

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Prometna smer

Kandidatka:

Ana Bajželj

Elementi železniške proge ter izračun sil in napetosti v zgornjem ustroju

Diplomska naloga št.: 3174

Mentor:
prof. dr. Bogdan Zgonc

Somentor:
asist. Darja Šemrov

Ljubljana, 27. 6. 2011

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **ANA BAJŽELJ** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom **ELEMENTI ŽELEZNIŠKE PROGE TER IZRAČUN SIL IN NAPETOSTI V ZGORNJEM USTROJU**.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 10.6.2011

(podpis kandidatke)

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 625.1/.5(043.2)
- Avtor:** Ana Bajželj
- Mentor:** prof. dr. Bogdan Zgonc, univ. dipl. inž. grad.
- Somentorica:** asist. Darja Šemrov, univ. dipl. inž. grad.
- Naslov:** Elementi železniške proge ter izračun sil in napetosti v zgornjem ustroju
- Obseg in oprema:** 74 str., 5 pregl., 56 sl., 20 graf., 36 en.
- Ključne besede:** zgornji ustroj, Zimmermannova metoda, osna obremenitve proge, upogibni moment, upogibna napetost, pritisk, upogib tirnice

Izveček

V diplomskem delu so z upoštevanjem Pravilnika o zgornjem ustroju, objavljenega v Uradnem listu Republike Slovenije št. 92/2010 podrobno opisani elementi zgornjega ustroja in njihove karakteristike, ki odločilno vplivajo na stanje železniške proge. Opisani elementi so tirnice, pragi, tirna greda in tirni pribor.

V drugem delu so predstavljene glavne in regionalne proge na slovenskem železniškem omrežju in razvrstitev le teh v devet kategorij na podlagi dovoljenih dolžinskih in osnih obremenitev. V nadaljevanju so predstavljene Winklerjeva, Zimmermannova in Eisenmannova metoda izračuna sil in napetosti v zgornjem ustroju. Na podlagi karakteristik elementov zgornjega ustroja, ki veljajo na treh odsekih X. vse-evropskega koridorja, sem po Zimmermannovi in Eisenmannovi metodi izračunala upogibne momente, upogibne napetosti, pritiske in upogibe tirnic, ki jih povzročata večsistemska Siemensova lokomotiva SŽ 541 in enosistemska lokomotiva SŽ 363. Pri tem sem vzporedno s tem s pomočjo dinamičnega koeficienta izračunala tudi vpliv hitrosti na omenjene parametre. Kot sem iz izračuna ugotovila, povzroča lokomotiva SŽ 541 na teh treh odsekih za 36% večje upogibne napetosti, kot lokomotiva SŽ 363, vendar pa so vrednosti še vedno znotraj dovoljenih napetosti. Na koncu diplomske naloge sem na podlagi izračunov ugotovila še, da imata lokomotivi SŽ 541 in SŽ 363 enake dinamične upogibne momente in napetosti, ko lokomotiva SŽ 541 vozi s hitrostjo 10 km/h, lokomotiva SŽ 363 pa s hitrostjo 115 km/h.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 625.1/.5(043.2)

Author: Ana Bajželj

Supervisor: Professor Bogdan Zgonc, Ph.D., C. E.

Co-supervisor: Assist. Darja Šemrov, C. E.

Title: Railway track elements and the calculation of forces and stresses in the superstructure

Scope and tools: 74 p., 5 tab., 56 fig., 20 graph., 36 eq.

Keywords: superstructure, Zimmermann's method, axle load lines, bending moment, bending stress, pressure, bending

Abstract

In the first part of thesis, based on Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog published in UL RS 92/2010, elements and their characteristic of the railway superstructure, which decisive impact on the state of railway tracks are in detail described. These elements are rail, sleeper, ballast bed and railway fastening.

