordinatnog sistema, u tački dodira točka i šine sl. 4.3.1.6.1. od adhezije, zbog proklizavanja točkova u krivinama, te zbog različitih prečnika točkova, vertikalne reakcije šine, te i od sile bočnog udara ili bočnog trenja.



Slika 4.3.1.6.1. Osovinski sklop i sile koje uzrokuju promenu naponskog stanja u monoblok točku pri eksploataciji [73]⁶⁸

[73]⁶⁸ Jovanović, R., *Osovinski sklopovi željezničkih vozila*, Saobraćajni institut, Beograd, 1996.

Za dijagnostiku stanja zaostalih napona u obodu i vencu monoblok točka primenjen je ultrazvučni aparat "DEBBIE", koji omogućava direktno očitavanje naponskog stanja na displeju dijagnostičkog uređaja. Intezitet i karakter napona dijagnostički uređaj identifikuje sa tačnošću-odstupanjem do ± 2 Mpa, što je zanemarljivo u odnosu na stvarne vrednosti ove bitne dijagnostičke veličine.

Princip rada ove metode je koncipiran na prodoru brzine zvuka koji zavisi od polarizacije. Kako polarizovani ultrazvučni talasi imaju različite brzine, dolazi do interferencije, a time do promene amplitude i faze emitovanih talasa, na osnovu čijeg merenja se može utvrditi stanje naprezanja.

Na slici 4.3.1.6.2. prikazan je primenjeni dijagnostički ultrazvučni aparat za identifikaciju inteziteta zaostalih napona u vencu i obodu monoblok točka, a dijagnostički je sprovedena od strane stručnih defektatora na polju napona i prslina laboratorije "Bratstvo" iz Subotice.



Slika 4.3.1.6.2. Ultrazvučni dijagnostički uređaj za merenje zaostalih napona u obodu i vencu monoblok točka pre navarivanja

Merenjem vrednosti radnih napona na eksperimentalnim monoblok točkovima (44, 45, 18/1, 18/9, 01, 02, 03 i 04), potvrđeni su očekivani rezultati teoretskog istraživanja gde su vrednosti napona veći u obodu monoblok točka nego u vencu, odnosno na mestima sa prelaza diska na obod točka. Kod novog monoblok točka koji nije eksploatisan, situacija je suprotna, a rezultat je proizvodnog tehnološkog procesa monoblok točkova, prouzrokovan dodatnom operacijom kalibriranja venca točka, u odnosu na obod. Rezultati zaostalih napona u vencu i obodu monoblok točka prikazani su u tabeli 4.3.1.6.1. za sve eksperimentalne točkove i točkove osovinskog sklopa koji nije bio u eksploataciji, a korišten je radi uporednih parametra naponskog inteziteta i veličine.

Broj osovinskog sloga	Br. točka	Maksimalne vrednosti zaostalih napona	Po UIC 510-5 i EN	Istraživačka namena
		U vencu i obodu točka	MPa	
06584 / 11.85	44	-152	± 300	Eksperimnetalno i eksploataciono istraživanje
	45	-042	± 300	
06744/11.85	18/1	-54	± 300	
	18/9	-48	± 300	
11694/83	03	133	± 300	Eksperimentalno istraživanje
	04	142	± 300	
261229/69	01	131	± 300	
	02	88	± 300	

Tabela 4.3.1.6.1. Rezultati ispitivanja zaostalih napona pre navarivanja venaca točka

Izmerene vrednosti zaostalih napona u obodu i vencu eksperimentalnih točkova, ukazuju nešto povećani nivo u odnosu na etalonski-uporedni (nov) monoblok točkove tj. neeksploatisani osovinski sklop. Maksimalni radni napon ne prelazi 150 MPa i ne ugrožava funkciju eksploatacije. Ovim se potvrđuju teoretska istraživanja da zaostali naponi nastaju u dve faze i to:

1. napona koji su nastali posle termičke obrade uzrokovani tehnologijom izrade monoblok točkova,
2. zaostala napreznja nastaju nakon plastične deformacije usled mehničkih ili termičkih opterećenja pri procesu eksploatacije.

Pokazatelji naponskog stanja etalon osovinskih sklopova (novi monoblok točkovi), sadrže određen nivo zaostalih napona koji su nastali posle termičke obrade uzrokovani tehnologijom izrade monoblok točkova. Sa velikim stepenom verovatnoće približnu ili istu sudbinu su imali i eksperimentalni monoblok točkovi, kojima su eksploatacioni uslovi pouzrokovali povećanja koja ne prelaze dozvoljene okvire. Za ovo povećanje zaostalih npona, treba uzeti u obzira da su eksperimentalni monoblok točkovi nešto više od nadpolovičnog eksploatacionog veka, te su ova uvećanja nastala produkcijom mehničkih i termičkih opterećenja koja su i bila za očekivati. Izmereni zaostali naponi u obodu i vencu monoblok točka su zatezni koji produkuju ka otvaranju pukotine i povećavaju propagaciju.

Opšti zaključak, na osnovu ove analize zaostalih napona, je da radni naponi ne ugrožavaju eksploatacionu funkciju, ali ukazuju da u prisustvu incijalnih prslina pri većim slučajnim otporima u eksploataciji, kao i nesavršenim tehničko-tehnološkim postupkom obanvaljnja venca navrivanjem, mogu da dostignu kritičnu vrednost i da u dužem eksploatacionom periodu uslove nepredvidive otkaze.

4.3.1.7. Merenje omskog otpora osovinskih sklopova

Svrha merenja omskog otpora imala je za cilj, da električni otpor osovinskog sklopa ne prelazi granične vrednosti propisane objavom Međunarodne železničke unije. Granične vrednosti su:

- a) 0,01 Ω kod novoizgrađenog osovinskog sklopa,
- b) 0,1 Ω kod osovinskog sklopa koji je u procesu investicionog održavanja (primer doktorske disertacije)

Navedene vrednosti su određene sa maksimalnim naponom od 1,8-2 V i sa jačinom struje kroz osovinski sklop od 4÷5 A. Vrednosti se odnose na otpor između jednog do drugog monoblok točka.

Za merenje omskog otpora osovinskih sklopova korišten je instrument na bazi Tompsonovog mosta tipa NL 021 koji je namenjen za merenje omskog otpora vrlo malih otpornosti. Odlikuje se jedostavnošću, malim dimenzijama, jedostavog rukovanja i širokim mernim opsegom od 0,0001 do 1,6 Ω . Proces merenja omskog otpora izveden je na sledeći način:

- osovinski sklop stacionirati na izolovani deo koloseka,
- pritegnuti mehničke stege sa naponskim strujnim kablovima na obod monoblok točka,
- druge krajeve kablova spojiti sa mernim uređajem,
- aktivirati merni uređaj, nakon čega će kazaljke pokazati levu ili desnu vrednost od nultog položaja. Smer položaja zavisi da li je otpor manji ili veći od proizvoda koji pokazuje regulator B i dugme A - fino podešavanje.

Merna vrednost omskog otpora je proizvod vrednosti koje pokazuju preklopnik B i taster A:

$$R = A \times B \text{ [m/omha]}$$

4.4. Navarivanje venca monoblok točka kvaliteta ER7

Opšte o navarivanju

Navarivanje je proces nanošenja slojeva metala na radne površine nekih delova radi povećanja potrebnih mehaničkih karakteristika i drugih traženih opterećenja. Navarivanje se, uglavnom, koristi za reparaturu habajućih cilindričnih mašinskih elemenata, mada se može koristiti i pri izradi novih delova. U praksi se dosta koristi zbog visoke produktivnosti i visokog kvaliteta izvedenih navara. Skoro svi bitni postupci zavarivanja mogu se primeniti i za navarivanje.

Opšte o navrivanju venca

Navarivanje venca monoblok točka koristimo za nanošenje materijala na habajuću površinu venca, u cilju vraćanja monoblok točka u prvobitno stanje sa istim ili boljim karakteristikama. Za dobijanja kvalitetnog i pouzdanog navara potrebno je iskustvo i znanje iz tehnika navarivanja, održavanja tehničkih sistema i tribologije iz područja:

- znanja o mašinama i postrojenjima,
- tehnologijama obrade metala sa i bez skidanja strugotne,
- otpornosti materijala,
- tehnikama dijagnostikovanja,
- znanje o materijalima i metalurgije (metalurgija zavarivanja),
- termodinamike (temperaturna polja pri navrivanju),
- elektrotehnike (izvori struje, električni luk, spajanje različitih senzora – U, I, zvuk, svetlost,...),
- hemije (metalurški i drugi procesi koji se odvijaju pri navarivanju),
- ekonomije i ekonomske racionalizacije,
- informatike (ekspertni sistemi, različiti proračuni, baze podataka, ...) i dr.

Tema doktorske disertacije je interdisciplinarni tehničko-tehnološki, naučno-istraživački rad. Za sprovedeni deo eksperimentalnog istraživanja, tehničko-tehnološki proces navrivanja venca monoblok točka, nužno je bilo koncipirati tehnološki postupak navarivanja koji je obuhvatao istraživačko-pripremljene postupake navarivanja, potom izvršne tehničko-tehnološke procese navarivanja, fazno dijagnostičke postupke provere stanja i analize, i ocene postignutih rezultata u sledećih sedam tehnoloških faza:

0. ocena zavarljivosti materijala monoblok točka kvaliteta ER7, i određivanje temperature predgrevanja oboda i venca monoblok točka,
1. definisanje postupka navrivanja,
2. definisanje dodatnog i zaštitnog materijala za navarivanje venca,
3. skladištenje i sušenje dodatnog i zaštitnog materijala za navrivanje,
4. postrojenje za navrivanje venca monoblok točka i tehničko-tehnološki parametri režima rada mašine za navrivanje,
5. tehnološki proces navrivanja venca monoblok točka,
6. fazna dijagnostika nakon navrivanja venca.

4.4.1. Zavarljivosti materijala monoblok točka kvaliteta ER7, i temperatura predgrevanja oboda i venca monoblok točka

Opšte

Postupak navrivanja složenih mašinskih elementa, čija je konstrukcija debeljih materijala iznad 30 mm, ili konstrukcija dela iz čelika povišenih čvrstoća, ili nisko legiranih čelika zahteva toplotnu obradu pre zavarivanja ili nakon zavarivanja a najčešće pre i posle. Režim

toplotne obrade uglavnom su precizirani tehničkim propisima i u ovom naučno istraživačkom radu je obuhvaćena ta problematika. Zavrljivost je sposobnost materijala da se može spajati varenjem. Osnovni parametara koji karakteriše ocenu zavarljivosti je ekvivalentni ugljenik (CE). Stručna teoretska istraživanja, priznatih evropskih istraživača iz oblasti teorije spajanja metala zavarivanjem, definišu da je uslovna zavarljivost izvodljiva kada je CE između 0,40-0,55% uz obaveznu primenu dodatnih mera pri procesu varenja, tj pregrevanje materijala. Ova naučno-teretska dokazanost nam je omogućila da se primenom ove postavke stvori nov tehničko-tehnološki koncept održavanja venca monoblok točka kvaliteta ER7 navarivanjem, koji možemo okarakteristi uslovno zavrljivim čelikom. Ova ocena zavarljivosti materijala monoblok točka je usloвила obavezno predgrijavanje oboda i venca monoblok točka, u cilju izbjegavanja i nastajanja pukotina, kao i drugih mera vezanih za dodatni i zaštitni materijal.

Predgrevanje oboda i venca monoblok točka

U teorijskom delu istraživanja o predgrevanju čeličnih delova izrađenih od nisko legiranih čelika i povišenih čvrstoća, detaljno smo obradili svrsishodnost predgrevanja u procesu novog načina održavanja venca-navrivanjem. Predgrevanje je toplotna obrada materijala oboda i venca monoblok točka, pre navarivanja venca, a primenjena je u cilju smanjenja brzine hlađenja zavarenog spoja. Time smo praktično omogućili smanjenje opasnosti nastajanja tvrdih martežitnih struktura u zoni uticaja toplote (ZUT), odnosno zoni između navara i osnovnog materijala monoblok točka. Smanjenjem tvrdih struktura, smanjili smo opasnost nastajanja pukotina. Temperatura predgrijavanja u suštini ovisi o debljini venca na koji se nanosi navar i hemijskog sastava osnovnog materijala.

Donedavno, određivanje temperature predgrevanja je vršeno prema tehničkim preporukama pojedinih fabrika proizvođača elektrodnih materijala, ili je čak vršeno empirijski, što u svakom slučaju smatramo, za ovaj istraživački rad potpuno nepouzdanim metodama. Zbog toga veoma je važno proučiti mnoga teoretska istraživanja teoretičara koji su svoje istraživačke radove bazirali na zavarljivosti kritičnih materijala i proračuna temperature predgrevanja, a time su primenjivali različite formule i postupke, određivanja temperature predgrevanja. Sa stanovišta naučno dokazne vrlo efiksne metode određivanja temperature predgrevanja oboda i venca monoblok točka kvaliteta materijala ER7, opredelili smo se za primenu pouzdane i dokazane metode „Seferian“ [131]. Izračunavanje temperature predgrevanja Seferian je primenio, jednostavan obrazac, koji je dobijen kao rezultat ispitivanja raspodele tvrdoće u zoni ispod navara različitih niskolegiranih čelika. Temperaturu predgrevanja T_p smo odredili pomoću obrazca [4.1]⁶⁹:

$$T_p = \sqrt{(CE) - 0,48} \quad [4.1.]$$

(CE) predstavlja ukupni ekvivalentni ugljenik, a jednak je zbiru hemijskog ekvivalentnog ugljenika (C)_h, dobijenog na bazi hemijskog sastava čelika (srednja vrednost ugljenika u eksperimentalnih monoblok točkova) i ekvivalentnog ugljenika debljine venca (C)_d monoblok točka gde je izvedeno navarivanje, po obrascu [5.2]:

$$(CE) = (C)h + (C)d \quad [4.2]$$

Broj 0,48 u potkorenom izrazu odgovara prosečnoj vrednosti sadržaja ugljenika u eksperimentalnim monoblok točkovima.

[131]⁶⁹ Seferijan, D., *Metalurgija zavarivanja*, Građevinska knjiga, Beograd, 1969.

Hemijski ekvivalentni ugljenik određujemo izrazom [5.3]:

$$360(C)h = 360C + 40(Mn + Cr) + 20Ni + 28Mo \quad [4.3]$$

Hemijskom analizom eksperimentalnih monoblok točkova kvaliteta ER7 utvrđen je sadržaj hemijskih elemenata prikazan u tabeli 4.4.1.1, a koji su uticajni za proračun temperature predgrevanja.

Hemijski elementi maksimalni udeo %		C	Mn	Ni	Cr	Mo
Po UIC		0,52	0,8	0,30	0,30	0,08
Broj os. sklopa	Broj točka	Točkovi za eksploatciono istraživanje				
06584 / 11.85	44	0,50	0,70	0,22	0,25	0,06
	45	0,48	0,75	0,28	0,27	0,05
06744/11.85	18/1	0,49	0,74	0,19	0,23	0,05
	18/9	0,51	0,76	0,23	0,26	0,03
		Točkovi za eksperimentalno istraživanje				
261229/69	01	0,47	0,72	0,19	0,24	0,03
	02	0,48	0,74	0,25	0,27	0,05
11694/83	03	0,49	0,74	0,19	0,25	0,04
	04	0,47	0,73	0,18	0,24	0,04

Tabela 4.4.1.1. Učesće hemijskih elementa u materijalu eksperimentalno-eksploatcionih točkova potrebnih za proračun temperature predgrevanja

Srednja vrednost uticajnih hemijskih elementa za proračun temperature predgrevanja eksperimentalnih monoblok točkova:

- C = 0,48
- Mn = 0,73
- Ni = 0,22
- Cr = 0,25
- Mo = 0,043

Uvrštavanjem u obrazac [5.3] dolazimo do vrednosti (C)h.

$$360(C)h = 360 \times 0,48 + 40(0,73 + 0,25) + 20 \times 0,22 + 28 \times 0,043$$

$$360(C)h = 172,8 + 39,2 + 4,4 + 1,204$$

$$(C)h = 0,604\%$$

Ekvivalentni ugljenik (C)d, s jedne strane zavisi od debljine venca na kome je izvršeno navarivanje, a s druge, od stepena zakaljivosti čelika i shodno tome, od hemijskog ekvivalentnog ugljenika, po obrzacu [4.4]:

$$(C)d = 0,005 \cdot d \cdot (C)h \quad [4.4]$$

Gde je d - debljina venca točka u mm; 0,005 - koeficijent debljine određen je eksperimentalno.

$$(C)d = 0,005 \times 22 \times 0,604$$

$$(C)d = 0,664\%$$

22 – debljina venca na kome se vrši navarivanje

Ukupni ekvivalentni ugljenik (CE) je:

$$(CE) = 0,604 + 0,0664$$

$$(CE) = 0,67\%$$

Temperaturu predgrevanja oboda i venca monoblok točka kvaliteta materijala ER7 određujemo po obrazcu [5.1]:

$$Tp = 350\sqrt{(CE) - 0,48}$$

$$Tp = 153\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Imajući za činjenicu potrebno vreme od 12-15 min, koje se utroši na tehnološki proces pripreme osovinskog sklopa, pre početka navrivanja venca, a koje se odnose na pozicioniranje predgrijanog osovinskog sklopa i uspostavljanja tehnološkog režima rada, što, svakako, to vreme uzrokuje pad temperature predgrijanog točka, od ove činjenice smo računsko vreme povećali sa 153°C na 166°C. Ova uvećana temperatura od 13°C je eksperimentalno potvrđena veličina smanjenja temperature za vreme pripremnih radnji, a koja je pred sam proces navarivanja dostigla vrednost matematičkog proračuna od 153°C.

Predgrevanje je izvedeno u zoni navarivanja venca, tj. oboda i venca točka. Širina zone predgrevanja iznosi po celoj površini oboda i venca točka, a to je 135 mm. Predgrevanje je izvedeno uz pomoć specijalne naprave sa plinskim grejanjem. Temperatura je merena elektronskim termometarom, sa direktnim očitavanjem na displeju bez mogućnosti arhiviranja zapisa slika 4.4.1.2. Odstupanje od zadane temperature u predgrevanju ne bi smelo biti veće od +20°C. Na slici 4.4.1.1. prikazan je tehnološki proces zagrevanja oboda i venca eksperimentalnog monoblok točka.



Slika 4.4.1.1. Plameno predgrevanje oboda i venca eksperimentalnog monoblok točka

Predgrevanjem oboda i venca, monoblok točka znatno utiče da smanjuje brzinu hlađenja i, nesumnjivo, predstavlja najefikasnije sredstvo za sprečavanje pojave prslina u zoni pod uticajem toplote (ZUT). Temperatura predgrevanja ne samo da efikasno eliminiše ili smanji sprečavanja prslina, ona treba da bude takva kako bi obezbedila povoljnu brzinu hlađenja ispod „kritične brzine”, u intervalu 120-150°C. Primenjeno predgrevanje na eksperimentalnim monoblok točkovima, pored znatnog uticaja na smanjenje nastajanja prslina pri procesu navarivanja venca, ima i za cilj:

- a) ublažava značaj strukturnih transformacija pomerajući ih ka ravnotežnim strukturama,
- b) u izvesnoj meri smanjuje lokalna naprezanja izazvana strukturnim transformacijama,
- c) olakšava difuziju vodonika iz materijala navara, početnog uzroka pojave prslina, a takođe olakšava oslobađanje drugih gasova, smanjujući ili sprečavajući obrazovanje gasnih mehurića.

Svakako treba pomenuti da eventualne greške koje mogu nastati nedovoljnim predgrevanjem ne mogu se popraviti naknadnom toplotnom obradom.

Primena termometra-MI 7021, za merenje temperature predgrevanja

MI 7021 je digitalni elektronski instrument za merenje temperature, sa 7-segmentnim prikazom na principu tekućih kristala. Prilagođen je za priključak sonde sa Pt 100 senzorom. Elektronska linearnizacija omogućava opseg merenja temperature. Praktična prenosna izrada omogućava upotrebu na najrazličitijim mestima. Na slici 4.4.1.2. vidljiv je jednostavan način primene i rukovanja na merenju temperature zagrejanog oboda i venca monoblok točka.

Tehnički podaci instrumenta:

- merno područje 1 [K],
- koeficijent uticaja temperature sredine 0,1 [Pn/K],
- prikaz rezultata, numerički 3 1/2 mesni
- napajanje, baterija 9 [V], prema IEC 6F 22



Slika 4.4.1.2. Primenjeni termometar za merenje temperature predgrevanja

4.4.2. Definisanje postupka navarivanja

Skoro svi bitni postupci zavrivanja, ovog vremena, mogu se primeniti i za navarivanje. Kao najpouzdaniji postupak navarivanja venca monoblok točka, visoke produktivnosti i visokog kvaliteta izvedenih navara, u ovom naučno-istraživačkom radu, primenjen je postupak navarivanja pod prahom, poznat kao EPP postupak varenja. Ovaj postupak posebno je povoljan za navarivanje predmeta velikih gabarita kao što je osovinski sklop, gde se vrši automatsko dodavanje žice, a ceo postupak se odvija doziranjem granulisanog praha.

Uopšte, navrivanje pod prahom je proces topljenja žice uz nanošenje na osnovni materijal pod slojem praška. Električni se luk uspostavlja pomoću visokofrekventnog generatora koji se uključuje neposredno pred zavrivanje. Nakon uspostavljanja električnog luka, VF generator se isključuje, žica za zavarivanje kontinuirano dolazi u električni luk, tali se i sudjeluje u formiranju zavarenog spoja. Proces se odvija pod zaštitnim praškom. Ovo je automatski EPP postupak zavarivanja. EPP postupak se koristi za zavarivanje i navarivanje gdje se traži velika količina deponiranog materijala (navra) i pripada klasi visokoserijske proizvodnje. Navar je visokog kvaliteta. Velika brzina i dubina navara ovaj postupak čini pogodnim za široku primenu u industriji. Druge prednosti koje su nas opredelile za izbor ovog postupka obnavljanje venca navrivanjem, jeste postizanje izvanredanog izgleda i kvaliteta navara, postupak se izvodi automatski ili poluautomatski te se time eliminiše ljudski faktor na stvaranje grešaka, izuzetno ujednačen kvalitet navara, luk procesa navarivanja i spajanja metala pokriven, eliminisanje prskanja pri navarivanju, lako otklanjanje troske, vrlo pristupačan i pogodan za primenu dijagnostičkih postupaka pri procesu navarivanja itd. EPP postupkom navarivanje se izvodi neprekidnim procesom uz obrtno kretanje osovinskog sklopa, a time i venca monoblok točka, koji se navaruje kao glavnog kretanja i radijalnog kretanja navarivačke glave normalno na osu monoblok točka kao pomoćnog kretanja. Pri procesu navarivanju pod prahom na venac monoblok točka i pri normalnim tehnološkim režimima navrivanja, udeo osnovnog materijala u prvom sloju je 2/3, a dodatnog 1/3. Ovaj proces mešanja moguće je vrlo pogodno menjati pri samom procesu navrivanja smanjenjem koraka navarivanja i ograničenjem jačine struje. Na ovaj način postiže se visoka produktivnost. Hemijski sastav prvog sloja navara nikad nije isti kao sastav žice, ali uvek zavisi od sastava osnovnog materijala, odnosno od odnosa mešanja, kojeg kako smo konstatovali možemo da utičemo pri samom procesu navarivanja. Zbog toga je navarivanje venca vršeno u više prolaza zavisno od stepena pohabanosti venca monoblok točka, a time i dovođenje odnosa mešanja u zadovoljavajuće karakteristike.

4.4.3. Definisanje dodatnog i zaštitnog materijala za navarivanje venca

Za dobru zavarljivost materijala monoblok točka kvaliteta ER7, pri upotrebi EPP postupka, vrlo važan je pravilan izbor dodatnog i zaštitnog materijala. Dodatni materijali za navrivanje venca EPP postupkom je elektrodna žica i prašak, sa odgovarajućim sadržajem legirajućih elementa.

Elektrodna žica

Dodatni materijal za navrivanje venca monoblok točka, igra veoma važnu ulogu, gde je neophodno primeniti dokazane teoretske istraživačke analize i zaključke u oblasti metalurgije zavarivanja, u cilju smanjenja pristupa vodonika u zavaru. Elektrodna žica za navarivanje venca monoblok točka kvaliteta ER7 je niskolegirana elektroda namenskog hemijskog sastava, usklađena za dobijanje zadovoljavajućih mehaničko metalurških karakteristika, nastalih tehnološkim procesom spajanja osnovnog i dodatnog materijala kao što su:

- metalurške karakteristike,
- mehaničke karakteristike definisane u teorijskom delu istraživanja, a shodno međunarodnoj objavi UIC812-3 i EN13262,
- hemijske karakteristike kvaliteta dodatnog materijala.

Objasnili smo u teretskom istraživanju da metalurška i lokalna zavarljivost materijala monoblok točka kvaliteta ER7 karakteriše fizičko-hemijske promene metala monoblok točka nastale procesom navarivanja.

Na hemijski sastav i mehaničke osobine navra, spoja dodatnog i osnovnog materijala utiču:

- sastav osnovnog materijala,
- sastav žice,
- vrsta praška,
- parametri zavarivanja.

Sve ove karakteristike su studiozno proučene, analizirane i primenjene, tokom ovog eksperimentalnog istraživanja i dokumentovane u poglavlju kome pripadaju.

Elektrodna žica je proizvedena kod renomiranog proizvođača, tvornice elektroda i zaštitnog materijala UTP iz Nemačke. To je legirana elektrodna žica za navrivanje venca točka, a legura koju čini osnovni legirajući element je Hrom i Mangan. Ovim osnovnim hemijskim legirajućim elementima imali smo za cilj postizanje odgovarajućeg zahteva navara otpornog na habanje. Žičana legura za navarivanje venca monoblok točka, imala je zadatak, da osim hemijske karakteristike mora da udovolji i neke mehaničke osobine navara (tvrdoća navara), kao i tehničko-tehnološku izvodljivost za nanošenje navara poluautomatskim tehnološkim procesom. Glavni kriterijumi pri izboru legura za navarivanje venca monoblok točka po ovim zahtevima su bili:

1. otpornost na abrazivno habanje,
2. otpornost na udar, kod udarnih opterećenja točka, izabrane su legure sa nepreteranom tvrdoćom i povećanom žilavošću (otpornost na abrazivno habanje i udar se međusobno isključuju, jer se visoka tvrdoća postiže samo na račun pada žilavosti),
3. otpornost na toplotu koja nastaje pri kočenju.

Za pravilan izbor legure dodatnog materijala (žičana elektroda), kao i postupka obnavljanja venca navarivanjem, rezultat je opsežnog teoretskog istraživanja i stečenog znanja od mnogih teoretskih istraživača i laboratorijskih analiza. Rezultat tog istraživanja i analize u procesu obnavljanja venca eksperimentalnih monoblok točkova, primenjena je elektrodna žica prečnika Ø3 mm, hemijskog sastava prikazanog u tabeli 4.4.3.1.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Cu	Ti
0,32	0,51	1,06	0,012	0,006	1,03	0,093	0,94	0,25

Tabela 4.4.3.1. Hemijski sastav dodatnog materijala

Ova elektroda pripada klasi takozvanih niskovodoničnih elektroda koja ima vrlo važan značaj pri navarivanju, tj. apsorpciji gasova u navaru, kako kao proizvod vodonika tako i kiseonika i azota iz vazduha. Ona sadrži veći sadržaj mangana, radi smanjenja sklonosti šava ka vrućim prslinama i niži sadržaj ugljenika, radi smanjenja krtosti metala šava. Zbog zahteva za povećanu opasnosti od pojave poroznosti, elektrodna žica je karakterna sa kontrolisanim sadržajem fosfora, sumpora i ugljenika.

Zaštitni materijal-prašak

Zaštitni prašk za navrivanje venca monoblok točka kvaliteta materijala ER7, je delom namenske recepture, tj. proizveden kao univerzalni aglomerirani prašk, u cilju postizanja zadovoljavanju metaluruških i mehaničkih karakteristika navara, uz strogu primenu tehnološkog procesa i režima rada navrivanja venca točka. Zaštitni prašk niskolegirane elektrodne žice ne samo da sadrži stabilizatore i hemijske sastojke koje obrazuju metalurške troske, već i dezoksidatore i legirajuće komponente namenjene za obezbeđenje potrebnih mehaničkih karakteristika materijala navara na venac monoblok točka. Prašk je namenski pripremljen za određeni kvalitet elektrodne žice kao i kvalitet osnovnog materijala tj. monoblok točka kvaliteta čelika ER7. Prema karakteru troske, primenjeni zaštitni prašk je bazni, a prema stepenu legiranja metala šava je aktivni, tj rastop legira u zadovoljavajuće hemijsko-metlruške karakteristike. Prašk je magnezij silikatni, sa visokim strujnim provodnikom i za AC i za DC. Granulacija praška je 1-1,5 mm u smesi. Primena praška može da služi kako kod pojedinačnog navarivanja (varenja) tako i u serijskoj proizvodnji navarivanja. Troska dobijena topljenjem namenske elektrodne žice pri navarivanju je jako izražena bazičnom reakcijom, pripada sistemu smeša metasilikata koji su vrlo stabilna hemijska jedinjenja.

Pri izboru kombinacije praška/žice uzeti su u obzir:

- mehaničke osobine,
- uklanjanje troske,
- sposobnost navrivanja na, eventualno, nečistim površinama,
- brzinu navarivanja,
- mogućnost višeslojnog nanošenja navara i
- cenu i potrošnju praška.

Tehnološkim EPP postupkom obnavljanje venca monoblok točka, je izveden na polu-automatskoj mašini, koja omogućuje automatsko dodavanje žice i doziranje zaštitnog praška, a koji u ovom slučaju ima za cilj izvršenja četiri tehnološka zahteva:

1. prah sprovodi struju i pomaže operaciju navarivanja,
2. sprečava oksidaciju, pošto se otopljeni materijal nalazi ispod njega zaštićen od kiseonika iz okolnog vazduha,
3. zadržava otopljen metal i pomaže formiranje kupatila i
4. metal je dovoljno dugo otopljen, tako da nečistoće izlaze na površinu osnovnog materijala.

Sastav i baznost praška za navrivanje venca utiču na tok oksidacije i redukcije, a time i na uslove primarne i sekundarne kristalizacije materijala šava. Radi postizanja odgovarajućeg hemijskog sastava šava, osim baznosti, važan je i sadržaj MnO u prašku. Sadržaju MnO u prašku je srednjemanganski (15–30% MnO). Izračunata baznost zaštitnog praška je studiozno proučena i analizirna u teorijskom istraživačkom delu ove doktorske disertacije. Poreklo, odnosno proizvođač zaštitnog praška za navrivanje venca monoblok točka EPP postupkom je od istog proizvođača kao i elektrodna žica.

Uslovni efekti kvaliteta navara su postignuti isključivo pri primeni radne temperature radioničke prostorije min. 18°C.

4.4.4. Skladištenje i sušenje dodatnog i zaštitnog materijala za navarivanje venca monoblok točka

Veoma je bitno, ispravno rukovanje i pravilno sušenje dodatnog i zaštitnog praška pri tehnološkom procesu obnavljanja venca monoblok točka kvaliteta ER7.

Sprovođenjem tehnološkog procesa navarivanja venca monoblok točka koji je od ugljeničnog niskolegiranog čelika, uzrokuje pojavu hladnih prslina, često nazvane kao vodonične prsline, pri hlađenju navarenog sloja. Ove prsline se uglavnom javljaju u

grubozrnom delu zone pod uticajem toplote osnovnog materijala. Najznačajniji faktori koji utiču na rizik od pojave vodoničnih prslina.

- hemijski sastav čelika,
- brzina hlađenja i
- sadržaj vodonika u metalu šava.

Studiozno smo analizirali i obratili pažnju na uticaj hemijskih elemenata čelika u materijalu monoblok točka kvaliteta ER7, stvaranju hladnih prslina u teorijskom delu istraživanja doktorske disertacije. Takođe smo obradili da na brzinu hlađenja utiču parametri zavarivanja i predgrevanje oboda i venca monoblok točka.

Eksperimentalna istraživanja su potvrdila teoretske postavke da je vodonik u malim količinama uvek prisutan tokom zavarivanja, a on je uzročnik hladnih prslina. Najveći izvori vodonika pri EPP postupkom varenja su:

- vlaga u zaštitnom prašku za EPP i elektrodoj žici,
- vlaga u vazduhu radnog prostora,
- kondenzacija, rđa, nafta, boja ili prajmer u blizini zone spoja.

Zbog ovoga, svakako je bilo neophodno analizirati i sprovesti propisno skladištenje, rukovanje, ponovno sušenje dodatnog i zaštitnog materijala u cilju smanjenja ili minimiziranja nivoa vlage, radi smanjenja rizika od hladnih prslina. Najpovoljniji nivo vlage u zaštitnom prašku je $<3 \text{ ml H}_2/100\text{g}$ i primenuju se kod odgovornih i debelih konstrukcija varenja.

Dodatni i zaštitni materijal za navarivanje venca monoblok točka pre sprovođenja tehnološkog postupka navrivanja bile su uskladištene u elektrokomornoj peći na temperaturi iznad sobne, minimalno 40°C . Tehnološki proces navrivanja venca u radioničkom prostoru je vršen sa kontrolisanim nivoom radne temperature minimalno 18°C . i maksimalnoj relativnoj vlažnosti vazduha 80%. Skladištenja odnosno sušenja elektrodne žice i zaštitnog praška je izvedeno u elektrokomornoj peći slika 4.4.4.1. u neposrednoj udaljenosti od same mašine gde je izvršen tehnološki proces obanvaljanja venca navrivanjem. Zaštitni prašak i elektrodna žica su sušene odnosno lagerovane u elektrokomornoj peći u minimalnom vremenskom trajanju od 24, pre samog tehnološkog procesa navarivanja venca.



Slika 4.4.4.1. Peć za skladištenje i sušenje dodatnog i zaštitnog materijala za navarivanje venca monoblok točka

4.4.5. Postrojenje za navarivanje venca monoblok točka

Eksperimentalni deo tehnološkog procesa obnavljanje venca monoblok točka kvaliteta ER7, navrivanjem je izvedeno na namenskoj mašini koja je instalirana u radionici za održavanje šinskih vozila u Banjoj Luci.

Mašina za obnavljanje venaca, EPP postupkom navrivanjem je poluautomatska mašina namenski konstruisana i prilagođena za održavanje osovinskih sklopova navrivanjem venca, sa mogućnošću prihvatanja prečnika točkova od $\varnothing 400$ do $\varnothing 1250$ mm i težine radnog komada max. 2,5 t. Opremljena je sa tri atomatske glave za navrivanje, gde se istovremeno mogu prostirati tri navara. Karakteriše je povećavana produktivnost, kvalitet i mogućnosti za AC i DC, podiže tehnologiju navrivanja pod zaštitnim prahom na veći nivo. Jedinstvena tehnologija omogućava joj još bolje prodiranje i bolju kontrolu stabilnosti luka. Sa strujom AC/DC omogućava: veliku brzinu nanošenja navara, dobro prodiranje, što daje zavarivanje jednosmernom strujom, kao i stabilnost luka, koje pruža zavarivanje naizmeničnom strujom. Mašina je projektovana za primenu gde se traži visoka struja (amperaža). Svaki uređaj ima struju na izlazu AC ili DC do 1000 A. Kao postupak zavarivanja dolazi u obzir zavarivanje pokrivenim svetlosnim lukom, zavarivanje pod slojem topila. Uz mašinu je instaliran namenski konstruisan nagibno-okretni prihvatni uređaj koji poseduje finu regulaciju broja okretaja kao i ugaonu nagibnu mogućnost po „Z“ osi do 90° . Ovom tehničkom mogućnošću osovinski sklopovi odnosno venac monoblok točka možemo dovesti u željni položaj koji je najoptimalniji za proces obnavljanja venca navrivanjem. U donjem delu mašine pričvršćena je naprava za sakupljanje zaštitnog praha koji dolazi iz spremišta, sa zalihom i napravom za dopremanje na mesto navarivanja slika 4.4.5.1, a na slici 4.4.6.1. prikazan je obrtno-nagibni uređaj mašine, koji prihvata osovinski sklop i pozicionira venac monoblok točka u optimalni položaj za tehnološki proces navrivanja. Kao što je već pomenuto, ovim postupkom navrivanja venca pod zaštitom praška je primenljiv samo kada je izvodljivo dovođenjem položaja venca u horizontalni položaj ili sa malim nagibom. Ovu uslovnost udovoljilo je postojeće postrojenje na kome je vršen proces obnavljanja venca monoblok točka navrivanjem.



Slika 4.4.5.1. Postrojenje za navarivanje venca monoblok točka tipa RS 3/1

Sveobuhvatno postrojenje je vlasništvo Železnice Republike Srpske instalirano u radionici za održavanje železničkih vozila u Banjoj Luci, a namenski je konstruisano i proizvedeno za potrebe obnavljanja venaca bandažnih točkova kvaliteta R2 koji više nisu predmet eksploatacije u svim evropskim železničkim upravama.

4.4.6. Tehničko-tehnološki parametri navrivanja venca monoblok točka

Osnovni parametri EPP zavarivanja su vrsta i jačina struje, napon električnog luka, brzina zavarivanja i prečnik elektrodne žice. Uticaj osnovnih parametara je objašnjen u teoretskom delu istraživačkog rada doktorske disertacije, pa smo ovde dali samo specifičnosti vezane za EPP postupak navrivanja venca. Osim osnovnih parametara, na oblik metala šava bitnije utiču još i vrsta i granulacija praška, nagib elektrodne žice i radnog komada tj. monoblok točka.

Treba imati u vidu da jačina struje direktno određuje brzinu topljenja elektrodne žice, odnosno efikasnost procesa, te se težilo što većoj vrednosti jačine struje. Maksimalnu jačinu struje takođe smo ograničili dozvoljenom gustinom struje, odnosno vezanu za prečnik elektrodne žice.

Povišenjem napona luka povećava se potrošnja praška i pospešuje prelaz legirajućih elemenata iz praška u metal šava. Međutim, suviše visok napon luka daje oblik šava koji je sklon prslinama i nalepljivanju. Takođe jačina struje određuje zadovoljavajuća dubina navara i ima veći uticaj na brzinu navarivanja nego napon. Brzina stapanja žice povećava se veoma brzo sa povećanjem jačine struje bez suvišnog odavanja toplote osnovnom materijalu. O polaritetu žice takođe je vođeno računa, jer je uticajan parametar pri procesu navrivanja venca. Ako je žica pozitivna (obrnut polaritet) penetracija je veća i obratno ako je žica negativna penetracija je manja. Ako se smanji penetracija, smanjuje se i rastapanje, pa samim tim i reakcija čišćenja. U cilju dobijanja kvalitetne veze navara sa podlogom površine navarivanja točka, izvršili smo površinsko struganje profila kotrljanja i venca točka.

Osnovni tehnički podaci mašine za navarivanje venca monoblok točka:

- prihvatni prečnik radnog predmeta 400-1250 [mm]
- prihvatna dužina do 2470 [mm]
- brzina obrtaja radnog predmeta 0,02÷20 [o/min]
- nagibni ugao 0 ÷ 90 [°]
- prečnik žice za navarivanje 2-3 [mm]
- napon varenja 3x30 [V]
- instalirana snaga mašine 65 [KW]
- priključni napon 380 [V]
- frekvencija 50 [Hz]



Slika 4.4.6.1. Namenski prihvatno-obrtni i nagibni uređaj osovinskog sklopa

Regulacija postrojenja za obnavljanje venca monoblok točka

Tehnološki proces obnavljanja venca monoblok točka počinje nakon podešavanja svih parametra koji utiču na kvalitetno i pouzdano izvršenje navara. Podešavanje i fina regulacija postrojenja izvedena je od strane stručnog radnika, a po našim instrukcijama, i sugestijama, dok sam proces izvršenja tehnološke radnje je automatizovan. Rukovanje procesom obnavljanja venca navrivanjem obavljao je stručni radnik sa platforme pokrova jame, koja se nalazi neposredno ispred prihvatnog uređaja za navarivanje. Na slici 4.4.6.2. je prikazn tehnološko pripremljeno postrojenje za navarivanje, neposredno pred sam početak procesa obnavljanja venca monoblok točka navrivanjem.

Za regulaciju celokupnog postrojenja za navarivanje venca monoblok točka, neophodno je bilo izvršiti sledeća podešavanja:

I. Regulacija uređaja

1. Podešavanje visine suporta i poprečnog suporta,
2. Postavljanje žice na mašinu i uvlačenje do radnog predmeta,
3. Prihvatanje osovinskog sloga s monoblok točkovima i zauzimanje ugla od 63° ,
4. Priprema spremišta peska i transportnih kanala,
5. Dovod žice do mesta početka varenja, na udaljenost od mesta navarivanja 10 mm,
6. Broj radnih glava za navarivanje-jedna.

II. Izbor režima rada

1. Vreme obrtaja radnog komada 7 [min/obrt.],
2. Radni napon 28÷30[V],
3. Jačina struje 450 [A],
4. Smer obrtanja osovine „desni“.
5. Doziranje zaštitnog praha kontinuirano 15 [gr/sek].
6. Granulacija zaštitnog praha u smesi 1÷1,8 [mm]



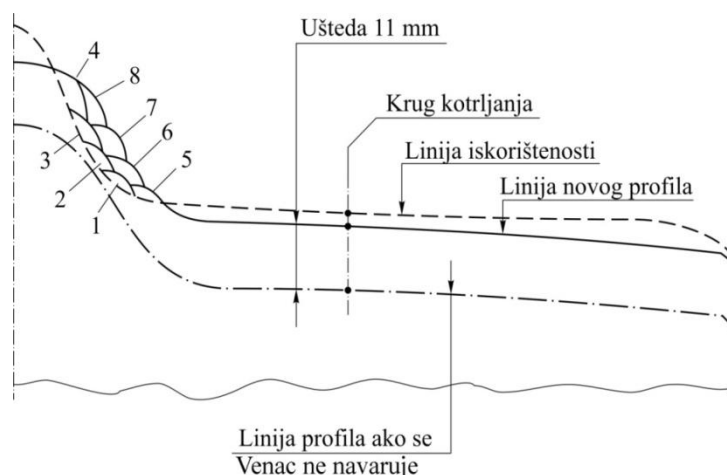
Slika 4.4.6.2. Regulacija mašine i osovinskog sklopa za proces navrivanja venca monoblok točka kvaliteta materijala ER7

4.4.7. Tehnološki proces navrivanja venca monoblok točka

Tehnološki proces navrivanja venca monoblok točka, EPP postupkom, se izvodi neprekidnim procesom uz obrtno kretanje osovinskog sklopa, sa jednodelnim točkovima na kojima se navaruje venac, kao glavnog kretanja i translatornog kretanja navarivačke glave duž izvodnice površine kotrljanja točka, kao pomoćnog kretanja. Ovaj postupak u opštoj praksi se dosta koristi zbog visoke produktivnosti i visokog kvaliteta izvedenog navara.

Primenom ovog postupka obnavljanja venca monoblok točka, je udovoljen osnovni uslovi postižući visok kvalitet izvedenog navara na korenu venca i habajuće površine. Primenom tehnološkog EPP postupka obnavljanja venca monoblok točka, pored navedenog, spada kao postupak koji se odlikuje visokom produktivnošću i efikasnošću.

Nakon sprovedene celokupne tehničko-tehnološke pripreme za tehnološki proces obnavljanja venca monoblok točka, pristupljeno je tehnološkom procesu navarivanja venca. Redosled nanošenja navara ima poseban značaj s aspekta sprečavanja pojave hladnih prslina, imajući u vidu ograničenu temperaturu predgrevanja od 153°C. Pravac nanošenja navara je od korena ka vrhu venca, s tim da se mora obezbediti preklapanje slojeva navara, kao krljušti ribe, slika 4.4.7.1.



Slika 4.4.7.1. Redosled nanošenja navara na venac monoblok točka [28]⁷⁰

Navari na vencu se pokrivaju tačno polovinom jednog sa drugim. Početak prvog šava i svakog sledećeg početnog navara, obeležavali smo kredom kako bi precizno izvršili korekciju početka narednog šava uz navedeno preklapanje. Početak svakog narednog šava smaknut je od prethodnog 40-60 mm. Udeo osnovnog materijala u svakom prvom sloju je 2/3 a dodatnog 1/3. Svaki naredni navar tj. 6, 7 i 8, udeo osnovnog materijala u navarenom sloju je znatno smanjen na svega 10% i nastao je procesom mešanja sa prvim navarima, tj 1, 2, 3, 4 i 5. Na ovaj odnos mešanja, uticali smo adekvatnim izborom parametara navarivanja: jačina struje, brzina polaganja navara i veličina preklapanja susednih navara. Ceo tehnološki postupak navarivanja venca se odvijao pod neprekidnim doziranjem granulisanog namenskog zaštitnog praha koji u ovom slučaju ima četiri namene:

- sprovodi struju i pomaže operaciju navarivanja,
- sprečava oksidaciju, pošto se otopljeni materijal nalazi ispod njega zaštićen od kiseonika iz okolnog vazduha,
- zadržava otopljen metal i pomaže formiranje kupatila
- reguliše termički proces navara i zone pod uticajem toplote, a time i udovoljava metlruške i mehničke karakteristike navara.

Procesom navarivanja venca, metal je dovoljno dugo otopljen, tako da omogućava nečistoćama da izlaze na površinu osnovnog materijala, koje se mahaničkom obradom reznjem uklanjaju nakon otvrdnjavanja. Celim procesom navarivanja venca, nužno je doziranje ujednačene debljine sloja zaštitnog praha sa potpunom zaštom rastopljene taline sve do otvrdnjavanja i samoodvajanja troske pri procesu obrtanja osovinskog sklopa. Takođe je bitno poznavati da prekomerna debljina zaštitnog praška može uzrokovati neravne šavove navara ili takozvane gusenice. Na oblik gusenice i penetraciju navara utiče, takođe, i režim navaraivanja. Napon luka određuje širinu i oblik gusenice, a ima uticaj i na penetraciju navara. Svi ovi režimski parametri primenjeni su po propisanim prethodnim režimima.