In the second part of this thesis the main and regional lines in the Slovenian rail network are introduced. Slovenian railway network is ranked into nine categories based on the allowable length and axle load. In this section Winkler's, Zimmermann's and Eisenmann's methods for calculating forces and stresses in the superstructure calculation are listed and described in detail. Based on superstructure elements characteristics, which valid for three sections on the X corridor, dynamic bending moments, dynamic bending stress, pressure and bending have been calculated separately for Zimmermann's and Eisenmann's method and for 2 different locomotives, namely Siemens locomotive SŽ 541 and locomotive SŽ 363 running at different speeds. Based on this calculation I found out that locomotive SŽ 541 cause for 36% higher dynamic bending stress than locomotive SŽ 363 but the results are still within the permissible stresses. In the end of this thesis a comparison of bending moments and stress for those two locomotives calculated according to Zimmermann's method has been made. I found out that those two locomotives have the same bending moments and bending stress in case when locomotive SŽ 541 runs alt speed 10 km/h and locomotive SŽ 363 runs at speed 115 km/h.

ZAHVALA

Za pomoč in koristne nasvete pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Bogdanu Zgoncu, univ. dipl. inž. grad. in somentorici asist. Darji Šemrov, univ. dipl. inž. grad.

Diplomsko nalogo posvečam svojima staršema, Ireni in Tinetu, ki sta mi omogočila študij in me tekom le tega spodbujala in bodrila.

Za potrpežljivost in spodbudo se zahvaljujem tudi mojemu fantu Boštjanu.

Na koncu pa se zahvaljujem tudi sošolkam in sošolcem, ki so mi pomagali v času študija in mi ga naredili bolj zabavnega.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	SESTAVA ZGORNJEGA USTROJA	4
3	TIRNICA	5
3.1	Oblika tirnice	5
3.2	Proizvodnja in kakovost tirnic	7
3.3	Dolžine tirnic	9
3.4	Obraba tirnice	9
4	PRAG	14
4.1	Leseni pragi	15
4.1.1	Progovni pragi	15
4.1.2	Kretniški pragi	16
4.1.3	Mostovni pragi	16
4.2	Betonski pragi	17
4.2.1	Enodelni betonski pragi	18
4.2.2	Dvodelni betonski pragi	19
4.3	Jekleni pragi	20
4.3.1	Koritast jekleni prag	20
4.3.2	Y – jekleni prag	21
4.4	Pragi iz umetnih materialov	22
5	TIRNA GREDA	23
5.1	Material za tirno gredo železniških tirov	23
5.2	Zrnavost	25
5.3	Debelina tirne grede	25
6	TIRNI PRIBOR	28
6.1	Pritrdilni pribor	28
6.1.1	Togi pritrdilni pribor	29
6.1.1.1	Žebljani pritrdilni pribor	29
6.1.1.2	K sistem z rebrasto podložno ploščo	31
6.1.2	Elastični pritrdilni pribor	33
6.1.2.1	Izvedenke iz pribora K oziroma Skl sistemi	34

6.1.2.3	Elastične vzmeti.....	36
6.1.2.4	Elastične ploščice.....	37
6.2	Vezni tirni pribor.....	39
6.3	Drugi tirni pribor	39
6.3.1	Naprave za preprečevanje vzdolžnega pomika tirnic	39
6.3.2	Naprave za preprečevanje bočnega premika tira	40
7	PRAKTIČNI DEL.....	41
7.1	Teorija izračuna sil in napetosti v zgornjem ustroju	44
7.1.1	Metoda izračuna upogibne napetosti po Winklerju	44
7.1.2	Metoda izračuna upogibne napetosti, upogiba in pritiska po Zimmermannu	45
7.1.3	Metoda izračuna upogibne napetosti po Eisenmannu	52
7.2	Podatki o večsistemski lokomotivi SŽ 541	54
7.2.1	Osnovni tehnični podatki večsistemske lokomotive vrste 541	54
7.3	Podatki o lokomotivi SŽ 363	55
7.3.1	Osnovni tehnični podatki lokomotive SŽ 363	56
7.4	Izračun	57
7.4.1	Podatki uporabljeni v izračunu	57
7.4.2	Rezultati po Zimmermannovi metodi izračuna zgornjega ustroja	58
7.4.3	Rezultati po Eisenmannovi metodi izračuna zgornjega ustroja.....	67
8	ZAKLJUČEK.....	72
VIRI		74

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Podatki o tirnicah (Pravilnik o zgornem ustroju železniških prog, 2010):	7
Preglednica 2: Pregled kakovosti tirnic in njihova kemijska sestava (Milojković, 1986):	8
Preglednica 3: Dovoljena obraba tirnic (Pravilnik o zgornem ustroju železniških prog, 2010):	12
Preglednica 4: Masa togega pritrdilnega pribora za lesen prag (Milojković, 1986):	31
Preglednica 5: Vrednosti dovoljenih osnih in dolžinskih obremenitev za posamezno kategorijo (Uredba o kategorizaciji prog, 2009):	42