Broj navara na venac točka definisali smo na osnovu stepena istrošenosti samog venca. Stepenu pohabnosti venca je definisan geometrijskim merama koje određuje potreban broj navara kako bi nakon mehničke obrade dobili pun geometrijski profil venca i površine kotrljanja. Na slici 4.4.7.2. prikazana je kontrolna merka kojom smo definisali minimalni i zadovoljavajući broj navara na venac monoblok točka. U teoretskom delu istraživanja

[28]⁷⁰ Vuković, V., Radić, R., Čudić, S., *Resurfacing monoblock of steel R7T wheel rims (MBW) for the train wagons*. Metallurgy, 2011. ISSN 0543-5846, Metabk 50 (2) 73-144 (2011)

definisali smo izvodljivost nanošenja max. broja navara uz postizanje zadovoljavajuće pouzdnosti kvaliteta navara, tj. 8 navara na vencu točka. Na svim eksperimentalnim slučajevima, primenjen je ovaj broj navara na vencu monoblok točka.



Slika 4.4.7.2. Merka za kontrolu količine navara na vencu točka

Na slikama 4.4.7.3; 4.4.7.4. i 4.4.7.5. prikazan je neprekidni proces navarivanja: prvog, četvrtog i osmog navara na venac monoblok točka, a proces je izveden na poluatomaskoj mašini sa dograđenim namenskim uređajima za prihvatanje i obrtanje osovinskog sklopa. Izgled osovinskog sklopa sa obnovljenim vencima navrivanjem prikazan je na slici 4.4.7.6. nakon čega sledi fazna kontrola, a potom i mehnička obrada profila kotrljanja točka.



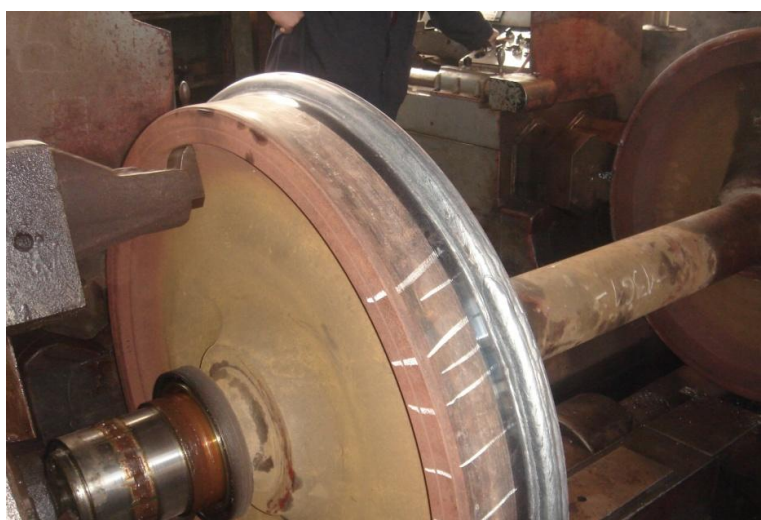
Slika 4.4.7.3. Tehnološki proces nanošenja prvog navara na venac monoblok točka



Slika 4.4.7.4. Nanošenje završnog navara



Slika 4.4.7.5. Kontrola efektivne količine navara na vencu monoblok točka



Slika 4.4.7.6. Osovinski sklop sa obnovljenim vencima-navarivanjem i priprema za obradu

Sprovođenje tehnološkog procesa navarivanja venca eksperimentalnih monoblok točkova, zahtevalo je stručnu pažnju i strogu tehnološku disciplinu kako bi svi uticajni faktori koji su analizirani i definisani sveobuhvatnim istraživačkim procesom ove doktorske disertacije, doveli do uspešnosti ovog istraživanja.

4.4.7.1. Uticaj predgrevanja i brzine hlađenja na pojavu mikro prslina nakon navarivanja venca monoblok točka

Pukotine se smatraju najopasnijim greškama u zavarenom spoju. Bitno smanjuju čvrstoću navrenog spoja, a smim tim i koeficijent sigurnosti. Zbog toga pukotine na vitalnim delovima kao što je monoblok točak ne smiju preći granicu dozvoljenog.

U skoro svim delovima istraživačkog rada ove doktorske disertacije, posebnu pažnju smo posvetili ovoj vrlo opasnoj i nepoželjnoj pojavi. Veliki je broj železničkih konstrukcija čiji otkaz je nastao naknadnom pojavom pukotine, a sve zbog promašaja u fazama pre ili nakon nastanka zavarenog spoja. Nestajanje pukotina se ne može izbjeći, ali se mogu određenim merama smanjiti i delomično otkloniti.

Jedan o vrlo uticajnih faktora za eliminaciju ili smanjane mikro toplotnih pukotina koje smo nastojali dovesti u zadovoljavajuće okvire jeste realan unos toplotne energije (E) i ostalih strujnih parametara pri samom procesu navarivanja.

Sa teorijskog stanovišta istraživanja, bitno je poznavati, iz radova Flanigana, da je brzina hlađenja (nakon navarivanja) u temperaturnom intervalu između 150 ÷ 200°C, u vezi s izvesnom „kritičnom brzinom”, presudni činilac u pojavi toplotnih prslina. Ove vrlo opasne prsline zavise od toplotne energije, koja se oslobađa pri zavarivanju u jedinici vremena. Ova energija, izražena u funkciji energetskih parametara električnog luka određuje se po izrazu [4.5]⁷¹:

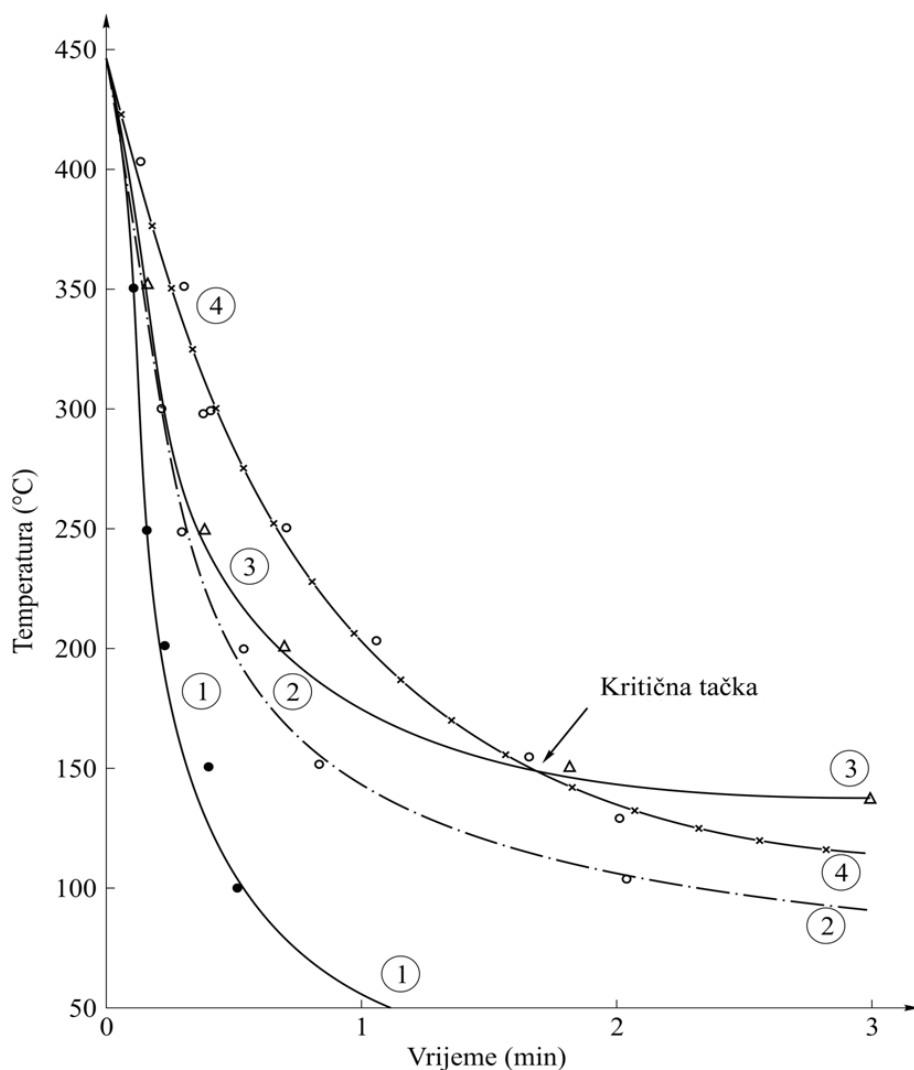
- $E = (I \times U \times 60 \times q) / (v \times 100)$ [KJ/cm] [4.5]
- I- jakost struje zavarivanja [A]
- U- napon električnog luka [V]
- v - brzina zavarivanja [cm]
- q - koeficijent iskoristivosti električnog luka

Ovo naučno otkriće, pomoglo nam je da pred sam proces navarivanja venca monoblok točka, je i te kako presudan činilac definisanja temperature predgrevanja, u cilju izbegavanja ove kritične brzine hlađenja, a time i eliminisanje ili znatno umanjena nepoželjnih toplotnih prslina.

Sa dijagrama prikaznog 4.4.7.1.1, vrlo efikasno su izkazane razlike u nastajanju toplotnih prslina procesom varenja sa elektrodnom žicama istog prečnika (Ø3mm) i kvaliteta, sa i bez predgrevanja. Vidno su uočene razlike, tako da navar sa elektronom žicom Ø3mm i temperaturom predgrevanja pokazuje da broj obrazovanih mikroprslina po cm² skoro da ih nema, dok pri brzem hlađenju, tj. bez predgrevanja posle navarivanja istom elektrodnom žicom nastaje i do 65 mikroprslina/cm².

Primenom predgrevanja oboda i venca monoblok točka uz regulaciju brzine hlađenja iznad „kritične brzine” pri temperaturi od 153°C je pokazalo očekivane rezultate, tj. da smo ovim efikasno izbegli pojavu mikroprslina prikazno na slici 4.4.7.1.1. kriva „3“.

[131]⁷¹ Seferijan, D., *Metalurgija zavarivanja*, Građevinska knjiga, Beograd, 1969.



Kriva 1 - Elektroda prečnika 3 mm; 65 prslina po 1 cm^2
 Kriva 2 - Elektroda prečnika 5 mm, 11 prslina po 1 cm^2
 Kriva 3 - Elektroda prečnika 3 mm; predgrevanje do 150°C , nema prslina
 Kriva 4 - Elektroda prečnika 6 mm, 75 prslina po 1 cm^2
Slika 4.4.7.1.1. Uticaj brzine hlađenja na pojavu mikroprslina [131]⁷²

Ovi istraživački rezultati potvrđuju činjenicu da temperatura predgrevanja oboda i venca monoblok točka bez usklađenosti hlađenja iznad kritične brzine, ne obezbeđuje potpunu efikasnost sprečavanja prslina. Ona treba da bude takva kako bi obezbedili usporeni pad brzine hlađenja ispod „kritične brzine”, u intervalu $150\div 200^\circ\text{C}$. Pored pomenutog, efikasnost predgrevanja zavisi, takođe, od količine apsorbovanog vodonika u materijalu navara, pa prema tome i od metalurških karakteristika zaštitnog praha.

Na bazi ovog istraživanja, sa pouzdanošću konstatujemo da je odlučujući faktor na stvaranje toplotnih prslina bio pristup određivanja relevantne temperature predgrevanja oboda i venca monoblok točka, kao i brzina hlađenja ispod kritične brzine, gde i te kako utiču klimatski uslovi radionice. Sprovođenje tehnološkog procesa navarivanja venca eksperimentalnih monoblok točkova, je realizovan u radioničkom prostoru koji je imao zadovoljavajuću radnu temperaturu od 18°C , što je, sigurni smo, doprinelo eliminisanju ili znatnom umanjenju toplotnih prslina.

[131]⁷² Seferijan, D., *Metalurgija zavarivanja*, Građevinska knjiga, Beograd, 1969.

4.4.8. Fazna vizuelna dijagnostika nakon navarivanja venca

To je nedeljiva istraživačko-dijagnostička aktivnost tehnološkog procesa obnavljanja venca navrivanjem, a sprovedena je kroz sve tehnološke faze postupka pripreme i navarivanja. Osnovni zadatak ove fazne dijagnostike je bio da blagovremeno otkrijemo, otklonimo ili odbacimo osovinski sklop koji ukazuje negativne dijagnostičke rezultate, i time bi ugrozile daljni tok eksperimentalnog i eksploatacionog istraživanja, kao i poremećaja pouzdanosti pri eksploataciji.

Vizuelna kontrola profila venca koji je obnovljen navrivanjem, izvršena je sa uvećalom 20X, u cilju identifikovanja sledećih nepravilnosti:

- otkrivanje površinskih pukotina,
- identifikovanje površinske poroznosti,
- identifikovanje postojanosti nepoželjnih uključaka,
- dijagnostikovanje manjih ili većih lokalnih naslaga taline, koje mogu ugroziti profil venca,
- pravilnost oblikovanja navara koji pouzdano obezbeđuje formiranje profila venca, mašinskom obradom.

Tokom obnavljanja venca monoblok točka navrivanjem pažnja je posebno posvećena na profesionalno izvršavanje svih tehnoloških zahvata pri navrivanju, što je i rezultiralo u zadovoljavajući nivo kvaliteta izvršenog navrivanja venca.

Ako se izuzme sam čin navrivanja venca, vizuelna kontrola je najvažniji i najbitniji faktor u procesu donošenja odluka za daljni tok navrivanja venca. Ovo je jedina od metoda bez razaranja koja može uočiti, vrlo grube površinske greške sa predviđenim uzrocima i mesto nastajanja greške. Ova metoda kontrole relativno je jeftina, ne oduzima puno vremena, a može dati vrlo korisne informacije kako o kvalitetu navarenog venca, tako i o potrebi, eventualne, dodatne kontrole nekom drugom metodom.

Kao validan vizuelni pokazatelj kvaliteta površinskog sloja navara, pokazuje očvrtnula zaštitna troska koja je procesom navrivanja štitila metalnu kupku i nakon halađenja sama se odvajala u veoma dugim šavovima koji su oblika šava navra. Sa slike 4.4.8.1. je vidljivo da površinski sloj unutrašnje troske je izuzetno pravilno formiran i glatak, bez vidljivih elementa uključaka ili poroznosti što daje opravdanje da i unutrašnji materijal navara treba biti potpuno homogen, čist, bez uključaka ili poroznosti. Spoljna površina troske je ispravno formirana, zaštićena ujednačenom gustinom zaštitnim praškom po celoj površini i iste je debljine površinskog preseka, te je i ovaj pokazatelj ukazao da je navrivanje venca izvedeno profesionalno i kvalitetno. Svi ovi vizuelni dijagnostički pokazatelji, ukazuju na siguran kvalitet celokupnog navara kada je u pitanju: oblik navara, površinska poroznost, uključci, nedozvoljena udubljenja ili ispupčenja sloja navara. Ocenu ove vizuelne tehničke dijagnostike sprovedli smo u saradnji sa stručnim licima za zavrivanje koji poseduju veliko iskustvo i znanje u obalsti spajanja metala varenjem.



Slika 4.4.8.1. Zaštitna troska: izgled, čistoća, geometrijski oblik i ujednačenost debljine

4.5. Mašinska obrada profila venca i površine kotrljanja monoblok točka

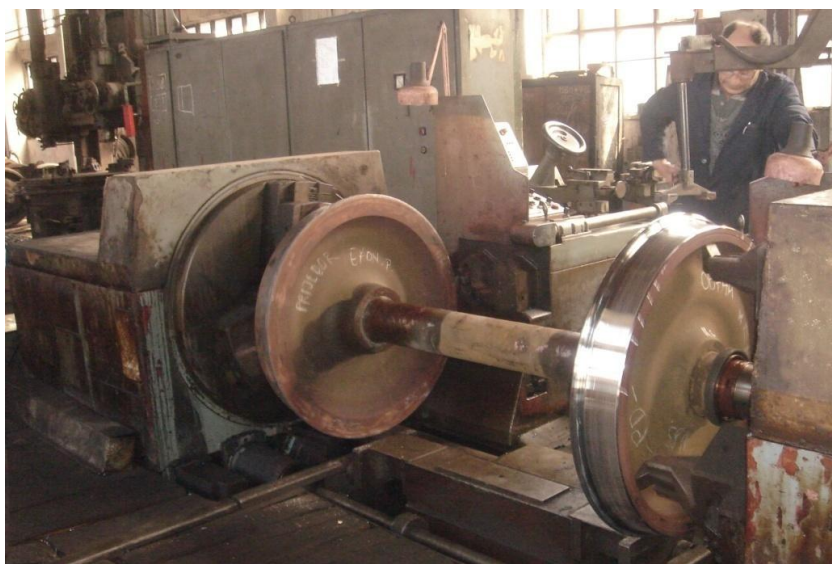
Neposredno pred proces obrade profila kotrljanja monoblok točka, neophodno je bilo utvrditi i definisati potrebne eksploatacione veličine nazivnog prečnika, tj. kruga kotrljanja eksperimentalnih monoblok točkova, a time i definisati dodatak materijala koji je neophodan odstraniti mašinskom obradom-struganjem. Takođe je potrebno utvrditi aksijalno i radijalno bacanje svakog točka i eventualno potrebne korektivne obrade zbog toga. Veličine nominalnog prečnika kruga kotrljanja monoblok točkova, nakon mašinske obrade profila, na jednom osovinskom sklopu ne smiju biti veće razlike od 1 mm, a u istom obrtnom postolju razlike prečnika točkova mogu biti do 5 mm. Ove razlike na jednom vagonu odnosno između dva obrtana postolja dozvoljene su do 10 mm. Ovi parametri osovinskog sklopa regulisani su nacionalnim i internacionalnim železničkim propisima.

U ovo vreme, razvijene industrijske zemlje, obradu profila vrše na savremenim linijskim CNC obradnim centrima, koji imaju ugrađen merni sistem i vrše direktno uparivanje osovinskih sklopova u jedno obrtno postolje odnosno železničko vozno sredstvo.

Skoro sve zemlje u okruženju koje su bile pod nekadašnjom upravom JŽ, tako i Železnica Republike Srpske, poseduju uglavnom CNC mašine za obradu profila točka. Za ovakvu opremu i način obrade profila točka neophodno je posedovanje odgovarajućih specijalnih

mernih uređaja pomoću kojih vršimo kontrolu i merenja bitnih parametara profila monoblok točkova.

Mašinska obrada eksperimentalnih i eksploatacionih monoblok točkova izvedena je u radionici Železnice Republike Srpske u Banjoj Luci. Ova železnička radionica poseduje NC strug za obradu profila točaka, a tehnološki proces obrade profila točka je izveden identičan kao kod redovnog održavanja osovinskih sklopova. Sa stanovišta tehnoloških režima obrade, bitno je napomenuti da je za osovinske sklopove koji su predmet istraživanja doktorske disertacije, odnosno, gde je održavanje venca nakon habanja primenjen tehnološki proces obnavljanje navrivanjem, je skidanje materijala struganjem sa prečnika profila kotrljanja izvedeno svega 3 ± 6 mm po prečniku. Ovakvim drastično malim smanjenjem prečnika točka, venac je postigao pune geometrijske parametre veličine i oblika regulisani EN 13262 prikazani u tabeli 7.2.1. u poglavlju 7.0. Na slici 4.5.1. prikazan je tehnološki proces obrade profila i venca monoblok točka na NC postrojenju u radionici za mašinsku obradu održavanja železničkih vozila u Banjoj Luci.



Slika 4.5.1. Obrada profila točka na CNC strugu

5. PRIMENJENA EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA MONOBLOK TOČKOVA KVALITETA ER7, OBNOVOLJENIH VENACA-NAVRIVANJEM

Opšte napomene

U ovom poglavlju sprovedene su različite metode i postupci ispitivanja monoblok točkova kvaliteta ER7, sa obnovljenim vencima novim tehničko-tehnološkim postupkom navrivanja, u cilju vrednovanja (ocenjivanje), sposobnosti konstrukcije točka da izvrši očekivanu eksploatacionu funkciju sa potpunom pouzdanošću za celog eksploatacionog veka. Normativni železnički dokumenti, UIC-objave, EN, kao i nacionalni standardi, koji su, do sada, obavezujući u Evropi, definišu postupke i metode ispitivanja uzoraka novoprodučenih monoblok točkova. Smatrajući da se radi o kompleksnim i meritornim metodama i postupcima ispitivanja kvaliteta monoblok točka, iste su sprovedene na eksperimentalnim točkovima, u cilju dokazivanja izvodljivosti, pouzdanosti primene sasvim novog tehničko-tehnološkog postupka održavanja venca točka. Primenjene metode i postupci ispitivanja kvaliteta ovakvog monoblok točka možemo podeliti u dve osnovne grupe:

1. metode i postupci ispitivanja sa razaranjem i
2. metode i postupci ispitivanja bez razaranja.

5.1. Metode i postupci ispitivanja sa razaranjem

Da bi se pouzdano donele odluke o uspešnosti istraživanja predmeta disertacije, neophodno je i poznavanje mehaničkih svojstava-osobina, obnovljenih monoblok točkova, kako pri dejstvu spoljnih sila ne bi došlo do neželjenih deformacija, a u nekim slučajevima i do lomova koje u železničko-eksploatacionim sistemima, uglavnom, su i katastrofalne. Prema tome, mehanička svojstva-osobine materijala monoblok točka, objašnjava povezanost između spoljnih sila i njima izazvanih deformacija. Faktori koji se moraju uzeti u obzir pri mehaničkim ispitivanjima materijala monoblok točka, a koji direktno i određuju mehaničke osobine materijala pri različitim uslovima eksploatacije su:

- vrsta naprezanja (zatezanje, pritisak, savijanje, uvijanje, ili kombinacija datih opterećenja),
- način dejstva sile (statičko ili dinamičko),
- temperatura ispitivanja (niske, sobne, povišene, termički šok).

Ispitivanja materijala monoblok točkova koji su podvrgnuti eksperimentalnom istraživanju izvodljivosti održavanja venca navrivanjem, metodama razaranja u cilju utvrđivanja njegovih mehaničkih, tehnoloških i ostalih osobina je svakako neophodan uslov za njegovu ugradnju za proces eksploatacionog istraživanja, ali ne i dovoljan za udovoljenje velikog stepena sigurnosti pri procesima eksploatacije. Sprovedene metode ispitivanja venca i oboda monoblok točka sa razaranjem su:

1. ispitivanje smera sopstvenih napona u monoblok točku,
2. ispitivanje tvrdoće po poprečnom preseku venca i oboda točka,
3. ispitivanje zatezanjem,
4. ispitivanje žilavosti,
5. ispitivanje hemijskog sastava dodatnog i osnovnog materijala venca točka,
6. metalografska ispitivanja.

Sve ove metode ispitivanja obavljene su prema planu u specijalizovanim laboratorijama, koje su akreditovane prema međunarodnim standardima ISO 9001. Kao rezultat naučnog eksperimenta dobijeni su originalni rezultati koji su prezentovani u disertaciji u vidu zapisa, dijagrama i fotografija.

5.2. Metode i postupci ispitivanja bez razaranja

To su ispitivanja kvaliteta monoblok točka, nakon obnavljanja venca, koja svojim delovanjem ne utiče na svojstva zavarenog spoja. U ovom istraživanju doktorske disertacije primenjena su sledeća merenja i ispitivanja bez razaranja:

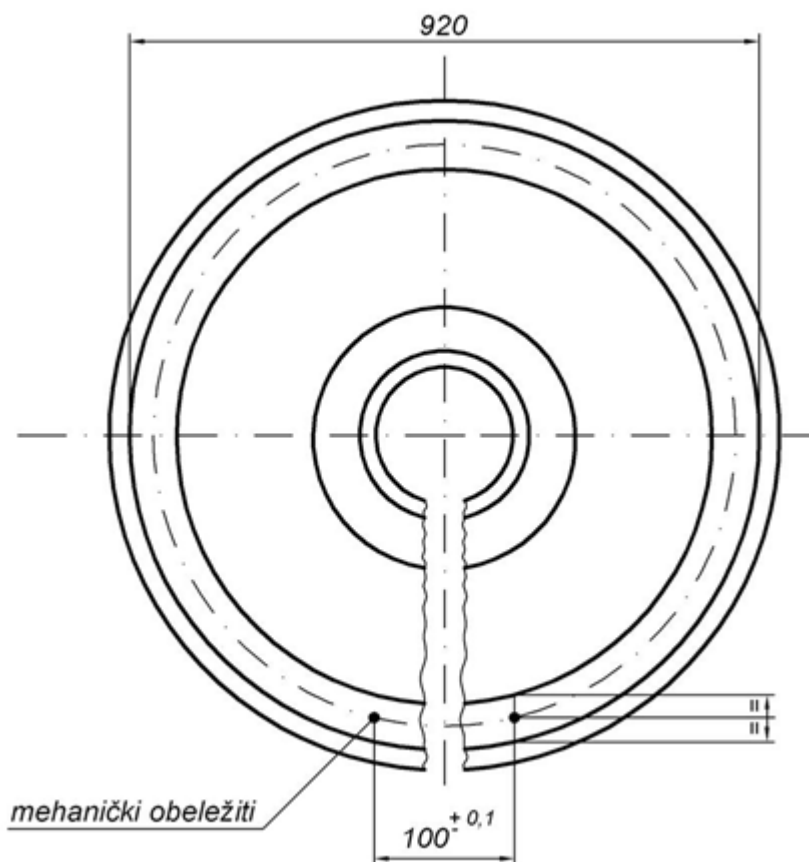
1. vizualna kontrola,
2. dimenzionalna kontrola,
3. mernje površinske tvrdoće venca i profila kotrljanja,
4. ultrazvučna kontrola-defektoskopija i
5. ispitivanje zaostalih napona nakon navrivanja venca, ultrazvučnom metodom.

Sve navedene tehnike ispitivanja, kontrole i merenja su detaljno pojašnjene u eksperimentalnom delu disertacije u poglavlju 4.3.

6. REZULTATI SOPSTVENIH EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA U LABORATORIJSKIM USLOVIMA SA RAZARANJEM

6.1. Rezultati ispitivanja smera sopstvenih napona u monoblok točku

Za proveru postojanosti i smera sopstvenih naprezanja nakon navrivanja venca točka primenjeno je na jednom eksperimentalnom monoblok točku, koji je podvrgnut svlačenju sa osovine kako bi se ova jednostavna tehnika ispitivanja sproveda. Postojanje i orijentacijom smera sopstvenih naprezanja pod pritiskom u monoblok točku nakon navrivanja venca, dokazan je jednostavnim metodom, merenjem smanjenja ili povećanja odstojanja obeleženih dveju tačaka, koje su mehanički utisnute na srednjem spoljnom prečniku venca točka, na međusobnoj udaljenosti od 100 mm, prikazano na slici 6.1.1. Nakon obeleženog odstojanja izvršen je proces gasnog rasecanja točka kroz sredinu između ovih oznaka, do otvora glavčine točaka prikazano na slici 6.1.2. Nakon hlađenja i razgradnje unutrašnjih naprezanja mora se rastojanje između oznaka smanjiti najmanje za ≥ 1 mm. Ovo smanjenje odstojanja od 100 mm se karakteriše kao smer „-“ negativan napon u obodu točka, tj. koncentracija napona teže ka zatvaranju točka usmerena ka glavčini točka što čini zadovoljavajućim smerom, definisan prema železničkim propisima i međunarodnim objavama. U tabeli 6.1.1. dat je intezitet smera sopstvenog naprezanja eksperimentalnog monoblok točka.



Slika 6.1.1. Linija rasecanja točka i položaj mernih tačaka za kontrolu smera napona u monoblok točku



Slika 6.1.2. Gasno rasecanje monoblok točka za ispitivanja smera sopstvenih napona[31]⁷³

Broj monoblok točka	Obeleženo odstojanje pre sečenja mm	Minimalno smanjenje posle sečenja mm	Dozvoljeni smer napona	Izmereno odstojanje mm	Odstupanje od obeležene veličine mm
01	100	1	„–“	97,8	2,2

Tabela 6.1.1. Smer sopstvenih napona i vrednosti smanjenja u mm

U slučaju povećanja odstojanja obeleženih tačka, odnosno 100 mm, naponi bi se tretirali smera pozitivnog inteziteta i takvi točkovi ne bi smeli biti upotrebljivi, a uzrok nastanka ovog smera napona okarakterisan bi bio procesom navrivanja venca.

Smer i intezitet sopstvenog napona nakon navrivanja venca na preostalim eksperimentalnim i eksploatacionim točkovima, kao i procesom eksploatacionog istraživanja, dijagnostikovani su savremenim tehnikama bez razaranja koji funkcionišu na polju ultrazvuka, a rezultati tog ispitivanja su predočeni u poglavlju 7.0.

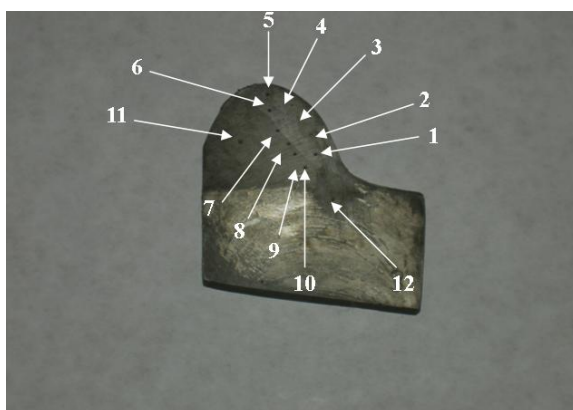
6.2. Ispitivanje tvrdoće

Tvrdoća predstavlja mehaničko svojstvo materijala, a definiše se kao otpor kojim se neko telo suprotstavlja prodiranju drugog, tvrdog tela u njegovu površinu. Tvrdoća nije osnovno svojstvo materijala, ali je u vezi sa elastičnim i plastičnim svojstvima. Kao meritorna metoda ispitivanja tvrdoće po preseku profila venca i tvrdoće po poprečnom presku venca i oboda monoblok točka, primenjena je statička metoda ispitivanja tvrdoće.

[31]⁷³ Vuković, V., i inženjeri instituta „Objedinjenog Metaluruškog Konbinata Rusije“, Viksa, 2010.

6.2.1. Ispitivanje tvrdoće po poprečnom preseku venca točka: dodatnog, osnovnog i materijala u ZUT

Statičkom metodom merena tvrdoća je izvedena po poprečnom preseku venca i oboda monoblok točka, a primenjena je metoda po Brinelu (HB) i Rokvelu (HRc). Obe primenjene metode su korištene zbog prilagođenosti odgovarajućoj mernoj površini isečaka oboda i venca točka. Ova ispitivanja sprovedena su u laboratorijama „Željezare“ Nikšić, i „Metalotehne“ Kneževo, koje su akreditovane za ova ispitivanja usklađene prema EN ISO 6506-1:1999. Na slici 6.2.1.1. prikazan je isečak venca monoblok točka i tačke merenja tvrdoće dodatnog materijala, osnovnog materijala i tvrdoće u ZUT-u po Rokvel metodi. Tvrdoća po metodi Rokvel definiše se nepovratnom dubinom otiska koju načini utiskivač napadnim uglom od 1200, na površini uzorka ispitivanog materijala. Isečci venca su izbrušeni tako da ispitivanjem tvrdoće je postignut precizan rezultat na mernom stabilnom HRc uređaju prikazanog na slici 6.2.1.2.



Slika 6.2.1.1. Fotografija isečka venca monoblok točka sa tačkama mernja tvrdoće:

- tačke: 1; 2; 3; 4; i 5 dodatni materijal
- tačke: 6; 7; 8; 9; i 10 ZUT
- tačke: 11 i 12 osnovni materijal

Rezultati ispitivanja tvrdoće eksperimentalnih venaca monoblok točkova po poprečnom preseku venca kvaliteta materijala ER7 dati su u tabeli 6.2.1.1. i uporedni po Brinel metodi u tabeli 6.2.1.2.



Slika 6.2.1.2. Ispitivanje tvrdoće eksperimentalnih uzoraka po poprečnom preseku venca točka: u zoni navara, osnovnog i materijala u ZUT

Uzorak broj	Merno mesto broj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
01	HRC	27	28,5	27,5	27,5	26	23,5	24,5	24	22,5	24,5	24	24,5
02	HRC	26,5	25,5	27,5	28,5	27	24	25	24,5	23	22,5	23,5	24,5
03	HRC	26	26,5	26,5	27,5	25	25	24,5	24	24,5	22,8	24	23
04	HRC	25	25,5	25	25,5	24	24	25	24,5	24,5	25	25	24

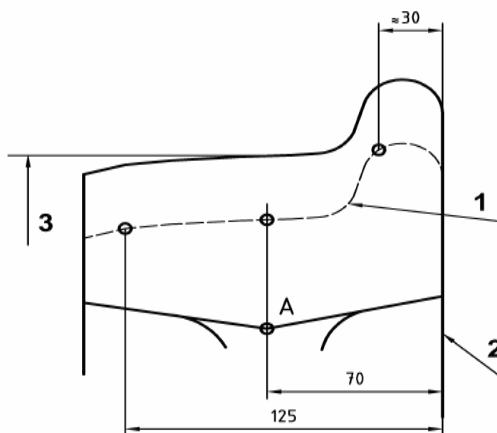
Tabela 6.2.1.1. Rezultati tvrdoće navara, osnovnog materijala i u zoni pod uticajem toplote u HRC,

Uzorak broj	Merno mesto broj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	HB	265	271	285	289	262	260	253	248	259	253	248	253
2	HB	264	260	271	272	265	248	259	253	259	248	245	253
3	HB	265	267	267	271	265	259	260	248	253	259	248	241
4	HB	259	260	262	260	248	248	259	253	253	259	259	248

Tabela. 6.2.1.2. Rezultati merenja tvrdoće navara, osnovnog materijala i u zoni pod uticajem toplote po HB (uporedna tabela)

6.2.2. Rezultati ispitivanja tvrdoće po poprečnom preseku venca točka: dodatnog, osnovnog materijala i u ZUT

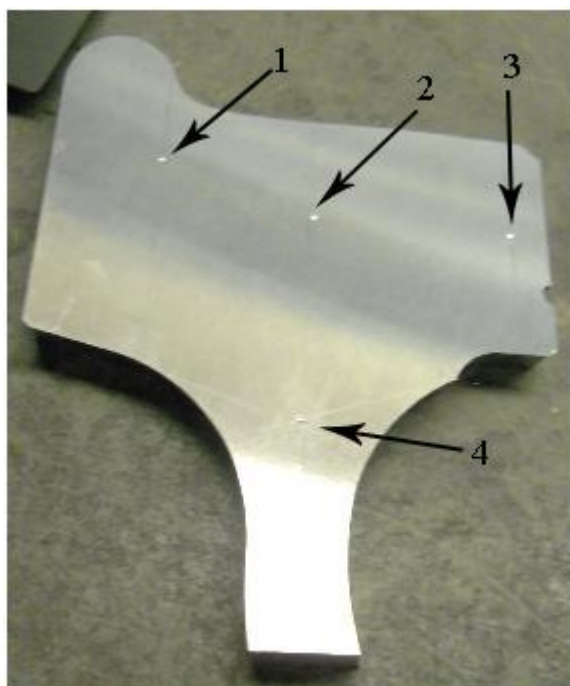
Mernje tvrdoće po poprečnom preseku oboda i venca točka imalo je za cilji provere eventualne promene tvrdoće u odnosu na međunarodne odredbe UIC i EN, a koja je prouzrokovana primenom tehničko-tehnološkog procesa obnavljanja venca navrivanjem. Na slici 6.2.2.3, prikazane su položaj mernih tačka i spitivanja tvrdoće, koje su obeležene prema međunarodnim objavama UIC 812-3 i EN 13262, po poprečnom preseku oboda, a ispitivanje je izvršeno na stacionarnom uređaju metodom Brinel slika 6.2.2.2. Postupak ispitivanja sproveden je prema EN 100002-1. Prečnik probe iznosio je najmanje 10 mm u kalibrisanom delu, a ispitna dužina je petostruka dužina prečnika. Tvrdoća je merena na četiri tačke na radijalnom preseku venca točka, kako je prikazano na slici 6.2.2.1. Postupak ispitivanja sproveden je prema EN 100002-1 i ISO 6506-1, a prečnik kuglice je 5 mm.



Slika 6.2.2.1. Skica isečaka za mernje tvrdoće venca i oboda monoblok točka sa položajem mernih tačaka



Slika 6.2.2.2. Mernje tvrdoće po poprečnom preseku venca, oboda i spojke točka na stacionarnom mernom uređaju Brinel metodom [30]⁷⁴



Slika 6.2.2.3. Isečak za mernje tvrdoće venca i oboda monoblok točka sa utisnutim mernim tačkama po Brinel metodi [31]

Za čitavu zonu habanja venca točka važe vrednosti za kategoriju točka koji se eksploatišu brzinama do 200 km/h, tj minimalne vrednosti od 235 HB, a izmerene vrednosti su date u tabeli 6.2.2.1. Na nekim eksperimentalnim točkovima gde je debljina područja istrošenosti

[31]⁷⁴ Vuković, V., i inženjeri instituta „Objedinjenog Metaluruškog Konbinata Rusije“, Viksa, 2010.

iznosila više od 35 mm, te je tada bilo potrebno postići minimalne vrednosti do dubine od 35 mm ispod trčeće površine.

Na prelazu između venca točka i spojke (tačka A na slici 6.2.2.1.) tvrdoća mora da bude manja za najmanje 10 poena nego vrednost na granici habanja.

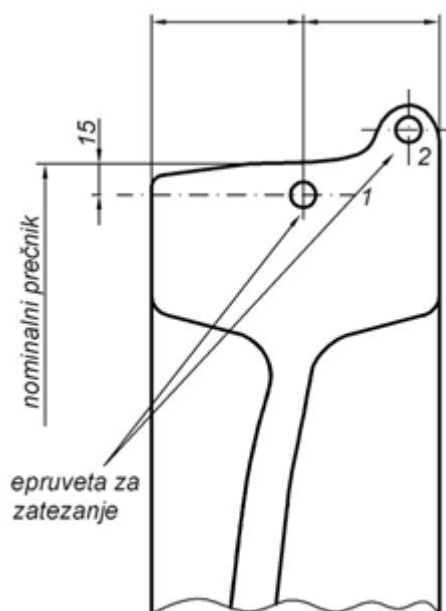
Merne tačke	Oznaka eksperimentalnih monoblok točkova-isečaka i tvrdoća u HB			
	01	02	03	04
1.	272	274	272	278
2.	266	264	263	264
3.	242	240	250	253
4=A	230	229	236	235

Tabela 6.2.2.1. Rezultati tvrdoće točka mereni po porečnom preseku oboda i venca točka[31]⁷⁵

6.3. Ispitivanje i rezultati ispitivanja zatezanjem

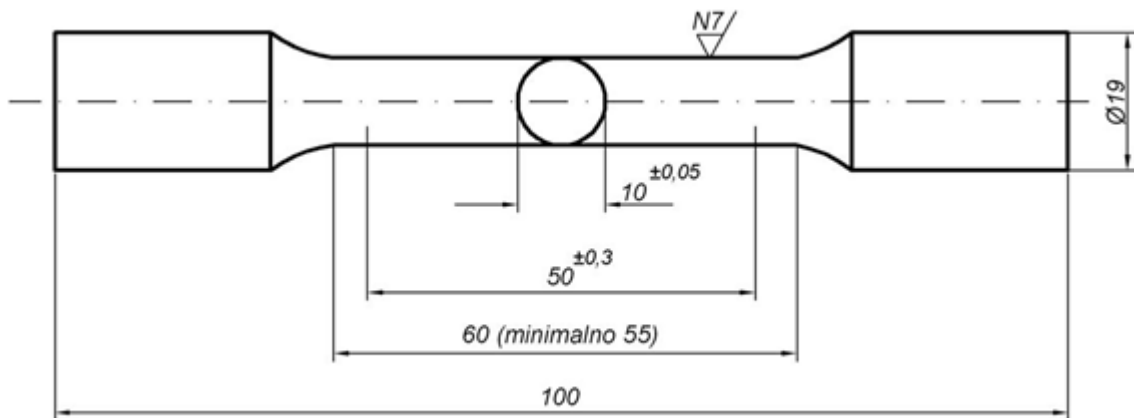
Kao i sva prethodna mehanička ispitivanja, ispitivanje zateznjem epruveta iz venca i oboda točka izvršeno je sa ciljem dokazivanja eventualnog uticaja tehničko-tehnološkog procesa obnavljanja venca navarivanjem. Ova laboratorijska ispitivanja su sprovedena u akreditovanim laboratorijskim ustanovama i to u „Metalotehna“ Kneževo. Za svaki eksperimentalni monoblok točak ispitane su po dve epruvete kružnog oblika, vađene sa mesta dodatnog i osnovnog materijala i oboda točka u neposrednoj udaljenosti od ZUT-a prikazane na slici 6.3.1. Geometrija i dimenzionalne veličine epruveta su prikazane na slici i 6.3.2, a na slici 6.3.3. je prikazan je fotografski izgled epruvete.

Eksperimenti su izvedeni na sobnoj temperaturi, uskalađen EN 10002-1, na hidrauličnoj kidalici P50, prikazano na fotografiji 6.3.4. a rezultati eksperimentalnog ispitivanja dati su u tabeli 6.3.1.



Slika 6.3.1. Položaj uzorkovanja epruveta za eksperiment

[31]⁷⁵ Vuković, V., i inženjeri instituta „Objedinjenog Metaluruškog Konbinata Rusije“, Viksa, 2010.



Slika 6.3.2. Geometrijski oblik i dimenzionalne veličine



Slika 6.3.3. Fotografija uzorkovanih epruveta iz venca i oboda točka



Slika 6.3.4. Ispitivanje mehaničke karakteristike zatezanjem [33]⁷⁶

[33]⁷⁶ Vuković, V., Laboratorijska ispitivanja, „Metalotehna“ Kneževo, 2010.

Broj Uzorka	Broj epruvete	Sila na granici razvlačenja F [N]	Granica razvlačenja Rv [N/mm ²]	Max. sila F [N]	Zatezana čvrstoća Rm [N/mm ²]	Izduženje δ_5 (10) [%]
01	1	49.847	635	68.923	878	20,5
	2	46.237	589	65.783	838	19
02	1	48.671	620	70.023	892	21
	2	45.373	578	65.515	830	18
03	1	49.456	630	70.493	898	21
	2	45.530	580	66.412	846	18,5
04	1	50.241	640	70.336	896	20,5
	2	46.316	590	70.494	848	18

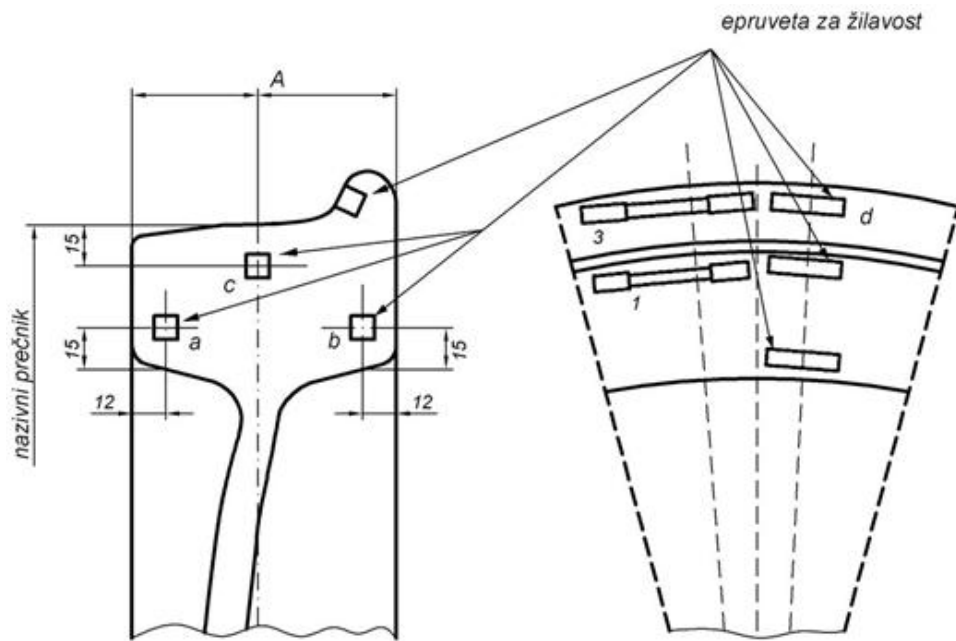
Tabela 6.3.1. Rezultati ispitivanja zatezanjem eksperimentalnih monoblok točkova[33]⁷⁷

6.4. Ispitivanje i rezultati ispitivanja žilavosti

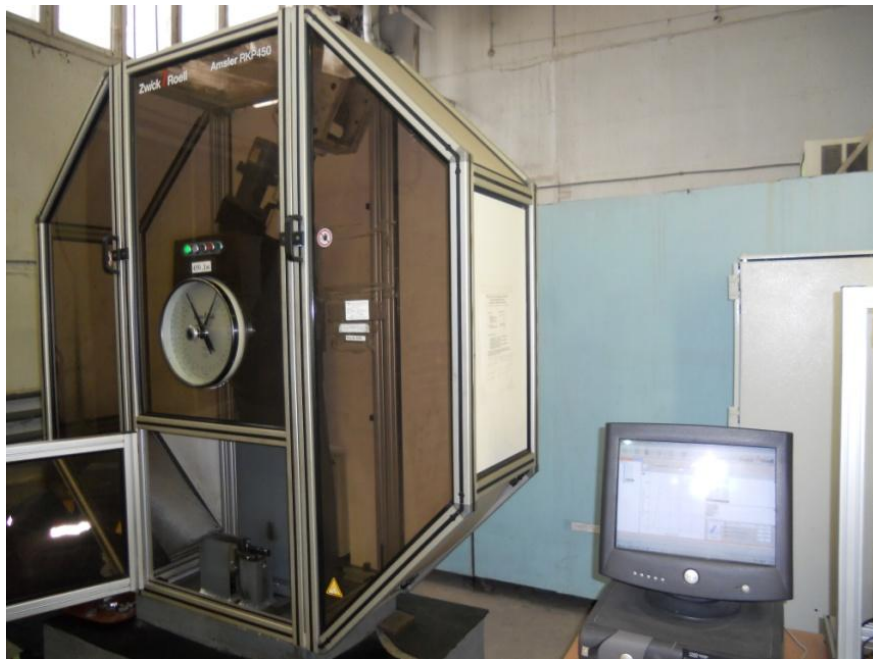
Ispitivanje žilavosti materijala, vršeno je udarnim opterećenjem epruveta određenog oblika i dimenzija lomom se jednim udarcem. Pri udaru epruveta je izložena savijanju. Cilj ispitivanja je da se odredi sklonost osnovnog i dodatnog materijala ka povećanju krutosti u toku eksploatacije. Ovo ispitivanje žilavosti materijala oboda i venca eksperimentalnih monoblok točkova vršeno je na ispitnom uređaju „Šarpijevo“ klatno.

Proces ispitivanja udarne žilavosti je sproveden u uslovima ispitivanja podvrgavajući epruvete u dve grupe uzoraka: jedna grupa je ispitana pri +20°C, a druga grupa pri -20°C. U okviru svake grupe ispitane su po 1 epruveta. Uzorkovanje ispitnih epruveta iz osnovnog i dodatnog materijala prikazano je na slici 6.4.1. Na slici 6.4.2. prikazan je proces ispitivanja udarne žilavosti na Šarpijevom klatnu koje je sprovedeno u akreditovanoj laboratoriji preduzeća Metaluruškog Konbinata “Viksa” Rusija. Označavanje epruveta za ispitivanje udarne žilavosti izvedeno je kao na slici 6.4.1. i uzorkovanim položajem površine koje leže u pravcu valjanja točka. Epruvete su izrađene u skladu sa EN 10045-1, prikazane na slici 6.4.3, a postupak ispitivanja prema ISO 6506-1:1999. Osa zarezaja je paralelna sa presekom A-A. Kod ispitivanja pri +20°C primenjene su epruvete sa U-zarezom, a kod ispitivanja pri -20°C primenjene su epruvete sa V-zarezom. U tabeli 6.4.1. prikazane su vrednosti postignute ovim ispitivanjem.

[33]⁷⁷ Vuković, V., Laboratorijska ispitivanja, „Metalotehna“ Kneževo, 2010.

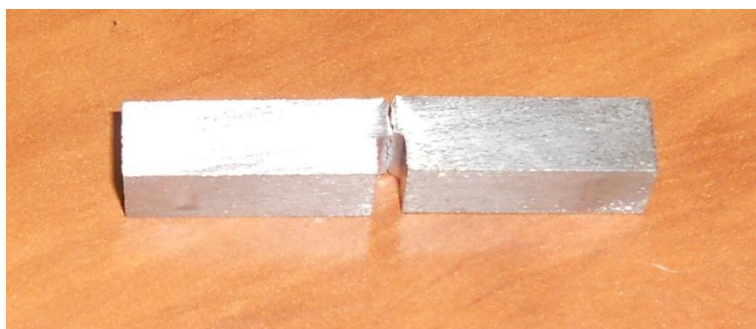


Slika. 6.4.1. Položaj i mesto uzorkovanja epruvete žilavosti i zatezne čvrstoće



Slika 6.4.2. Ispitivanje udarne žilavosti na Šrpijevom klatnu[31]⁷⁸

[31]⁷⁸ Vuković, V., i inženjeri instituta „Objedinjenog Metaluruškog Konbinata Rusije“, Viksa, 2010.



Slika 6.4.3. Ispitna epruveta sa „U“ zarezom nakon ispitivanja udarne žilavosti

Osovinski sklop		261229/69		11694/83	
Monoblok točak		01	02	03	04
Epruveta iz venca i oboda toča KU [J] pri +20°C	a	22	23	23	22
	b	23	22	21	20
	c	22	21	21	23
	d	16	15	18	14
Epruveta iz oboda točka KV[J] pri -20°C	a	12	12	11	10
	b	10	13	12	11
	c	10	10	10	9
	d	8	9	9	8

Tabela 6.4.1. Rezultati udarne žilavosti eksperimentalnih monoblok točkova uzorkovanih iz venaca i oboda točka[31]⁷⁹

6.5. Ispitivanje hemijskog sastava dodatnog i osnovnog materijala venca točka

Veoma je važno poznavati sastav i strukturu osnovnog i dodatnog materijala na vencu točka kako bi daljnim istraživačkim procesom definsali zadovoljenje celokupnog predmeta doktorske disertacije. Što se tiče opšteg sastava osnovnog materijala točka kvaliteta ER7, on je uslovljen pri samom procesu proizvodnje točka i regulisan je Međunarodnom objavom UIC 812-3 i EN13262. Hemijski sastav prvog sloja navara nikad nije isti kao sastav žice, ali uvek zavisi od sastava osnovnog materijala, odnosno od odnosa mešanja. Navar venca, to jest, dodatni materijal na točku je regulisan izborom elektrodne žice i tim udelom mešanja sa osnovnim materijalom pri tehnološkom postupku spajanja rastopljene taline čeličnog materijala. Ovim tehnološkim procesom je ključno udovoljiti takav odnos mešanja hemijskih elemenata tako da materijal navara bude sa udelom pojedinih hemijskih elemenata koji mogu zadovoljiti sve mehničke, metalografske i eksplozivne karakteristike regulisane železničkim nacionalnim i internacionalnim propisima. Istraživanjem je pokazano da hemijski sastav prvog sloja navara nikad nije isti kao sastav žice, ali uvek zavisi od sastava osnovnog materijala, odnosno od odnosa mešanja.

[31]⁷⁹ Vuković, V., i inženjeri instituta „Objedinjenog Metalurškog Kombinata Rusije“, Viksa, 2010.

Svakako ogroman udeo u stvaranju zadovoljavajućeg stanja dodatnog materijala ima zaštitni prah, a njegov uticaj je detaljno objašnjen u poglavlju koji definišu tehnološko-pripreme istraživačke radnje i zahvate pri samom procesu navarivanja vena točka.

Hemijska ispitivanja su izvedena na eksperimentalnim monoblok točkovima zbog potrebe uzorkovanja odgovarajućih etalona koji sadrže osnovni i dodatni materijal, a sprovedena u nadležnim akreditovanim laboratorijama Ujedinjenom Metalurškom Konbinatu „Viksa“ Rusija, „Željezara“ Nikšić i Livnici čelika „Jelšingrad“ Banja Luka. Točkovi namenjeni eksploatacionom istraživanjau (br. 44; 45, 18/1 i 18/9) hemijski su ispitani na osnovu strugotine u akrediovanoj hemijskoj labortoriji livnici čelika „Jelšingrad“ Banja Luka. Tehnika hemijske analize sastava osnovnog materijala eksperimentalnih točkova je vršena na Kvantometru, a dodatnog materijala na LECO analizatoru, tipa LECO-SC 444, sa etalonskih uzoraka vena točka slika 6.5.1. U tabeli 6.5.1. dati su rezultati ispitivanja osnovnog materijala monoblok točka, a u tabeli 6.5.2. i 6.5.3. su iskazane granične vrednosti pojedinih hemijskih elemenata navra na vencu točka za sve eksperimentalne i eksploatacione točkove.



Slika 6.5.1. Fotografija isečka vena točka za hemijsku analizu navara[32]⁸⁰

Broj točka	ANALIZA u %											Kvalitet
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Al	
01	0.49	0.30	0.72	0.015	0.014	0.14	0.24	0.14	0.03	-	0.023	R7T
02	0.49	0.30	0.70	0.014	0.013	0.13	0.22	0.14	0.03	-	0.022	R7T
03	0.48	0.29	0.71	0.013	0.011	0.11	0.24	0.15	0.04	-	0.022	R7T
04	0,50	0,31	0,70	0,014	0,013	0,14	0,22	0,14	0,04		0,023	R7T

Tabela 6.5.1. Rezultati hemijske analize osnovnog materijala eksperimentalnih točkova [32]

Broj točka	ANALIZA u %										
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Al
01	0,38	0,42	1,35	-	0,008	0,15	0,39	0,09	0,015		
02	0,38	0,50	1,25	-	0,010	0,14	0,32	0,10	0,022		
03	0,32	0,44	1,35	-	0,011	0,15	0,34	0,11	0,018		
04	0,39	0,46	1,36	-	0,008	0,16	0,33	0,09	0,024		

Tabela 6.5.2. Rezultati hemijske analize navara (dodatnog materijala) eksperimentalnih točkova [32]

[32]⁸⁰ Vuković, V., i inženjeri laboratorije, „Železra“ Nikšić, 2010.

Broj točka	ANALIZA u %										
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Al
44	0,39	0,42	1,32	-	0,009	0,15	0,40	0,09	0,018		
45	0,38	0,49	1,27	-	0,010	0,14	0,33	0,10	0,022		
18/1	0,42	0,45	1,35	-	0,011	0,15	0,34	0,11	0,018		
18/9	0,40	0,46	1,36	-	0,008	0,17	0,33	0,09	0,024		

Tabela 6.5.3. Rezultati hemijske analize navara točkova namenjenih eksploatacionom istraživanju [32]

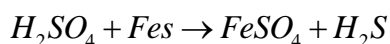
6.6. Metalografska ispitivanja

Veoma je važno poznavati strukturu i čistoću čelika obnovljenih venaca monoblok točkova, jer prisutnost pojedinih elemenata u čeliku ima štetan uticaj na njegove mehaničke i druge osobine, a time dovode do mogućnosti prouzrokovanja neželjenih otkaza. Sa tog stanovišta pouzdanost obnovljenih venaca železničkih točkova navrivanjem, neizbežno je bilo izbeći metalografska ispitivanja. Metalografska ispitivanja su izvršena u akreditovanoj laboratoriji Željezarae Nikšić, koji je postupak ispitivanja usaglašen i prihvaćen od strane međunarodnih istraživačkih i naučnih instituta kojima se utvrđuju metode ispitivanja materijala, za granu metalurgije i tehnologije prerade metala kao i sa ISO/IEC 17025:2000 metoda ispitivanja i etaloniranja, kao i metoda validacije kod DAP Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH – Njemačka.

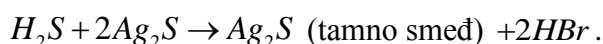
6.6.1. Mikrografska čistoća

Čistoća materijala isečaka venca eksperimentalnih točkova ispitana je pomoću mikroskopskog ispitivanja ISO 4967, metoda A, sadržaja sumpora u osnovnom i dodatnom čeliku venca točka, pomoću kontaktnog otiska dobijenog korišćenjem soli, srebra i sumporne kiseline – Baumanova metoda. Etaloni za ispitivanje čine radijalni isecci venaca monoblok točkova, sa ciljem sagledavnja čistoće kako u osnovnom materijalu venca tako i u dodatnom materijalu, tj. navaru. Ispitivanjem makroskopskih karakteristika etalona venca točka izvedeno je pomoću sumpornog otiska – Baumanova metoda usklađena standardom JUS C.A3.020:1987, ISO 4967-1988. Ovim ispitivanjem određivana je raspodela sumpora po preseku uzoraka venaca točkova, tako što se preko obrušene površine preseka postavi i tesno priljubi foto-papir natopljen razblaženom sumpornom kiselinom, pri čemu dolazi do sledeće hemijske reakcije⁸¹:

H_2SO_4 u dodiru sa Fe i MnS iz komada daje H_2S po hemijskom procesu [6.1]



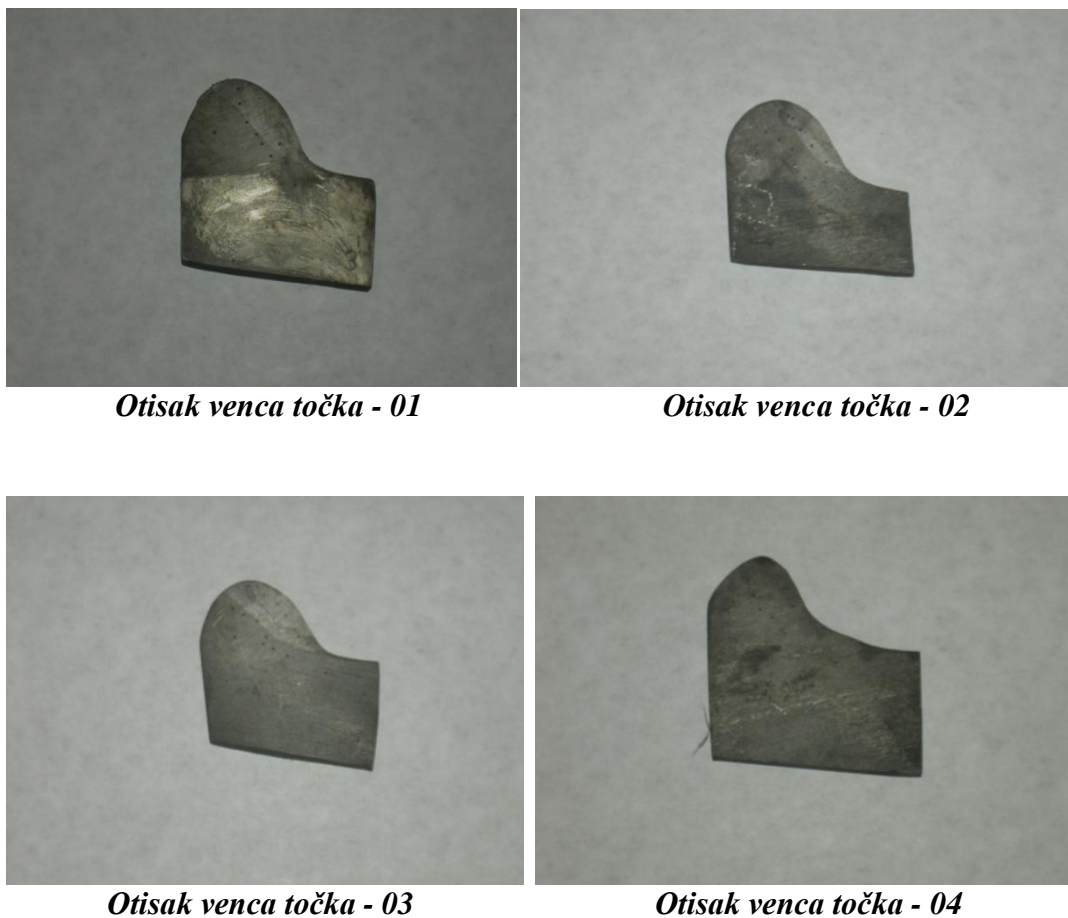
a H_2S reaguje na $AgBr$ s površine fotopapira po sledećoj jednačini:



Nakon ovoga, mesta bogatija sumporom pokazuju se na dobijenom otisku kao tamno-smeđa, dok je ostala površina svetlo-smeđa. Na slici 6.6.1.1. prikazane su slike Baumanovog otiska venaca, uzorkovanih od eksperimentalnih monoblok točkova kvaliteta ER7.

[32]⁸¹ Vuković, V., i inženjeri laboratorije, „Železra“ Nikšić, 2010.

Iz priloženih slika Baumanovog otiska, vidljivo je da je stepen čistoće u osnovnom i dodatnom materijalu povoljan kao i stepen prerade osnovnog i dodatnog materijala.



Slika 6.6.1.1. Baumanov otisak venaca eksperimentalnih točkova

Tehničko-tehnološki proces obnavljanja venaca monoblok točka kvaliteta ER7, ne sme da produkuje stvaranje uključka u dodatnom materijalu i u zoni pod uticajem toplote, veće nego što je regulisano internim standardom ili EN 13262 koji definišu ove nečistoće u monoblok točku pri procesu proizvodnje. Veličine nečistoća mikroskopskim ispitivanjem čelika osnovnog materijala venca i dodatnog materijala-navara date su u tabeli 6.6.1.1.

Vrsta uključaka	Dozvoljeno(maksimum)	Očitano
A (sumpor)	2	1
B (aluminati)	1	0
C (silikati)	2	1
D (globularni oksidi)	2	0,5
B + C + D	4	1,5

Tabela 6.6.1.1. Stepen čistoće postignut mikrografskim ispitivanjem

6.6.2. Mikrostruktura uzoraka

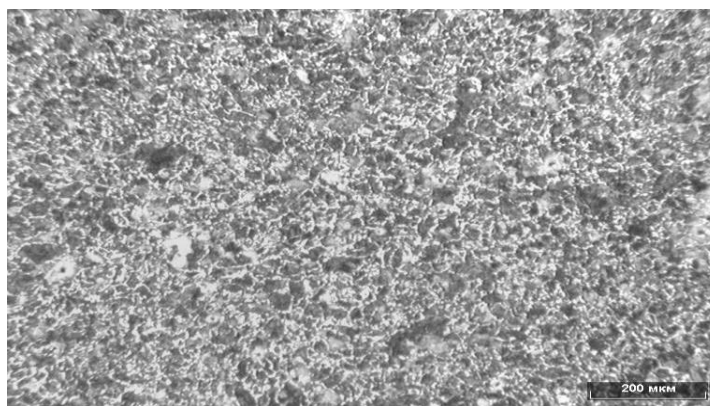
Analiza mikrostrukture vršena je na uzorcima isečaka venca eksperimentalnih točkova, pripremljenih brušenjem i poliranjem, prema EN 13262.2004+A1:2008. Ova ispitivanja su sprovedena na skenirajućem elektronskom mikroskopu na više uzoraka, sa uvećanjem od 200X. Na slici 6.6.2.2. prikazan je snimak mikrostrukture osnovnog materijala, na slici

6.6.2.3. snimak strukture zone spajanja osnovnog i dodatnog materijala (ZUT), a na slici 6.6.2.4. snimak strukture dodatnog materijala na vencu točka-navara.



Sika. 6.6.2.1. Analiza mikroizbrusaka na elektronskom metalografskom mikroskopu[31]⁸²

Sa slike osnovnog materijala (sl. 6.6.2.2.) vidimo ujednačenost strukture materijala venca točka. Struktura je feritno-perlitna, perlit lamelarni. Ovakav sastav strukture smatramo izuzetno povoljnim, a sa satanovišta tumačenja železničkih standarda je zadovoljavajući.

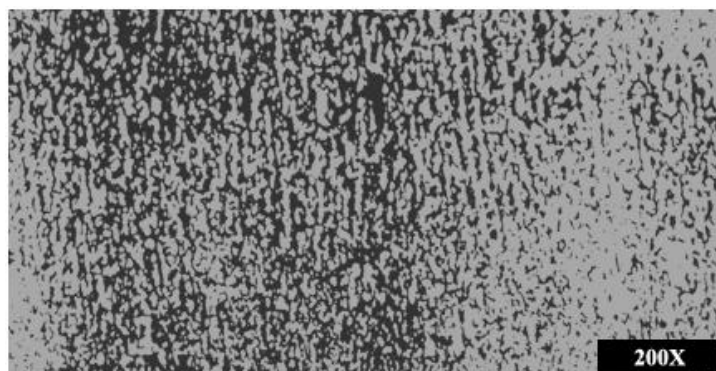


Slika 6.6.2.2. Struktura mikroizbrusaka osnovnog materijala venca točka kvaliteta ER7⁸³

Sa slike struktura zone spajanja osnovnog i dodatnog materijala (slika 6.6.2.3.) vidljivo je da je mikrostruktura povoljna, tj. sastoji se iz mešavine perlita sa nešto manje martenzita. Veličina zrna je sa strane navara nešto manja, a sa strane osnovnog materijala neznatno krupnija i postepeno prelazi u osnovni materijal. Zona uticaja toplote (ZUT) je bez prisustva znakova kaljenja.

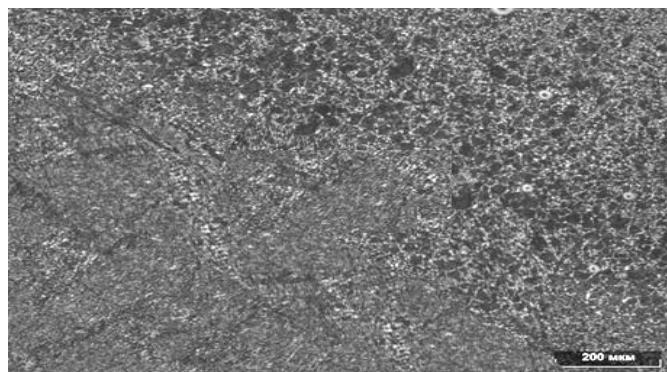
[31]⁸² Vuković, V., i inženjeri instituta „Objedinjenog Metalurškog Konbinata Rusije“, Viksa, 2010.

[28]⁸³ Vuković, V., Radić, R., Čudić, S., *Resurfacing monoblock of steel R7T wheel rims (MBW) for the train wagons*. Metallurgy, 2011. ISSN 0543-5846, Metabk 50 (2) 73-144 (2011)



Slika 6.6.2.3. Struktura mikroizbrusaka zone spajanja (ZUT)

Sa slike dodatnog materijala-navara (sl. 6.6.2.4.), jasno je vidljivo da je dodatni materijal, čist i bez uključaka. Mikrostruktura uzduž visine navara je neznatno različita jer svaki sledeći navar utiče na promenu strukture prethodnog navara. Na sva tri eksperimentalna uzorka kao i preostalim koji su predmet ovog istraživanja, navareni deo je martenzitna struktura, sa većim delom slobodnog ferita. Ovakav sadržaj strukture smatramo vrlo povoljnim, budući da je reč o delu profila točka koji je intenzivno izložen trošenju (habanju), a ovakva struktura karakteriše elemente poboljšano, odnosno povećanu tvrdoću i otpornosti na habanje što je i cilj.



Slika 6.6.2.2. Struktura mikroizbrusaka dodatnog materijala-navara na vencu monoblok točka [31]⁸⁴

[31]⁸⁴ Vuković, V., i inženjeri instituta „Objedinjenog Metalurškog Kombinata Rusije“, Viksa, 2010.

7. REZULTATI SOPSTVENIH EKSPERIMENTALNIH MERENJA I ISPITIVANJA BEZ RAZARANJA

7.1. Vizuelna kontrola

Obzirom na dosledno sprovednom, sasvim novom tehničko-tehnološkim postupkom održavanja venca monoblok točka železničkih vozila, kroz sve te studiozno koncipirane faze obnavljanja venca, postupci vizuelne kontrole svedeni su samo na mali deo naučnim posmatranjem određenih parametara točka. Za ovaj vid dijagnostikovanja potrebno je bogato stručno iskustvo u obalasti zavarivanja i obrade metala za šta uglavnom radionice koje se bave održavanjem železničkih vozila i te kako su bogate inženjerskim i stručno proizvodnim profilom ovog kadra, ko što je i sama radionica u Banjoj Luci gde je sproveden veći deo istraživačkog postupka predmeta doktorske disertacije. Ovom dijagnostičkom kontrolom izvršen je pregled i ocena nivoa kvaliteta sledećih parametara:

1. Prisustvo greške na obrađenoj površini profila kotrljanja i vencu u vidu neravnina, zareza, pukotina, uključaka u navaru venca, grubih odstupanja oblika, različitosti u površinskoj boji metala obrađivane površine kotrljanja i profila venca itd. Ovi parametri su kontrolisani uvećalom minimalno 20X, a rezultati ove vizuelne dijagnostike u potpunosti su zadovoljavajući.
2. Kvalitet površine u zoni profila površine kotrljanja i venca točka je uporednim etalon-testom dijagnostikovano, a rezultati su dati u tabeli 7.1.1.

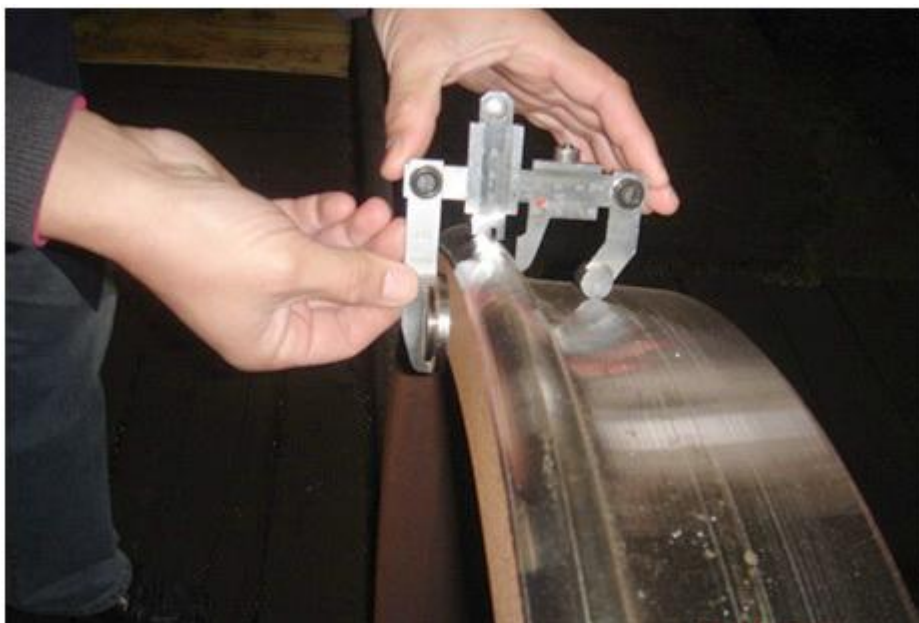
Mesto na točku	Dozvoljena hrapavost Ra (μm)	Izmerena hrapavost Ra (μm)
Gazeća površina točka	$\leq 12,5$	6,3
Profil venca točka	$\leq 12,5$	6,3
Površina oborene ivice oboda 5/45 ⁰	≤ 25	12,5
Čeone površine venca točka	$\leq 12,5$	6,3

Tabela 7.1.1. Dozvoljena i izmerena hrapavost površina eksperimentalnih točkova[32]⁸⁵

7.2. Dimenzionalna kontrola

Nakon sprovedenog tehnološkog procesa mašinskom obradom, skidanjem strugotine, profila kotrljanja i venca monoblok točka, sprovedena je dimenzionalna kontrola i tehnike merenja parametra venca i profila kotrljanja, kao i geometrije oblika, njihovo odstupanje od propisanih veličina. Na slikama 7.2.1. i 7.2.2. prikazani su specijalni merni i kontrolni uređaji pomoću kojih su sprovedene ove tehnike merenja i kontrole, a u tabeli 7.2.1. prikazani su dijagnostički rezultati profila kotrljanja i venca eksperimentalnih monoblok točkova kvaliteta ER7.

[32]⁸⁵ Vuković, V., i inženjeri laboratorije, „Železra“ Nikšić, 2010.



Slika 7.2.1. Merenje parametara profila venca eksperimentalno-eksploatacionih monoblok točkova nakon mašinske obrade



Slika 7.2.2. Kontrola oblika profila venca monoblok točkova nakon mašinske obrade

Rezultati sprovedeni geometrijskom dijagnostikom profila venca i ostalih bitnih geometrijskih veličina prikazani su u tabeli 7.2.1. za sve eksperimentalne osovine sklopove. Geometrijski oblik i dimenzije točkova su definisani standardom EN 13262 i UIC i odgovaraju vrednostima, dato u tabeli 3.2.2.1. teorijskom delu istraživanja ove doktorske disertacije.

Naziv veličine	Oznaka dužinske mere	Dozvoljene veličine	Veličine nakon mašinske obrade			
			Osovinski sklop 261229/69		Osovinski sklop 11694/83	
Unutrašnje odstojanje točkova	y_1	1360^{+2}	1360		1361	
Prečnik kruga kotrljanja	d_1	$920^{+4-7,4}$	Broj točka		Broj točka	
			01	02	03	04
			846,2	846,1	848	848
Debljina venca	$y_{14}(Vd)$	$32,5^{+0,5-7,5}$	32	32,8	33	32,8
Visina venca	$Z_1(Vv)$	$28^{+3-0,5}$	28	28,2	28	28,2
Širina oboda	y_{13}	$135^{\pm 1}$	136	136	135,9	135,6
Oblik venca	q_R	max.10,8 min. 6,5	10,4	10,5	10,6	10,6

a)

Naziv veličine	Oznaka dužinske mere	Dozvoljene veličine	Veličine nakon mašinske obrade			
			Osovinski sklop 06584 / 11.85		Osovinski sklop 06744/11.85	
Unutrašnje odstojanje točkova	y_1	1360^{+2}	1361		1360,5	
Prečnik kruga kotrljanja	d_1	$920^{+4-7,4}$	Broj točka		Broj točka	
			44	45	18/1	18/9
			895,2	895,2	905	905
Debljina venca	$y_{14}(Vd)$	$32,5^{+0,5-7,5}$	32	31,1	31	31,8
Visina venca	$Z_1(Vv)$	$28^{+3-0,5}$	28	28	27,7	27,3
Širina oboda	y_{13}	$135^{\pm 1}$	135	135,4	136,1	136,8
Oblik venca	q_R	max.10,8 min. 6,5	10,7	10,7	10,6	10,6

b)

Tabela 7.2.1. Rezultati merenja geometrijskih veličina profila točkova, nakon mašinske obrade:

a) osovinski sklopovi za eksperimentalno istraživanje

b) osovinski sklopovi za eksploataciono istraživanje

Za eksploatacioni proces istraživanja, sprovedno je dimenzionalno prilagođavanje dva osovinska sklopa poštujući odredbe UIC 812-3 i EN 13262 radi ugradnje u jedno obrtno postolje vagona serije Uaddf zž-86 44 934 6002-1. U tabeli 7.2.2. prikazani su rezultati merenja prečnika kotrljanja obrađenih eksperimentalno-eksplatacionih monoblok točkova.

Broj i serija eksploatacionog vagona	Obrtno postolje	Broj os. sklopa	Broj monoblok točka	Prečnik kruga kotrljanja	Napomena	
Uaddf zž broj 86 44 934 6002-1	I.	06584 / 11.85	44	895,2	Eksperimentalno-eksplatacioni os. sklopovi	
			45	895,2		
		06744/11.85	18/1	905		
			18/9	905		
	II.	261229/69	11694/83	01	896,2	Komparativni, eksploatacioni os. sklopovi
				02	895,8	
		03		895,2		
		04		895,5		

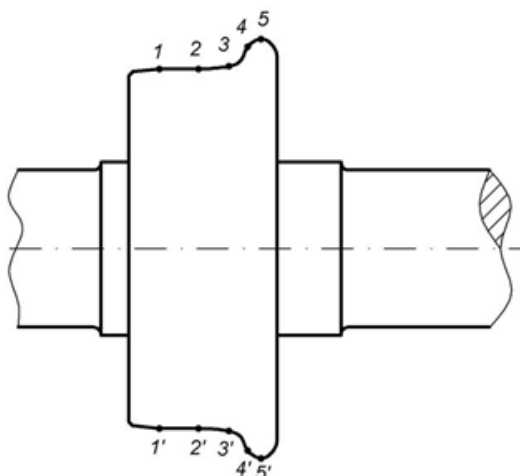
Tabela 7.2.2. Rezultati merenja nazivnog prečnika točkova i uparivanje osovinskih sklopova u obrtna postolja vagona serije Uaddf zž-86 44 934 6002-1

7.3. Merenje i rezultati merenja površinske tvrdoće venca i profila kotrljanja

Geometrijska složenost profila kotrljanja i venca točka, kao i konstrukciona složenost osovinskog sklopa, eliminisalo je primenu konvencionalnih uređaja za merenje tvrdoće i uslovalo primenu savremenih mobilnih uređaja koji svojom konstrukciom omogućavaju pouzdan pristup uređaja složenoj mernoj površini venca i profila kotrljanja. Zbog svoje pogodnosti i pouzdanosti dobijenih rezultata merenja, opredelili smo se za primenu mobilnog aparata koji funkcioniše prema UCI odskoka (eng. Ultrasonic Contact Impedance). slika 7.3.1. UCI metoda dinamičkog odskoka, zasnovana je na funkciji rada ispitivanja tvrdoće na principu metoda ultrazvučnom kontaktnom impedancijom, a ova tehnika ispitivanja tvrdoće opisana je u poglavlju 4.3.1.3. Na slici 7.3.2. prikazane su mesta merenja površinske tvrdoće po profilu kotrljanja u četiri podeone merne linije po obimu podeljene od 90°, a svaka podeona linija je merena u pet karakterističnih ispitnih tački. Rezultati ovog merenja površinske tvrdoće prikazani su u tabeli 7.3.1.



Slika 7.3.1. Merenje površinske tvrdoće profila kotrljanja i venca točka metodom UCI odskoka



Slika 7.3.2. Tačke merenja površinske tvrdoće po profilu kotrljanja i venca točka

Tačke merenja	Broj monoblok točka			
	01	02	03	04
1	242	246	240	245
2	246	240	242	244
3	270	272	268	278
4	272	270	268	266
5	278	281	272	275
1'	242	245	241	248
2'	248	240	245	243
3'	274	272	264	264
4'	270	271	268	272
5'	276	274	270	276

a)

Tačke merenja	Broj monoblok točka			
	44	45	18/1	18/9
1	238	242	244	245
2	240	240	252	244
3	272	271	269	275
4	268	270	264	268
5	266	264	270	275
1'	239	245	244	248
2'	238	240	244	243
3'	271	273	265	268
4'	272	274	269	273
5'	273	270	272	276

b)

Tabela 7.3.1. Rezultati merenja površinske tvrdoće parametara profila točkova: a-eksperimentalnih, b-eksperimentalno-eksploatacionih

Dobijeni rezultati ukazuju da sveukupna zona habanja površine kotrljanja i venca točka je pokazala zadovoljavajuće vrednosti, tj. da je minimalna tvrdoća po Brinelu, pri svakom merenju \geq od vrednosti 235 HB. Isto tako vrednosti tvrdoće koje su merene na vencu točka nalaze se u opsegu rasipanja manjem od 20 HB, što ukazuje na ujednačenost tehnoloških parametara koji su bili uticajni primenom sveobuhvatnog tehničko-tehnološkog procesa

navarivanja venca točka. Takođe ovi rezultati tvrdoće dodatnog materijala pokazuju uvećanu tvrdoću u odnosu na osnovni materijal, što svakako čini pozitivan element, bitan za eksploataciju, odnosno za proces smanjene potrošne materijala u kontaktu sa šinom.

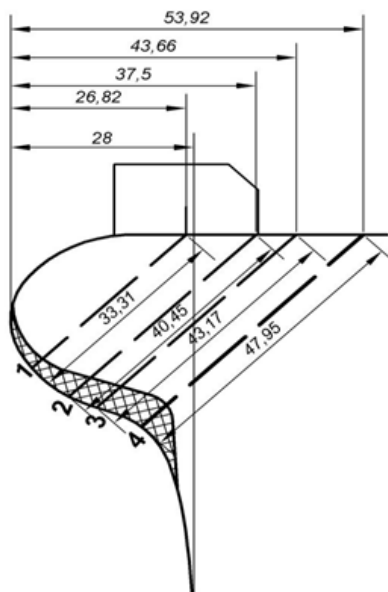
7.4. Rezultati ultrazvučne defektoskopije

U teoretskom i eksperimentalnom delu ovog istraživačkog rada, veliku pažnju smo posvetili izučavanju o domenu primene ultrazvučnih dijagnostičkih tehnika i tehnologija, na vitalne elemente železničkih sistema kao što je monoblok točak. Praktično je poznato da prisustvo greški u svakom materijalu pa i u materijalu venca točka i te kako može da prouzrokuje katastrofalne posledice pri procesu eksploatacije. Zato je naše opredeljenje da ultrazvučnoj defektoskopiji i te kako pripada važna tehnička dijagnostika pri procesu održavanja venca monoblok točka i ako ova dijagnostička tehnika nije obavezujuća procesom održavanja monoblok točkova sadašnjim načinom, tj samo-profilisanjem prečnika kotrljanja točka, tako i pri eksploatacionoj funkciji. U procesu eksperimentalnih i eksploatacionih ispitivanja monoblok točkova čiji su venci obnovljeni navrivanjem, ona nam je i te kako dala dragocene tehničke podatke za otkrivanje i određivanje podpovršinskih pogrešaka u zavarenom spoju i osnovnom materijalu venca. Sav tehnološki proces ultrazvučne defektoskopije je usklađen sa EN 26520.

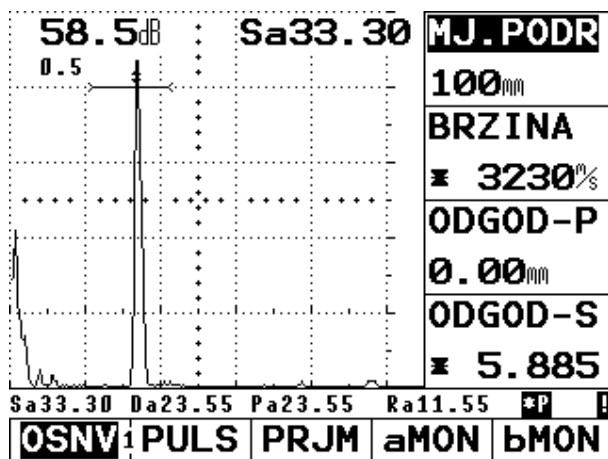
Pre samih odluka o uvrštavanju osovinskih sklopova u eksploataciju, a koja su podvrgnuta eksperimentalnim i eksploatacionim istraživanju primenili smo dijagnostikovanje oboda i venca točka kvaliteta ER7. Na slici 7.4.1. prikazan način dijagnostikovanja ultrazvučnim aparatom, koji je novije generacije, a o kome je bilo reči u poglavlju 4.3. a položaj pružanja ultrazvučnih talasa navarenog venca točka prikazan je na slici 7.4.2. Ultrazvučnoj dijagnostici su podvrgnuti osnovni i dodatni materijal venca monoblok točka koji je obnovljen navrivanjem kod svih eksperimentalnim i eksploatacionim osovinskim sklopovima. Dobijeni rezultati su prikazani zapisom uređaja u obliku dijagrama za svaki monoblok točak slika 7.4.3; 7.4.4; 7.4.5; 7.4.6; 7.4.7; 7.4.8; 7.4.9 i 7.4.10, a pojašnjenja tih dijagrama su opisana u prilogu.



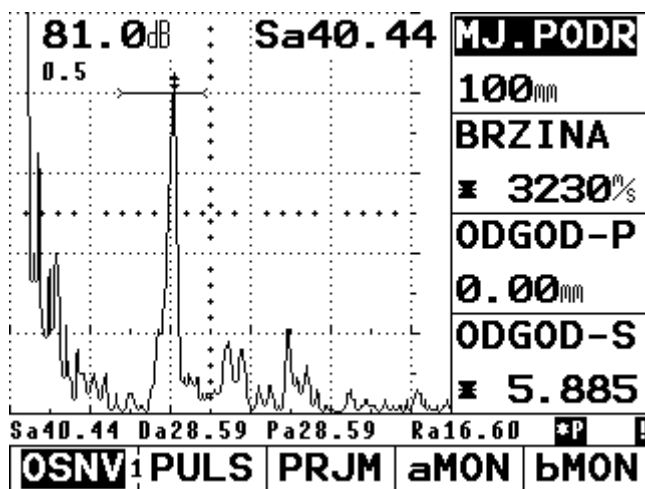
Slika 7.4.1. Ultrazvučna defektoskopija obnovljenog venca monoblok točka kvaliteta ER7



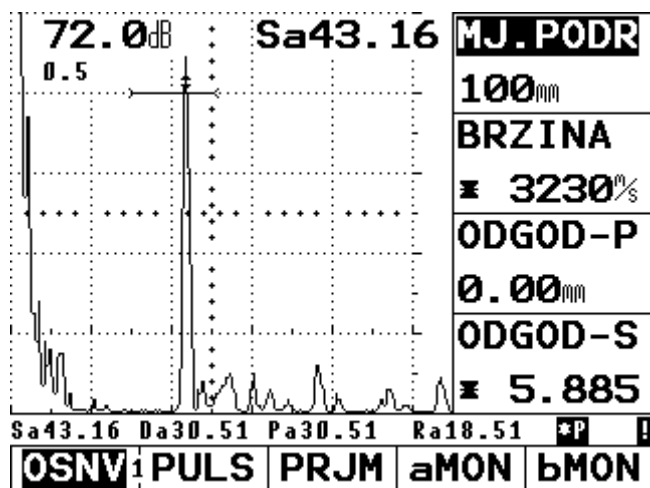
Slika 7.4.2. Pravci usmernja ultrazvučnih talasa na vencu točka



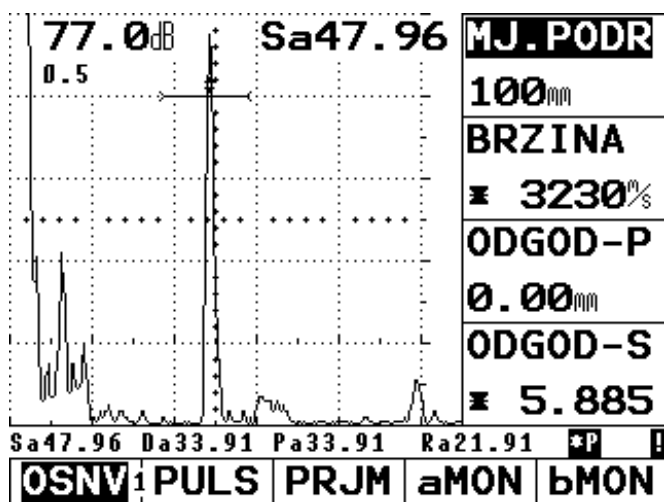
Slika 7.4.3. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka br. „44“



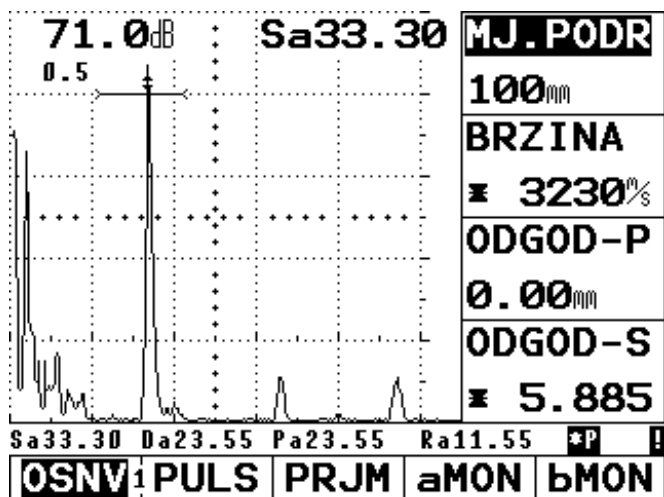
Slika 7.4.4. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka br. „4“



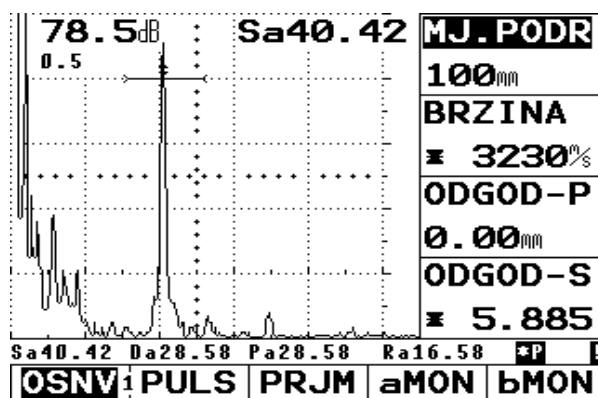
Slika 7.4.5. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka br. „18/1“.



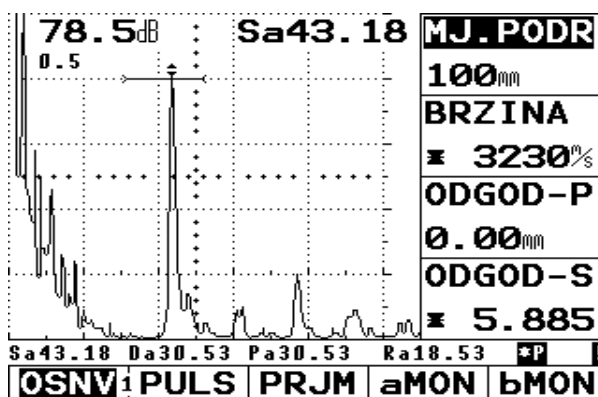
Slika 7.4.6. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka br. „18/9“.



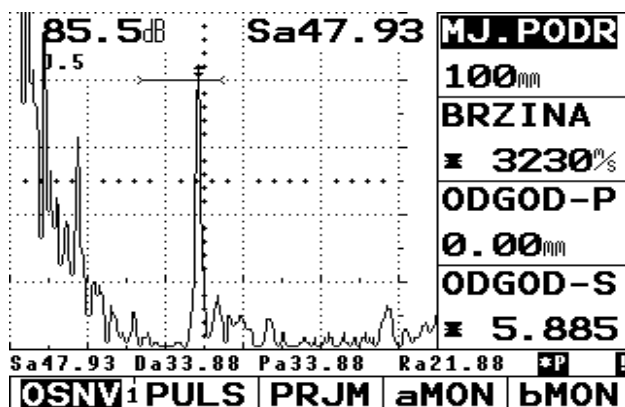
Slika 7.4.7. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka br. „01“.



Slika 7.4.8. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka br. „02“



Slika 7.4.9. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka br. „03“



Slika 7.4.10. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka br. „04“

Sa grafikona je vidljivo da direktnim ultrazvučnim prozvučavanjem venca monoblok točka nisu zapažene nikakve značajne i nedozvoljene greške u dodatnom i osnovnom materijala.

7.5. Rezultati ispitivanja zaostalih napona nakon navarivanja venca, ultrazvučnom metodom

Sa stanovišta teorijskog izučavanja, tehnološkim procesom navarivanja venca monoblok točka prisutni su zaostali naponi, kao posledica neuravnotežnog hlađenja metala šava i osnovnog metala. Posledica te neravnomernosti je, da se venac i obod točka, a neadekvatnom tehnologijom, brže zagreju i nakon toga brže ohlade. Metal šava i ZUT, zbog hladnog osnovnog materijala u okolini, ne mogu da se slobodno termički šire i skupljaju, što uzrokuje pojavu napona, koji su posle zavarivanja prisutni u šavu i najbližoj okolini. To znači da su u zavarenom spoju uvek prisutni zaostali naponi, kao posledica neuravnotežnog hlađenja metala šava i osnovnog metala. Kontrolisano stvaranje napona

nakon navrivanja venca i te kako zavisi od tehnologije zavarivanja, što znači da se ti naponi ispravnim tehnološkim postupkom mogu svesti na minimalne vrednosti čemu je svakako u ovoj disertaciji procesom istraživanja i te kako posvećena posebna naučna pažnja.

Merenje napona u vencu i obodu monoblok točka koji su produkovani navrivanjem venca sprovedno je ultrazvučnim postupkom merenja. Pri tome se koristio akusto-elastični efekat, koji opisuje uticaj elastičnog dilatacionog stanja na brzinu širenja ultrazvučnih talasa. Primena ove mobilne dijagnostičke tehnike merenja i ispitivanja zaostalih napona, nastalih procesom varenja, i napona produkovanim mehničkim i termčkim dejstvima, metodama bez razaranja je savremena i pouzdana tehnološka dijagnostika koja je primenljiva na železničkim voznim sredstvima [63]⁸⁶.