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Vrednosti momentov, ki jih povzroča lokomotiva SŽ 541	59
Grafikon 2: Vrednosti momentov, ki jih povzroča lokomotiva SŽ 363, ko je v opazovanem prerezu prva sila	59
Grafikon 3: Vrednosti momentov, ki jih povzroča lokomotiva SŽ 363, ko je v opazovanem prerezu druga sila	60
Grafikon 4: Vrednosti napetosti, ki jih povzroča lokomotiva SŽ 541	61
Grafikon 5: Vrednosti napetosti, ki jih povzroča lokomotiva SŽ 363, ko je v opazovanem prerezu prva sila	61
Grafikon 6: Vrednosti napetosti, ki jih povzroča lokomotiva SŽ 363, ko je v opazovanem prerezu druga sila	62
Grafikon 7: Pritisk tirnice na prag, ki ga povzroča lokomotiva SŽ 541	63
Grafikon 8: Pritisk tirnice na prag, ki ga povzroča lokomotiva SŽ 363, ko je v opazovanem prerezu prva sila	63
Grafikon 9: : Pritisk tirnice na prag, ki ga povzroča lokomotiva SŽ, ko je v opazovanem prerezu druga sila	64
Grafikon 10: Upogib tirnice pod lokomotivo SŽ 541	64
Grafikon 11: Upogib tirnice pod lokomotivo SŽ 363, ko je v opazovanem prerezu prva sila	65
Grafikon 12: : Upogib tirnice pod lokomotivo SŽ, ko je v opazovanem prerezu druga sila	65
Grafikon 13: Primerjava upogibnih momentov lokomotiv SŽ 541 in SŽ 363	66
Grafikon 14: Primerjava upogibne napetosti lokomotiv SŽ 541 in SŽ 363	67
Grafikon 15: Vrednosti momentov lokomotive SŽ 541 po Eisenmannu	68
Grafikon 16: Vrednosti momentov lokomotive SŽ 363 po Eisenmannu	68
Grafikon 17: Vrednosti napetosti lokomotive SŽ 541 po Eisenmannu	69
Grafikon 18: Vrednosti napetosti lokomotive SŽ 363 po Eisenmannu	69
Grafikon 19: Primerjava dinamičnih upogibnih momentov izračunanih po Zimmermannovi in Eisenmannovi metodi za lokomotivo SŽ 541	70
Grafikon 20: Primerjava dinamičnih upogibnih napetosti izračunanih po Zimmermannovi in Eisenmannovi metodi za lokomotivo SŽ 541	71

KAZALO SLIK

Slika 1: Potek V. in X. vse-evropskega koridorja po slovenskem ozemlju.....	1
Slika 2: Sestavni deli zgornjega ustroja proge.....	4
Slika 3: Tirnica 49 E1	5
Slika 4: Tirnica 60 E1	6
Slika 5: Tirnica 54 E1	6
Slika 6: Graf izbora kakovosti tirnice v odvisnosti od obsega prometa in polmera krožnega loka	9
Slika 7: Bočna obraba različnih kvalitet tirnic	10
Slika 8: Naprava za ročno merjenje obrabe tirnice	10
Slika 9: Višinska obraba tirnice	11
Slika 10: Dovoljena bočna obraba tirnice 60 E1 pri različnih hitrostih	11
Slika 11: Tirna mazalka na progi Celje – Maribor	13
Slika 12: Leseni pragi	15
Slika 13: Progovni pragi.....	16
Slika 14: Kretniški pragi	16
Slika 15: Mostovni pragi.....	17
Slika 16: Enodelni betonski prag.....	18
Slika 17: Betonski prag JŽ 70	19
Slika 18: Betonski prag B – 70.....	19
Slika 19: Dvodelni betonski prag	20
Slika 20: Koritast jekleni prag.....	21
Slika 21: Y – jekleni prag.....	21
Slika 22: Pragi iz umetnih materialov.....	22
Slika 23: Značilnosti posedanja različnih magmatskih kamnin za tirno gredo	24
Slika 24: Shematični prikaz zrn v sestavu tirne grede	25
Slika 25: Prečni presek tirne grede v premi in enostranskem nagibu planuma (glavna proga).....	26
Slika 26: Prečni presek tirne grede dvotirne proge v premi (novogradnja, glavna proga).....	26
Slika 27: Prečni presek tirne grede dvotirne proge v krivini	26
Slika 28: Tirna greda.....	27
Slika 29: Žebljani pritrdilni pribor z uporabo podložne plošče (desno) in brez nje (levo)	29
Slika 30: Žebljani pritrdilni pribor.....	29
Slika 31: Žebli za pritrditev tirnice na prag.....	30
Slika 32: Lesni vijak	30
Slika 33: Vzmetni obroček z dvema navojema	32