Postojeći naponi u materijalu venca točka će uzrokovati različite brzine polarizovanih ultrazvučnih talasa, te će uzrokovati interferencije, tako što će proizvesti na ekranu aparata različite amplitude i faze emitovanih talasa na osnovu čijeg merenja se utvrđuje intezitet naprezanja [28]⁸⁷. Na slici 7.5.1. prikazan je uređaj za merenje napona u vencu i obodu monoblok točka koji su nastali procesom obnavljanja venca-navrivanjem. Ovim merenjem dobijeni su rezultati prikazani u tabeli 7.5.1.



Slika 7.5.1. Ispitivanje zaostalih napona u vencu i obodu točka nakon navrivanja

Broj osovinskog sloga	Br. točka	Maksimalne vrednosti zaostalih napona	Po UIC 510-5 i EN	Istraživačka namena
		U vencu i obodu točka	MPa	
06584 / 11.85	44	-132	±300	Za eksperimnetalno i eksploaciono istraživanje
	45	-032	±300	
06744/11.85	18/1	-44	±300	
	18/9	-38	±300	
11694/83	03	143	±300	Za eksperimentalno istraživanje
	04	150	±300	
261229/69	01	120	±300	
	02	98	±300	

Tabela 7.5.1. Vrednosti zaostalih napona nakon navrivanja venca točka

[63]⁸⁶ B 169/RP 6: Kontrola monoblok točkova u eksploataciji. Ultrazvučno određivanje zaostalolih naprezanja u obodu monoblok točkova, bez razaranja, Februar 1996

[28]⁸⁷ Vuković, V., Radić, R., Čudić, S., Resurfacing monoblock of steel R7T wheel rims (MBW) for the train wagons. Metallurgy, 2011. ISSN 0543-5846, Metabk 50 (2) 73-144 (2011)

8. TEHNOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

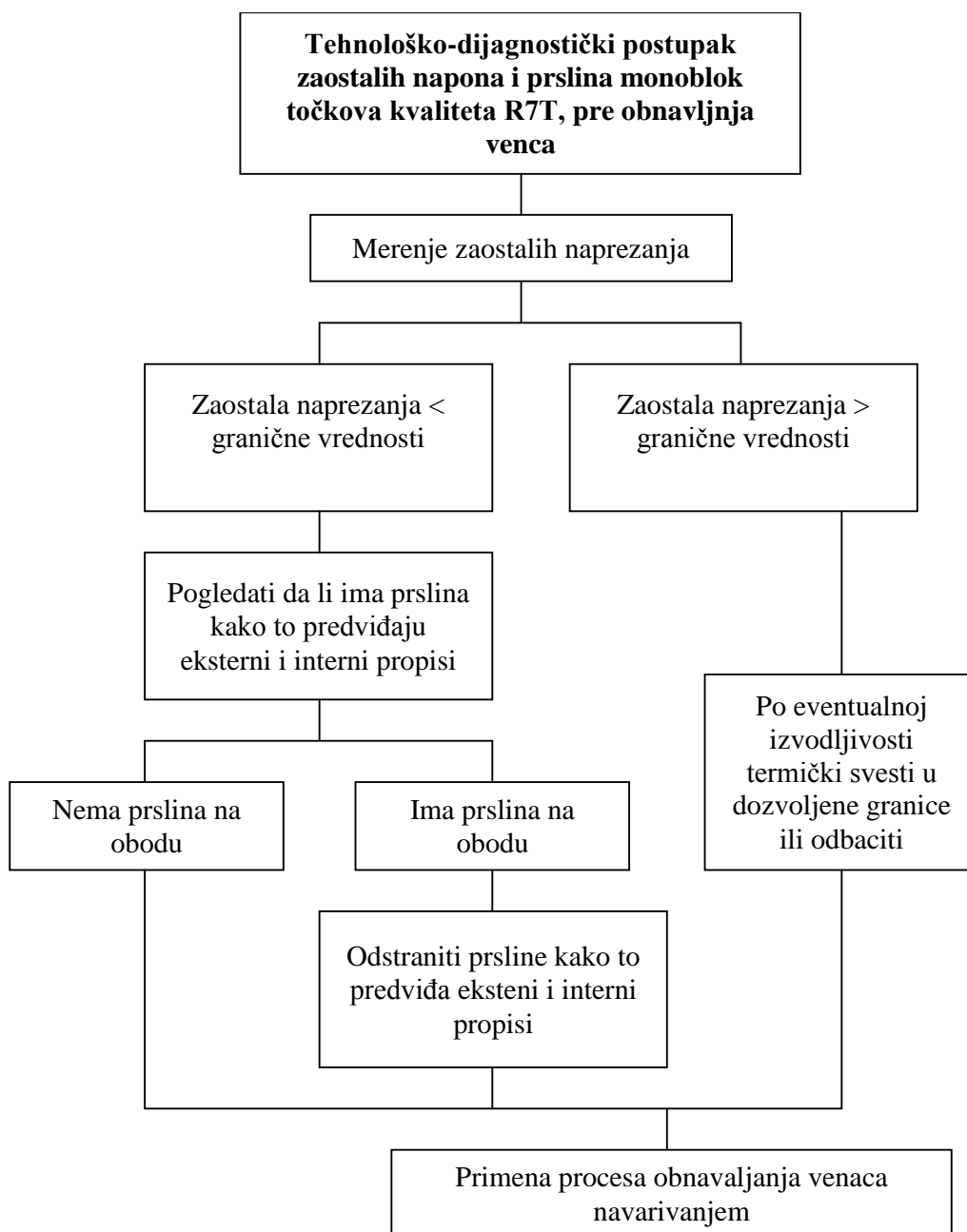
Opšte o tehnološkom istraživanju

Cilj tehnološkog istraživanja je da se na osnovu sprovedenog tehnološkog postupka održavanja venca monoblok točka, i dobijenih rezultata eksperimentalnog istraživanja definiše sveobuhvatan tehnološki postupak održavanja venca točka za ceo eksploatcioni životni vek, kao i prezentuju tehnološki elementi opravdanosti primene takvog tehničko-tehnološkog postupka održavanja venca monoblok točka kvaliteta ER7, navrivanjem. Ovakva nova tehničko-tehnološka dokazivanja izvodljivosti održavanja venca monoblok točka kvaliteta materijala ER7, potvrđuje osnovnu hipotezu istraživanja doktorske disertacije, zalazeći i u sveru ekonomije, pa se, opravdano, nameće i potreba istraživanja racionalizacije i ekonomske opravdanosti.

8.1. Tehnološko-dijagnostički postupak točka nakon navarivanja venca

Točak železničkog vozila je jedan od osnovnih vitalnih mašinskih elementa železničkog vozila i od njega se traži maksimalna pouzdanost pri procesu eksploatacije. Zbog toga je neophodno pre tehnološkog procesa primene obnavljanja venca točka, dijagnostikovati obod i venac točka na najopasnije moguće greške koje su, uglavnom, i uzročnici otkaza, a time i katastrofalnih nesreća[39]⁸⁸. Te greške u točku, uglavnom su produkt složenih statičko-dinamičkih i termičkih opterećenja koji nastaju pri procesu eksploatacije i prethodnog stanja uzrokovan navrivanjem venca. Ovi uzročnici dovode do povećanja naponskog i moguće produkcije mikro i makro prslina u materijalu venca i obodu točka. Dijagnostikovanje ovih mana, treba sprovesti savremenim i pouzdanim dijagnostičkim uređajima i instrumentima, i to metodama bez razaranja, koji egzistiraju na polju ultrazvučne ipetencije. Na slici 8.1.1.dat je grafički prikaz postupka dijagnostike točka pre procesa obnavljanja venca.

[39]⁸⁸ Vuković, V., Jurić, S.: *Nastanak i širenje oštećenja usled zamora u elementima konstrukcije i metode za sprečavanje*, Društvo za energetska efikasnost Bosne i Hercegovine (RS), Časopis „Razvoj i Upravljanje“, broj 1, Banja Luka, april 2008.



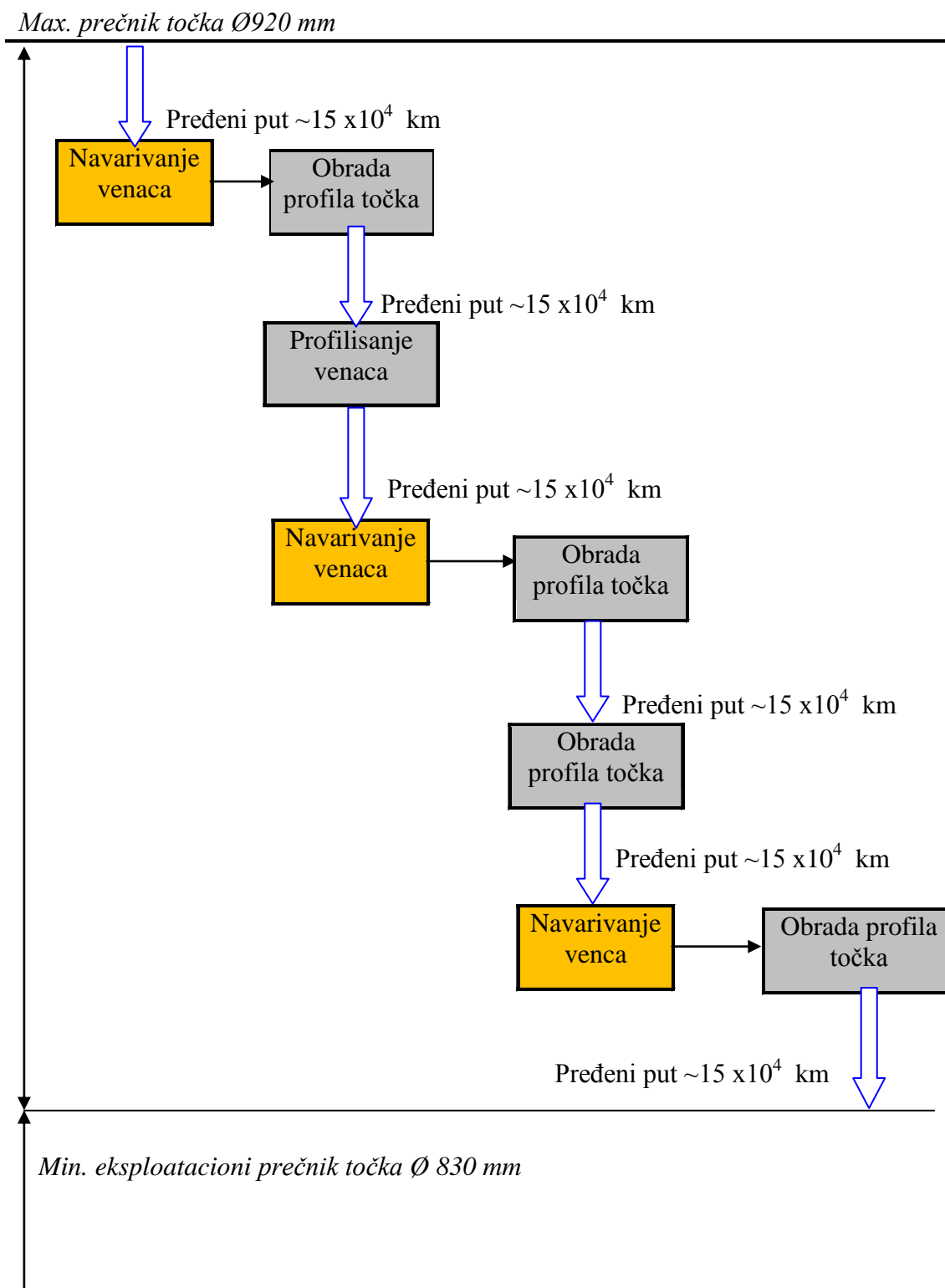
Slika 8.1.1. Alogoritam dijagnostike venca i oboda monoblok točka nakon prvog eksploatacionog trošenja i tehnološkog toka održavanja [43]⁸⁹

Sprovedenjem dijagnostičko-tehnološkog zahvata stanja monoblok točka i dobijenih zadovoljavajućih rezultata ispitivanja, stvoreni su polazni tehnički elementi za pristup primene tehničko-tehnološkog postupka održavanja venca po metodologiji eksperimentalnog istraživanja, a tok održavanja je u direktnoj vezi sa primenjenim načinom održavanja venca točka.

[43]⁸⁹ Vuković, V., Brkić, R.: *Primena nove tehnologije u železničkom integralnom sistemu*, Društvo za energetska efikasnost Bosne i Hercegovine (RS), Časopis „Energetska Efikasnost“, broj 3, Banja Luka, april 2008.

8.2. Tehnološki tok održavanja venca monoblok točka procesom eksploatacije

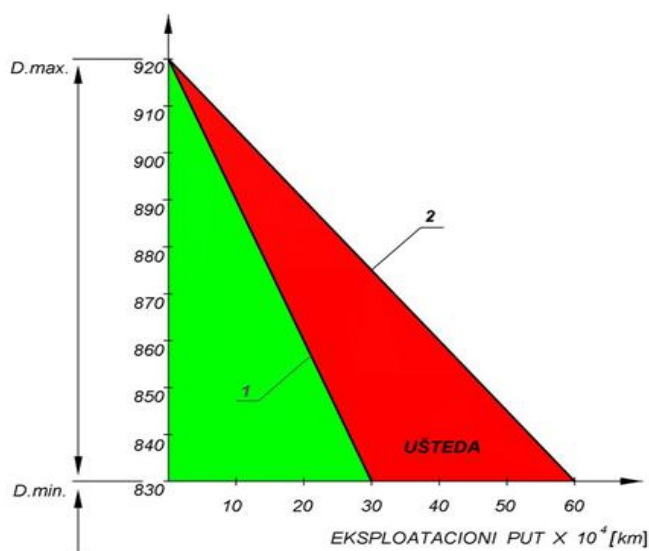
Zavisno od prethodnog primenjenog tehnički-tehnološkog postupka održavanja venca monoblok točka kvaliteta ER7, svaki naredni tehnološki zahvat je metodološki suprotan prethodnom tj. samoprofilisanje i po metodologiji eksperimentalnog istraživanja takav tehnološki postupak održavanja venca točka je primenjen za ceo eksploatacioni vek. Na slici 8.2.1. prikazan je takav tehnološki tok održavanja venca točka kvaliteta materijala ER7.



Slika 8.2.1. Novi tehnološki postupak održavanja profila točka procesom eksploatacije

Sa tehnološkog dijagrama toka održavanja vena monoblok točka kvaliteta ER7, vidljivo je da se naizmenično smenjuje tehnološke različite metode održavanja vena točka, tj. primenom tehničko-tehnološkog postupka navrivanja vena i primena tehnološkog postupka samoprofilisanje površine kotrljanja tj. po sadašnjoj metodologiji održavanja [27]⁹⁰. Ovakvim tehnološkim postupom održavanja vena točka za svoj eksploatacioni vek, sa pouzdanošću dovodimo do eliminacije zaostalih napona u vencu točka, koji su nastali eksploatacionim procesom i prethodnim procesom obnavljanja vena navarivanjem. Pored zaostalih napona u vencu točka, blagovremeno identifikujemo ili sprečavamo produkciju postojećih toplih i hladnih prslina, kao i produkciju novih incijalnih pukotina koje se, uglavnom, pojavljuju uzastopnim procesom regeneracije navarivanjem, uz dozirana teška mehanička i kinetička opterećenja pri procesu eksploatacije, o čemu smo u prethodnim istraživanjima dali značajan naučno-istraživački doprinos celokupnom procesu istraživanja ove disertacije.

Primenom ovakvog tehnološkog postupka održavanje vena monoblok točka je dalo očekivani doprinos, produžavajući eksploatacioni vek monoblok točku, minimalno jedan put ili 100%. Ovim tehnološkim unapređenjem, ispunjen je uslov pomoćne hipoteze, a to jest da novi koncept tehničko-tehnološkog postupka održavanja vena točka navrivanjem je isplativ i ekonomski opravdan postupak, postizući značajne uštede. Ovim novim tehničko-tehnološkim procesom održavanja vena navarivanjem, je dokazana izvodljivost primene postupka održavanja u postojećim radioničkim kapacitetima za održavanje železničkih vozila naših zemalja, pa čak i šire. Kao osnovni element istraživanja ekonomičnosti primene održavanja vena monoblok točka kvaliteta ER7 navarivanjem jeste sam eksploatacioni vek produkovan jedinicom pređenog puta. Analizom dobijenih eksploatacionih rezultata, tj. naizmeničnim procesom održavanja vena monoblok točka, pokazano je na dijagramu slika 8.2.2. iskazano u dužini pređenog puta u slučaju sadašnjeg načina održavanja vena monoblok točka i tehničko-tehnološkim postupkom održavanja predmeta doktorske disertacije.



Slika. 8.2.2. Pređeni put točka po sistemu održavanja navarivanjem vena (crvena boja - 2) i po načinu sadašnjeg održavanja (zelena boja - 1) [28]

Dobijene vrednosti potvrđuju pretpostavku da se sistemom primene tehničko-tehnološkog postupka održavanja vena navrivanjem, mogu ostvariti značajne uštede u potrošnji vrlo

[28]⁹⁰ Vuković, V., Radić, R., Čudić, S., *Resurfacing monoblock of steel R7T wheel rims (MBW) for the train wagons*. Metallurgy, 2011. ISSN 0543-5846, Metabk 50 (2) 73-144 (2011)

skupog i vitalnog dela monoblok točka kvaliteta ER7, a time i povećanje učinka u odnosu sadašnji tehnološki sistem održavanja profila i venca, a to jest samo profilisanjem nakon potrošnje parametra profila kotrljanja.

8.3. Troškovi održavanja venca monoblok točka, postupkom obnavljanja-navrivanjem u toku eksploatacionog veka

Ekonomski pokazatelji troškova svih parametara pri primeni postupka obnavljanja venca monoblok točka železničkih vozila, mogu se izraziti zbirnom kalkulacijom troškova koji učestvuju kroz proces navrivanja. Ukupni troškovi obnavljanja venca točka navrivanjem je zbir parcijalnih troškova koji čine: troškovi dodatnog materijala-elektrodne žice za navarivanje, troškovi električne energije, troškovi zaštitnog praha, troškovi radne snage i troškovi stroja (uređaja za zavarivanje). [152]⁹¹

1. Troškovi žice za navrivanje

$$T_z = C_z \times k_z \quad [8.1]$$

C_z – cena elektrodne žice za navrivanje [€]

k_z = količina žice za navrivanje venca točka sa maksimalnim brojem navara (osam), [kg]

$C_z = 2,46$ [€/kg] žice, (jedinična cena žice)

$k_z = 8$ kg žice/točak sa osam navara

$$T_z = C_z \times k_z = 2,46 \times 8 = 19,68 \text{ [€/točka]}$$

2. Troškovi električne energije

$$T_e = C_e \cdot \left[\frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_t} \cdot \varepsilon + P_o \cdot (1 - \varepsilon) \right] \cdot \frac{l}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ [€/kg]} \quad [8.2]$$

$U = 30$ [V]

$I = 450$ [A] - (vrednosti iz režima rada mašine)

$\eta_t = 0,8$ - (vrednost za ispravljač)

$\varepsilon = 0,7$ - (vrednost za ispravljač)

$P_o = 0,7$ kW - (vrednost za ispravljač)

$K_1 = 4,615$ [kg/h] - (potrošnja elektrodne žice na čas)

$C_e = 0,15$ [€/1kWh] - (jedinična cena električne energije)

$$T_e = 0,15 \times \left[\frac{30 \times 450}{1000 \cdot 0,8} \times 0,7 + 0,7 \times (1 - 0,7) \right] \times \frac{1}{4,615 \cdot 0,7} = 3,72 \text{ [€/kg]}$$

$$T_{eu} = 3,72 \times 1,77 = 6,58 \text{ [€/točak]}$$

[152]⁹¹ Filipović, N., *Navarivanje bandaža točkova šinskih vozila*, Zavod za zavarivanje, Beograd, 1989.

3. Trošak zaštitnog praha

$$T_p = K_p \times C_{pr} [\text{€/točak}]$$

K_p - [kg/točka] - (količina utroška zaštitnog praška na jedan točak)

C_{pr} - [€/kg] - (cena zaštitnog praška/kg)

$$T_p = 4,5 \times 2,1 = 9,45 \quad [\text{€/točak}]$$

4. Trošak norma sata radnika i stroja za navarivanje

$$T_{RS} = \frac{ODI}{kt \cdot \varepsilon}, \quad [\text{€/točak}]$$

$$ODI = 18,00 \quad [\text{€/h}]$$

$$T_{RS} = \frac{18,00 \times 1,77}{4,615 \times 0,7} = 9,59 \quad [\text{€/točak}]$$

5. Ukupan trošak navrivanja venca monoblok točka kvaliteta R7T

$$T_{uk} = \sum_{i=1}^4 T_i = 19,68 + 6,58 + 9,45 + 9,59$$

$$T_{uk} = 45,30 \quad [\text{€/točak}] \text{ - za jedno navarivanje}$$

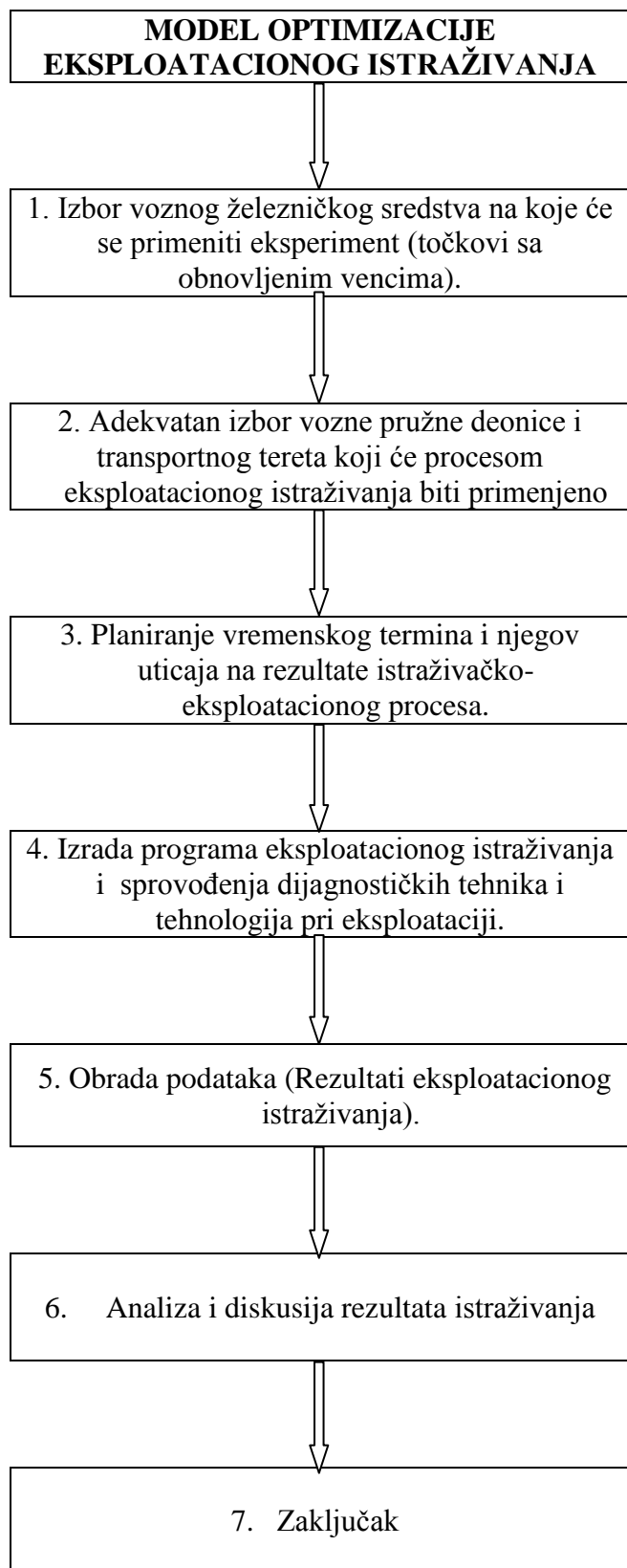
Održavanje venca monoblok točka, postupkom obnavljanja venca-navrivanjem, za ceo eksploatacioni vek je izvodljiv 3 puta, a ukupni troškovi održavanja su:

$$T_{uk.eks.} = 45,30 \times 3 = 135,90 \quad [€]$$

9. EKSPLOATACIONA ISTRAŽIVANJA

Vrlo važan segment ovog istraživačkog rada, predmeta disertacije je svakako eksploataciono istraživanje. Eksploataciono istraživanje je u suštini istraživačko-naučni proces koji je sproveden u realnim eksploatacionim uslovima i kriterijumima u cilju dobijanja svih relevantnih parametara potrebnih za naučnu analizu i donošenje odluka za pouzdanu ocenu uspešnosti celokupnog naučno-istraživačkog rada doktorske disertacije.

Imajući za činjenicu da je monoblok točak vitalni deo železničkog vozila i da eksploataciono istraživački proces nad takvim elementima nije izvodljiv bez kompetentnih odluka i odobrenja organa resornog ministarstva sopstvene železničke uprave, otuda nam se namentnula zahtevna potreba naučne analiza i dokazivanja pouzdanosti sprovedenog eksperimentalnog istraživanja od strane ekspertnog tehničkog tela železničke uprave ŽRS. Takvom procedurom stečeni su polazni elementi istražiocu za sprovođenje sveobuhvatnih aktivnosti potrebnih za eksploataciono istraživanje, a koje je obuhvatalo više faza naučnih aktivnosti. Model prikazan u ovom poglavlju na slici 9.1. obuhvata faze aktivnosti sopstvenog eksploatacionog istraživanja u vidu blok-dijagrama.



Slika 9.1. Blok dijagram sopstvenog modela eksploatacionog istraživanja[47]⁹²

[47]⁹² Vuković, V., Adamović, Ž., Nestorović, G., Radojević, M.,: *Savremena metodologija održavanja*, Društvo za energetska efikasnost „Bosne i Hercegovine Zbornik radova“, „Razvoj i održavanje železničkih transportnih sredstava“, broj 2-3, Banja Luka, april 2008.

9.1. Izbor voznog železničkog sredstva na koje će se primeniti eksperiment (točkovi sa obnovljenim vencima)

Izbor tipa i serije vagona za ugradnju osovinskih sklopova sa točkovima koji su predmet istraživanja ove disertacije, i sprovođenje eksploatacionog istraživanja, imalo je višestruk zanačaj. Kao uticajni faktor na izbor tipa i serije vagona je bezbednosni element na ljudski faktor koji se odvijao procesom eksploatacionog istraživanja. Pored tog faktora, a na relevantnost rezultata istraživanja, uticajan je bio element sastava voza, to jest sam broj voznih jedinica istog programa u vozu, a koji neće biti manji od 3 vagona, a veći od 8 vagona. Takav sastav voza je omogućio efikasno delovanje snimačima-dijagnostičarima za uzimanje definisanih parametara eksperimentalnih točkova predviđenih dijagnostičkim, opisanim u poglavlju 9.5. i time bez dužih zadržavanja izbegli veće zastoje i poremećaje plana odvijanja predmetne vozne kompozicije. Te i ostale zahtevne karakteristike opredelile su nas za izbor teretnog vagona serije **Uaddf zž broj 86 44 934 6002-1** prikazanog na slici 9.1.1.



Slika 9.1.1. Terceni vagon serije Uaddf zž broj 86 44 934 6002-1, u procesu eksploatacionog istraživanja

Tehničke karakteristike vagona bitne za eksploataciono istraživanje:

<i>a.</i>	najveća dopuštena brzina	120 [km/h]
<i>b.</i>	odstojanje preko odbojnika.....	12240 [mm]
<i>c.</i>	ukupna visina	3752 [mm]
<i>d.</i>	odstojanje između centralnih svornjaka.....	7200 [mm]
<i>e.</i>	broj osovina	4
<i>f.</i>	sopstvena masa.....	21 [t]
<i>g.</i>	najmanji radijus krivine.....	60 [m]
<i>h.</i>	nosivost vagona.....	59 [t]
<i>i.</i>	ručna kočnica.....	–
<i>j.</i>	zaustavna kočnica.....	+
<i>k.</i>	zapremina teretnog prostora.....	34 [m ³]

10.2. Izbor pružne deonice i transportnog tereta procesom eksploatacionog istraživanja

Vagon Uaddf zž broj 86 44 934 6002-1 je četveroosovinski otvorenog tipa, namenjen za prevoz rasutih tereta kao što su tučenac (drobljenac), lomljeni kamen, ugalj, i drugi materijali granulacije veće od 1mm, a koje nije potrebno zaštititi od atmosferskih uticaja. Teret se utovara odozgo, a istovar se izvodi uz pomoć gravitacije po ispusnim levcima delimičnim ili pak potpunim otvaranjem jednog otvora ili više njih na jednoj strani ili na obe strane vagona. Protok tereta kroz istovarni otvor moguće je podesiti ili potpuno prekinuti. Uz pomoć dopunskih uređaja ugrađenih na kraju levaka teret je moguće usmeriti ili na stranu ili pod vagon između tračnica.

Koristeći okolnosti generalnog remonta pruga Željeznice Republike Srpske, na relacijama Čelinac-Doboj tokom 2009, 2010, 2011 i 2012 godine, vagon na kome su ugrađeni eksperimentalni osovinski sklopovi, uključen je u transportnu kompoziciju za odvoz i dovoz novog kamenog tucanika. Dovož kamnog tucanika za ove potrebe obavljao se iz Republike Hrvatske tako da vagon eksploatacionom funkcijom se kretao prugama Hrvatske, Republike Srbije i prugama Bosne i Hercegovine. Vagon je tovaren tertom kamenog tucanika u proseku 52 t za svo vreme eksploatacionog istraživanja. Učestalost transportnog obaraćanja se obavljala skoro svakodnevno u građevinskoj sezoni, tj. februar-novembar mesec tekuće godine.

10.3. Planiranje vremenskog termina i njegov uticaja na rezultate istraživačko-eksploatacionog procesa

Vremenski period eksploatacionog istraživanja i te kako imao je važnu ulogu u procesu naučnog dokazivanja i donošenja odluka o daljim akcijama koje treba preduzeti za realizaciju celokupnog istraživačkog procesa predmeta disertacije. Za donošenje pouzdanih naučnih saznanja i odluka, baziranih na analizi rezultata eksploatacionog istraživanja, svakako se namentnulo naučno saznanje o vremenskim elementima uticaja na istraživački proces disertacije. Sa tog stanovišta, istraživačko-eksploatacioni proces je sproveden u različitim vremenskim i klimanskim uslovima, to jest u ekstremno visokim temperaturama i ekstremno niskim temperaturama, koje vladaju na prostoru naših država. Taj faktor je uslovio proces eksploatacionog istraživanja u minimalnom trajanju od godinu dana što je i učinjeno. Pristup eksploatacionom istraživanju počeli smo juna 2009 godine, a poslednji dijagnostički rezultati su snimani avgusta 2012 godine.

Pored vremenskog uticaja na eksploataciono-istraživačke rezultate, značajan uticaj imalo je stanje pruga. Odabir pruge odnosno izbor pružne deonice je pokazivalo različite eksploataciono-istraživačke rezultate, a koje se odlikuju kao, isključivo, ravničarske pruge sa mnogo krivina i različitih radijusa i pruge sa mnogo padova i uspona. Ove karakteristike pruga i te kako su uticale na mehaničke karakteristike bitnih parmetra venca i oboda monoblok točka. Rezultati dobijeni u ovakvim eksploatacionim uslovima su dalo naučno saznanje i pokazatelje koji mogu biti od vrlo velikog značaja za daljnja istraživanja na polju uticaja koloseka na točkove.

10.4. Izrada programa istraživanja i sprovođenja dijagnostičkih tehnika i tehnologija pri eksploataciji

Izrada programa eksploatacionog istraživanja u okviru disertacije obuhvata aktivnosti realizovane u periodu koji može uslovno da se podeli u dva osnovna dela:

1. višegodišnja istraživanja u oblasti primene novih tehnologija održavanja vitalnog dela železničkog vozila – monoblok točka kvaliteta ER7 obnavljanjem venacana-
navarivanjem i
2. istraživanja mogućnosti primene savremenih dijagnostičkih tehnika, procesom eksploatacije obnovljenih venaca monoblok točka kvaliteta materijala ER7, u cilju postizanja zadovoljavajućeg nivoa pouzdanosti.

Istraživanja u oblasti primene novih tehnologija održavanja venca monoblok točka kvaliteta ER7, obuhvata izradu termina plana svih faza i aktivnosti u okviru celokupnog istraživanja. Planom je predviđeno da sve istraživačke aktivnosti budu završene za 48 meseci i prikazan je u tabeli 10.4.1.

Projekat istraživanja, u okviru disertacije je finansijski podržan od strane Željeznice Republike Srpske, proizvođača dodatnog i zaštitnog materijala „UTP“ iz Nemačke i Fabrike elektroda „Jesenice“ Republika Slovenija, akreditovanih instituta i laboratorija kao što su „Objedinjeni Metaluruški Konbinat“ Rusije, Viksa; „Željezare“ Nikšić; Livnice Čelika „Jelšingrad“ Banja Luka; „Metalotehna“ Kneževo i „Bratsvo“ Subotica. Svi realni troškovi koji su nastali procesom sprovođenja eksperimenta u sopstvenim radioničkim uslovima i troškovi nastali procesom eksploatacionog istraživanja su pokriveni sredstvima Željeznice Republike Srpske.

U tabeli 9.4.1. dat je termin plana svih aktivnosti u okviru ovog programa istraživanja sa faznim vremenskim pokazateljima do kada trebaju da budu završeni u toku 4 godine.

Red. broj	Faze istraživanja	Termin															
		I godina				II godina				III godina				IV godina			
1.	Identifikacija problema	█	█	█	█												
2.	Projektovanje istraživanja			█	█												
3.	Verifikacija i usaglašvanjae projekta istraživanja sa zakonodavnim železničkim organima					█											
4.	Izrada termina plana svih istraživačko-faznih aktivnosti					█	█										
5.	Sprovođenje teoretsko-naučnih faza istraživanja					█	█	█									
6.	Realizacija eksperimentarno-istraživačkog procesa i laboratorijskih istraživanja							█	█	█							
7.	Obrada podataka istraživanja									█	█	█					
8.	Sprovođene eksploatacionog istraživačkog procesa									█	█	█	█	█	█	█	
9.	Analiza istraživačkih rezultata i parametara ekonomske analize														█	█	█
10.	Izrada završnih elaborata o sprovedenim istraživanjima														█	█	█
11.	Izrada doktorske disertacije													█	█	█	█

Tabela 9.4.1 Termin plana aktivnosti u okviru svih programa istraživanja

U složenim eksploatacionim železničkim uslovima, veoma je značajno pravovremena identifikacija potencionalnih nepouzdanih dijagnostičkih parametara venca točka. S obzirom da su sistemi za dijagnostiku projektovani i sprovedeni standardnim dijagnostičkim metodama i postupcima (regulisani železničkim odredbama), pri procesu završne dijagnostičke kontrole i primopredaje točkova eksploatatoru, u ovom delu istraživanja obrađene su i primenjene dijagnostičke tehnike, sprovedene u procesu eksploatacije na točkovima obnovljenih venaca, a u cilju povećanja zadovoljavajućeg nivoa pouzdanosti. Ove dijagnostičke tehnike i postupci spadaju u grupu nerazornih ispitivanja stanja materijala venca točka, čije su tehnološki postupci dijagnostikovanja primenljivi mobilnim dijagnostičkim aparatima i uređajima ovog vremena.

U poglavlju 3. (teoretska) i 4. (eksperimentalna) istraživanja, a zasnovanim na naučnim postavkama, dokazali smo mogućnost i pojave nastanka slabih mesta na obnovljenom vencu točka, zbog toga smo ovom istraživačkom analizom definisali primenljive dijagnostičke tehnike i tehnologije procesom eksploatacionog istraživanja sa karakterističnim terminima i uslovima sprovođenja u klasičnim radioničkim prostorima i na terenu.

Ova faza istraživačkog procesa je deo verifikacije pomoćne hipoteze u okviru eksploatacionog istraživanja disertacije. Eksploatacioni proces istraživanja uz fazno dijagnostički proces, sproveden je u vremenskom intervalu od juna 2009 godine do juna 2012 godine. Aktivnosti sprovedene u okviru ove faze, date su u tabelarnom pregledu 9.4.2. sa opisanim dijagnostičkim tehnikama i tehnologijama i iskazanim meritornim parametrima monoblok točka nad kojima je sproveden nov tehničko-tehnološki proces održavanja venca.

DIJAGNOSTIČKI PARAMETRI TOČKA	DIJAGNOSTIČKA TEHNIKA	TERMINI DIJAGNOSTIKOVANJA		
		Procesom TO po svakom otkazu	Procesom KP svakih mesec dana	Procesom VD po slučajnim događajima
Ispitivanja naponskog stanja u vencu i obodu točka	Mobilnim ultrazvučnim aparatom	+	+	+
Ispitivanja incijalnih pukotina u vencu i obodu točka	Mobilnim ultrazvučnim aparatom	+	+	+
Ispitivanje površinske tvrdoće venca i oboda točka	Mobilnim aparatom na principu dinamičkog odskoka UCI metodom	+	+	+
Merenje geometrijskih parametra venca točka	Specijalnim mernim i kontrolnim uređajima	+	+	+
Vizuelni kontrola venca, površine kotrljanja, oboda i diska točka	Očno uz primenu uvećala min. 50 x	+	+	+

a) *Procesom održavanja prema Pravilniku 241*

DIJAGNOSTIČKI PARAMETRI TOČKA	DIJAGNOSTIČKA TEHNIKA	TERMINI DIJAGNOSTIKOVANJA			
		I	II	III	IV
Ispitivanja naponskog stanja u vencu i obodu točka	Mobilnim ultrazvučnim aparatom	+	+	+	+
Ispitivanja incijalnih pukotina u vencu i obodu točka	Mobilnim ultrazvučnim aparatom	+	+	+	+
Ispitivanje površinske tvrdoće venca i oboda točka	Mobilnim aparatom na principu dinamičkog odskoka UCI metodom	+	+	+	+
Merenje geometrijskih parametra venca točka	Specijalnim mernim i kontrolnim uređajima	+	+	+	+
Vizuelni kontrola venca, površine kotrljanja, oboda i diska točka	Očno uz primenu uvećala min. 50 x	+	+	+	+

b) *Procesom tromesečnog u radionici – prva godina*

DIJAGNOSTIČKI PARAMETRI TOČKA	DIJAGNOSTIČKA TEHNIKA	TERMINI DIJAGNOSTIKOVANJA			
		I	II	III	IV
Ispitivanja naponskog stanja u vencu i obodu točka	Mobilnim ultrazvučnim aparatom	+	+	+	+
Ispitivanja incijalnih pukotina u vencu i obodu točka	Mobilnim ultrazvučnim aparatom	+	+	+	+
Ispitivanje površinske tvrdoće venca i oboda točka	Mobilnim aparatom na principu dinamičkog odskoka UCI metodom	+	+	+	+
Merenje geometrijskih parametra venca točka	Specijalnim mernim i kontrolnim uređajima	+	+	+	+
Vizuelni kontrola venca, površine kotrljanja, oboda i diska točka	Očno uz primenu uvećala min. 50 x	+	+	+	+

c) *Planskom kontrolom na terenu – prva godina*

DIJAGNOSTIČKI PARAMETRI TOČKA	DIJAGNOSTIČKA TEHNIKA	TERMINI DIJAGNOSTIKOVANJA			
		I.	II	III	IV
Ispitivanja naponskog stanja u vencu i obodu točka	Mobilnim ultrazvučnim aparatom	+	+	+	+
Ispitivanja incijalnih pukotina u vencu i obodu točka	Mobilnim ultrazvučnim aparatom	+	+	+	+
Ispitivanje površinske tvrdoće venca i oboda točka	Mobilnim aparatom na principu dinamičkog odskoka UCI metodom	+	+	+	+
Merenje geometrijskih parametra venca točka	Specijalnim mernim i kontrolnim uređajima	+	+	+	+
Vizuelni kontrola venca, površine kotrljanja, oboda i diska točka	Očno uz primenu uvećala min. 50 x	+	+	+	+

d) *Procesom tromesečnog u radionici – druga godina*

DIJAGNOSTIČKI PARAMETRI TOČKA	DIJAGNOSTIČKA TEHNIKA	TERMINI DIJAGNOSTIKOVANJA			
		I	II	III	IV
Ispitivanja naponskog stanja u vencu i obodu točka	Mobilnim ultrazvučnim aparatom	+	+	+	+
Ispitivanja incijalnih pukotina u vencu i obodu točka	Mobilnim ultrazvučnim aparatom	+	+	+	+
Ispitivanje površinske tvrdoće venca i oboda točka	Mobilnim aparatom na principu dinamičkog odskoka UCI metodom	+	+	+	+
Merenje geometrijskih parametra venca točka	Specijalnim mernim i kontrolnim uređajima	+	+	+	+
Vizuelni kontrola venca, površine kotrljanja, oboda i diska točka	Očno uz primenu uvećala min. 50 x	+	+	+	+

e) *Planskom kontrolom na terenu – druga godina*

Tabela 9.4.2. Primena dijagnostičkih tehnika za proveru stanja točka pri procesu eksploatacije:

- a) po ulasku vagona u radionicu prema Pravilniku 241,*
- b) procesom tromesečnog u radionici,*
- c) planskom kontrolom na terenu,*
- d) procesom tromesečnog u radionici – druga godina,*
- e) planskom kontrolom na terenu – druga godina.*

U okviru ove faze eksploatacionog istraživanja, formiran je istraživački tim koji obuhvata nekoliko različitih naučnih oblasti i specijalističkih struka.

Struktura istraživačkog tima koja je učestvovala u realizaciji aktivnosti ove faze eksploatacionog istraživanja u okviru disertacije od:

- l. rukovodioca istraživanja,
- m. inženjera specijaliste za zavarivanje,
- n. inženjera specijaliste za ultrazvučnu defektoskopiju,
- o. inženjera specijaliste za naponska stanja,
- p. specijalistu za ispitivanje površinske tvrdoće mobilnim dijagnostičkim aparatom
- q. tehnologa za oblasti obrade materijala deformacijom,
- r. tehnologa za obradu materijala sa skidanjem strugotine
- s. defektora osposobljenih za proveru i ocenu stanja trčućeg stroja vagona pri procesu eksploatacije,
- t. republičkog inspektora za oblasti vitalnih delova železničkih vagona,
- u. operatera za računarsku tehniku.

10. REZULTATI EKSPLOATACIONOG ISTRAŽIVANJA

Kao najrelevantniji istraživački proces o uspešnosti celokupnog istraživanja predmeta disertacije su rezultati eksploatacionog istraživanja. Značaj utvrđivanja stanja i ponašanja procesom eksploatacije obnovljeni monoblok točkovi su rezultati dobijeni meritornim dijagnostičkim tehnologijama za celo vreme eksploatacionog istraživanja. Rezultati merenja i donošenje zaključaka i odluke o stanju bitnih parametara profila kotrljanja istraživačkih monoblok točkova za daljnim procesima istraživanja je izvedeno metodama bez razaranja. Ovim metodama odabrane tehnike dijagnostikovanja i merenja i prezentovanje rezultata obavljeno je u uslovima na terenu pri eksploatacionom procesu i u radioničkim uslovima. Nakon svake dijagnostike i prezentovanje rezultata stanja usledile su naučna tumačenja i analize na osnovu kojih su donošene odluke da obnovljeni venci monoblok točkova su sposobni za daljnu eksploatacionu funkciju istraživanja do vremena regulisanim planom i programom istraživanja. Zbog toga rezultati eksploatacionog istraživanja su prezentovani sledećim tehnikama i tehnologijama dijagnostikovanja:

- 10.1. Rezultati ispitivanja vizuelnog pregleda i merenje geometrijskih parametara profila venca i površine kotrljanja,
- 10.2. Rezultati ispitivanja površinske tvrdoće profila točka u fazi eksploatacionog istraživanja
- 10.3. Ispitivanje i prezentovanje rezultata ultrazvučne defektoskopije
- 10.4. Merenja i prezentovanje rezultata zaostalih napona nastalih procesom eksploatacije

10.1. Rezultati vizuelnog pregleda i merenja profila venca i površine kotrljanja

Eksperimentalni osovinski sklopovi br. 06584 / 11.85 i 06744/11.85 u procesu praktičnog dokazivanja pouzdanosti primene novog tehnološkog postupka održavanja venca navarivanjem, stavljeni su u funkciju eksploatacije na teretnom vagonu serije **Uaddf zž broj 86 44 934 6002-1** koji je saobraćao na prugama BiH, Srbije i Hrvatske. Vagon sa urađenim eksperimentalnim točkovima, podvrgnut je radnim i kombinovanim uslovima i opterećenjima kao i preostali vagoni koji su u sastavu vozne kompozicije na odgovarajućim maršutama.

Vizuelni pregled stanja eksperimntalnih točkova obavljao se po planu i programu, sačinjen, od strane istraživača, u trajanju od 16 (šesnaest) meseci. Proces dijagnostikovanja procesom eksploatacije je obuhvatalo vizuelni pregled točka, kontrola i merenje funkcionalnih parametara profila venca i površine kotrljanja. Vizuelni pregled, kontrolu i merenje parametra profila venca i površine kotrljanja točka u uslovima eksploatacije sproveden je svakodnevno procesom eksploatacije od strane pregledača kola osposobljenih za obalast obrtnog postolja, u staničnim mestima Banja Luka i Prijedor, a u radioničkim uslovima vršen je po sačinjenom programu eksploatacionog istraživanja poglavlje 9.4. od strane istraživačkog tima navedeno u istom poglavlju. Vizuelni pregledi i rezultati merenja profila venca i površine kotrljanja evidentirani su i dokumentovani u istraživački materijal. U tabelama 10.1.1 prikazani su rezultati kontrole i merenja parametra venca točka, a u tabeli 10.1.2 dati su rezultati dimenzionalnih parametara površine kotrljanja. Radionički pregledi vršeni su u pripadajućoj železničkoj radionici Prijedor koja je akreditovana za održavanje teretnih vagona na evropskom nivou.

OSOVINSKI SKLOP												
06584 / 11.85												
Oznaka param. venca	MBT	44					45					
	Dozvoljena veličina	Polazna vel.	Termin				Dozvoljena veličina	Polazna vel.	Termin			
			I	II	III	IV			I	II	III	IV
Z ₁	³ 28 ^{-0,5}	27,6	27,6	27,7	27,8	27,9	³ 28 ^{-0,5}	27,5	27,5	27,6	27,6	27,7
Y ₁₄	^{0,5} 32 ^{-7,5}	25	25,6	26	26,6	27,1	^{0,5} 32 ^{-7,5}	25,1	25,5	26,4	27	27,6
q _R	>6,5 <10,7	10,7	10,6	10,4	10,3	10,2	>6,5 <10,7	10,5	10,3	10	9,8	9,6

a) Osovinski sklop 06584 / 11.85 (prva godina)

OSOVINSKI SKLOP												
06744 / 11.85												
Oznaka param. venca	MBT	18/1					18/9					
	Dozvoljena veličina	Polazna vel.	Termin				Dozvoljena veličina	Polazna vel.	Termin			
			I	II	III	IV			I	II	III	IV
Z ₁	³ 28 ^{-0,5}	27,5	27,6	27,6	27,8	27,9	³ 28 ^{-0,5}	27,6	27,6	27,8	27,9	28
Y ₁₄	^{0,5} 32 ^{-7,5}	25,2	25,6	26,1	26,8	27,4	^{0,5} 32 ^{-7,5}	25,1	25,5	26,1	26,7	27,6
q _R	>6,5 <10,7	10,5	10,3	10	9,8	9,7	>6,5 <10,7	10,6	10,4	10,2	10	9,9

b) Osovinski sklop 06744 / 11.85 (prva godina)

OSOVINSKI SKLOP												
06584 / 11.85												
Oznaka param. venca	MBT	44					45					
	Dozvoljena veličina	Polazna vel.	Termin				Dozvoljena veličina	Polazna vel.	Termin			
			I	II	III	IV			I	II	III	IV
Z ₁	⁴ 28 ^{-0,5}	27,9	28	28,1	28,3	28,4	⁴ 28 ^{-0,5}	27,7	27,8	27,9	28,1	28,3
Y ₁₄	^{0,5} 32 ^{-7,5}	27,1	28,2	29	29,8	30,5	^{0,5} 32 ^{-7,5}	27,6	28,7	29	29,6	30,1
q _R	>6,5 <10,7	10,2	10	9,9	9,8	9,8	>6,5 <10,7	9,6	9,4	9,4	9,2	9,1

c) Osovinski sklop 06584 / 11.85 (druga godina)

OSOVINSKI SKLOP												
06744 / 11.85												
Oznaka param. venca	MBT	18/1					18/9					
	Dozvoljena veličina	Polazna vel.	Termin				Dozvoljena veličina	Polazna vel.	Termin			
			I	II	III	IV			I	II	III	IV
Z ₁	³ 28 ^{-0,5}	27,9	28	28,1	28,2	28,4	³ 28 ^{-0,5}	28	28,1	28,3	28,4	
Y ₁₄	^{0,5} 32 ^{-7,5}	27,4	28,5	29	29,4	30	^{0,5} 32 ^{-7,5}	27,6	28	28,5	29,1	29,9
q _R	>6,5 <10,7	9,7	9,4	9,2	9	8,9	>6,5 <10,7	9,9	9,5	9,4	9,2	9,1

d) osovinski sklop 06744 / 11.85 (druga godina)

Tabela 10.1.1. Veličine geometrijskih parametara venca točka, tromesečno merenje

Broj i serija eksploatacionog vagona	Obrtno postolje	Broj os. sklopa	Broj točka	Početni prečnik kotrljanja	Kvartalni termini dijagnostikovanja				Napomena
					I	II	III	IV	
Uaddf zž broj 86 44 934 6002-5	I	06584 / 11.85	44	895,2	895	894,4	894	893,4	Ekperimentalno -eksploatacioni os. sklopovi
			45	895,2	895,1	894,7	894,1	893,6	
		06744/ 11.85	18/1	898	897,6	897,1	896,2	895,1	
			18/9	898,2	897,7	897,2	896,3	895,2	
	II	00514/ 78	1L	896,2	895,7	895	894,4	893,7	Komparativni osovinski sklopovi
			1D	896,1	895,6	894,8	894,1	893,2	
00006/ 87		2L	898,7	898,1	897,3	896,5	895,8		
		2D	898,5	898	897,1	896,2	895,3		

a) Tromesečno merenje – prva godina

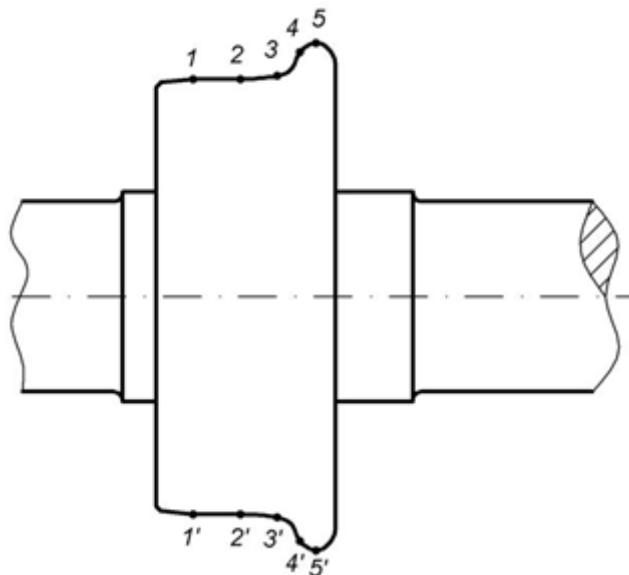
Broj i serija eksploatacionog vagona	Obrtno postolje	Broj os. sklopa	Broj točka	Početni prečnik kotrljanja	Kvartalni termini dijagnostikovanja				Napomena
					I	II	III	IV	
Uaddf zž broj 86 44 934 6002-5	I	06584 / 11.85	44	893,4	892,5	892	891,3	890,2	Ekperimentalno -eksploatacioni os. sklopovi
			45	893,6	892,2	891,4	890,7	889,8	
		06744/ 11.85	18/1	895,1	894,2	893,4	892,1	891,2	
			18/9	895,2	894,3	893,6	892,2	891,3	
	II	00514/ 78	1L	893,7	892,8	892	891,4	890,3	Komparativni osovinski sklopovi
			1D	893,2	892,5	891,8	891	889,4	
00006/ 87		2L	895,8	894,9	894	893,1	892,2		
		2D	895,3	894,4	893,8	892,5	891,6		

b) Tromesečno merenje – druga godina

Tabela 10.1.2. Dimenzionalne veličine prečnika kotrljanja točka

10.2. Rezultati ispitivanja površinske tvrdoće profila točka sprovedeno procesom eksploatacionog istraživanja

Rezultati sopstvenih ispitivanja površinske tvrdoće tokom dvogodišnjeg eksploatacionog istraživanja obavljena su po planu i programu istraživača. Plan i program je obuhvatao redovne intervale provere stanja površine kotrljanja i profila venca na terenu, tromesečno u radionici za investiciono održavanje teretnih vagona u Prijedoru. Kontrolu i merenja na terenu vršeno je od strane verifikovanog ispitivača obučenog za rukovanje mobilnim uređajem kao pri procesu eksperimentalnog istraživanja navedenog i opisanog u poglavlju 7.3. Za sva ispitivanja površinske tvrdoće celokupnog profila točka svih eksperimentalnih točkova izvedeno je prema slici 10.2.1. tj. u dva položaja ($/180^\circ$), na svakom točku, a svaka ispitni položaj merena je tvrdoća u pet mernih tačaka. Tri merne tačke se odnose na profil venca, a dve na površinu dodira sa šinom. Rezultati ispitivanja tvrdoće prikazani su u tabeli 10.2.1. za tromesečno ispitivanje u radioničkim uslovima, u trajanju od dve godine. Na slici 10.2.2. prikazano je ispitivanje tvrdoće u radioničkim uslovima mobilnim mernim uređajem koji je verifikovan i atestiran za ovakvu primenu od akreditovane institucije.



Slika 10.2.1. Merne tačke površinske tvrdoće profila točka, procesom eksploatacije



Slika 10.2.2. Ispitivanje površinske tvrdoće profila točka u radioničkim uslovima

Osovinski sklop	06584/85		06744/85		Br. točka	06584/85		06744/85	
	44	45	18/1	18/9		44	45	18/1	18/9
1	252	260	250	265	1'	253	251	252	246
2	254	252	253	252	2'	256	254	255	252
3	266	262	264	261	3'	268	265	260	261
4	258	259	263	259	4'	262	261	262	260
5	251	248	250	248	5'	249	252	256	252

a) *Površinska tvrdoća posle tri meseca*

Osovinski sklop	06584/85		06744/85		Br. točka	06584/85		06744/85	
	44	45	18/1	18/9		44	45	18/1	18/9
1	253	262	252	267	1'	255	254	254	248
2	257	256	255	256	2'	259	257	259	256
3	268	266	267	266	3'	270	268	266	267
4	260	261	265	262	4'	264	265	264	264
5	252	250	251	249	5'	250	251	257	253

b) *Površinska tvrdoća posle šest meseci*

Osovinski sklop	06584/85		06744/85		Br. točka	06584/85		06744/85	
	44	45	18/1	18/9		44	45	18/1	18/9
1	255	264	254	269	1'	257	256	257	251
2	262	266	265	268	2'	269	267	269	270
3	278	276	277	275	3'	280	278	276	278
4	264	265	267	264	4'	267	268	266	267
5	253	251	253	250	5'	252	253	258	255

c) *Površinska tvrdoća posle devet meseci*

Osovinski sklop	06584/85		06744/85			06584/85		06744/85	
Br. točka	44	45	18/1	18/9	Br.točka	44	45	18/1	18/9
Merne tačke					Merne tačke				
1	255	264	254	269	1'	257	256	257	251
2	268	272	271	275	2'	278	276	278	279
3	285	288	286	289	3'	289	288	286	287
4	270	273	276	275	4'	277	278	276	279
5	253	253	254	252	5'	253	254	258	256

d) *Površinska tvrdoća posle godinu dana*

Osovinski sklop	06584/85		06744/85			06584/85		06744/85	
Br. točka	44	45	18/1	18/9	Br.točka	44	45	18/1	18/9
Merne tačke					Merne tačke				
1	263	269	264	271	1'	259	258	270	267
2	278	282	281	285	2'	288	286	288	289
3	292	298	293	296	3'	298	297	294	297
4	278	279	280	282	4'	283	283	279	280
5	258	255	257	254	5'	255	256	258	257

e) *Površinska tvrdoća posle 15 meseci*

Osovinski sklop	06584/85		06744/85			06584/85		06744/85	
Br. točka	44	45	18/1	18/9	Br.točka	44	45	18/1	18/9
Merne tačke					Merne tačke				
1	265	271	268	274	1'	265	263	271	268
2	290	287	287	291	2'	292	289	293	294
3	295	298	296	297	3'	299	298	296	298
4	279	280	282	282	4'	285	284	282	283
5	259	257	257	255	5'	256	258	258	258

f) *Površinska tvrdoća posle 18 meseci*

Osovinski sklop	06584/85		06744/85			06584/85		06744/85	
Br. točka	44	45	18/1	18/9	Br.točka	44	45	18/1	18/9
Merne tačke					Merne tačke				
1	266	271	269	275	1'	266	265	272	270
2	298	293	289	295	2'	297	293	295	294
3	295	299	298	297	3'	300	301	299	299
4	282	284	286	286	4'	286	284	287	285
5	259	257	257	255	5'	256	258	258	258

g) *Površinska tvrdoća posle 21 – mesec*

Osovinski sklop	06584/85		06744/85			06584/85		06744/85	
Br. točka	44	45	18/1	18/9	Br.točka	44	45	18/1	18/9
Merne tačke					Merne tačke				
1	266	271	269	275	1'	266	265	272	270
2	298	293	289	295	2'	297	293	295	294
3	298	302	301	299	3'	303	302	301	304
4	284	285	286	287	4'	288	285	288	289
5	260	258	257	256	5'	256	259	258	260

h) *Površinska tvrdoća posle dve godine*

Tabela 10.2.1. Rezultati površinske tvrdoće profila točka u tromesečnom intervalu za dve godine eksploatacionog istraživanja

Ispitivanje površinske tvrdoće profila monoblok točka na terenu je izvedeno na železničkim stanicama Republike Srpske, Snjegotina, Čelinac, Jošavka, Ukrina, Dragalovci i Doboj. Interval obilazaka i merenje tvrdoće je obavljeno prema planu i programu istraživača, sa osnovanom pretpostavkom da je teretni vagon sa ugrađenim eksperimentalnim osovinskim sklopovima, u intervalu između dva obilaska prešao minimalno 15.000 km pružnog puta. Takvih obilazaka i merenja površinske tvrdoće profila točkova je izvedeno osam u intervalu svakih tri meseca. Merenjem površinske tvrdoće profila točka vršeno je kao što identično kao u radioničkim uslovima, a rezultati su pokazali povećanja površinske tvrdoće na profilu točka, gde je površina profila u stalnom kontaktu sa šinom što je i za očekivati. Kombinovana mehanička opterećenja su proizvela ovo povećanje tvrdoće u zonama gde je kontakt točak-šina stalan što potvrđuju i rezultati merenja u radioničkim uslovima.

U cilju dobijanja relevantnih pokazatelja o zadovoljenju eksploatacionih karakteristika eksperimentalnih osovinskih sklopova sa svim uticajnim elementima, pa i površinske tvrdoće, pri funkciji eksploatacije, merena je površinska tvrdoća profila venca i površine kotrljanja na točkovima obrtnog postolja II koji nisu podvrgnuti procesu obnavljanja venaca navarivanjem, a isti udovoljavaju sve zahtevne karakteristike kvaliteta, usklađeni odredbama, UIC 812-3 i EN13262. Ovi monoblok točkovi na eksperimentalnom vagonu Uaddf zž broj 86 44 934 6002-1, su podvrgnuti i izloženi istim uslovima eksploatacije kao i predmetno- istraživački, a cilj nam je bio da komparativnom metodom dijagnostičkih tehnika i analize, da relevantne pokazatelje za donošenje naučnih diskusija i odluka o izvodljivosti i pouzdanosti celokupnog metodološkog koncepta održavanja venca točka kvaliteta materijala ER7 navarivanjem. U tabelarnom pregledu 10.2.3. dati su rezultati

merenja površinske tvrdoće profila venca i površine kotrljanja monoblok točka koji su eksploatisani u u obrtnom postolju II – komparativni točkovi nakon 12 meseci i nakon 24 meseca. Postupak merenja površinske tvrdoće je sproveden istim mernim uređajem i postupkom kao i eksperimentalno-eksploatacioni točkovi u obrtnom postolju I.

Osovinski sklop	00514/78		00006/87			00514/78		00006/87	
Br. točka	1L	1D	2L	2D	Br.točka	1L	1D	2L	2D
Merne tačke					Merne tačke				
1	245	253	254	259	1'	250	256	253	254
2	263	270	272	271	2'	275	278	270	279
3	280	289	284	287	3'	288	289	288	287
4	271	270	272	274	4'	275	276	276	277
5	254	252	250	253	5'	255	254	257	256

Rezultati tvrdoće nakon prve godine

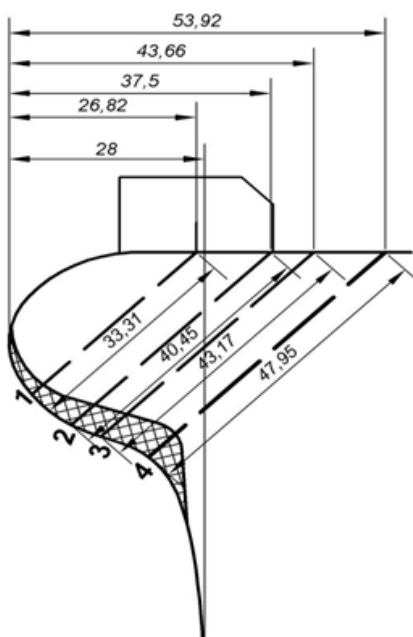
Osovinski sklop	00514/78		00006/87			00514/78		00006/87	
Br. točka	1L	1D	2L	2D	Br.točka	1L	1D	2L	2D
Merne tačke					Merne tačke				
1	263	270	268	278	1'	265	269	274	272
2	299	290	290	294	2'	293	296	295	298
3	302	304	301	299	3'	300	301	303	304
4	283	286	285	287	4'	289	288	287	289
5	261	259	255	258	5'	257	260	259	263

Rezultati tvrdoće nakon dve godine

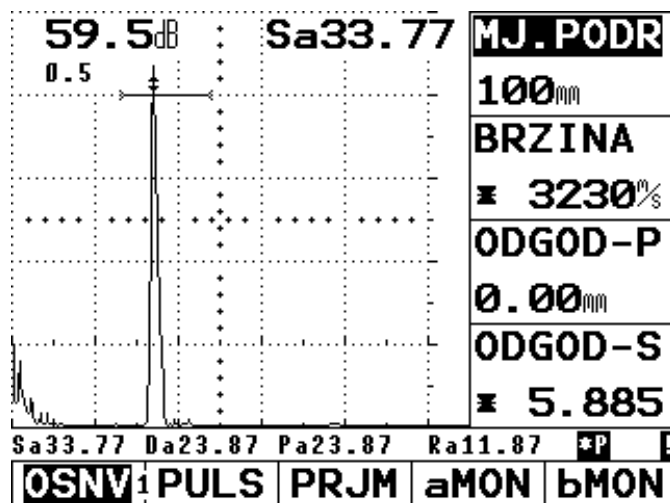
Tabela 10.2.3. Rezultati površinske tvrdoće profila točka na uporednim točkovima eksploatisanim na istom vagonu u obrtnom postolju II na godišnjem nivou.

10.3. Ispitivanje i prezentovanje rezultata ultrazvučne defektoskopije

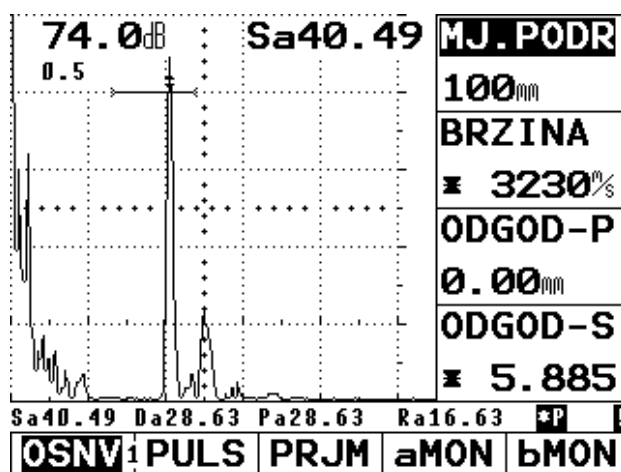
Ultrazvučna defektoskopija venca točka u ovoj fazi je sprovedena kao i ostale dijagnostičke tehnike predviđene planom i programom istraživanja. Dijagnostička ultrazvučna defektoskopija sprovedena je od strane rukovodioca istraživanja i verifikovanih inženjera za ultrazvučnu defektoskopiju. Definisana tehnologija ultrazvučnog dijagnostikovanja izvršena je po celom obimu venca točka primenjenim dijagnostičkim uređajem i postupkom kao kod eksperimentalnog istraživanja slika 10.3.1. Rezultati godišnjeg i dvogodišnjeg defektoskopskog dijagnostikovanja prikazani su za svaki točak na dijagramskim zapisom slika 10.3.2. do 10.2.9.



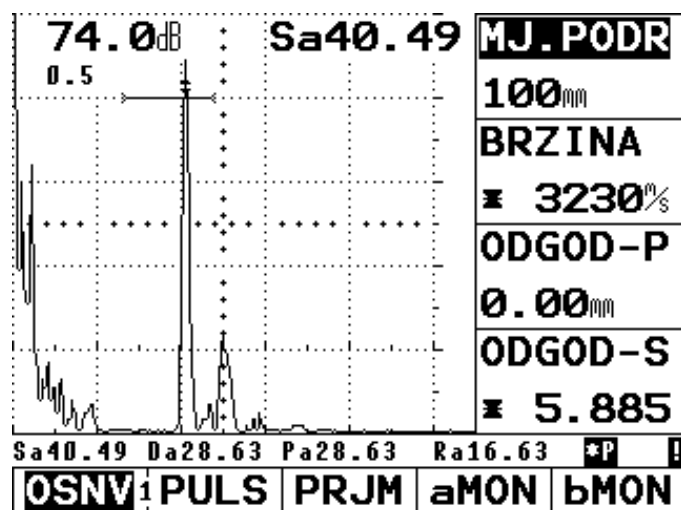
Slika 10.3.1. Pravci dijagnostikovanja venca točka ugaonom defektoskopskom sondom



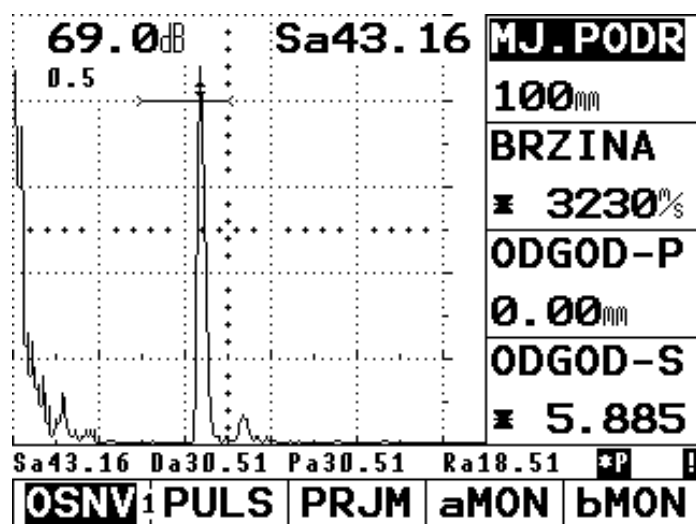
Slika 10.4.2. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka „44“ nakon, 12 meseci



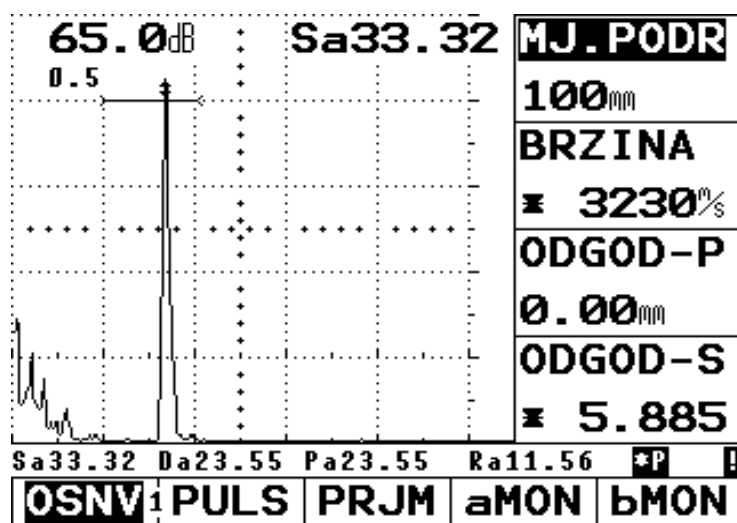
Slika 10.4.3. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka „45“ nakon, 12 meseci



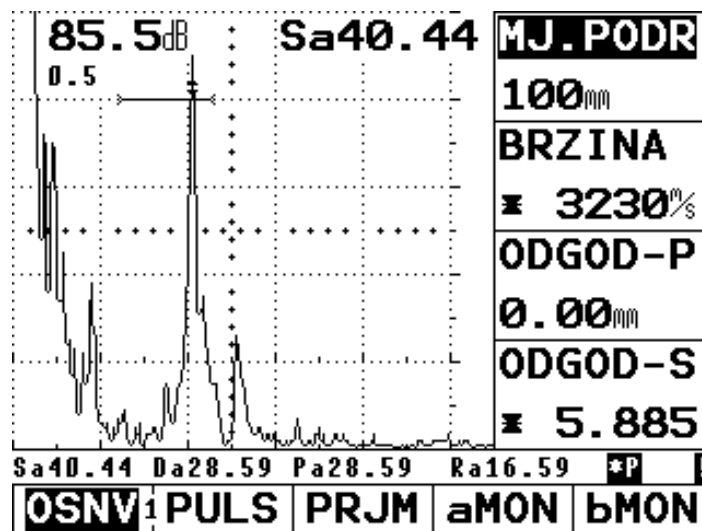
Slika 10.4.4. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka „18/I“ nakon, 12 meseci



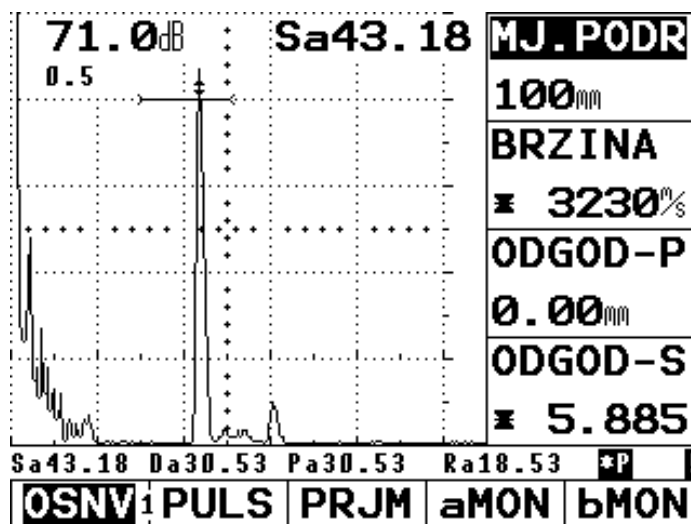
Slika 10.4.5. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka „18/9“ nakon, 12 meseci



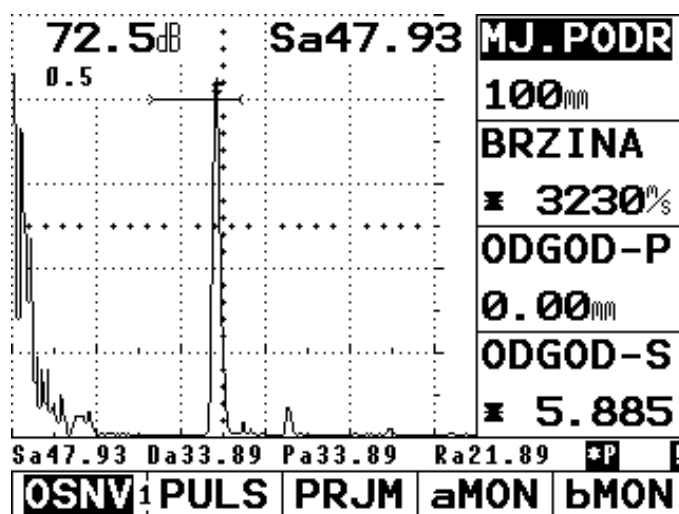
Slika 10.4.6. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka „44“ nakon, 24 meseca



Slika 10.4.7. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka „45“ nakon, 24 meseca



Slika 10.4.8. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka „18/1“ nakon, 24 meseca



Slika 10.4.9. Ehogram ultrazvučne defektoskopije venca točka „18/9“ nakon, 24 meseca

10.4. Rezultati naponskog stanja u vencu eksperimentalnih točkova

Kao i ostale dijagnostičke tehnike, ispitivanja veličine i inteziteta zaostalih napona u vencu i obodu monoblok točka, procesom eksploatacije, izvršeno je u vremenskom intervalu kao i ostali bitni dijagnostički parametri točka, usklađene planom i programom istraživanja. Rezultati zaostalih napona u vencu i obodu točka, prikazni su u tabelama koje su vezane za termine provere i merenja. Merenje zaostalog napona je vršeno sa ultrazvučnim aparatom kojim je sprovedeno ispitivanje zaostalih napona, nakon navarivanja venca. Ispitivači su stručni obučeni inženjери u ovoj oblasti, akreditovani od strane proizvođača dijagnostičkog uređaja „DEBBIE“ iz Poljske slika 10.4.1. Kvartalnim dijagnostikovanjem dobijeni rezultati su prikazani u tabeli 10.4.1.



Slika 10.4.1. Merenje zaostalih napona u eksperimentalno-eksploatacionim točkovima procesom eksploatacije u tromesečnom periodu za dve godine

Broj osovinskog sloga	Br. točka	INTERVAL ISPITIVANJA								Namena
		I - godina				II - godina				
		U vencu i obodu točka Mpa				U vencu i obodu točka Mpa				
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	
06584/11.85	44	-125	-120	-115	-109	-102	-97	-91	-89	Po UIC 510-5 i EN ±300
	45	-30	-22	-13	+26	+35	+38	+48	+65	
06744/11.85	18/1	-37	-20	+11	+27	+39	+51	+63	+75	
	18/9	-35	-30	-18	+24	+30	+46	+52	+60	

Tabela 10.4.1. Vrednosti zaostalih napona u točkovima ispitani procesom eksploatacije za dve godine

11. KOMPARATIVNA ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Sprovedene merne i dijagnostičke tehnike i tehnologije u cilju sagledavanja stanja monoblok točka, nakon obnavljanja venca navarivanjem, kao i dvogodišnjim procesom eksploatacionog istraživanja i dobijenim rezultatima, analizirali smo u dva dela:

1. Analiza rezultata sopstvenih istraživanja sa razaranjem, u laboratorijskim uslovima
2. Analiza rezultata sopstvenih istraživanja bez razaranja

11.1. Analiza rezultata sopstvenih istraživanja sa razaranjem u laboratorijskim uslovima

Rezultati koji su prikazani u poglavlju 6 i 7 odnose se na eksperimentalna ispitivanja, sa razaranjem sprovedena u laboratorijskim uslovima i deo rezultata koji su sprovedeni na realnom delu železničkog vozila u procesu sprovođenja dijagnostičkih tehnika na licu mesta u radioničkim uslovima, imaju za cilj da na osnovu stručne naučne analize utvrde stanje sopstvenog točka odnosno proceni uspešnosti sprovednog tehničko-tehnološkog postupka održavanja venca monoblok točka kvaliteta ER7. Ovakvom naučnom analizom ovog dela dijagnostičkih rezultata, stvorena je naučna osnova da je tehničko-tehnološki postupak održavanje venca monoblok točka navrivanjem, izvodljiv i pouzdan, metodološki koncept održavanja[38]⁹³.

Sprovedni koncept eksperimenta je tako sproveden da obuhvata sve relevantne, standardne metode, usvojene u svetu i kod nas, a prihvaćene od strane međunarodnih železničkih uprava, a time je dokazan jedan od tehničkih uslova za dokazivanje glavne hipoteze.

Kao osnov za komparativna ispitivanja su korišćene standardizovane metode koje se primenjuju pouzdanim tehnikama i tehnologijama pri osvajanju novih vitalnih proizvoda na železničkim voznim sredstvima. Etaloni, šablon i uzorci su isto tako pripremani prema standardnim akreditovanim metodama. Na pokazanim rezultatima, stvorena je osnovna pretpostavka da sprovedene tehnike i tehnologije dijagnostikovanja obnovljenog venca monoblok točka ne narušava koncept dokazivanja i osvajanja novog tehničko-tehnološkog postupka održavanja venca monoblok točkova kvaliteta ER7.

11.1.1. Analiza rezultata smera sopstvenih naprezanja u materijalu monoblok točka

U poglavlju 7 je prikazan jednostavan postupak ispitivanja smera sopstvenih naprezanja u monoblok točku nakon sprovedenog tehničko-tehnološkog postupka održavanja venca navarivanjem, kao i rezultati dobijeni merenjem i uporednim ispitivanjem shodno EN 13262. Rezultati ispitivanja su prikazani u tabeli 6.1.1. a konpilacija eksperimentalnih rezultata ukazuje da smer sopstvenih napona koji je produkovan tehnologijom obnavljanja venca je „–“ (negativan) što ukazuje na koncentraciju napona prema glavčini točka. Ovakva naprezanja svojim intenzitetom deluju na zatvaranje inicijalnih pukotina u sopstvenom točku i usporavaju njenu propagaciju. Ovakv smer sopstvenog naprezanja u točku je povoljan jer teži suprotno od napona nastalih procesom navlačenja točka na osovinu kao i napona koji nastaju obnavljanjem venca i napona koji nastaju kombinovanim

[38]⁹³ Vuković, V.,: *Ispitivanje materijala metodama bez razaranja*, Međunarodni stručni skup, „Efikasnost i upravljanje“, Banja Luka, 2008 god.

eksploatacionim opterećenjima (statičkim, dinamičkim i termičkim opterećenjima). U slučaju da je smer “+“ (pozitiv) ovakvi naponi bi bili nepovoljni, produkuju ka otvaranju inicijalnih pukotina i povećavaju propagaciju istih. Oni deluju od glavčine ka obodu i kao takvi teže ka rasprskavanju točka.

Nakon radijalnog preseka do otvora glavčine, a posle razgradnje unutrašnjih naprezanja pod dejstvom negativnog smera napona u obodu točka, obeleženo odstojanje od 100 mm se smanjilo približavanjem leve i desne strane točka na obeleženo odstojanje od 97,8 mm. Svako smanjenje odstojanja manje od 1 mm tretiralo bi se nedovoljno povoljnim intezitetom negativnog smera napona, te takvi točkovi bi dali polazne dijagnostičke rezultate za neuspešnost novog koncepta tehničko-tehnološkog postupka održavanja venca monoblok točka kvaliteta materijala ER7, a time i polazne elemente za neuspešnost glavne hipoteze disertacije.

11.1.2. Analiza rezultata tvrdoće po poprečnom preseku venca i oboda točka

Ova ispitivanja su sprovedena na radijalnim isečcima venca točka eksperimentalnih točkova nakon obnavljanja venca. Tvrdoća po poprečnom preseku venca točka je ispitivana na dodatnom materijalu, u ZUT i u osnovnom materijalu. U poglavlju 6.2. prikazan je isečak venca točka i merne tačke po poprečnom preseku. Merne tačke sa slike 6.2.1.2 od 1-5 su tačke tvrdoće navra, tačke od 6-10 tvrdoća u ZUT-u, a tačke 11 i 12 je merena tvrdoća osnovnog materijala. Vrednosti tvrdoće postignute na svim eksperimentalnim uzorcima monoblok točkova su prikazane u tabeli 6.2.1.1. Rezultati u tabeli pokazuju da tvrdoća dodatnog materijala je ujednačena i nalazi se bliže gornjoj granici tvrdoće koja je propisana EN 13262 i objavom UIC812-3, a nalazi se u dozvoljnim granicama od 235 do 285 HB. Tvrdoća u ZUT-u je nešto niža ali je ujednačena i zadovoljavajuće vrednosti kao i tvrdoća osnovnog materijala.

Ovi rezultati ukazuju da je tvrdoća dodatnog materijala bliža gornjoj granici što povećava otpornost na habanje pri procesu eksploatacije u kontaktu točak-šina te time i omogućava duži eksploatacioni vek točku što je svakako povoljno. Lokalnih termičkih otvrdnjavanja ispitivanjem nije izmereno kako u dodatnom tako i u ZUT-u što ukazuje da koncipirani tehničko-tehnološki proces navarivanja venca je uspešno sproveden i kao takav potvrđuje pouzdane rezultate ove analize. Ova ispitivanja sprovedena su u laboratorijama koje su akreditovane za ova ispitivanja shodno EN ISO 6506-1:1999.

Tvrdoća po poprečnom preseku oboda i diska monoblok točka je takođe usklađena prema međunarodnoj objavi UIC812-3 i EN 13262, a koja definiše tvrdoću u granice 235 do 285 HB. Etaloniranje uzoraka prikazano je u poglavlju 6.2. slika 6.2.2.2. Postignuta vrednost tvrdoće u obodu je ujednačena i kreće se od se 240 do 278. Analize ovih rezultata ukazuju da predgrevanje oboda točka na temperaturu od 153⁰C je naučno utemeljen koji obezbeđuje perfektne mehaničke karakteristike kao i zadovoljavajuće metalruške procese spajanja dodatnog i zaštitnog materijala pri procesu navarivanja venca ne uzrokujući termičke transformacione promene u celokupnom obodu točka. Merna mesta na etalonima oboda i spojke točka je pokazalo da izmerene vrednosti tvrdoće se nalaze u uskim okvirima vrednosti shodno internim i eksternim železničkim propisima.

Tvrdoća na prelazu između venca točka i spojke (tačka A na slici 6.2.2.1.) je manja više od 10 apoena nego vrednost na granici habanja, čime je ispunjen i ovaj zahtev prema međunarodnim železničkim propisima tj. UIC i EN, a nalazi se u dijapazonu od 229 do 235 HB. Proces ispitivanja tvrdoće na obodu i spojki točka je sproveden prema EN 100002-1 i ISO 6506-1, sa prečnikom kuglice 5 mm.

11.1.3. Analiza rezultata epruveta za proveru zatezne čvrstoće

U poglavlju 6.3. prikazani su rezultati dobijeni zatezanjem epruveta kružnog poprečnog preseka, u laboratorijskim uslovima, na hidrauličnoj kidalici P-50. Kao i ostale mehaničke karakteristike pa i karakteristike zatezanjem, rezultati su regulisani međunarodnom objavom UIC 812-3 kao i EN13262. Položaj uzrokovanja epruveta prikazan je na slici 6.3.1. uzimanjem epruvete iz venca točka, epruveta br. 2. nije regulisano po pomenutim železničkim objavama, a epruveta br. 1 iz oboda točka, uzorkovanje je usklađeno UIC 812-3 i EN13262.

Eksperimenti su izvedeni na sobnoj temperaturi, uskalađen EN 10002-1, na hidrauličnoj kidalici P50, prikazano na fotografiji 6.3.4. a rezultati eksperimentalnog ispitivanja prikazani su u tabeli 6.3.1. Analizom dobijenih rezultata za sva četiri eksperimentalna točka vidljivo je da su sile na granici razvlačenja proporcionalno ujednačene granicama razvlačenja, i nalaze se između 578 do 640 N/mm², a železničkim propisima ne sme biti manja od 520 N/mm². Vrednosti granice kidanja svih epruveta su u opsegu od 838 do 898 N/mm², a propisane vrednosti za obod i venac točka definisane su objavom UIC i EN tj. koja se kreće od 820 do 940 N/mm². Iz tabele dobijenih rezultata zatezne čvrstoće uočavamo da su sve epruvete iz venca tj. br, 2 sa slike 6.3.1. poglavalja 6.3. na nižoj granici kidanja što ima za rezultat uticaj materijala navara u telu epruvete, a isti se očituje povećanom tvrdoćom u odnosu na osnovni materijal venca točka, što karakteriše smanjenje zatezne čvrstoće. Vrednosti granice kidanja zatezanjem epruveta u vencu točka je od 838 do 848 N/mm², što je zadovoljavajuće, a epruveta u obodu točka 878 do 898N/mm².

Svi dobijeni rezultati pokazuju da su termičke i metalurške karakteristike usklađene tehničko-tehnološkim procesom obnavljanja venca navarivanjem, a nisu poremetile zahtevne zatezne karakteristike venca i oboda monoblok točka kvaliteta materijala ER7. Rezultati izduženja iz tabele pokazuju da su sve epruvete iznad minimalne granične vrednosti po UIC 812-3 i EN13262 to jest ≥ 14 .

11.1.4. Analiza rezultata ispitivanja metodama mehanike loma

Parametri mehanike loma su određene po četiri epruvete iz svakog eksperimentalnog točka uzorkovane iz materijala točka, prikazanog na slici 6.4.1. poglavlje 6.4, a delimično usklađeno sa odredbama UIC 812-3 i EN 13262. Epruveta iz venca pod oznakom „d“ nije uzorkovanje propisano zakonskim regulativama, a tehničko-tehnološkim postupkom je predviđeno za uzorkovanje i ispitivanje u cilju dobijanja relevantnih pokazatelja udarne žilavosti iz razloga sastava kombinovanog materijala, tj. osnovnog i delom dodatnog tj. navara. Položaj uzorkovanja ove epruvete iz venca točka, ima bitan svoj značaj za analizu i ocenu uspešnosti sprovedenog sasvim novog tehničko-tehnološkog postupka održavanja železničkih točkova.

Ispitivanje je sprovedno u akreditovanim laboratorijama, Šarpijevom metodom, podvrgavajući ispitivanju epruveta u dve grupe uzoraka: jedna grupa je ispitana pri +20°C sa „U“ zarezom, a druga grupa pri -20°C sa „V“ zarezom. Epruvete su izrađene u skladu sa EN 10045-1, a postupak ispitivanja prema ISO 6506-1:1999. prikazane na slici 6.4.3, pravougaonog oblika. Zarezi „U“ i „V“ su izvedeni poprečno skidajući manji deo dodatnog materijala-navara, a veću količinu osnovnog materijala. Dobijeni rezultati ispitivanja udarom očitani su na Šarpijevu klatnu i prikazani u tabeli 6.4.1. Rezultati ispitivanja žilavosti materijala točka kvaliteta ER7 nakon obnavljanja venca – navarivanjem, pokazali su vrednosti koje su prihvatljive od međunarodnih normi. Minimalna vrednost žilavosti materijala u obodu točka pri radnoj temperaturi sa „U“ zarezom je 21 J, a maksimalna 23 J. Vrednosti žilavosti materijala nastala udarom po UIC 812-3 kao i EN 13262 je ≥ 12 Joula. Ovi dobijeni rezultati i analizom preloma epruveta možemo dati opštu ocenu da se radi o žilavom lomu koji karakteriše izražena svojstva plastičnosti, a uočava se jako izražena

deformacija na mestu prekida epruvete. Površina preloma ima sitnozrnastu-vlaknastu strukturu i bez sjaja je.

Epruvete iz venca točka sa delom dodatnog materijala koji je nastao procesom navrivanja venca sa „U“ zarezom pokazuju nešto manju vrednost i kreću se od 14 do 18 J. Ova udarna žilavost je u zadovoljavajućim vrednostima regulisana međunarodnim železničkim propisima. Pokazana niža vrednost od epruvete oboda je posledica navara koji je tvrđeg karaktera, to jest linearne zavisnosti čvrstoće i tvrdoće. Struktura navara je livena bez uzdužnih valakana koja nastaju mehaničkom preradom, što je za posledicu dovelo do neznatnog smanjenja žilavosti. Opštom analizom preloma epruveta možemo slobodno reći da se radi o prelazu između krtoq i žilavog loma.

Rezultati epruveta sa V zarezom označene sa **a**, **b** i **c** i temperaturom ispitivanja -20°C , su pokazale vrednosti od 14 do 16 J, a epruvete sa oznakom **d** od 8 do 11 Joula. Po međunarodnim železničkim objavama vrednost žilavosti epruveta nastala udrom sa „V“ zarezom i temperaturi epruvete od -20°C , ne smije biti manja od 7 J.

Opštom analizom svih preloma ovih epruveta, možemo dati zaključak da se radi o krtoq lomu kod koga se ne uočavaju znaci plastične deformacije na mestu prekida, a prelomna površina loma ima krupnozrnastu strukturu i svetliju boju.

11.1.5. Analiza rezultata hemijskog udela u osnovnom materijalu i navara na vencu monoblok točka

U poglavlju 6. eksperimentalnog istraživanja, sprovedn je postupak hemijske analize točkova koji su podvrgnuti razaranju u laboratorijskim uslovima. Suština hemijske analize jeste da se utvrdi sastav i struktura čelika osnovnog i dodatnog materijala radi njegove klasifikacije, a time i provere pripadnosti potrebnosti kvaliteta. Što se tiče osnovnog materijala rezultati su potvrdili hemijski sastav shodno atestnoj dokumentaciji za odgovarajući točak, a tehnika analize ovog osnovnog materijala sprovedena je na Kvantometru u akreditovanim laboratorijama. Udeo hemijskih elmenata C, Mn i Si u osnovnom materijalu točka su na gornjoj granici shodno železničkim propisima UIC 812-3 i EN 13262. Iz teorije zavarljivosti čelika, poznato je da sadržaj Ugljenika preko 0,25 pogoršava zavrljivost, povećava vlačnu čvrstoću i granicu razvlačenja, a smanjuje udarnu žilavost i sposobnost deformacijama. U našim eksperimentalnim točkovima sadržaj Ugljenika se kreće od 0,48% do 0,49% u osnovnom materijalu, što je uslovalo za preduzimanje dodatnih mera za proces navarivanja venca.

Mangan u točkovima koji su predmet istraživanja se nalazi od 0,71% do 0,72%, a znamo da sa ovim udelom u materijalu Mn značajno povećava vlačnu čvrstoću i tvrdoću, a u manjoj meri i granicu razvlačenja. Takođe sa ovim udelom Mn znatno utiče na smanjenje udarne žilavosti.

Silicijum u osnovnom materijalu eksperimentalnih točkova pokazuje udeo od 0,29 do 0,31%, a takva vrednost utiče na povećanje granice razvlačenja i vlačne čvrstoće. Pored ovih hemijskih elementa značajan uticaj na strukturne transformacije i mešanja osnovnog i dodatnog materijala ima i Cr.

Hmijskom analizom dodatnog materijala – navara na vencu točka sproveli smo u laboratorijskim uslovima, tehnikama LECO analizatoru, tipa LECO-SC 444. U poglavlju 6. tabela 6.5.1. dati su rezultati ispitivanja osnovnog materijala monoblok točka, a u tabeli 6.5.2. su iskazane granične vrednosti pojedinih hemijskih elemenata navara na vencu točka za sve eksperimentalne točkove.

Dobijeni rezultati dodatnog materijala na vencu točka – navar, pored ugljenika, legirajući elementi Mn, Si i Cr ukazuju na zadovoljavajući sadržaj koji može da obezbedi sve zahtevne mehaničke karakteristike venca točka kao što su: tvrdoća, zatezna čvrstoća, žilavost i izduženje. Udeo ovih elementa je C od $0,38 \div 0,44\%$; Mn od $1,25 \div 1,36\%$; Si od $0,42 \div 0,50\%$ i Cr od $0,32 \div 0,39\%$. Osatili legirajući elementi u osnovnom i dodatnom materijalu ukazuju na zhtevne sadržaje. Što se tiče štetnih elementa u osnovnom i dodatnom materijalu venca točka, dobijeni rezultati ukazuju da u osnovnom materijalu sadržaj S se kreće od $0,011 \div 0,014\%$, a P od $0,013 \div 0,015\%$. Ove vrednosti ne prelaze granicu $0,04\%$ kada mogu da značajnije utiču na granicu razvlačenja, zateznu čvrstoću, žilavost, zavarljivost, sklonost prema nastajanju toplih prslina itd.

Rezultati hemijske analize pokazuju da u dodatnom materijalu – navaru, štetnih hemijskih elemenata ima u dosta manjim udelima i to samo Sumpora koji se kreće u svim eksperimentalnim točkovima od $0,008 \div 0,01\%$ a da Fosfora i nema. Skrivenih štetnih elementa kao što su Azot, Vodonik i Kiseonik, u osnovnom i dodatnom materijalu nema.

11.1.6. Analiza rezultata metalografskih ispitivanja

Metalografska ispitivanja su sprovedena u akreditovanim laboratorijama koje poseduju odgovarajuću opremu usklađenu prema ISO/IEC 17025:2000 metoda ispitivanja i etaloniranja, kao i metoda validacije kod DAP Deutsches Akkrediterungssystem Prüfwesen GmbH – Nemačka, opisano u poglavlju 6.

Na slici 6.6.2.2. prikazana je mikrostruktura osnovnog materijala eksperimentalnog uzorka venca točka br. 01, a mikroskopskim ispitivanjem ostalih uzoraka pokazali su isti sastav i ujednačenost strukture materijala čelika venca točka. Identičnost strukture osnovnog materijala preostalih eksperimentalnih točkova je posledica njihovog porekla odlivka od iste šaraže, istog proizvođača godine proizvodnje. Struktura je feritno-perlitna, perlit lamelarni. Ovakav sastav strukture smatramo povoljnim, a uslovnost železničkih objava je zadovoljavajuća.

Struktura zone spajanja osnovnog i dodatnog materijala prikazana je na mikroizbrusku sl. 6.6.2.3. Vidljivo je da je mikrostruktura povoljna, tj. sastoji se iz mešavine perlita sa nešto manje martenzita. Veličina zrna je sa strane navara nešto manja, a sa strane osnovnog materijala neznatno krupnija i postepeno prelazi u osnovni materijal. Zona uticaja toplote (ZUT) je bez prisustva znakova kaljenja.

Na slici 6.6.2.4. jasno je vidljivo da je materijal navara, tj. dodatni materijal, čist i bez uključaka. Mikrostruktura uzduž visine navara je neznatno različita jer svaki sledeći navar utiče na promenu strukture prethodnog navara. Na sva četiri eksperimentalna uzorka kao i preostalim koji su predmet ovog istraživanja, navareni deo je martenzitna struktura, sa većim delom slobodnog ferita. Ovakav sadržaj strukture smatramo vrlo povoljnim, budući da je reč o delu profila točka koji je intenzivno izložen trošenju (habanju), a ovakva struktura karakteriše elemente poboljšanoosti, odnosno povećanu tvrdoću i otpornosti na habanje što je i cilj.

Što se tiče čistoće materijala, kako osnovnog tako i dodatnog – navara, ispitivanja su izvedena pomoću sumpornog otiska (Baumanova metoda) usklađena standardom JUS C.A3.020:1987, ISO 4967-1988. Analizom priloženih slika Baumanovog otiska 6.6.1.1. jasno se vidi da je stepen čistoće u osnovnom i dodatnom materijalu povoljan kao i stepen prerade osnovnog i dodatnog materijala. Iz tabele 6.6.1.1. vidimo da su veličine nečistoća osnovnog materijala venca i dodatnog materijala – navara, nalaze se u dozvoljenim granicama koje reguliše železnički propisi i EN 13262. Ovi železnički propisi dozvoljavaju

sledeću nečistoću u čeliku točka kvaliteta ER7: Sumpor, dozvoljeno-2 očitano-1; Aluminati, dozvoljeno-1, očitano-0; Silikati, dozvoljeno-2, očitano-1; Globularni oksidi, dozvoljeno-2, očitano-0,5 ili Aluminati+Silikatai+Globularni oksidi = 4, a ove očitane nečistoće su 1,5.

11.2. Analiza rezultata sopstvenih istraživanja bez razaranja

U poglavlju 9, 11 i 8 prikazani su rezultati bitnih dijagnostičkih parametra monoblok točka posmatrano na relnom tehničkom sitemu–železničko vozilo u uslovima eksperimentalnog naučnog dijagnostikovanja nakon sprovedenog tehničko-tehnološkog postupka obnavljanja venca navarivanjem i procesom funkcionalne eksploatacije. Dobijeni rezultati prezentovani su u istim poglavljima kroz dijagrame, tabelno, aritmetički, histogramima i fotografski, a obrađeni i analizirani uz primenu naučnih metoda koje su meritorne za međunarodne zakonitosti železničkih transportnih sistema.

Rezultati istraživanja bez razaranja, su za svaku dijagnostičku tehniku, analizirani zasebno i to:

- a) analiza rezultata nakon eksperimentalnog istraživanja
- b) analiza rezultata dobijenim procesom eksploatacionog istraživanja

11.2.1. Analiza rezultata vizuelne kontrole

11.2.1.1. Analiza rezultata nakon eksperimentalnog istraživanja

Efikasnost funkcionisanja točka železničkih vozila, zavisi od mnogo faktora kvaliteta koji karakterišu uslovnost, shodno zahtevima tehnološkog procesa pri procesu proizvodnje definisani UIC i EN, a dijagnostikovani metodama sa i bez razaranja. Osnovna i prva provera stanja točka nakon obnavljanja venca točka, jeste vizuelna kontrola svih parametara koji se dijagnostikuju očno, standardnim kontrolnim i mernim instrumentima i specijalnim mernim instrumentima. Analizom rezultata vizuelne kontrole koje je izvedeno u poglavlju 7.1. komparativno su poređeni sa odredbama EN 13262 koji propisuju tehničke parametre stanja oboda i venca točka za sve novoprodukovane točkove. U tom poglavlju dijagnostikovane su sledeće tehničke karakteristike:

- a. prisustvo greški na površini profila venca točka
- b. kvalitet površine u celoj zoni profila venca točka i oboda
- c. dimenzionalni i geometrijski parametri venca i površine kotrljanja točka

Analizom rezultata površinskih grešaka opisanih u poglavlju 7.1, nisu uočene nikave mane ili nedostaci koji bi bili potencionalni uzročnici otkaza točka pri eksploataciji.

Rezultati hrapavosti celokupnog profila kotrljanja i venca, ukazuju na dosta niži nivo od dozvoljene hrapavosti tj $6,3\mu\text{m}$, a dozvoljena hrapavost je $12,5\mu\text{m}$. Ova dijagnostika je merena mehaničkim uređajem za hrapavost i uporednom metodom određena na osnovu šablona etalona.

Rezultati ispitivanja i merenja geometrijskih parametara venca i površine kotrljanja kao i dimenzionalnih veličina dati su u tabeli 7.1.1. Analizom ovih rezultata konstatovano je da su svi parametri profila venca skoro identični kao kod novoprodukovanog monoblok točka.

To znači da je visina venca Z_1 , - $27,3\div 28,2$ mm; debljina venca Y_{14} - $32\div 32,8$ mm i oblik venca q_R $10,4\div 10,7$. Eksploatacioni nazivni prečnik je u nadpolovičnoj veličini što znači da je u mogućnosti izvršiti nadpolovičnu radnu funkciju svog eksploatacionog veka. Analizom dobijenih rezultata geometrijskog oblika profila kotrljanja, konstaovali smo da svi parametri ispunjavaju visok nivo zahtevnih tehničkih veličina shodno međunarodnim propisima UIC 812-3 i EN 13262.

11.2.1.2. Analiza rezultata dobijenih procesom eksploatacionog istraživanja

Analizom prezentovanih rezultata vizuelne kontrole, koji su sadržani u poglavlju 10, a iskazani opisom, sa stanovišta naučnog posmatranja, vidljivih oštećenja prouzrokovanih normalnom eksploatacionom funkcijom po celom profilu točka nije zapaženo.

Merenjem parametra profila venca i kontrolom površine kotrljanja, uočeno je prirodno habanje svih geometrijskih parametara profila venca bez elementa mehaničkog ljuštenja, vidljivih prslina ili drugih mehaničkih pojava. Tabelarne vrednosti parametara profila venca iskazane kvartalnom kontrolom na terenu koje je sprovedno po planu istraživača, a koje ukazuju na skoro ujednačeno trošenje u odnosu na dužinu pređenog puta. Visina venca eksperimentalno-eksploatacionih točkova pre stavljnja u istraživačku eksploatacionu funkciju je bila $Z_{1,-} 27,5 \div 27,6$ mm, a na tromesečnom merenju ovaj parametar se kretao u istom intervalu tj. $Z_{1,-} 27,5 \div 27,6$ mm. Na polugodišnjem eksploatacionom istraživanju ova bitna geometrijska veličina venca točka se kretala u intervalu $Z_{1,-} 27,6 \div 27,8$ mm. Na godišnjem nivou merenja su pokazala izuzetno malu potrošnju materijala venca točka koja uvećava njegovu visinu te ovaj parametar je tada iznosio $Z_{1,-} 27,7 \div 28$ mm. Prvi kvartal druge godine merenja pokazuje ujednačenu potrošnju profila venca, te visina venca u ovom vremenu je dostigla malu korekciju visine i iznosila je $27,8 \div 28,1$ mm. Na kraju druge godine eksploatacionog istraživanja visina venca je bila u intervalu $Z_{1,-} 28,3 \div 28,4$ mm. Granična veličina venca točka je 27,5 do 31 mm i kao ostali parametri profila venca točka su uslovni za eksploatacionu upotrebljivost točka u voznom sredstvu.

Debljina venca merena u tromesečnim intervalima je pokazivala proporcionalnu potrošnju materijala shodno potrošnji visine venca u oba eksperimentalno eksploataciona osovinska sklopa i imala sledeće vrednosti: I. kvartal $y_{14} -25 \div 25,6$ mm, II. kvartal $y_{14} -25,6 \div 26,4$ mm, III. kvartal $-26,4 \div 27$ mm i IV kvartal $y_{14} -27 \div 27,6$ mm.

Druga godina eksploatacionog istraživanja je takođe pokazala da habanje materijala profila venca točka nastavlja ujednačene vrednosti potrošnje materijala na profilu venca te kvartalne veličine su bile sledeće: I kvartal $y_{14} -27,6 \div 28,7$ mm, II kvartal $y_{14} -28,7 \div 29$ mm, III kvartal $y_{14} -29 \div 29,8$ mm i IV kvartal $y_{14} -29 \div 30,5$ mm. Ovaj bitan parametar venca točka karakteriše upotrebljivost istog ako se nalazi u graničnim veličinama 24,5 do 32,5 mm.

Analizom ovih parametara profila venca zapaža se zadovoljavajući ujednačen proces habanja materijala profila parametara venca, eksperimentalnih točkova što pokazuje dvogodišnje istraživanje koje je izvedeno procesom eksploatacije vagona u realnim dvogodišnjim vremenskim uslovima. Nasuprot tome trošenje parametara profila venca u obrtnom postolju **II**, koji nisu podvrgnuti novom tehnološkom konceptu održavanja, pokazali su nešto veće trošenje habanjem što je posledica umanjene tvrdoće profila venca u odnosu na točkove obrtnog postolja **I** koji su predmet istraživanja. Ovi pokazatelji i te kako daju pozitivne elemente za izvodljivost primene novog tehnološkog koncepta održavanja venca monoblok točkova kvaliteta materijala ER7.

Oblik venca q_R je parametar koji takođe određuje stanje točka u eksploataciji ili otkazu i vrlo je često da on operiše učestalim isključenjima osovinskih sklopova u odnosu na ostale geometrijske parametre venca točka. Procesom eksploatacije ova karakteristika je pokazala nešto manju potrošnju u odnosu na debljinu i visinu venca, a merenje je vršeno kvartalnim vremenskim periodom u dvogodišnjem procesu eksploatacionog istraživanja. Pokazane vrednosti ove geometrijske veličine eksperimentalno-eksploatacionih točkova sledio je:

Prva godina, I kvartal $q_R=10,5\div 10,3$; II kvartal $q_R =10,3\div 10$; III kvartal $q_R =10\div 9,8$ i IV kvartal prve godine istraživanja $q_R =9,8\div 9,6$.

Druga godina istraživanja takođe je pokazala jako male vrednosti promene oblika profila korena venca i one su se kvartalno menjale po sledećim veličinama: I kvartal $q_R=9,6\div 9,4$; II kvartal $q_R =9,4\div 9,2$; III kvartal $q_R =9,2\div 9$ i IV kvartal druge godine istraživanja $q_R =9\div 8,9$. Ovakvo realno umanjeno trošenje korena profila venca je rezultat visoke maksimalno dozvoljene tvrdoće venca profila točka u tački "3" što je pokazano u tabelarnom pregledu istraživanja površinske tvrdoće i tvrdoće po poprečnom preseku u poglavlju 7 i 8.

Treba napomenuti, da dozvoljeni oblik profila venca se meri namenskim mernim uređajem i on karakteriše eksploatacionu upotrebljivost točka samo ako se nalazi u mernom polju $>6,5 <10,7$.

Analizom pokaznih rezultata površine kotrljanja točka zapaženo je sasvim simetrično trošenje oblika dodira točka sa šinom i kočionom papučom što je sasvim i povoljno i očekivano zadovoljavajuće. Merenjem i analizom rezultata nazivnog prečnika prikazanom u poglavlju 11. zapaža se skoro neznatno odstupanje nazivnog prečnika u odnosu na polazno stanje pre eksploatacionog istraživanja, a prikazano u tabelarnom pregledu 10.1.2. gde se očito zapaža da promena nazivnog prečnika točka u dvogodišnjem eksploatacionom istraživanju je svega umanjena do 4, 5 mm što je svakako više nego zadovoljavajuće. Ovo ukazuje da tehničko-tehnološki proces obnavljanja venca navrivanjem nije prouzrokovalo nikakve termičke i strukturne promene u materijalu realne okoline venca i površine kotrljanja tj oboda, te je trošenje materijala rezultat prirodnog habanja prouzrokovanog procesom kotrljanja točka po šini dozirano kombinovanim statičko-dinamičkim opterećenjem.

Sveobuhvatanom analizom vizuelnih i kontrolno-mernih geometrijskih parametara profila eksperimentalno-eksploatacionih točkova, ukazuju na potpuno zadovoljavajuće veličine u dvogodišnjem eksploatacionom istraživanju, a ocenjujemo da je to rezultat dosledne primene naučnih metoda i postupaka koji su sadržani u tehničko-tehnološkom procesu obnavljanja venca navrivanjem, sa precizno postavljenim uticajnim elementima kao što su predgrevanje oboda točka, dodatnog i zaštitnog materijala, tehnološki režimi rada, procesa navrivanja i uslovni tehnološki nivo mašinske opreme.

11.2.2. Analiza rezultata površinske tvrdoće profila točka

11.2.2.1. Analiza rezultata površinske tvrdoće nakon eksperimentalnog istraživanja

Uslovnost železničkih propisa o graničnim vrednostima tvrdoće profila i venca točka obrađeno u poglavlju 7.3, a tehnika merenja je sprovedena savremenim mobilnim uređajem čiji su dijagnostički rezultati meritorani za akreditovane laboratorijske institucije. Ova metoda ispitivanja spada u savremeni dijagnostički postupak provere stanja venca monoblok točka i odlikuje se u progresivnoj prednosti u odnosu na statičko stacionarno ispitivanje. Prednost dijagnostikovanja ovom metodom čine: brzina merenja, veoma velike mogućnosti praktične primene kako na male tako i na velike komponente, a pogotovo one na teško pristupačnim položajima kao što je i ovaj slučaj i ekonomičnost primene koju karakteriše težnja potrebe za stalnim smanjivanjem troškova i boljom kvalitetom. U pomenutom poglavlju (7.3.) primenjeno je ispitivanje tvrdoće profila kotrljanja i venca točka, statička UCI metoda (eng. Ultrasonic Contact Impedance). Na

slici 7.3.1. prikazana je šema ispitivanja tvrdoće profila točka po osi profila venca i površine kotrljanja u četiri položaja sa po pet mernih tačaka. U tabeli 7.3.1. dati su rezultati ispitivanja površinske tvrdoće nakon navrivanja venca za sve eksperimentalne monoblok točkove koji su kvaliteta ER7.

Analize rezultata merenja ukazuju da sveukupna zona habanja površine kotrljanja i venca točka pokazuje zadovoljavajuće vrednosti tj. da je minimalna tvrdoća po Brinelu, pri svakom merenju \geq od vrednosti 235 HB. Vrednost tvrdoće na mernim tačkama 3, 4 i 5, to jest u zoni navara se odlikuje ujednačenom tvrdoćom, a iste se nalaze bliže maksimalnoj vrednosti u odnosu na zakonodavne odredbe UIC812-3 i EN 1326 koje uslovljavaju tvrdoću oboda i venca na 235÷285 HB. Ova tvrdoća je u opsegu od 252 do 272 HB. Ovakvu tvrdoću karakteriše duži eksploatacioni vek, odnosno veću otpornost na habnje u kontaktu venca sa bokom šine u odnosu na površinu kotrljanja. Ovu mehničku karakteristiku, smatramo povoljnom, a rezultat je zadovoljavajući koncipirani tehnološki postupak obnavljanja venca točka, metodom navarivanja, zasnovan na savremenim naučno tehnološkim dostignućima u ovoj oblasti. Tvrdoća u zoni površine kotrljanja i dodira sa šinom je u opsegu 240÷246 HB. Takva tvrdoća udovoljava zakonske železničke okvire i ona će procesom eksploatacije značajno produkovati uvećanoj tvrdoći, takozvanom smozakaljenju, a kao posledica je stalan kontakt površine kotrljanja sa šinom uz sudejstvo statičkog i dinamičkog opterećenja.

Pored navednog, vrlo bitno je uočiti i analizirati opseg rasipanja tvrdoće po mernim tačkama. Tabelarne vrednosti ukazuju da je rasipanje tvrdoće u izuzetno malim apoenima, u odnosu na susedne merne tačke što karakteriše visok nivo uspešnosti koncipiranog tehničko-tehnološkog procesa obnavljanja vnaca monoblok točka kvaliteta ER7.

11.2.2.2. Analiza rezultata površinske tvrdoće, ispitivana procesom eksploatacionog istraživanja

Rezultati sopstvenih eksploatacionih ispitivanja površinske tvrdoće profila venca i površine kotrljanja, jedan je od važnih dijagnostičkih faktora na osnovu čega se baziraju naučna saznanja o uspešnosti istraživačkog projekta disertacije. Naučnim posmatranjem i komparativnom metodom prikazanih rezultata površinske tvrdoće u poglavlju 10.2 navedenih u tabelama 10.2.1.; 10.2.2.; 10.2.3 i 10.2.4. ukazuju na sledeće:

- a. Površina na profilu venca točka (navrivana površina) u zoni mernih tačaka 3, 4, i 5 nakon kvartalnog dvogodišnjeg istraživanja, vizuelnim pregledom i merenjem ukazuje na potpuno ravnomerno trošenje celokupne dodirne površine sa šinom, a time ravnomerno i istovremno ugrožava parametre profila venca točka tj. visina venca, debljina venca i oblik radijusa u odnosu na komparativne monoblok točkove, na kojima je površina koja reguliše debljinu venca u znatnoj prednosti trošenja u odnosu na ostale površine parametara venca. Analizom svih rezultata površinske tvrdoće eksperimentalnih točkova, nakon dvogodišnjeg eksploatacionog istraživanja, prosečna vrednost pohnosti površine profila venca eksperimentalnih točkova je 1,8 mm, a komparativni točkova je 2,3 mm
- b. Analizom tvrdoće u tačkama 3,4 i 5 svih točkova koji su u funkciji istraživanja na teretnom vagonu serije Uaddf zž broj 86 44 934 6002-1, pokazuju da površinska tvrdoća na eksperimentalno-eksploatacionim točkovima je ujednačena sa manjim konstatnim porastom koji se manifestuje procesom eksploatacije, a posledica je kombinovanog statičko-dinamičkog opterećenja pri kotrljanju točka po šini. Ovo se slobodno može tumačiti povoljnom pojavom što rezultira smanjenje potrošenje profila venca. Komparativni točkovi ugrađeni na istom istraživačkom vagonu na obrtnom postolju br. II površinska

- tvrdća je neujednačena, odstupa od polaznih vrednosti sa prosečnim smanjenjem tvrdoće u odnosu na eksperimentalne točkove do 8 HB.
- c. Analizom dijagnostičkih rezultata merenja i kontrole venca točka, koji je izvršen procesom eksploatacije, nakon dvogodišnjeg istraživanja, na eksperimentalno-eksploatacionim točkovima ne postoje elementi istiskivanja kalote ili vidljivih deformacionih pomeranja materijala sa površine navara ka vrhu profila venca niti na površini prelaza sa korena venca na površinu dodira sa šinom, a kod kompartivnih točkova uočeni su manje deformaciona pomeranja materijala ka vrhu venca točka, što je i uobičajno u praksi.
 - d. Kontrolom površine navara na venac točka kod eksperimentalnih točkova, sa uvećalom od 20x nisu zapaženi inicijalni znakovi površinskih ljuštenja ili površinskih pukotina, kao i na na kompartivnim točkovima bez vidljivih ikakvih mikroljuštenja.
 - e. Tvrdoća navara pre eksploatacionog istraživanja kao i uvećana tvrdoća navara na profilu venca točka koja procesom eksploatacije, prouzrokovana statičko-dinamičkim i termičkim opterećenjima nastalim procesom kočenja tj. priteznom silom kočne papuče na površinu kotrljanja, udovoljava železničke propise i normative naših zemalja.

11.2.3. Rezultati ultrazvučne defektoskopije

U teoretskom i eksperimentalnom delu ovog istraživanja predmeta disertacije, veliku pažnju smo posvetili izučavanju o domenu primene ultrazvučnih dijagnostičkih tehnika i tehnologija, na vitalne elemente železničkih sistema kao što je monoblok točak. Sa teoretskog aspekta istraživanja sasvim je izvesno i poznato da prisustvo grešaka u svakom materijalu pa i u materijalu venca točka može da prouzrokuje katastrofalne posledice pri procesu eksploatacije. Iz tih razloga sasvim logično i opravdano se nametnuo stav da ultrazvučnoj defektoskopiji i te kako pripada važan segment tehničkog procesa dijagnostikovanja, kako pri procesu održavanja venca monoblok točka tako i pri eksploatacionom procesu. U procesu eksperimentalnih i eksploatacionih ispitivanja monoblok točkova obnovljenih venaca metodom navarivanja, ova tehnika dijagnostikovanja nam je dala dragocene dijagnostičke podatke potpovršinskog stanja i grešaka u ZUT-u, navaru i osnovnom materijalu venca. Sav tehnološki proces ultrazvučne defektoskopije sproveden je i usklađen sa EN 26520.

Za donošenje odluka o uvrštavanju osovinskih sklopova u eksploataciju, a koja su podvrgnuta eksperimentalnom i eksploatacionom istraživanju primenili smo ultrazvučnu defektoskopiju oboda i venca točka kvaliteta ER7. Na slici 7.4.1. prikazan je proces ispitivanja ultrazvučne defektoskopije savremenim defektoskopskim aparatom, koji je novije generacije, a o kome je bilo reči u poglavlju 4.3. Tehnološki proces ispitivanja defekata u materijalu točka, prikazan je u poglavlju 7, slika 7.4.2. koristeći ultrazvučni uređaj sa pravcem pružanja ultrazvučnog snopa talasa prema korenu, venca u području, gde je vršen proces nanošenja materijala. Ultrazvučnoj dijagnostici su podvrgnuti osnovni i dodatni materijali venca monoblok točka koji je tehnološkim procesom obnovljen navarivanjem kod svih eksperimentalnih i eksploatacionih osovinskih sklopova. Dobijeni rezultati su prikazani zapisom uređaja u obliku dijagrama za svki monoblok točk slika 7.4.3; 7.4.4; 7.4.5. 7.4.6, 7.4.7, 7.4.8, 7.4.9, 7.4.10, a opisno dati u prilogu.

Sa grafičkih prikaza ultrazvučne defektoskopije se može konstatovati da promena u materijalu venca i oboda točka u u obliku inicijalnih pukotina ili lunkera u dodatnom materijalu nije uočeno, niti je došlo do ikakvih promena u odnosu na stanje pre procesa obnavljanja venca. Ovo potvrđuje da novi sveobuhvatni tehničko-tehnološki postupak održavanja venca monoblok točka kvaliteta materijala ER7, je zasnovan na novim nučnim

dostignućima teoretskog izučavanja izvodljivosti varenja i spajanja čelika koji spadaju u kritičnu grupu izvodljivosti spajanja postupkom varenja zbog uvećanog procenta ugljenika.

Novi koncept održavanja železničkih točkova svakako je baziran na novim savremenim tehnikama dijagnostikovanja kao što je ultrazvučna defektoskopija sa mogućnošću primene različitih sonde koje pouzdano otkrivaju svaku grešku u materijalu točka, bez obzira na veličinu, oblik i položaj greške. Dijagnostičkim uređajem USM 35X je sprovedeno dijagnostičko ispitivanje točkova kako pre procesa obnavljanja venca tako posle samog eksperimenta obnavljanja, a potom i procesom eksploatacionog istraživanja u trajanju od dve godine. Dobijeni rezultati su u potpunosti zadovoljavajući i usklađeni prema međunarodnim odredbama vezanih za ovu oblast.

11.3. Rezultati ispitivanje zaostalih napona nakon navarivanja venca, ultrazvučnom metodom

Sa stanovišta teorijskog izučavanja obnavljanja venca tehničko-tehnološkim procesom navarivanja, jasno je predočeno da je prisustvo zaostalih napona neizbežno, a produkovan je posledicom neuravnoteženog hlađenja metala šava i osnovnog metala. Posledica te neravnomernosti je realna nesavršenost tehnološkog procesa zagrevanja i hlađenja venca i oboda točka. Metal šava i ZUT, zbog hladnog osnovnog materijala u okolini, ne mogu da se slobodno termički šire i skupljaju, što uzrokuje pojavu napona, koji su posle zavarivanja prisutni u šavu i najbližoj okolini. To znači da u zavarenom spoju uvek su prisutni zaostali naponi, kao posledica neuravnoteženog hlađenja metala šava i osnovnog metala. Kontrolisano stvaranje napona nakon navarivanja venca i te kako zavisi od tehnologije zavarivanja, što znači da se ti naponi ispravnim tehnološkim postupkom navarivanja mogu svesti na minimalne vrednosti što su svakako u ovoj disertaciji i te kako posvećene posebne naučne istraživačke tehnike i tehnologije primenjene na vencu monoblok točka kvaliteta ER7.

Merenje napona u vencu i obodu monoblok točka koji su produkovani navarivanjem venca sprovedno je ultrazvučnim postupkom. Ovom metodom se koristio akusto-elastični efekat, koji opisuje uticaj elastičnog dilatacionog stanja na brzinu širenja ultrazvučnih talasa. Primena ove mobilne dijagnostičke tehnike merenja zaostalih napona, nastalih procesom varenja, i napona produkovanim mehaničkim i termičkim dejstvima, metodama bez razaranja je savremena i pouzdana tehnološka dijagnostika koja je primenljiva na železničkim voznim sredstvima.

Postojeći naponi u materijalu venca točka će uzrokovati različite brzine polarizovanih ultrazvučnih talasa te će uzrokovati interferencije, tako što će proizvesti na displeju aparata različite amplitude i faze emitovanih talasa na osnovu čijeg merenja se utvrđuje intenzitet naprezanja. U poglavlju 7 na slici 7.5.1. prikazan je uređaj za merenje napona u vencu i obodu monoblok točka koji su produkt procesa obnavljanja venca navarivanjem. Ovim merenjem dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 11.3.1.

Broj osovinskog sloga	Br. točka	Maksimalne vrednosti zaostalih napona	Po UIC 510-5 i EN	Istraživačka namena
		U vencu i obodu točka	[MPa]	
06584/11.85	44	-132	±300	Za eksperimnetalno i eksploataciono istraživanje
	45	-032	±300	
06744/11.85	18/1	-44	±300	
	18/9	-38	±300	

11694/83	03	143	±300	Za eksperimentalno istraživanje
	04	150	±300	
261229/69	01	120	±300	
	02	98	±300	

Tabela 11.4.1. Vrednosti zaostalih napona nakon navrivanja venca točka

11.4. Diskusija rezultata sopstvenih istraživanja i poređenja sa drugim uz utvrđivanje njihovih međusobnih sličnosti i razlika

Diskusija rezultata sopstvenih istraživanja i poređenja sa drugim, uz utvrđivanje njihove međusobne sličnosti i razlika, vršena je tokom dugogodišnjeg rada u ovoj oblasti. Dugogodišnjim istraživanjem na polju održavanja vitalnih delova železničkih transportnih sredstava, analizirana je dostupna literatura razvijenog dela evropskih zemalja [4; 36; 37; 78; 88; 89; 90; 91; 92; 95, 100; 109, 112; 118; 120 i 140] kao i mnogobrojni železnički međunarodni normativi i pisani akti, kao i priznati evropski istraživački železnički institut (ERRI) koji se bavio ovom problematikom. Mnogi istraživači pomenute literature su nedovoljno ili samo teoretski izučavali problematiku predmeta doktorske disertacije, iz razloga što je međunarodna železnička unija (UIC) strogo definisala tehničke karakteristike i rezultate koje treba da udovolje proizvođači monoblok točkova, a time je i usmerila železničke uprave na obavezujući način održavanja osovinskih sklopova, tj. samoprofilisanje nakon habanja parametra venca točka.

Zbog toga za razliku od proučene dostupne literature istraživački proces predmeta doktorske disertacije ima svoje različitosti, a karakteriše je: zadovoljavajuća pouzdanost, izvodljivost primene u klasičnim radioničkim kapacitetima i uvećanom ekonomskom opravdanosti, što u suštini i čini glavni segment u doprinosu sasvim novom tehničko-tehnološkom konceptu održavanja venca monoblok točka kvaliteta materijala ER7.

U citiranoj literaturi autora istraživača [28; 30; 35; 36; 43 i 47]⁹⁴ i ostale dostupne literature vezane za temu doktorske disertacije [48; 51; 59; 61; 62; 63; 70 i 117]⁹⁵ razmatraju se primeri laboratorijskih ispitivanja i testiranja nivoa kvaliteta novoprodučenih monoblok točkova. U odnosu na eksperiment koji je predmet disertacije, postoje razlike u metodološkom konceptu dijagnostikovanja i provere stanja monoblok točka. Te razlike se očituju u tehnološkom pristupu dijagnostikovanja stanja točka procesom eksploatacije koji se sprovodi pri planskom i vanplanskom održavanju i otklanjanju otkaza na tehničkom sistemu tj. železničkom vagonu. Ovakvim pristupom istraživačkog eksperimenta se potkrepljuje **prvi značajan doprinos** sopstvenog istraživanja koji omogućava uvećanu eksploatacionu pouzdanost točkova na kojima je sprovedn eksperiment. Imajući za činjenicu da se radi o sasvim novom tehničko-tehnološkom procesu održavanja monoblok točkova u procesu eksploatacije, u korištenoj dostupnoj literaturi nisu sadržane pojedine tehnike i tehnologije dijagnostikovanja koje bi bile meritorne za ocenu i prepoznavanje nivoa stanja vitalnog mašinskog dela tj. monoblok točka.

[28; 30; 35; 36; 43 i 47]⁹⁴ Naučno-istraživački radovi vezni za temu doktorske disertacije, autor **Veljko V.**, i drugi, objavljeni u vodećim nacionalnim časopisima Republike Srbije i Republike Srpske od 2008 do 2011 godine

[48; 51; 59; 61; 62; 63; 70 i 117]⁹⁵ Naučno-istraživački radovi vezni za temu doktorske disertacije, poznatih autor Republike Srbije i ostalog dela sveta, objavljeni 1998 do 2007 godine.

U izuzetno složenim eksploatacionim železničkim uslovima, veoma je značajno pravovremeno otkrivanje potencijalnih mana i nepouzdanih dijagnostičkih parametara venca točka. U tome se ogleda i **drugi značajn doprinos** sopstvenog istraživanja predmeta doktorske disertacije, a to je primena dijagnostičkih tehnika i tehnologija bez razaranja, procesom eksploatacije, a koje su meritorne za procenu stanja i uvećanja nivoa pouzdanosti. Sa aspekta sprovedenog celokupnog sopstvenog istrživačkog procesa predmeta doktorske diseracije, diskusiju rezultata i poređenja sa drugim uz utvrđivanje njihovih međusobnih sličnosti i razlika, možemo posmatrati kroz dva istraživačka procesa:

3. Diskusija rezultata sopstvenih eksperimentalnih istraživanja i poređenja sa drugim uz utvrđivanje njihovih međusobnih sličnosti i razlika
4. Diskusija rezultata sopstvenih eksploatacionih istraživanja i poređenja sa drugim uz utvrđivanje njihovih međusobnih sličnosti i razlika

11.4.1. Diskusija rezultata sopstvenih eksperimentalnih istraživanja i poređenja sa drugim uz utvrđivanje njihovih međusobnih sličnosti i razlika

Sa naučnog gledišta, analize i diskusije eksperimentalnog istraživanja primenjuju se obavezno kod složenih stanja opterećenja i naprezanja na modelima i elementima konstrukcija koje nose veliku odgovornost pri eksploataciji u tehničkom sistemu. Takav pristup naučnog saznanja ovoj doktorskoj disertaciji je primenjen i sproveden istraživački eksperiment na odabranim modelima tj. monoblok točkovima. Na tim eksperimentalnim točkovima pokazani su relevantni dijagnostički rezultati, a na osnovu kojih je naučnim posmatranjem analizirani i komentarisani u poglavlju 11.1.. Na taj način analizom i diskusijom dobijenih eksperimentalnih rezultata u laboratorijskim uslovima, u poređenju sa istraživačima [5; 21; 26; 35; 37; 47; 69; 79; 83; 116, 120 i 134] rezultata koji su ujedno i kreatori međunarodne UIC objave 812-3 i EN13262, je postignut određeni nivo uspešnosti ovog dela istraživačkog procesa predmeta doktorske disertacije. Svi rezultati koji su predmet eksperimntalnog istraživanja tj. vizuelna kontrola, hemijska analiza, tvrdoća profila točka, mehaničke karakteristike prouzrokovane zatezanjem i lomom epruveta, mikrografske karakteristike, smer i intezitet napona u celokupnom točku, ultrazvučna defektoskopija, zaostali naponi u vencu točka i vrednosti žilavosti do pucanja venca točka, su pokazali zadovoljavajući nivo usklađenosti prema pomenutoj UIC objavi i EN. Sve tehnike i postupci ispitivanja i dijagnostikovanja su sprovedeni u akreditovanim laboratorijama, standardnog tipa, koristeći usklađenost važećih normativnih akata shodno postupku merenja, kontroli i ispitivanja prema EN, a dobijeni rezultati sopstvenih eksperimentalnih istraživanja su uporedivi sa rezultatima navedne literature. U cilju komparativnosti rezultata eksperimentalnog istraživanja u nastavku su tabelarno, dijagramski i opisno prezentovani po redosledu sprovednog istraživanja.

1. Hemijska anliza dodatnog materijala i osnovnog materijala

Kvalitet Čelika	Maksimalni udeo %										
	C	Si	Mn	P ^b	S ^{b,c}	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Cr+Mo+Ni
ER7	0,46 0,52	0,40	0,80	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50

Tabela 11.4.1.1. Maksimalni udeo hemijskih elementa u materijalu monoblok točkova kvaliteta ER7 po UIC 812-3 i EN 13262

Broj točka	ANALIZA u %										
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Al
01	0,38	0,42	1,35	-	0,008	0,15	0,39	0,09	0,015		
02	0,38	0,50	1,25	-	0,010	0,14	0,32	0,10	0,022		
03	0,42	0,44	1,35	-	0,011	0,15	0,34	0,11	0,018		
04	0,44	0,46	1,36	-	0,008	0,16	0,33	0,09	0,024		

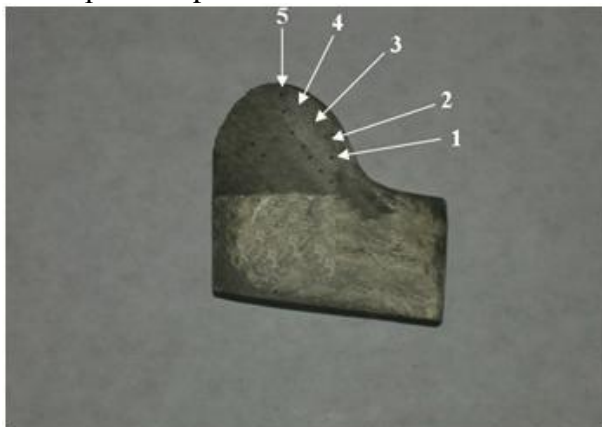
Tabela 11.4.1.2. Rezultati hemijske analize navara eksperimentalnih točkova

Dobijeni rezultati dodatnog materijala na vencu točka-navar, prikaznog u tabeli 11.4.1.2, pored ugljenika, legirajućih elemnta Mn, Si i Cr ukazuju na zadovoljavjući sadržaj koji može da obezbedi sve zahtevne mehničke karakteristike venca točka propisane UIC 812-3 i EN 13262, što i ukazuju istraživači dostupne literature ovog problema [2; 4; 5; 21; 26; 37; 47; 69; 79; 83; 116, 120 i 134]. Dobijene vrednosti bitnih elemenata koji definiše regulativna železnička literatura se kreće u granicama: C od 0,38 ÷ 0,44% ; Mn od 1,25 ÷ 1,36%; Si od 0,42 ÷ 0,50% i Cr od 0,32 ÷ 0,39%.

Što se tiče štetnih elemenata u osnovnom i dodatnom materijalu venca točka, dobijeni rezultati ukazuju da u osnovnom materijali sadržaj S se kreće od 0,011÷0,014%, a P od 0,013 ÷ 0,015%. Ove vrednosti ne prelaze granicu 0,04% kada mogu da značajnije utiču na granicu razvlačenja, zateznu čvrstoću, žilavost, zavarljivost, sklonost prema nastajnju toplih prslina itd.

Skrivenih štetnih elmenta kao što su Azot, Vodonik i Kiseonik, u osnovnom i dodatnom materijalu nema. Ovakav hemijski sastav dodatnog materijala i te kako je rezultat dobro definisanog sastava elektrodne žice, zaštitnog materijala (praška) kao i sveobuhvatnog koncepta tehnološkog procesa navarivanja.

2. Tvrdoća po porečnom preseku profila venca



Slika 11.4.1.1. Merna mesta ispitivanja tvrdoće na dodatnom materijalu venca točka[30]⁹⁶

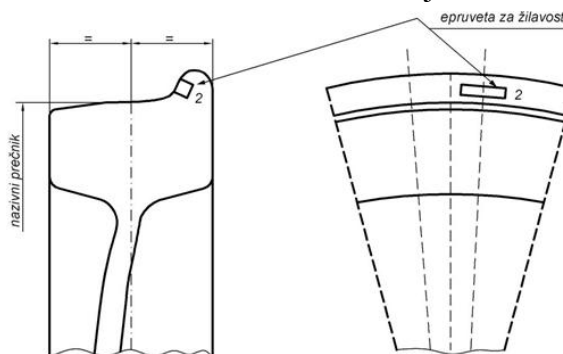
[31]⁹⁶ Vuković, V., i inženjeri instituta „Objedinjenog Metalurškog Kombinata Rusije“, Viksa, 2010.

Uzorak broj	Merno mesto br.	1	2	3	4	5	Prema UIC 812-3 i EN 12363
1	HB	265	271	285	289	262	235÷285 HB
2	HB	264	260	271	272	265	
3	HB	265	267	267	271	265	
4	HB	259	260	262	260	248	

Tabela 11.4.1.3. Rezultati tvrdoće dodatnog materijala venca točka ispitivane po poprečnom preseku[31]

Vrednost tvrdoće dodatnog materijala prikazanih u tabeli 11.4.1.3, su na očekivanom nivou. Rasipanje rezultata, je jako malo što potvrđuje dosledno koncipiran tehnološki postupak navarivanja venca točka. Ispitivanje tvrdoće na eksperimentalnim uzorcima, u zoni dodatnog materijala izvedno je po Rokvel metodi (HRC), a rezultati pokazuju da je u dodatnom materijalu tvrdoća znatno veća od tvrdoće osnovnog materijala. Dobijeni rezultati ispitivanja su na gornjoj granici propisanih veličina shodno železničkim internacionalnim propisima tj. železničkoj UIC objavi 812-3, kao i EN 12363. Ovakva tvrdoća dodatnog materijala upućuje na manju plastičnost u području visoke čvrstoće i sklonosti krtom lomu, a nasuprot tome ta visoka tvrdoća ukazuje na povećanu otpornost na habanje što produžava eksploatacioni vek točka, a što uvećava ekonomski efekt.

3. Udarne žilavosti venca točka na dodatnom materijalu



Slika 11.4.1.2. Mesto uzorkovanja epruvete za žilavost

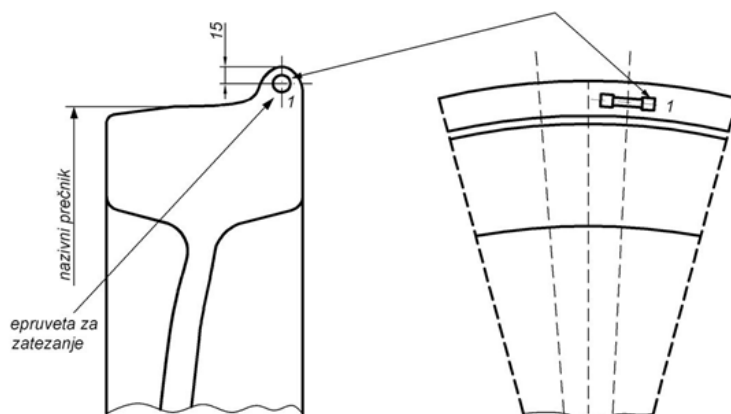
Osovinski sklop	261229/69		11694/83		Prema UIC 812-3 i EN 12363
Monoblok točak	01	02	03	04	Min. 12 [Nm/cm ²]
	Izmerne vrednosti [Nm/cm ²]				
Epruveta iz venca –dodatni materijal KU [J] pri +20°C	a	16	15	18	14
Epruveta iz venca –dodatni materijal VU[J] pri -20°C	a	9	11	8	9
					Min. 7 [Nm/cm ²]

Tabela 11.4.2.4. Rezultati udarne žilavosti eksperimentalnih monoblok točkova uzorkovanih iz venca [31]⁹⁷

[31]⁹⁷ Vuković, V., i inženjeri instituta „Objedinjenog Metalurškog Kombinata Rusije“, Viksa, 2010.

Uzimajući u obzir dobijene rezultate, koji su prikazani u tabeli 11.4.1.4. može se zaključiti da su primenjeni postupci ispitivanja duktilnosti i žilavosti dodatnog materijala na vencu točka, visoke čvrstoće selektivni. Rezultati dobijeni pomoću Šarpi ispitivanja su saglasni sa rezultatima propisanim međunarodnom objavom UIC 812-3 i EN 12363 za ovu oblast, te se za ova ispitivanja potvrđuje uspešnost primene novog tehničko-tehnološkog postupka održavanja osovinskih sklopova nakon habanja parametara venca točka železničkih vozila.

4. Zatezna čvrstoća venca točka sa sastavom dodatnog materijala i prema UIC i EN



Slika 11.4.1.3. Položaj uzorkovanja epruveta za eksperiment istezanjem

Prema UIC 812-3 i EN 12363		
Granica razvlačenja Rv [N/mm ²]	Zatezana čvrstoća Rm [N/mm ²]	Izduženje δ ₅ (10) [%]
≥520	820÷940	≥14

Tabela 11.4.1.5. Uslovne mehaničke osobine zatezanjem epruveta iz venca točka po UIC 812-3 i EN 12363

Broj točka	Broj epruv.	Sila na Granici istezanja F [N]	Granica razvlačenja Rv [N/mm ²]	Max. sila F [N]	Zatezana čvrstoća Rm [N/mm ²]	Izduženje δ ₅ (10) [%]
01	2	46.237	589	65.783	832	19
02	2	45.373	578	65.515	830	18
03	2	45.530	580	66.412	846	18,5
04	2	46.316	590	70.494	848	18

Tabela 11.4.1.6. Rezultati ispitivanja zateznjem eksperimentalnih monoblok točkova[33]⁹⁸

[33]⁹⁸ Vuković, V., i inženjeri laboratorije, „Metalotehna“ Kneževo, 2010.

Ispitivanja koja se odnose na određivanje pojedinih osobina čvrstoće (mehaničke osobine) imaju vrlo važan uticaj na ocenu pouzdanosti točka. Cilj kod ovakvih ispitivanja je da se kod dodatnog materijala venca točka železničkih vozila, a pod dejstvom opterećenja sličnog kakvo će podneti u svom u radu pronađu granične karakteristike, kao npr.:

- kada će doći do loma,
- kolika je najveća deformacija,
- kakav je odnos između deformacije i opterećenja.

Ove mehaničke karakteristike monoblok točkova od materijala čelika ER7 se ne traži samo određena čvrstoća nego ceo niz drugih osobina. Prije svega materijal koji ima zadovoljavajuće osobine čvrstoće mora imati i određene tehnološke osobine pa da bude upotrebljiv (npr. da se može obradom sa skidanjem strugotine kvalitetno obrađivati, da ima ujednačenu trakastu strugotinu, da je ujednačene tvrdoće itd.). Upotrebljivost točka je realan, ako dobijeni rezultati svih mehaničkih karakteristika kao i ispitivanjem zatezanjem zadovolji kriterije rezultata dostupne literature koja je bazirana na istraživačke procese za ovu obalast [35; 37; 60; 82; 92, 116; 120; 133; 136 i 144], a time je udovoljen interni i eksterni železnički zahtev kvaliteta točka, kao što je međunarodna objava UIC 812-3 i EN 12363. Pokazani rezultati istraživanja su dali očekivane vrednosti, te sa aspekta ispitivanja zatezanjem možemo slobodno konstatovati uspešnost istraživačkog procesa predmeta disertacije.

5. Ultrazvučna defektoskopija navrenog venca točka i poređenje sa defektoskopijom pre primene tehnološkog postupka navarivanja

Odsustvo unutrašnjih grešaka u dodatnom materijalu ispitano je kod svih eksperimentalnih točkova uz primenu automatskog ultrazvučnog ispitivanja. Poznato nam je da kod spajanja metala tehnološkim postupkom navarivanja venca, uglavnom se pojavljuju standardne greške, a to su otvori sa ravnim dnom, sa različitim prečnicima. Venac točka na kome se nalazi dodatni materijal, ne sme imati nikakve unutrašnje greške, koje proizvode eho koji je istog reda veličine ili veći, nego eho standardnih grešaka sa istom dubinom. Prečnik ove standardne greške iznosi do 3 mm. Kod aksijalnog ispitivanja, ne sme se javljati slabljenje eha odbijenog od zadnjeg zida za više od 4 dB. Ovakva greška utvrđena pouzdanom dijagnostikom je maksimalna dozvoljena, a ista je predložena opsežnim teoretskim istraživanjem istraživača u dostupnoj literaturi [6; 14; 21; 26; 38; 59; 60; 62; 63; 79 i 83] koja je bazirana na obavezujuću istraživačku i naučnu literaturu ERRI i zakonskih regulativnih železničkih propisa UIC 812-3 i EN 12363. Pokazani rezultati, prikazani na dijagramima u poglavlju 8 ovog istraživanja, nisu pokazali postojanost ni sklonost dodatnog materijala ka pojavi toplih i hladnih prslina, što je rezultat dobro koncipiranog tehnološkog procesa navarivanja uz primenu kontrolisanog predgrevanja oboda točka i intenzivno sušenje dodatnog i zaštitnog materijala. Proces dijagnostikovanja i otkrivanja eventualnih, nedozvoljenih defekata u dodatnom materijalu je izveden ultrazvučnim aparatom tipa USM 35 XS.

6. Zaostali naponi u vencu točka sa dodatnim materijalom i prethodna defektoskopija pre primene tehnološkog postupka navarivanja.

Broj osovinskog sloga	Br. točka	Maksimalne vrednosti zaostalih napona	Po UIC 510-5 i EN	Istraživačka namena
		U vencu i obodu točka	MPa	
06584 / 11.85	44	-132	±300	Za eksperimentalno

	45	-032	±300	i eksploataciono istraživanje
06744/11.85	18/1	-44	±300	
	18/9	-38	±300	
11694/83	03	143	±300	Za eksperimentalno istraživanje
	04	150	±300	
261229/69	01	120	±300	
	02	98	±300	

Tabela 11.4.1.7. Ekstremne vrednosti zaostalih napona nakon navarivanja venca točka

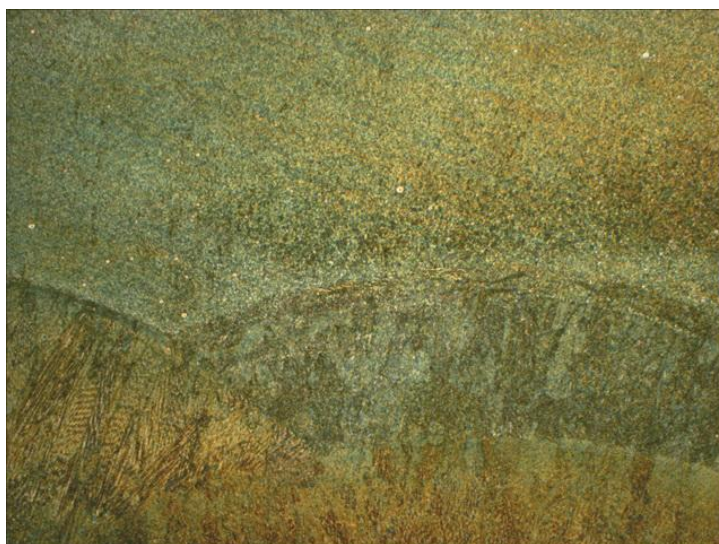
Eksperimentalno dobijene vrednosti napona u vencu točka nakon navarivanja, potvrdile su rezultate teoretske analize da se uvećanje napona javlja na mestima prelaza venca u obodu točka. Maksimalni radni napon dobijen ispitivanjem ne prelazi ekstremne vrednosti u „+“ od 150 i „-“ 132 MPa i kao takvi ne ugrožavaju konstrukciju monoblok točka, imajući u vidu da dozvoljni radni napon određen na bazi međunarodnih železničkih propisa tj. prema UIC normi 812-3 i EN 13262, ne smiju da pređu vrednost od ±300 MPa u vencu i obodu točka.

Ovim istraživanjem je pokazano da uvećanja napona nakon navarivanja venca ima, što je posledica realna nesavršenost tehničko-tehnološkog postupka, tako da se pojedine sfere materijala brže zagreju i nakon toga brže ohlade procesom navarivanja venca točka. Metal navara i ZUT, zbog nedovoljno toplog osnovnog materijala u okolini, ne mogu da se slobodno termički šire i skupljaju, što uzrokuje pojavu povećanja napona, koji su posle zavarivanja prisutni u dodatnom materijalu kao i najbližoj okolini. Za očekivati je da zatezne uzdužne komponente zaostalih napona u materijalu venca točka su znatno manje i postojeće, a nakon primene ovog savim novog tehnološkog koncepta održavanja venca monoblok točka, su i povećane. Poprečne komponente zaostalih napona su pre reparaturnog zavarivanja u vencu točka su manje od uzdužnih komponenata.

Opšti zaključak, na osnovu ove analize i zakonskih regulativnih propisa, je da dobijene vrednosti napona prikazani u tabeli 11.4.1.7. neće ugroziti konstrukciju točka, ali ukazuju na uvećanje koja je posledica potpuno nesavršenog istraživačkog procesa, a koji je u suštini u ovom vremenu nov i vrlo kompleksan.

7. Mikrostruktura dodatnog materijala na vencu točka

Diskusija strukture navarenog sloja na vencu je detaljno analizirana u eksperimentalnom delu istraživačkog rada. Poređenja sa drugim uz utvrđivanje njihovih međusobnih sličnosti i razlika nije izvodljivo zbog nedovoljno istraživane problematike ovog problema te se poređenja mogu analizirati na osnovu propisanih železničkih normativa UIC 812-3 i EN 12363, kao i rezultata evropskog istraživačkog Železničkog instituta (ERRI). Na slici 11.4.1.4. izvršeno je snimanje mikrostrukture navara na vencu točka elektronskim mikroskopom, na kojoj je jasno vidljivo položaj i oblik spoja navara uz zapažanje sledećih metalurških karakteristika.



Slika 11.4.1.4. Mikrostruktura dodatnog materijala na vencu točka [31]⁹⁹

Dodatni materijal - navar je jasno vidljiv da je čist i bez uključaka. Mikrostruktura uzduž visine navara je neznatno različita jer svaki sledeći navar utiče na promenu strukture prethodnog navara. Struktura navara je martenzitna struktura, sa većim delom slobodnog ferita. Ovakav sadržaj strukture smatramo vrlo povoljnim, i ista je prihvatljiva od strane UIC 812-3 i EN 12363, kao uporednih rezultata evropskog istraživačkog železničkog instituta (ERRI) [37]. Povoljnost se ogleda što takva struktura karakteriše elemente poboljšano, odnosno povećanu tvrdoću i otpornosti na habanje što je i cilj.

11.4.2. Diskusija rezultata sopstvenih eksploatacionih istraživanja i poređenja sa drugim uz utvrđivanje njihovih međusobnih sličnosti i razlika

Treći važan segment celokupnog istraživačkog procesa predmeta doktorske disertacije je naučno izučavanje i diskusija ključnih rezultata nastalih procesom eksploatacije osovinskih sklopova koji su podvrgnuti sasvim novom tehničko-tehnološkom istraživačkom konceptu održavanja venca monoblok točka kvaliteta materijala ER7. Celokupna dostupna literatura nije se bavila ovakvim istraživačko-naučnim saznanjima te ovaj istraživački rad ima vrlo veliki značaj u naučnoj i istraživačkoj delatnosti ove obalasti. Ovim novim tehničko-tehnološkim konceptom održavanja osovinskih sklopova stvorena je bazana naučno-istraživačka osnova koja daje vidan ekonomski efekat. Korištena dostupna literatura mnogobrojnih nacionalnih i evropskih istraživača iz oblasti održavanja novim tehničko-tehnološkim mogućnostima održavanja monoblok točka, nije izučavala i istraživala izvodljivost primene ovakvog sasvim novog tehnološkog postupka održavanja venca monoblok točka kvaliteta materijala ER7, te diskusija, poređenja i utvrđivanja njihove međusobne sličnosti i razlika nije izvodljiva. Sa te činjenice diskusiju rezultata sopstvenog eksploatacionog istraživanja, vršena je poređenjem sa istraživačkim teoretskim osnovama dostupne naučne literature, kao i regulativnim nacionalnim i internacionalnim propisima kao što je UIC objave i EN za ovu oblast, uz naučno tumačenje njihovih međusobnih sličnosti i razlika.

Izučavanjem dostupne literature i istraživačkih radova očito je da se sva dosadašnja istraživanja i izučavanja bavila tehnološkim unapređenjima proizvodnje konstrukcionog

[31]⁹⁹ Vuković, V., i inženjeri instituta „Objedinjenog Metlalluruškog Konbinata Rusije“, Viksa, 2010.

dizajna točka, težeći ka što većoj uštedi materijala točka kao i unapređenju tehnoloških procesa proizvodnje monoblok točkova, sa perfekcijom postizanja što preciznijih tehničkih karakteristika kvaliteta točka koji je usklađen međunarodnim propisima i EN. Sa tog aspekta slobodno možemo reći da je ovo tehničko-tehnološki postupak održavanja venaca monoblok točkova kvaliteta materijala ER7, novo idejno rešenje zasnovano na sveobuhvatnom istraživačkom procesu koji obuhvata meritorne nove tehnike i tehnologije dijagnostikovanja, a koje su primenjene kroz ceo tehnološki proces održavanja osovinskih sklopova obezbeđujući punu pouzdanost pri eksploataciji. Ovakav tehnološki postupak je komentarisani i analizirani u tehnološkom delu istraživačkog rada ove doktorske disertacije.

Jedan od definisanih ciljeva disertacije, bio je da, koristeći sve primenjene naučne metode, na sprovedeni istraživački eksperiment i dobijenie rezultate, definiše optimalni dijagnostički tehnološki sistem održavanja vitalnog dela, venca monoblok točka, koji je izložen kombinovanim mehaničkim opterećenjima u eksploatacionim uslovima. Takav tehnološko-dijagnostički proces će moći da unapredi, modernizuje i poveća efikasnost sa aspekta održavanja, pouzdanosti, bezbednosti, produženja veka eksploatacije, smanjenja *ukupnih troškova, podizanja nivoa sigurnosti na održavanju i zaštite životne sredine*. Rezultati sopstvenih istraživanja izvodljivosti primene tehničko-tehnološkog koncepta održavanja venca monoblok točka železničkih vozila, kvaliteta materijala ER7, je izvodljiv i primenljiv tehnološki proces u klasičnim radioničkim kapacitetima naših država.

S obzirom na navedeno kao i na samu važnost vitalnog dela železničkog vozila koje je predmet istraživanja doktorske disertacije, nameće se izričita obaveznost uvođenja dodatnih dijagnostičkih tehnika i tehnologija bez razaranja, procesom eksploatacije. Interval dijagnostikovanja se vrši pri svakoj planskoj ili neplanskoj radioničkoj intervenciji procesa održavanja bilo kog mašinskog elementa ili sklopa železničkog vozila.

Pored dijagnostičkih i mernih tehnika i tehnologija u eksperimentalnom istraživačkom procesu, primenjene su dodatne dijagnostičke i merne tehnike sprovedne istraživačkim eksploatacionim procesom, kao što su:

- d. Ultrazvučna defektoskopija profila venca točka u polju dodatnog materijala, ZUT-u i osnovnog materijala venca,
- e. Ispitivanje tvrdoće profila venca točka u tri merne tačke tj, u zoni Q_R , i dodirnog profila venca sa šinom i dve tačke profila kotrljanja i dodira točka sa šinom
- f. Ultrazvučno ispitivanje zaostalih napona u vencu i obodu monoblok točka

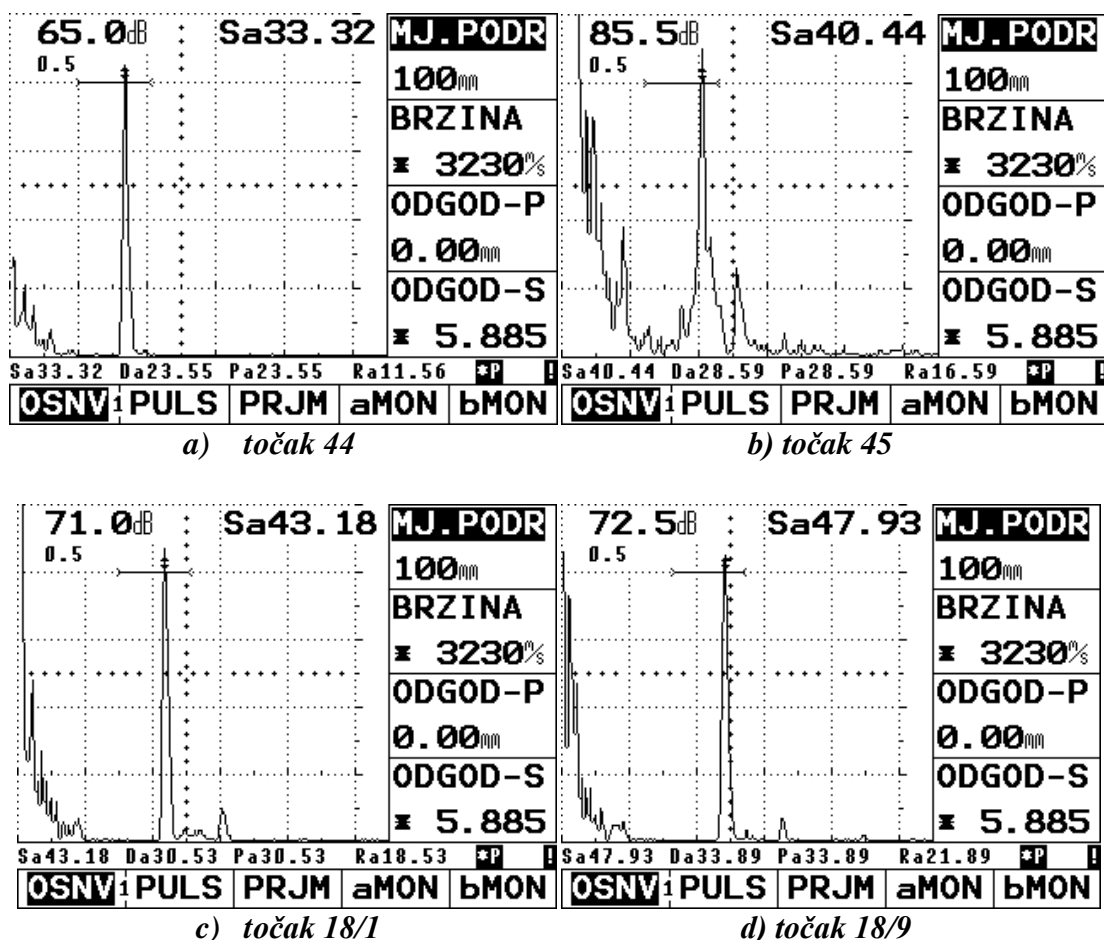
Dobijeni rezultati sopstvenih istraživanja, tokom izrade disertacije, i eksploatacionog istraživanja poređeni su sa rezultatima koji su definisani pomenutom UIC objavom i EN. Ovi rezultati ukazuju potpunu usklađenost prema pomenutim železničkim propisima sa pojedinim elementima i poboljšanošću kao što je tvrdoća koja se nalazi na samoj gornjoj dozvoljenoj granici od 265-285 HB, dodatnog materijala koji omogućava i produženje veka eksploatacije što je svakako dodatni doprinos ovog istraživačkog rada predmeta disertacije.

11.4.3. Ultrazvučna defektoskopija profila venca točka u delu dodatnog materijala, ZUT-u i osnovnog materijala venca

Ovom dijagnostikom potvrđena su očekivanja da prsline koje se nađu ispod navarenog sloja tj. u ZUT-u i dodatnom materijalu-navaru, a koje su posledica zamora materijala nastale eksploatacijom ili produkovane naponskim stanjem materijala u celokupnom monoblok točku u odnosu na stanje pre eksploatacionog istraživanja, nije došlo ni do kakve promene. Dobijeni rezultati su analizirani i poređeni sa rezultatima korištene literature koja je

usaglašena sa zakonskim železničkim propisima za ovu obalast [35; 59; 60, 61; 66; 79; 99; 109; 110, 134 i 141] kao i EN 12363.

Sa priložene slike 12.4.3.1. jasno je dokazano da novih prslina, kao i produkcije postojećih prslina nije bilo, što svakako potvrđuje uspešnost sprovednog istraživačkog rada predmeta doktorske disertacije.



Slika 11.4.3.1. Ehogrami ultrazvučne defektoskopije venca točka nakon 24 meseca

11.4.4. Ispitivanje tvrdoće profila venca točka u zoni Q_R i dodiru profila točka sa šinom

Poznato je da čelik sa srednjim sadržajem ugljenika, tj. od 0,30 do 0,59% poseduje dobru duktilnost i čvrstoću, te da je jako otporan na habanje, i zato se koristi za delove koji su izloženi velikim statičkim i dinamičkim opterećenjima. To je potvrđeno i u ovom slučaju da je dodtni materijal sa sadržajem ugljenika 0,46% i te kako povoljno delovao na otpornost habanja što je u suštini i veliki doprinos ovog istraživačkog rada doktorske disertacije. Kao što je u poglavlju 11.2. analizirani rezultati površinske tvrdoće nakon primenjenog eksperimentalnog tehničko-tehnološkog postupka navarivanja venca, potvrđeno je i nakon eksploatacionog istraživanja da su vrednosti tvrdoće navara na očekivanom nivou, a rasipanje rezultata tvrdoće je u zadovoljavajućim veličinama.

Poređenjem dobijenih rezultata tvrdoće profila venca u delu dodatnog materijala koji je izložen enormnom trošenju i rezultata korišćenje literture [39; 44; 59; 82; 109; 110, 116; 136; 139 i 141] i literture koja reguliše uslovne karakteristike, pokazano je da je ova tvrdoća na gornjoj granici što je usporilo proces habanja, a time smanjilo procenat

imobilizacije voznog sredstva po ovoj tehničkoj karakteristikici. U tabeli 11.4.4.1. prezentovani su rezultati površinske tvrdoće za celo vreme eksploatacionog istraživanja od 24 meseca, gde je jasno upućeno da u tačkama 2 i 3 tj stalnog kontakta točak šina uz kombinovana mehanička opterećenja prouzrokovalo uvećanje površinske tvrdoće na dodatnom materijalu što svakako uvećava vek geometrijskim parametrima a time i sopstveni vek eksploatacionog točka. Ove vrednosti povećene tvrdoće takođe ukazuje korištena naučna i istraživačka literatura [88; 89 i 90] na neminovnost ove pojave što je i očito. Železničke obajave i propisi kao i istraživački železnički instituti kao što je ERRI-a, sa opravdanošću ukazuju za uvećanjem površinske tvrdoće profila točka procesom eksploatacije te tolerišu uvećanje površinske tvrdoće profila i do 15% u odnosu na maksimalnu vrednost propisane proizvođačke tvrdoće.

Osovinski sklop	06584 /85		06744/85			06584 / 85		06744/85	
Br. točka	44	45	18/1	18/9	Br.točka	44	45	18/1	18/9
Merne tačke					Merne tačke				
1	266	271	269	275	1'	266	265	272	270
2	298	293	289	295	2'	297	293	295	294
3	298	302	301	299	3'	303	302	301	304
4	284	285	286	287	4'	288	285	288	289
5	260	258	257	256	5'	256	259	258	260

Tabela 11.4.4.1. Površinska tvrdoća profila, eksploataciono-istraživačkih točkova nakon dve godine

11.4.5. Ultrazvučno ispitivanje nivoa zaostalih napona u vencu i obodu monoblok točka

Dobijeni rezultati dozvoljavaju zaključak da su zaostali naponi procesom eksploatacionog istraživanja doživeli neznatno uvećanje što je i očekivano kao i naučno dokazno dostupnom korištenom literaturom [1; 6; 35; 43, 60; 63; 79; 110; 13; 136; 138 i 141]. Ovo se posebno odnosi na zaostale napone u samom vencu točka gdje je došlo do termičkih promena procesom spajnja dodatnog i osnovnog materijala monoblok točka. U tabeli 11.4.5.1. prikazana je raspodela zaostalih napona merni uzdužno i poprečno po osi šava venca, kao i u onom delu ZUT gde je lociran navareni spoj.

Broj os. sklopa	Broj točka	Polazne vrednosti	Izmerne vrednosti nakon 24 mesca	Prema UIC 812-3 i EN 13262
				Max. napon [Mpa]
06584/11.85	44	-125	-89	±300
	45	-30	+65	
06744/11.85	18/1	-37	+75	
	18/9	-35	+60	

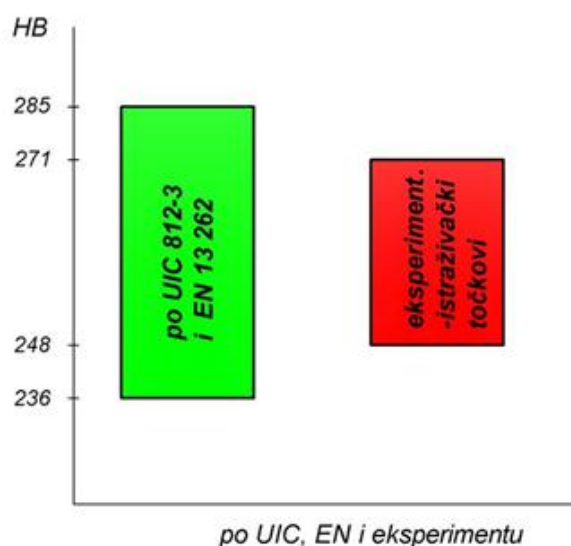
Tabela 11.4.5.1. Vrednosti zaostalih napona u točkovima nakon eksploatacionog istraživanja

Zatezne uzdužne komponente zaostalih napona u metalu navara i u ZUT su i pre reparaturnog zavarivanja su postojeće, a posle obavljenog procesa navarivanja i procesa eksploatacije u cilju istraživanja uvećanja, izazvano kombinovanim mehaničkim opterećenjima, su neznatno povećane. Poprečne komponente zaostalih napona su pre

reparaturnog navarivanja venca točka u ZUT manje od uzdužnih komponenata. One deluju na sabijanje u metalu šava i u ZUT. Posle dvogodišnje eksploatacije točka u normalnim uslovima opterećenja, dobijeni su nešto uvećana raspodela zaostalih napona koji se koncentrišu ka dejstvu sila rasprskavanja točka tj. „+“ smeru, a smanjuju vrednost delovanja napona „-“ koji zatvaraju homogenosti točka i sile usmeravaju ka centru glavčine točka. Ovakva koncentracija napona prouzrokovana procesom eksploatacije je logična i očekivana, ista je detaljno proučena i saglasna prema dostupnoj istraživačkoj literaturi, naučno-istraživačkim radovima autor u ovoj oblasti [27]¹⁰⁰ i [28]¹⁰¹, kao i regulativnim železničkim propisima. Poredeći prema međunarodnim propisima UIC 812-3 i EN13262, izmerne vrednosti zaostalih napona u eksperimentalno-eksploatacionim točkovima nakon dve godine eksploatacionog istraživanja nalaze se u dosta nižoj vrednosti od dozvoljene veličine napona tj. ± 300 Mpa. Pokazanim vrednostima uvećanja napona u točku procesom eksploatacije svakako obavezuje za doslednu dijagnostičku primenu ispitivanja napona procesom eksploatacije, kako to definiše ovaj nov tehničko-tehnološki postupak obnavljanja venca monoblok točka kvaliteta materijala ER7.

11.4.6. Grafički prikaz rezultata sopstvenih eksperimentalno-eksploatacionih istraživanja i poređenja sa železničkim međunarodnim objavama i standardima

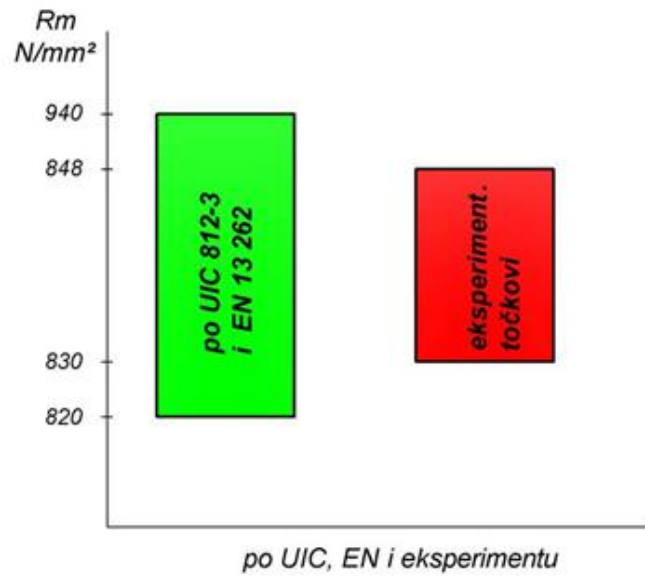
Na osnovu analize i diskusije celokupnih dijagnostičkih rezultata sopstvenog eksperimentalnog i eksploatacionog istraživanja i poređenja sa drugim uz utvrđivanje njihovih međusobnih sličnosti i razlika, bitni dijagnostički rezultati su prikazani na dijagramima 11.4.6.1. do 11.4.6.10. Prezentovani rezultati na dijagramu ukazuju na postizanje zadovoljavajućeg nivoa uspešnosti ovog istraživačkog tehničko-tehnološkog postupka održavanja osovinskih sklopova (točkova) u procesu eksploatacije. Vrednosti pojedinih dijagnostičkih rezultata koji su regulisani međunarodnom objavom UIC 812-3 i EN 13262 i dostupne literature [1; 10; 20; 30; 32; 47; 50; 59; 60; 62; 130 i 141] pokazani su na dijagramu u zelenoj boji, a dobijeni rezultati ovim istraživanjem predmeta disertacije pokazani su na istom dijagramu u crvenoj boji.



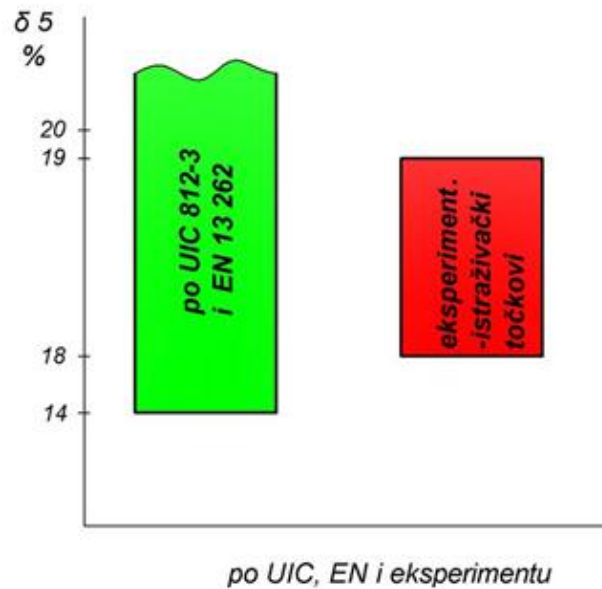
Slika 11.4.6.1. Površinska tvrdoća profila točka nakon navarivanja venca

[27]¹⁰⁰ Vuković, V., Adamović, Ž., *Calculation and the restore of the porter of wagon series „Rgs“ (Proračun i sanacija napuknuća podužnog i poprečnog nosača željezničkog vagona serije „Rgs“)* Metallurgy, Zagreb 2012.

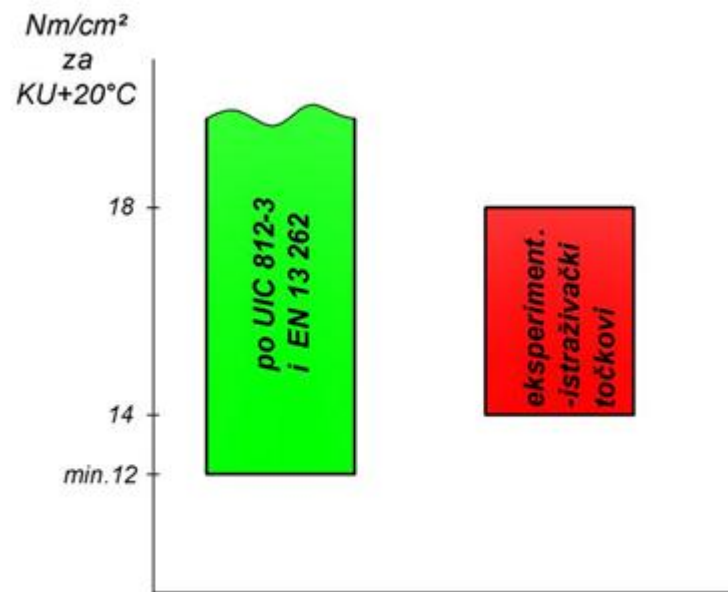
[28]¹⁰¹ Vuković, V., Radić, R., Čudić, S., *Resurfacing monoblock of steel R7T wheel rims (MBW) for the train wagons.* Metallurgy, Zagreb 2011. ISSN 0543-5846



Slika 11.4.6.2. Zatezna čvrstoća uzorkovanih epruveta iz venca točka

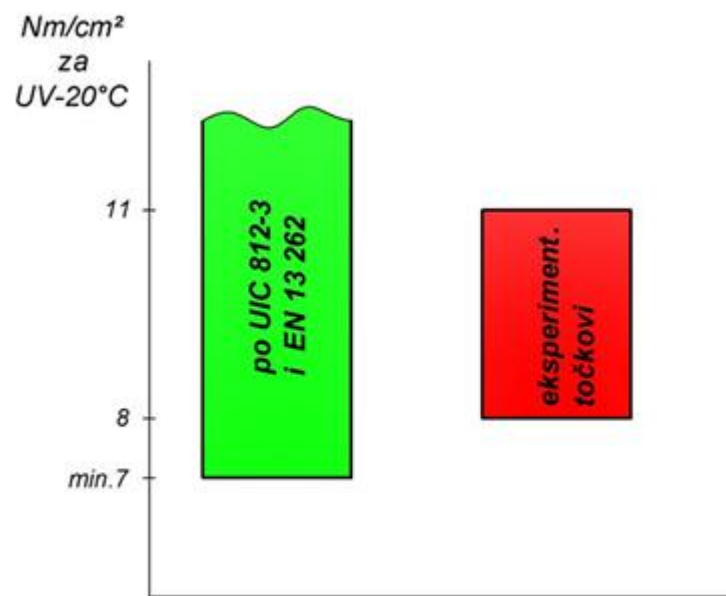


Slika 11.4.6.3. Izduženje epruveta uzorkovanih sa venca točka



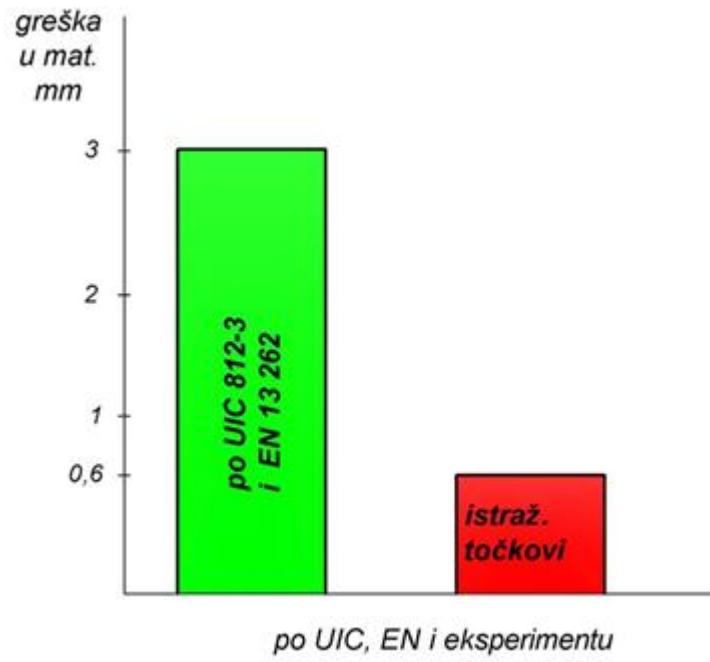
po UIC, EN i eksperimentu

Slika 11.4.6.4. Udarna žilavost uzorkovanih epruveta iz venca točka na +20 °C

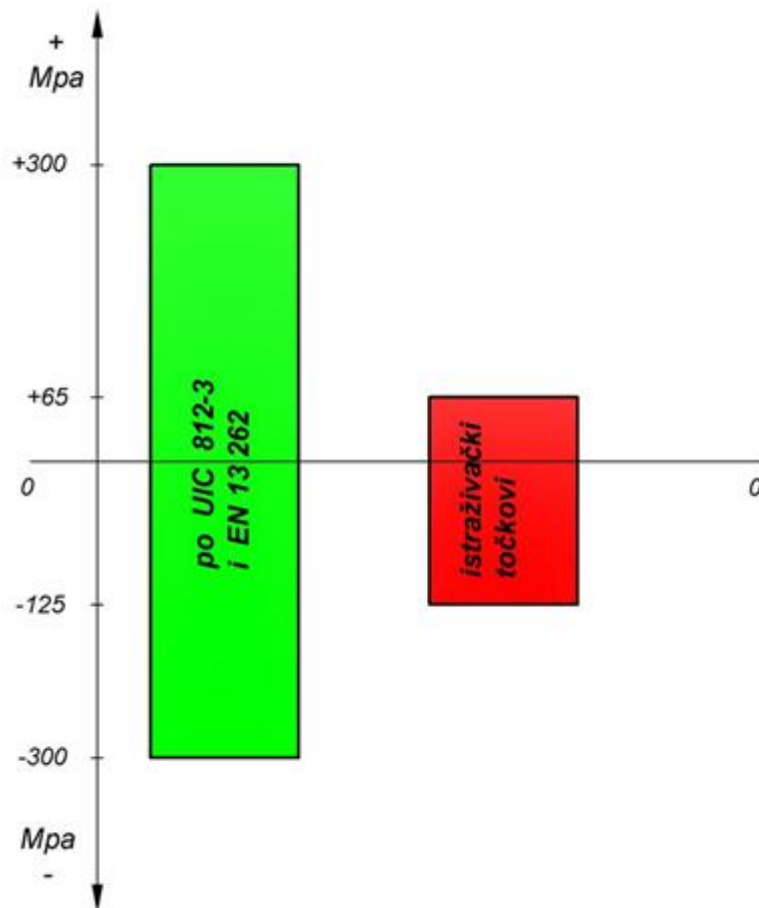


po UIC, EN i eksperimentu

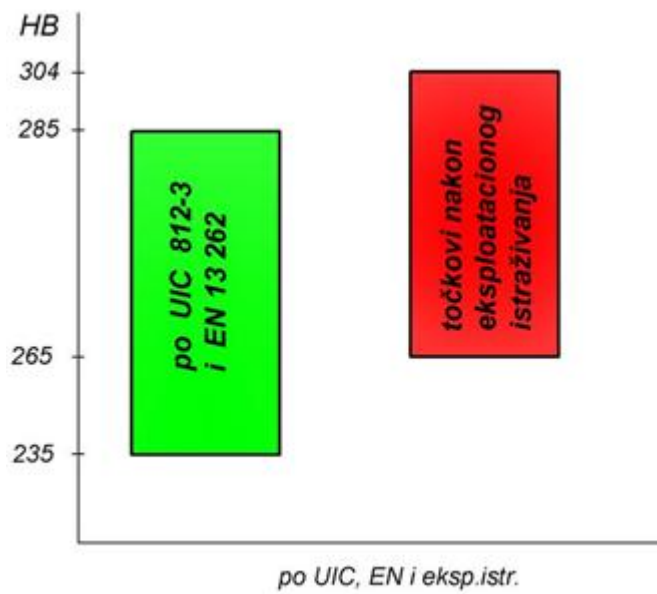
Slika 11.4.6.5. Udarna žilavost uzorkovanih epruveta iz venca točka na – 20 °C



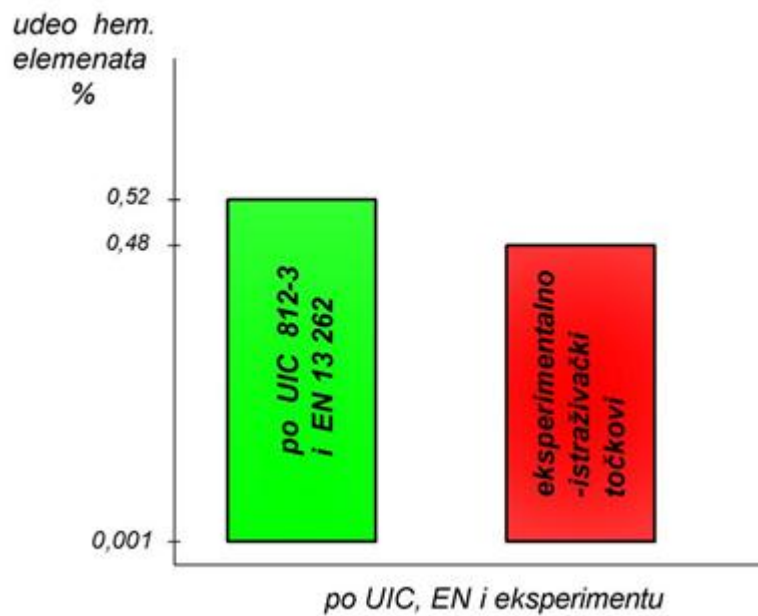
Slika 11.4.6.6. Ultrazvučna defektoskopija venca i oboda istraživačkih točkova



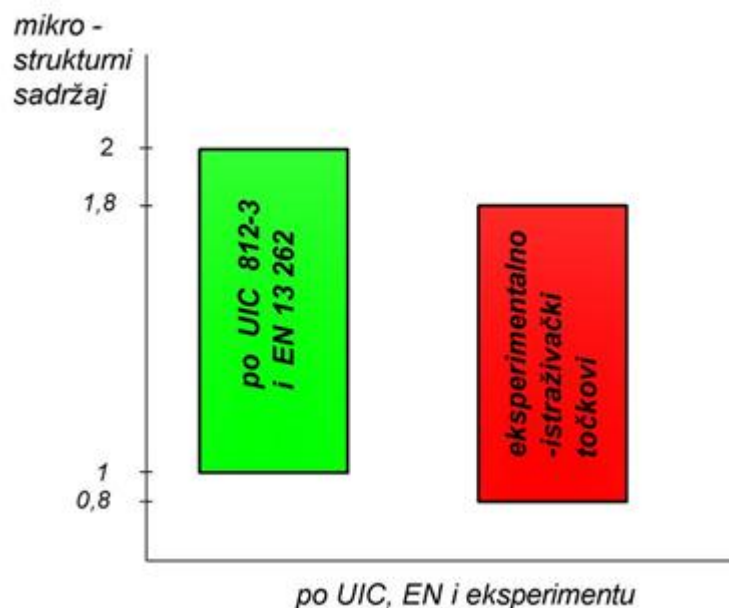
Slika 11.4.6.7. Zaostali napon nakon eksploatacionog istraživanja



Slika 11.4.6.8. Površinska tvrdoća profila točka nakon eksploatacionog istraživanja



Slika 11.4.6.9. Hemijski sastav materijala navara na vencu točka



Slika 11.4.6.10. Karakteristike mikrostrukture dodatnog materijala

S obzirom da su sistemi za dijagnostiku projektovani i sprovedeni standardnim dijagnostičkim metodama i postupcima, ovog vremena, a koje uvažavaju železnički propisi i normativi, u ovom delu istraživanja obarađene su i primenjene dijagnostičke tehnike, koje su meritorne za naučnu analizu i diskusiju postignutih rezultata i ciljeva, sprovedni procesom eksperimentalnog i eksploatacionog istraživanja. U cilju sagledavanja nivoa uspešnosti pojedinih dobijenih rezultata, metodom komparacije je sprovedena analiza istih u poglavlju 11.1. primenjenih dijagnostičkih i mernih tehnika i tehnologija.

Na osnovu dobijenih rezultata sopstvenih istraživanja ove metalruške karakteristike, iste pokazuju da je ovaj, novi tehničko-tehnološki postupak održavanja venaca monoblok točkova kvaliteta materijala ER7 izvodljiv tehnološki postupak, uz realnu mogućnost izvođenja u svim železničkim radioničkim kapacitetima koji se bave održavanjem osovinskih sklopova. Ovim je pokazano da tema doktorske disertacije može da bude predmet naučnog razmatranja i analize, kako nacionalnih tako i internacionalnih železničkih instituta i time je za očekivati da će verifikovati ovu doktorsku disertaciju kao kompleksan naučno-istraživački rad uz odobrenje i praktične primene.

12. ZAKLJUČAK

12.1. Naučni doprinos disertacije

Istraživanje, nedovoljno istraživane problematike, čiji su rezultati prikazani u disertaciji, predstavlja konkretan doprinos u naučnom pristupu primene novog tehničko-tehnološkog postupka održavanja jednodelnih točkova železničkih vozila kvaliteta materijala čelika ER7, koji se eksploatišu na vučenim železničkim voznim sredstvima za brzine kretanja do 120 km/h.

Kako je istaknuto u uvodu, problematika koja je tema disertacije, veoma je aktuelna i multidisciplinarna i u direktnoj kompleksnosti održavanja železničkih transportnih voznih sredstava, sa povećavanjem produktivnosti održavanja, podizanjem nivoa efikasnosti i pouzdanosti, produženjem veka eksploatacije, smanjenjem ukupnih troškova, podizanjem nivoa sigurnosti u radu. Istraživanja u ovoj oblasti održavanja vitalnog dela železničkog vučenog vozila-točak, su veoma kompleksna jer obuhvataju niz opservacija i eksperimenata, sa jedne strane i razvoj novih pristupa održavanja i menadžmentu stanja, sa druge strane. Kao osnovni element održavanja svakog tehničkog sistema pa i železničkog vozila, osnovni pokazatelj uspešnosti istraživačkog procesa karakteriše postizanje zadovoljavajućeg nivoa pouzdanosti pri eksploataciji. U tom cilju disertacija je detaljno analizirala i pokazala primenljivost meritornih tehnika i tehnologija čiji su rezultati analizirani i diskutovani poređenjem sa obavezujućim UIC normama i EN. Uzimajući u obzir ove činjenice i višegodišnja istraživanja predmeta disertacije i pokazanih rezultata koji se odnose na razvoj, ispitivanje, modernizaciju i optimizaciju novih savremenih tehnoloških rešenja održavanja vitalnog dela železničkog vozila, sasvim opravdano je nametnuta i potreba optimalnih dijagnostičkih tehnika i tehnologija u cilju postizanja efikasnosti tog tehnološkog rešenja. Zbog toga između velikog broja mernih i dijagnostičkih tehnika sa razaranjem, koje se u svetu koriste, a priznate od međunarodnih železničkih propisa i normi, veoma važnu ulogu u procesu dijagnostike stanja točka pri eksploataciji železničkog vozila su primenjene dijagnostičke tehnike i tehnologije bez razaranja zasnovane na polju ultrazvučne interferencije.

Predmet istraživanja je bila izvodljivost i primenljivost novog tehničko-tehnološkog koncepta održavanja venca monoblok točka kvaliteta materijala ER7, uz dominantnu primenu savremenih i pouzdanih dijagnostičkih tehnika i tehnologija.

Definisana metodologija istraživanja pokazala se kao veoma uspešna. Eksperimentalna istraživanja u laboratorijskim uslovima koncipirana su tako da su opsežnija i prihvatljiva od međunarodnih UIC standarda i EN koje važe za ovaj deo železničkog vozila. Modelno ispitivanje u laboratorijskim uslovima je sprovedeno u akreditovanim laboratorijama i institutima nekoliko zemalja u okruženju, a koji se bave ovom problematikom.

Ispitane su serije epruveta od osnovnog, dodatnog i materijala spajanja tj ZUT, sa kružnim i kvadratnim poprečnim presekom. Mesto uzorkovanja je udovoljilo železničke međunarodne normative, sa uvećanim brojem epruveta. Rezultati su prikazni u disertaciji i metodom komparacije sa međunarodnim propisima i normama potvrđuju zadovoljavajuće vrednosti.

Pored ovih laboratorijskih ispitivanja sprovedene su dijagnostičke tehnike i tehnologije bez razaranja, pre eksperimentalnog tehničko-tehnološkog procesa obnavljanja venca, posle eksperimenta, a sa ciljem dobijanja relevantnih naučnih pokazatelja promene stanja zaostalih

unutrašnjih napona u vencu i obodu točka kao i defektoskopske slike venca i oboda točka. Rezultati su prikazni i analizirani u disertaciji.

Imajući u vidu značaj i uticaj navarenog materijala i samog spoja, na bezbednost i pouzdanost železničkog vozila, nametnula se obavezna potreba za eksploataciono istraživanje. Kao što je i definisano metodologijom istraživanja, veoma važnu ulogu je imalo eksploataciono istraživanje. Trogodišnje eksploataciono istraživanje je sprovedeno na realnom voznom železničkom sredstvu - vagonu koji je namenjen za prevoz kamena i drugih čvrstih granulata. Planom istraživačkog procesa provedeno je sveobuhvatno praćenje i dijagnostikovanje svih parametara koji perferiraju za uslovnu pouzdanost sistema. Ovim planom izvršena je dijagnostika zaostalih napona u vecu i obodu točka sa cilj identifikacije promene napona koje je posledica radnih kombinovanih opterećenja pri eksploataciji. Vrlo složenim eksploatacionim opterećenjima moguća je i propagacija unutrašnjih defekta koje često u sadejstvu zaostalih napona izazivaju rasprskavanje točka koje uzrokuje iskliznuća sa šina, što u praksi uglavnom mogu biti sa katastrofalnim posledicama. Rezultati pokazni ovom dijagnostikom su prezentovani i analizirani u doktorskoj disertaciji sa zadovoljavajućim vrednostima nakon dvogodišnjeg eksploatacionog istraživanja.

Ovim istraživačkim procesom vršena su merenja tvrdoće navara i nivo habanja u odnosu na kompartivne točkove koji su u objektu eksploatacionog istraživanja, tj, na drugom obrtnom postolju, a koji nisu podvrgnuti predmetu istraživanja doktorske disertacije. Pokazno je više nego zadovoljavajuće da se značajno manje habaju venci točkova koji su podvrgnuti novom konceptu tehničko-tehnološkom procesu održavanja što kao drugi tehnički elementa uvećava eksploatacioni vek.

Posebnu pažnju ukazuju tehnološka istraživanja i analiza primene novog tehničko-tehnološkog postupka održavanja venca monoblok točka kvaliteta materijala ER7, železničkih vozila, koja ukazuje na ekonomske troškove primene ovakve metodologije održavanja kao i vrlo značajnog i očekivanog produženja veka eksploatacije u odnosu na sadašnji način održavanja ovih železničkih točkova. Ovo su izuzetno značajni naučni pokazatelji koji imaju zdravu naučnu podlogu pokazanu istraživačkim procesom predmeta disertacije.

Kao zaključak može se istaći sledeće: Izučavnje i istraživanje predmeta predložene disertacije može, u mnogome, da doprinese naučnom sagledavanju i preispitivanju procesa održavanja vitalnog mašinskog elementa železničkih vozila monoblok točka kvaliteta ER7, svih železničkih uprava na prostoru Balkana, ali i u širim razmerama. U vrlo neekonomičnoj i složenoj problematici sadašnjeg pristupa održavanja osovinskih sklopova sa točkovima kvaliteta materijala ER7, a to jest samoprofilisanjem i zamenom za nov, predložena tema disertacije je stvorila zdravu naučnu osnovu novom tehničko-tehnološkom konceptu rešavanja problema i omogućila prilaz svim železničkim upravama u traženju optimalnih i ekonomsko opravdanih rešenja. Zdrav naučno-istraživački osnov, svih pokazanih eksperimentalnih i eksploatacionih rezultata sopstvenih istraživanja, a koji su relevantni za železničke nacionalne propise, isti pokazuju da je ovaj, novi tehničko-tehnološki postupak održavanja venca monoblok točkova kvaliteta materijala ER7 izvodljiv, primenljiv i isplativ tehnološki postupak, uz realnu mogućnost izvođenja u klasičnim radioničkim železničkim kapacitetima naših zemalja.

Ovakv koncept tehničko-tehnološkog održavanja venca monoblok točkova će moći da unapredi, modernizuje i poveća efikasnost sa aspekta održavanja, pouzdanosti, bezbednosti, produženje veka eksploatacije, smanjenje ukupnih troškova, podizanje nivoa sigurnosti na radu i zaštitu životne sredine.

12.2. Pitanja koja disertacija otvara

Pitanja koja disertacija otvara na polju održavanja i primene novog tehnološkog rešenja postupkom obnavljanja venca monoblok točka vučenih železničkih vozila, čiji su monoblok točkovi kvaliteta materijala ER7, kao i optimizacije dijagnostičkih tehnika i njihov uticaj na pouzdanost sprovednog tehničko-tehnološkog postupka, osnova su za planiranje i nastavka istraživanja koja su izneta u poglavlju 12.

To su:

- I. Zbog stalnog razvoja i istraživanja novih konstrukcionih modela monoblok točkova kvaliteta materijala ER7, neophodno je intenzivno i kontinuirano praćenje rešenja razvoja točkova koji su isključivo namenjeni vučenim železničkim sredstvima. Ovo pitanje zahteva punu pažnju, a naročito kod moćnih evropskih proizvođača točkova železničkih vozila, kao što je ruski metalruški kombinat „Viksa“, češki „Bohumin“ i francuski „Valdini“, u cilju sagledavanja primenljivosti novog koncepta održavanja venca točka.
- II. Konstantno praćenje razvoja novih dijagnostičkih tehnika i tehnologija koje će omogućiti pouzdaniju dijagnostiku stanja točka procesom održavanja i eksploatacije. Ovom pitanju treba posvetiti posebnu pažnju sa stanovišta poznavanja da se nova tehnološka dostignuća transformišu dijagnostičkim tehnologijama bez razaranja u nove softverske pakete praćenja i optimizacije dijagnostikovanja tehničkih sistema.
- III. Realno je za očekivati uključenje međunarodnih naučno-istraživačkih železničkih institucija, koji će dati maksimaln doprinos u sagledavnju i daljem istraživanju, a potom sveobuhvatnoj analizi postignutih rezultata ne osposravjući dostignuti nivo naučnog istraživanja po predmetu doktorske disertacije.
- IV. Intezivno praćenje razvoja novih savremenih numeričkih postrojenja i strojeva za navarivanje, koji su konstruktivno koncipirani za mogućnosti pouzdanije i jednostavnije primene izvođenja novog tehnološkog postupka održavanja osovinskih sklopova sa perfekcijom postizanja kvalitetnijeg i pouzdanijeg tehnološkog procesa obnavljanja venca monoblok točkova železničkih vozila navarivanjem, sa baznim elementima klasičnog EPP postupka varenja.
- V. Efikasnija i preciznija identifikacija uticajnih parametara pouzdanosti dobijenim dijagnostičkim tehnikama i tehnologijama, primenjenim na ovom metodološkom konceptu održavanja venca monoblok točkova kvaliteta materijala ER7 i određivanje uticajnih parametara pouzdanosti točkova procesom eksploatacije za ceo eksploatacioni vek.
- VI. Istraživačkim procesom predmeta doktorske disertacije, realno su otvorene sve naučne i stručno-istraživačke diskusije koje će nastojati da opovrgnu ili dograde ovaj naučni doprinos predmeta doktorske disertacije. Ovakvim naučnim pristupom svakako će se stvoriti zdrav i fundamentalan načni osnov za dalji istraživački proces koji će svojim naučnim saznanjima uvećeti postojeće naučno-istraživačko dostignuće i time sva ta naučna saznanja produkovati u sasvim realne osnove uključanja većih železnički kompanija i naučnih institucija u sveobuhvatnu analizu i diskusiju.

12.3. Dokazivanje glavne hipoteze

U savremenoj privredi kvalitet se prepoznaje kao svetski fenomen. Uspešnost nekog tehničko-tehnološkog postupka značajno je povezan sa ugrađenim konceptom kvaliteta, koji omogućava ostvarivanje, prevashodno pouzdanosti, konkurentske prednosti na osnovu poštivanja tehničkih zahteva i želja tržišta.

Uvažavajući pomenute fundamentalne zahteve tržišta, u poslednje vreme, sve veće interesovanje za primenu metoda i postupaka obnavljanja nekog mašinskog elementa, je pokazano naučnim i stručnim radovima, koji se publikuju, nepobitno ukazuju na činjenicu da su to produktivni tehničko-tehnološki zahvati dovođenja nekog mašinskog dela u ponovno aktivno stanje nekog tehničkog sistema sa dobrom perspektivom. Kao tehnološki postupak primene obnavljanja postupkom navarivanja, funkcionalnih mašinskih delova u železničkom sistemu održavanja vozila i te kako ima veliku primenu. Imajući za činjenicu svoju odgovornost u voznom sredstvu, točak po tom karakteru spada u osnovni vitalan mašinski element železničkog vozila. Ta vitalnost i konstruktivno složeno tehničko rešenje točka je opravdan pokazatelj koji ukazuje na uslovnu izvodljivost održavanja venca nakon habanja navarivanjem. Sveobuhvatni istraživački proces predmeta doktorske disertacije i pokazani rezultati ukazuju na razvoj i primenu novog tehničko-tehnološkog koncepta održavanja monoblok točka, koji u suštini može da predstavlja realan naučni doprinos.

Sprovedna istraživanja u laboratorijskim i eksploatacionim uslovima pokazuju izvodljivost novog koncepta održavanja venca monoblok točkova kvaliteta materijala ER7 navarivanjem, u realnim radioničkim uslovima koje poseduju odgovarajuću tehnološku opremu i dijagnostičke uređaje. Primenom ovog sasvim novog tehničko-tehnološkog postupka održavanja monoblok točkova železničkih vučenih vozila pokazuje znatne prednosti u odnosu na postojeći metodološki koncept:

- g. Novo tehnološko rešenje održavanja monoblok točkova kvaliteta materijala ER7, je koncipirano u duhu savremnih tehnološki postupaka koji su primenljivi u klasičnim radionicama železničkih uprava naših zemalja,
- h. Primenom dijagnostike procesom eksploatacije omogućava izradu jednostavnog i efikasnog plana preventivnog održavanja, a time i sprečavanja otkaza,
- i. Omogućava sagledavanje tehničkog stanja točka u eksploatacionim uslovima,
- j. Znatno smanjuje troškove održavanja,
- k. Minimalno jednom produžava eksploatacioni vek točka,
- l. Omogućava znatno smanjenje avansnih novčanih sredstava železničkim upravama prema proizvođačima točkova,
- m. Znatno omogućava smanjenje zaliha.

Time je dokazana glavna hipoteza doktorske disertacije: **„Savremena tehničko-tehnološka metodologija održavanja monoblok točka železničkih vozila, kvaliteta materijala ER7, je izvodljiv tehnološki proces, zasnovan na konceptu novog tehnološkog rešenja, obnavljanja venca navarivanjem i savremnih tehnika i tehnologija dijagnostikovanja koje udovoljavaju nivo pouzdanosti pri funkcionisanju tehničkog sistema - železničko vozilo, shodno internaconalnim i nacionalnim zakonitostima, su obavezne za validnost izvedenog stanja“.**

Opšte je poznato da su složeni tehnički sistemi u eksploatacionim uslovima posebno zahtevni kada se od njih traži visok stepen pouzdanosti kao što je konkretan slučaj. Opravdanost i ulaganje u nove tehnike i tehnologije održavanja ogleda se u doprinosu optimizaciji, dodatnoj uštedi uz poboljšanje njihove efikasnosti u sprovođenju planskog i proaktivnog održavanja. Istraživanja, realizovana u okviru disertacije, pokazala su da savremeni tehničko-tehnološki proces održavanja vitalnog dela železničkog vozila, je neminovno uvođenje pouzdanih tehnika i tehnologija dijagnostikovanja procesom eksploatacije u uslovima, gde je tokom eksploatacije točak izložen kontinuiranim, statičkim i dinamičkim opterećenjima.

Ovakvim pristupom i dobijenim rezultatima istraživanja se ukazuje na razvoj i primenu novog metodološkog tehničko-tehnološkog koncepta održavanja vitalnog dela železničkog vozila tj. točka koji može da predstavlja realan naučni doprinos.

13. PREDLOZI ZA NASTAVAK ISTRAŽIVANJA

Ekspirementalna i eksploataciona istraživanja u okviru disertacije dala su odgovor na mnoga postavljena pitanja, ali su otvorila i nove mogućnosti za nastavak istraživanja.

Primena novog tehničko-tehnološkog postupka održavanja vitalnog dela-točka, železničkog vozila, ostaje u fokusu interesovanja teoretskih i eksperimentalno-eksploatacionih istraživanja zbog toga što su tehnologije održavanja nekog dela, savremenim postupcima obnavljanja i vraćanja u funkciju u ovo vreme dostiže progresivan napredak. Te činjenice pokazuju da istraživanja i dobijeni rezultati istraživanja predmeta disertacije otvaraju veoma široku oblast naučnog interesovanja za nastavak istraživanja i primene novih tehnika i tehnologija koje se relativno brzo menjaju i usavršavaju.

2. Buduća istraživanja izvodljivosti primene ovog novog tehnološkog postupka održavanja venca monoblok točka kvaliteta materijala ER7, navarivanjem, biće bazirana na primeni novih tehničkih metoda i postupaka koji će pouzdano i merljivo smanjivati postojeće i proizvedne unutrašnje napone, a koji su posledica uvećanja nastalih procesom navarivanja venca. Ove nove tehnike i tehnologije kontrolisanja i smanjenja napona u nekom mašinskom elementu su u istraživačkoj fazi primene i testiranja bazirani na ultrazvučno - vibracionoj metodi. Poznato je da moćni svetski istraživački instituti ovih godina ubrzano razvijaju i testiraju postrojenja i uređaje od kojih se očekuje znatno smanjenje svih unutrašnjih napona nastalih zamorom, eksploatacijom, varenjem, statičko-dinamičkim opterećenjem itd,
3. Navedna tehnika smanjenja napona će se koristiti za širok asortiman proizvoda, a naročito za kritične elemente nekog tehničkog sistema, a naročito zavarenih mašinskih elemenata, pri čemu veličina elementa varira od malih zavarenih delova, odlivenih, kovanih i valjnih, pa sve do velikih zavarenih konstrukcija teških i do 18.000 kg. Oprema za popuštanje napetosti vibracijom od ogromne je važnosti jer ima sposobnost da popusti unutrašnje napetosti u bilo kom delu proizvodnog procesa pri čemu će omogućiti:
 - Poboljšanje zavarivanja, jači zavareni zglobovi, bolja struktura zavarenih zglobova, manje deformacije, manje otpada, manje pukotine, usavršavanje zahtevne strukture, veću rastezljivost i sl.
 - Popuštanje napona je: lako, brzo, proverljivo popuštanje stresa, nema toplotne deformacije, nema ograničenja u veličini dela, smanjeno vreme mašinske obrade za 41% i sl.
 - Takozvani "Weld uređaj" Meta-Lax CNC imaće mogućnost primene tokom tehnološkog postupka varenja-navrivanja venca točka sa vrlo blagim "sub-harmonijskim vibracijama" koji će već u tečnom stanju navara i okoline materijala navara smanjivati potencijalne napone i vrlo opasne inicijalne pukotine i do 70%.
5. Kontinuirano praćenje tehnološkog razvoja u metalurškim procesima spajanja metala zavarivanjem i realnom praktičnom primenom savremnih tehnoloških dostignuća.

Kako smo pomenuli u disertaciji, nova tehničko-tehnološka dostignuća na razvoju održavanja kritičnih elementa železničkog vozila, imaju stalnu tendenciju za uvećanjem stepena pouzdanosti kvalitetnog spajanja metala tehnološkim procesom varenja odnosno navrivanja čelika koji spadaju u grupu rizično varljivih materijala zbog uvećanog sadržaja ugljenika. Poznato je da dosadašnja tehnološka rešenja i naučna saznanja upućuju na izvodljivost spajanja čelika varenjem sa sadržajem ugljenika do 0,35%. Veći procenat ugljenika u čeličnim materijalima od navedenog udela, čelici se tretiraju kao kritični materijali koji se uslovno mogu podvrgnuti tehnološkim procesima spajanja zavarivanjem.

6. Realno je za očekivati da buduća istraživanja u predmetu disertacije će biti koncipirana na fundametu numeričke automatizacije mašina koje će svojom savremennošću postići potpunu, pouzdanu i efikasnu eliminaciju ljudskog faktora na sprovođenje tehnološkog procesa navarivanja venca monoblok točka. Ovakva automatizacija će dovesti do perfektnosti tehničkih parametara režima rada koji su i te kako važni za postizanje kvaliteta navara.
7. Pored tehnološko-metalruškog razvojnog unapređenja procesa navarivanja venca monoblok točka, u daljem istraživačkom radu se planira da se tehnološkim procesom navarivanja venca uvedu savremene dijagnostičke tehnike i tehnologije praćenja procesa spajanja metala zasnovane na primeni termografskih kamera. Primenom ove savremene dijagnostičke tehnike uvećao bi nivo kvaliteta navara, kao i uticaj pojedinih tehnoloških parametara tehnološkim procesom navarivanja, a time bi se proaktivno uticalo na kvalitet navara i spoja. Planira se praćenje procesa navarivanja tehnikama koje identifikuju brzu dijagnostiku stanja spajanja različitih materijala.
8. U nastavku istraživanja pažnja će biti posvećena određivanju parametara pouzdanosti dijagnostičkih sistema koji uključuju termografiju kao integrisanu metodu sa ostalim klasičnim metodama koje se primenjuju procesom eksploatacije. S obzirom da je pouzdanost verovatnoća da će vitalan deo železničkog vučenog vozila- monoblok točka uspešno obavljati funkciju u datom vremenskom periodu uz zadovoljenje postavljenih kriterijuma cilja u definisanim radnim uslovima, period koji je bio na raspolaganju nije dovoljan da se odrede osnovni pokazatelji pouzdanosti: zakon raspodele, intenzitete otkaza i srednje vreme između otkaza.
9. Dosadašnja istraživanja su pokazala da nije dovoljno samo posvetiti pažnju tehnološkom procesu spajanja metala na vencu točka navarivanjem, već je i te kako potrebno pouzdano definisati udeo hemijskih elementa dodatnog i zaštitnog materijala koji se primenjuje procesom navarivanja venca. Ovi, izuzetno važni elementi direktno utiču na kvalitet navara i spoja navara i osnovnog materijala, što u narednim istraživanjima se očekuje posebna naučna pažnja.
10. Realno su stvoreni osnovni fundamenatlni elementi naučno-istraživačkog saznanja za pokretanje naučne inicijative u cilju potpune ili delimične verifikacije ovog novog tehničko-tehnološkog koncepta održavanja kritičnog dela železničkog vozila-točka, kvaliteta materijala ER7, kod ovlašćenih organa železničkih uprava naših zemalja. Ovim bi se učinio značajano tehnološko unapređenje na polju razvoja održavanja železničkog točka kvaliteta materijala ER7.
11. Rezultati istraživanja realizovani u okviru disertacije, kao i rezultati nastavka istraživanja, za očekivati je da će biće objavljeni u domaćim i međunarodnim konferencijama, u domaćim i stranim stručnim i naučnim časopisima.

14. LITERATURA

1. Adamović, Ž., *Metode i postupci obnavljanja istrošenih dijelova tehničkih sistema*, Naučna knjiga, Beograd, 1995.
2. Adamović, Ž., *Tehnologija održavanja*, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 1998.
3. Adamović, Ž., Stefanović, S., *Teorija vuče i kočenje vozova*, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd, 2007.
4. Adamović, Ž., Jovanović, D., *Terotehnologija u industriji čelika*, Naučna knjiga, Beograd, 2003.
5. Adamović, Ž., *Preventivno održavanje u mašinstvu*, Građevinska knjiga, Beograd, 1988.
6. Adamović Ž., Milošević, Ž., Kalabić, D., Vuković, V., Adamović, M., *Dijagnostika mašina i postrojenja*, Društvo za energetska efikasnost BiH, RS, Banja Luka 2008.
7. Afanastev P. A., *Primenenie plastičeskih mass v mašinostroenii*, Mašgiz, Moskva, 1961.
8. Blagojević, A., *Materijali u mašinstvu*, Univerzitetska knjiga, Banja Luka, 1987.
9. Beldini, A., Furlaneto, L., *Održavanje po stanju* (prevod), Milano, 1980.
10. Bogdanović, R., *Projekat vučnih železničkih vozila*, Mašinski fakultet, Niš, 1992.
11. Bozjanac, D., *Tehnička mehanika-Dinamika*, Zagreb, 1974.
12. Bogdanov, A.F., i dr., *Eksploatacija i remont kolesnih par vagonov*, Transport, Moskva, 1985.
13. Bednjak, M. N., *Modelirovanie procesov tehničeskoga obsluživanja i remonta avtomobilej*, Višaja škola, Kiev, 1989.
14. Bibik, G. A., *Proizvodstvo železnodorožnih koles*, Metalurgija, Moskva, 1982.
15. Birger, J.A., *Rasačetna pročnost detalei mašin*, Mašgiz, Moskva, 1966.
16. Blan, M., *The structure of organiyation*, New York, 1971.
17. Blanchard, B., *Logistic engineering and analysis*, Prentice Hall Inc, New Jersey, 1981.
18. Blanchard, B., Fabtycky, W., *System engineering anda analysis*, Prentice Hall Inc, New Jersey, 1981.
19. Blanchard, B., *Engineering organiyation and menagement*, Prentice Hall Inc, New Jersey, 1976.
20. Brezović, V., *Analiza jedne nezgode usled spljoštenosti bandaža*, Željeznica br.5, Beograd, 1972
21. Brehmer, L., *Technise diagnostik in der Flugyeuginstandhaltung*, Information der Yivileen Luftfahrt 11, 1975.
22. Bhadury, B., Basu, S., *Modelling total life cycle cost*, Proc. Imeche vol. 200 N. A1, 1986.
23. Valter, Z., *Dizel - električne lokomotive*, Školska knjiga, Zagreb, 1985.
24. Vainhal, V., *Kočnice i kočenje vozova*, Zavod za novinsko-izdavačku i propagandnu delatnost J.Ž., Beograd, 1982.
25. Veršinskij, S.V., *Dinamika vagona*, Naučna knjiga, Moskva, 1972.
26. Vinaš, J., Kaščak, L., *Revitalizacija šinskog točka tehnologijom navarivanja*, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Košice, Slovakia, 2008.
27. **Vuković, V., Adamović, Ž.,** *Chalculation and the restore of the porter of waggon series „Rgs“ (Proračun i sanacija napuknuća podužnog i poprečnog nosača*

- željezničkog vagona serije „Rgs“)* Metallurgy, Zagreb, ISSN 0543-5846, ISSN 1334-2576 UDK: 669+621.7+51/54(05)=111=112.2, u pripremi za štanpanje, 2013 god.
28. **Vuković, V.**, Radić, R., Čudić, S., *Resurfacing monoblock of steel R7T wheel rims (MBW) for the train wagons.* Metallurgy, 2011. ISSN 0543-5846, Metabk 50 (2) 73-144 (2011)
 29. **Vuković, V.**, Adamović, Ž., *Održavanje tehničkih sistema zavarivanjem i navarivanjem*, Časopis "Tehnička dijagnostika" broj 1-2 Vrnjačka Banja, 2012 god.
 30. **Vuković, V.**, Vuković, M., Zgonjanin, M.,: *Dinamička sila između točka i šine i eksplatacioni pokazatelji za vodeće serije lokomotiva ŽRS*, "Nove informacione tehnologije i dizajn mašina" Vrnjačka Banja, 2011 god.
 31. **Vuković, V.**, i inženjeri instituta „Objedinjenog Metlaluruškog Konbinata Rusije“, Viksa, 2010.
 32. **Vuković, V.**, i inženjeri laboratorije, „Železra“ Nikšić, 2010.
 33. **Vuković, V.**, i inženjeri laboratorije, „Metalotehna“ Kneževo, 2010.
 34. **Vuković, V.**, i inženjeri laboratorije, *Livnica čelika Jelšingrad*“ Banja Luka, 2010.
 35. **Vuković, V.**, Adamović, Ž., Vuković, M.,: *Zavarivanje i navarivanje u mašinstvu*, Međunarodni stručni skup, „Efikasnost i upravljanje“ Zbornik radova, Banja Luka, 2009.
 36. **Vuković, V.**, Adamović, Ž., Vuković, M.,: *Ispitivanje varenih mašinskih konstrukcija metodama bez razaranja*, Međunarodni stručni skup, „Efikasnost i upravljanje“, Banja Luka, 2010.
 37. **Vuković, V.**, *Pouzdanost mašinskih elemenata dobijenih zavarivanjem eksplozijom*, Časopis „Menadžment znanja“, broj 4-5, Smederevo, 2008.
 38. **Vuković, V.**,: *Ispitivanje materijala metodama bez razaranja*, Međunarodni stručni skup, „Efikasnost i upravljanje“, Banja Luka, 2008 god.
 39. **Vuković, V.**, Jurić, S.,: *Nastanak i širenje oštećenja usled zamora u elementima konstrukcije i metode za sprečavanje*, Časopis „Razvoj i Upravljanje“, broj 1, Banja Luka, 2008.
 40. **Vuković, V.**, Kutin, M., Adamović, Ž.,: *Kvantifikacija odnosa udela žilavog i krkog loma na uzorcima visoko legiranog čelika punjenom žicom*, Časopis „Energetska Efikasnost“, broj 3, Banja Luka, April 2008.
 41. **Vuković, V.**,: *Primena praškom punjenih elektrodnih žica kod navarivanja bandažnih točkova željezničkih vozila*, Međunarodni stručni skup, „Efikasnost i upravljanje“ Zbornik radova, Banja Luka, 2008 god..
 42. **Vuković, V.**,: *Svlačenje i navlačenje monoblok točkova na osovine željezničkih vozila*, Međunarodni stručni skup, „Efikasnost i upravljanje“ Zbornik radova, Banja Luka, 2008 god..
 43. **Vuković, V.**, Brkić, R.,: *Primena nove tehnologije u željezničkom integralnom sistemu*, Časopis „Energetska efikasnost“, broj 3, Banja Luka, april 2008.
 44. **Vuković, V.**, Radić, R.,: *Ugrađivanje pouzdanosti i pogodnosti održavanja pri konstruisanju mašinskih elemenata i sistema*, Međunarodni naučno-stručni skup „Efikasnost i Upravljanje“, Zbornik radova, Banja Luka, novembar 2008.
 45. **Vuković, V.**, Šubara, N., Stefanović, S., Milišić, R., Malešević, D., Vidović, S.,: *Saobraćajna ekologija*, (Monografija), Društvo za energetske efikasnost Bosne i Hercegovine (RS), Banja Luka, 2008.
 46. **Vuković, V.**, Adamović, Ž., Milošević, Ž., Kalabić, D., Adamović M.,: *Dijagnostika mašina i postrojenja*, (Monografija), Društvo za energetske efikasnost Bosne i Hercegovine (RS), Banja Luka, 2008.
 47. **Vuković, V.**, Adamović, Ž., Nestorović, G., Radojević, M.,: *Savremena metodologija održavanja*, Zbornik radova, „Razvoj i održavanje željezničkih transportnih sredstava“, broj 2-3, Banja Luka, 2008.
 48. **Vuković, V.**,: *Suzbijanje buke na trčućem stroju željezničkih vozila*, Međunarodni stručni skup „Efikasnost i Upravljanje“, Zbornik radova, Banja Luka, 2008.

49. **Vuković, V.**, Adamović, Ž., Radojević, M.: *Specjalista za održavanje tehničkih sistema*, Zbornik radova, „Razvoj i održavanje železničkih transportnih sredstava“, broj III, Banja Luka, 2008..
50. **Vuković, V.**, Jovanov, G., Adamović, Ž.: *Modelovanje metodologije dijagnostike osnovnih delova za kočenje*, Časopis, „Održavanje mašina“, broj 7-8, Smederevo, 2007.
51. Vujanović, N., *Teorija pouzdanosti tehničkih sistema*, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1990.
52. V.Lučnin, G.Simić i drugi, *Metodologija utvrđivanja karaktera habanja točkova vučnih i vučenih vozila i razvoj optimalne geometrije dodira točak-šina za uslove JŽ*, Izveštaj br. 5, *Uticaj realne geometrije dodira na dinamičko ponašanje šinskih vozila i trošenje točka i šine*, Izveštaj br. 5, Mašinski fakultet, Beograd 1999.
53. Gertsbah, I. B., *Models of preventive maintenance*, North Holland, New York, 1989.
54. Gracin, M., *Priprema elektrodnih traka za navarivanje pod praškom*, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
55. Greenely, G., *Strategic management*, Prentice Hall, New York, 1989.
56. Dinić, D., *Vuča vozova*, Zavod za novinsko - izdavačku i propagandnu delatnost J.Ž., Beograd, 1985.
57. *Dodir šina-točak*, General Railway Review, Br. 10, Berlin, 1974.
58. Durković, D., *Vozila JŽ, stanje, potrebe i razvoj*, Željeznice br.8, Beograd, 1994.
59. Duvaljan, S.V., i dr. *Analitičeskie naprijaženij v diske celjnokatanogo kolesa*, Vestnik VNIIZT, Nr.3, Moskva, 1980.
60. ERRI izveštaji (Evropski željeznički istraživački institut)
61. EN 13262
62. B 169/RP 5: *Metode kontrole monoblok točkova (neposredno merenje da bi se izbegli prelomi točkova)*, Časopis Železnice, Avgust 1993.
63. B 169/RP 6: *Kontrola monoblok točkova u eksploataciji. Ultrazvučno određivanje zaostaloh naprezanja u obodu monoblok točkova, bez razaranja*, Časopis Železnice, Februar 1996.
64. B 169/RP 7: *Termičke granične vrednosti za točkove i kočne papuče. Kontrola monoblok točkova u eksploataciji. Metoda za otkrivanje prslina u obodu točkova, bez razaranja*, Časopis Železnice, Jun 1995.
65. B169/RP 8: *Određivanje hrapavosti preloma kod monoblok točkova sačinjenih od čelika klase R7T*.
66. *Definicija ispitne metode i kriterijuma za prihvatanje*, Časopis Železnice Januar 1995.
67. C9/RP 7: *Performansa malih točkova sposobnih za vožnju preko dvostrukog srca i kosih ukrštaja sa jezičcima*, Časopis Železnice, Oktobar 1965.
68. C9/RP 8: *Performansa točkova malog prečnika kada prelaze 1 u 9 ukrštaj u krivini sa $R = 450\text{ m}$* , Časopis Železnice, Juni 1967.
69. ERRI pitanje D 72 - *Analitička studija dodira točak/ukrštaj*, , Revue Generale des Chemins de fer, Belin, Februar 1962.
70. *Encyclopedia Britanica, Inc, Willian Benton-Publisher, Chicago-London-Toronto-Geneve-Sidney., USA, 1964.*
71. Lozinskij, S. N., i dr., *Avtomatizacija tehničeskoj dijagnostiki koles pri dviženil poezda*, Transport, Moskva, 1978.
72. Zoljnikov, S. V., *Nesuščaja sposobnost i raščeti detalej mašin na pročnost*, Mašinostroenie, Moskva, 1975.
73. Jovanović, R., *Osovinski sklopovi željezničkih vozila*, Saobraćajni institut, Beograd, 1996.
74. Jovanović, R., *Kvantitativni i tehničko-tehnološki pokazatelji opravdanosti proizvodnje MBT za šinska vozila s aspekta dugoročnih rešenja i potreba*, Saobraćajni fakultet, Sarajevo, 1986.

75. Jovanović, R., *Upotreba MBT pri kočenju vozova sa aspekta bezbednosti željezničkog saobraćaja i osvrt na primjenu komponovanih kočionih umetaka*, Železnice br.2, Beograd, 1982.
76. Jovanović, R., *Mogućnost prevremenog raspada MBT u saobraćaju*, Saobraćajni fakultet, Sarajevo, 1990/91.
77. Lisjuk, V.S., *Metodika račeta ekvivalentnih poezdnih nagruzok na put*, Vestnik CNII MPS, nr.5, Moskva, 1973.
78. Lipnickii, A. M., Kadnikov V. G., *Liteynye modeli iz plastmass. LDHTP*, 1959.
79. Kramarenko, G. V., Braškov, I. V., *Tehničeskoe opsluživanje avtomobiljej*, Transport, Moskva, 1982.
80. Kovač, K., *Metodologija utvrđivanja kvaliteta, pouzdanosti i sigurnosti Železničkih vučnih vozila*, Zavod za novinsko - izdavačku i propagandnu delatnost J.Ž., Beograd, 1987.
81. Koci, L. F., *Basic curve negatiatron meshanics*, Reilway Locomot. And Cors, 1971.
82. Konovalov, P. G. *Plastičeskie massy, ih svojstva i primenenie v promyšlennosti*, Izdvo "Vyššaja škola", Moskva, 1961.
83. Kudrjavacev, N.N., *Isledovanije dinamiki neobressorennih mass vagonov*, „Transport“, Moskva, 1965.
84. Kudrjavacev, N.N., *Klasifikacija neispravnostej vagonnih kolesnih par i ih elementov*, ITM-V, „Transport“, Moskva, 1978.
85. Knorr - Bremse GMBH, *Bremstechnische Begriffe und Werte fur Schienen fahrzeueg*, Minhen, 1976.
86. Kramarenko, G. V., Braškov, I. V., *Tehničeskoe opsluživanje avtomobiljej*, Transport, Moskva, 1982
87. Krstić, M., Stefanović, S., Ivić, D., Milenković, D., *Ispitivanje šina u eksploataciji*, Naučno – stručni skup sistema, Vršac, 2007.
88. Lepetov, V. A., *Rezinovyie tehničeskie izdelija*, Mašgiz, Moskva, 1959.
89. Magee, G.M., *Survey of Railroad Rail and Wheel Contour Studies, 2nd. International Heavy Haul Conf.*, Colorado Springs, 1992.
90. Mašin, A., *Poruchovnost ocelovych čast u železničkim provozu*, NAPAS, Praha, 1982.
91. Mandić, D., *Održavanje faktora koji narušavaju regularno kretanje teretnih vozova*, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1992.
92. Meljnik, D. M., *Predupreždenie snežnih zanosov*, Transport, Moskva, 1966.
93. Milutinović D., Simić G., *Opterećenja i proračun točkova železničkih vozila*, Naučna knjiga, Mašinski fakultet, Beograd 2006.
94. Miloković T., *Gornji stroj železnica*, Zavod za novinsko-izdavačku i propagandu delatnosti na JŽ, Beograd, 1986.
95. **Međunarodna železnička unija (UIC)**
96. UIC Objava 432: *Teretna kola. Brzine vožnje. Tehnički uslovi kojih se treba pridržavati*, 9. izdanje, Januar 2002
97. UIC Objava 505-1: *Železnička transportna sredstva – Konstrukcioni profil voznih sredstava*, 9.izdanje, Novembar 2003
98. UIC Objava 505-5: *Osnovni uslovi koji su zajednički za objave 505-1 do 505-4 - Beleške o pripremi i odredbama ovih objava*, 2. izdanje od 1.1.77 i 4 Izmene i dopune
99. UIC Objava 510-1: *Teretna kola – Trčeci stroj – Normalizacija*, 9. izdanje od 1.1.78 i 14 Izmene i dopuna.
100. UIC Objava 510-5: *Tehničko odobravanje monoblok točkova*, 1. izdanje, Februar 2003.
101. UIC Objava 512: *Vozna transportna sredstva – Uslovi koje treba ispuniti da bi se izbegle teškoće u funkcionisanju šinskih strujnih kola i pedala*, 8. izdanje od 1.1.79 i 2 Izmene i dopune.
102. UIC 518, *"Fahrtechnische Prüfung und Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen-Fahrsicherheit, Fahrwegbeanspruchung und fahrverhalten"*, 2.Ausgabe, Januar 2003.

103. UIC 518-1, "Supplement to UIC Leaflet 518", 1st edition, May 2004.
104. UIC Objava 810-1: *Tehnički uslovi za isporuku neobrađenih obruča točkova od valjanog nelegiranog gvožđa za vučna i vučena vozila*, 5. izdanje, Januar 2003.
105. UIC Objava 810-2: *Tehnički uslovi za isporuku neobrađenih obruča točkova za vučna i vučena vozila – Dozvoljena odstupanja*, 4. izdanje od 1.1.85.
106. UIC Objava 810-3: *Tehnički uslovi za isporuku nelegiranog ravnog i profilnog čelika za sigurnosne prstenove obruča točka*, 1. izdanje od 1.7.90.
107. UIC Objava 811-1: *Tehnički uslovi za isporuku osovina za vučna i vučena vozila*, 4. izdanje od 1.1.87 sa sumpornim otiskom.
108. UIC Objava 811-2: *Tehnički uslovi za isporuku osovina za vučna i vučena vozila – Dozvoljena odstupanja*, 2. izdanje, Februar 2004.
109. UIC Objava 812-1: *Tehnički uslovi za isporuku valjanih ili kovanih ploča točkova za točkove sa navučenim obručem za vučena vozila. Kvalitativni zahtevi*, 4. Izdanje od 1.1.89.
110. UIC Objava 812-2: *Monoblok točkovi za vučna i vučena vozila – Dozvoljena odstupanja*, 2. izdanje, Decembar 2002.
111. UIC Objava 812-3: *Tehnički uslovi za isporuku monoblok točkova od valjanog nelegiranog čelika za vučna i vučena vozila*, 5. izdanje od 1.1.84
112. UIC Objava 812-4: *Tehnički uslovi za isporuku točkova sa navučenim obručem za vučna i vučena vozila. Podešavanje tipa i dozvoljena odstupanja*, 1. izdanje od 1.7.90
113. UIC Objava 812-5: *Tehnički uslovi za isporuku valjanih ili kovanih čeličnih ploča za točkove za vučena ili vučna vozila – Dozvoljena odstupanja i površinska hrapavost*, 1. izdanje od 1.7.88.
114. UIC Objava 813: *Tehnički uslovi za isporuku osovinskih sklopova za vučna i vučena vozila – Dozvoljena odstupanja i montaža*, 2. izdanje, Beograd, Decembar 2003.
115. UIC Objava 814: *Tehnički uslovi za zvanično ispitivanje i isporuku maziva predviđenih za podmazivanje valjkastih osovinskih ležišta železničkih vozila*, 2. izdanje od 1.7.88.
116. *Новые материалы в технике*, Gosstroizdat, Moskva, 1962.
117. *Opterećenja koja mogu podneti mali točkovi postavljeni na vozna sredstva koja se koče kočnim papučama i koja imaju obruč nanet presovanjem*, Leichtbau der Verkehrsfahrzeuge, Br. 6, 1959.
118. ORE B 176, *Bogies a essieux orientables, RPI, Vol. 1, 2, 3, Etudes prealables et chaier des charges*, Utrecht 1989.
119. ORE B79 Rp 3: *Forschungen und Untersuchungen für ein rationelles Verfahren zur Umrissberichtung durch Auftragsschweissen oder Verringerung des Spurkranzes oder durch ein kombiniertes Verfahren*, Utrecht Oktober 1966.
120. ORE B55, *"Sicherheit gegen Entgleisen in Gleisverwindungen"*, Rp. 8, *Schlussbericht*, Utrecht 1983.
121. Pavlović, D., Antonijević, D., *Konstrukcije šinskih vozila*, Želvoz, Smederevo, 1998.
122. Pajić, D., *Ekonomična obrada profila točkova železničkih vozila i analiza podpodnih mašina u ŽTP Beograd, u periodu od 1990 do 1997 god.* X jugoslovenska konferencija Železničko mašinstvo, Niš, 2002.
123. Palasson, D., Akselsson, H., *Life cycle costing in the Swedish railways*, Proc. Imeche, vol.199, No. D2, 1985.
124. *Pravilnik, 241, o održavanju železničkih vozila*, u Republici Srpskoj, Službeni glasnik RS, Banja Luka, 2005.
125. *"Pravilnik 314 o održavanju gornjeg stroja pruga Jugoslovenskih železnica II doštanpano izdanje"*, ZJŽ 1996.
126. *Prečnik točka i visina venca*, Eisenbahntechnische Rundschau, Br. 12, 1955; Br. 7, 1956.
127. Rozman, V., Hudoklin, A., Hanžel, S., *Metodologija zagotavljanja zanesljivosti in varnosti v železniškem prometu, I. Faza*, Zaključno proćilo RSS, VŠOD Kranj, 1986.

128. Rozman, V., Hudoklin, A., Hanžel, S., Metodologija zagotavljanja zanesljivosti in varnosti v železniškem prometu, II. Faza, Zaključno pročilo RSS, VŠOD Kranj, 1987.
129. Savić, V., *Trošenje elemenata mašina – uzorci, posledice i uticaj na brzinu trošenja*, Savjetovanje održavalaca Podunavskog sistema u mašinstvu, Naučna knjiga, Beograd, 1981.
130. Serensen, S.V., i dr. *Nesuščaja sposobnost i raščeti detalej mašin na pročnost*, Mašinostroenie, Moskva, 1975.
131. Seferijan, D., *Metalurgija zavarivanja*, Građevinska knjiga, Beograd, 1969.
132. Serdar, J., *Lokomotive - Opšti deo*, Sveučilišna naklada Liber, Zagreb, 1977.
133. *Sir Charles Inglis, Applied Mechanics For Engineers*, New York, 1963.
134. Simić, G., *Istraživanje realne geometrije dodira točak-šina*, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd 1997.
135. Simić, G., *Geometrija dodira točak-šina na JŽ i problem habanja u krivini*, časopis Železnice, br.2 1989 str 132-136.
136. Simić, G., *Izveštaj o ispitivanju dinamičkog ponašanja šinobusa serije 812/814, br. 13.04-40-2004*, IKS-Mašinski fakultet, Beograd, 2004.
137. Simić, G., *Karakteristike pruge za ispitivanje dinamičkog ponašanja železničkih vozila*, Želkom 2004, Zbornik radova strana 195-200.
138. Skiba, I. F., *Vagoni*, Moskva, 1966.
139. Stražinski, V. M., *Teorijska Mehanika*, Moskva, 1980.
140. *Standardi i objave ORE – UIC, iz oblasti točkova i osovina šinskih vozila*.
141. Stojanović, N., *Željeznička kola*, Željeznički obrazovni centar, Beograd, 1974.
142. *Standardi JŽ., UIC-a., EN.; JUS P. F2.213, JUS P.F2. 036, UIC-812-3 i EN 13262 812-3*,
143. *Standardi JŽS B1.025: Profil obloka točka i monoblok točka (Oblik i mere)*, 1990.
144. *Standardi JŽS B1.026: Međuprofil obruča točka i monoblok točka (Oblik i mere)*, 1990.
145. *Spravočnik po mašinostroitel'nyim materialam*, pod red. G. I. Pogodina Alekseeva, t. 4. Mašgiz, 1960.
146. Tanahacki, H., *Ocenka bezopasnosti dviženija vagonov v otnošenja shoda s koljes s reljsov*, Lokomotivostvoenie i vagonostvoenie, Moskva, 1973.
147. Taratakovskij, I.J., *Prognorizovannije iznosa železnodorožnih koles- Vestnik mašinostroenija*, Moskva, 1969, br.4.
148. Tubakin, Đ., *Prikaz istrošenja i defekta strojnih dijelova usled umornosti materijala*, Željeznice br.9, Beograd, 1972.
149. Tocelli, R., *Manutenzione predutiva gestita da celcalatore*, Produe 12, Milano, 1976.
150. *Uputstvo 262, JŽ., Za održavanje osovinskih sklopova i ležajeva na JŽ, GDJŽ*, Beograd, 1958.
151. *Uslovi trčanja osovinskih sklopova na točkovima malog prečnika, kada oni prelaze preko skretnica i skretnih jezičaka*, Revue Generale des Chemins de fer, Februar 1962.
152. Filipović, N., *Navarivanje bandaža točkova šinskih vozila*, Zavod za zavarivanje, Beograd, 1989.
153. Haratov, A. M., Krivenko, E. I., *Diagnostirovanie legkovih avtomobilej na stanicijah tehničeskog obsluživanja*, Višaja škola, Hrakov, 1987.
154. Hedrih, K., *Predavanja iz predmeta otpornost materijala*, Mašinski fakultet, Niš, 1987.
155. Šadur, L. A., I dr. *Vagoni*, Transport, Moskva, 1980.
156. Šarić, J., *Vučna vozila*, Naučna knjiga, Beograd, 1996.
157. Školjnik, L.M., *Povišenje pročnosti osej železnodorožnogo podvižnogo sastava*, Transport, Moskva, 1964.
158. Šubara, N., Stefanović, S., Adamović, Ž., Vuković, V., i drugi, *Saobraćajna Ekologija*, Društvo za energetska efikasnost BiH, RS, Banja Luka, 2008.

159. *Završni izveštaj o ocjenjivanju mjerenja kolosječne geometrije na prugama ŽFBiH od 15 prosinca do 19 prosinca 2005.* MÁV Közponi Felépítményvizsgáló KFT
160. Weber, H., *Dviženie elektropodvižnogo sastava s visokoj skorostju po krivim malogo radijusa s učestom sil meždu koljesom i reljesom*, Lokomotivostvoenie i vagonostvoenie, Moskva, 1980.
161. Wohllebe, N., *Technische dijagnostic im Maaschinenbau*, Veb Verlag tehnick, Dresden, 1978.
162. Yugo Danone., *Tehnički uslovi za izradu i isporuku MBT livena izvedba, ϕ 700mm, za tramvaje*, Beograd, 1994.
163. Zoljnikov, S.S., *Vertikalnaja dinamika lokomotivov*, Vestnik NII ZT Rusija, Nr.2, Moskva, 1975.
164. *Zakon o osnovama bezbednosti u železničkom saobraćaju RS.*, Broj 58/01; 110/03 i 59/08, Službeni glasnik RS.

165. **Web stranice:**
 1. <http://uic.asso.fr/>
 2. <http://erri/>
 3. <http://www.zeleznicesrbije.com/>
 4. <http://www.slo-zeleznice.si/en/>
 5. <http://www.sncf.co.uk/>
 6. <http://www.bahn.de/international/view/en/index.shtml>
 7. www.las-cad.com
 8. www.scribd.com/doc/
 9. www.grf.bg.ac.rs/mm/files/learnmat/
 10. veljkovukovic.webstarts.com

Mr Veljko Vuković



- *Rođen 06. aprila 1958. godine u Radićima, opština Kneževo, Republika Srpska.*
- *Višu tehničku školu, mašinski smer završio 1980. godine, Univerzitet u Novom Sadu, a diplomirao na Tehničkom fakultetu Mihajlo Pupin u Zrenjaninu, Univerzitet u Novom Sadu, 2004. godine.*
- *Magistrirao 2007. godine na Tehničkom fakultetu „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, Univerziteta u Novom Sadu; naučna oblast: Upravljanje razvojem-tehnologija održavanja.*
- *Zaposlen u Železnicama Republike Srpske: direktor sektora za održavanje šinskih vozni sredstava ŽRS. Radno angžovan od 1980. godine, obavljao poslove u stručnim službama i sektorima kao što je: konstruktor alata i pribora „Rudom Čajavecu“, tehnički kordinator razvoja tvornice otkovaka „Bratstvo“ Novi Travnik, upravnik proizvodnje „Tvornice železničke opreme“ Kneževo, direktor Sekcije za održavanje putničkih železničkih vozila itd.*
- *Član je organizacionog odbora naučno-stručnog sipozijuma „Majski skup održavavalaca Srbije“, uređivačkog odbora časopisa „Hidraululika i pneumatika“, „Menadžment znanja“, „Reinžinjing“ Zrenjanin, „Energetske efikasnosti“ Banja Luka i glavni urednik časopisa „Tehnička dijagnostika“ Banja Luka.*
- *Predsednik Tehničke komisije za putnička i tertna železnička vozila Željeznica Republike Srpske.*
- *Sardnik je Akademije održavalaca Republike Srbije od 2007. god.*
- *Autor ili koautor 6 monografija, 2 naučno-stručna rada objavljena u međunarodnim časopisima i 58 naučnih i stručnih radova publikovanih u nacionalnim časopisima i zbornicima.*
- *Web sajt: veljkovukovic.webstarts.com*