Slika 34: Sistem toge pritrditve	32
Slika 35: Skl 1 (primeren za uporabo na lesenih pragih)	34
Slika 36: Skl 2	35
Slika 37: Skl 12	35
Slika 38: Skl 14	35
Slika 39: Sistem Pandrol z e-sponko	36
Slika 40: Sistem Pandrol	37
Slika 41: Sistem RN pritrditve	38
Slika 42: Sistem NABLA	38
Slika 43: Vezni pribor	39
Slika 44: Grafičen prikaz glavnih in regionalnih prog v Republiki Sloveniji	41
Slika 45: Grafičen prikaz glavnih in regionalnih prog glede na dovoljeno osno in dolžinsko obremenitev	43
Slika 46: Winklerjeva predpostavka izračuna zgornjega ustroja	44
Slika 47: Zimmermannov pristop k izračunu zgornjega ustroja	46
Slika 48: Sile in momenti v prečnem prerezu tirnice	48
Slika 49: Vplivnica za upogib η	51
Slika 50: Vplivnica za moment μ	51
Slika 51: Moment pri skupini sil	52
Slika 52: Diagram dinamične trdnosti tirnice kakovosti 900	53
Slika 53: Siemensova večsistemska lokomotiva	55
Slika 54: Lokomotiva SŽ 363	57
Slika 55: Obtežbena shema večsistemske lokomotive 541	57
Slika 56: Obtežbena shema lokomotive SŽ 363	58

1 UVOD

Zaradi hitrega razvoja proizvodnje in vedno večjega povpraševanja po kvalitetnejših, cenovno ugodnih in hitro dostopnih izdelkih in storitev je pomen prometa vse bolj odločilnega pomena. Brez transporta in prometnega sistema namreč ne obstaja sistem blagovne izmenjave (tako domači, kot mednarodni), sistem gospodarstva ter sistem družbene reprodukcije vsakega gospodarstva. Zato je učinkovitost gospodarstva vsake razvite družbe odvisna predvsem od delovanja njenega prometnega sistema, saj je prometni dejavnik, ki neposredno vpliva na pospeševanje ali omejevanje in zaviranje razvoja družbe kot celote. V zadnjem desetletju ali dveh se je količina cestnega prometa tako hitro povečevala, da marsikje urejenost in razvitost cestnega sistema ne zadošča več tako velikemu številu uporabnikov, zato se daje železnicam vse večji pomen.

Za uradni začetek železnice v Sloveniji velja 2. junij 1846, ko je bila odprta železniška proga Gradec – Celje in je tega dne prvič zapeljal vlak po slovenskih tleh. Z odprtjem te proge je tako Slovenija postala peta država z železnico (za Združenim kraljestvom, Francijo, Nemčijo in Avstrijo). Zaradi strateškega položaja je bila Slovenija v sklopu Avstro – Ogrske vedno prometno zelo pomembna in tako je bila med leti 1841 in 1857 zgrajena tudi Južna državna železnica, ki je povezovala glavno mesto Dunaj s Trstom (http://164.8.132.54/Logisticna_infrastruktura_VS/cetrto.html). Ne le v Avstro – Ogrski, tudi danes ima Slovenija pomembno vlogo v železniškem prometu, saj po njenem ozemlju potekata kar dva od desetih vse-evropskih koridorjev, in sicer V. koridor, ki poteka od Benetk, mimo Kopra, Ljubljane, Maribora, Budimpešte, Uzgoroda, Lvovja in do Kijeva, kjer se zaključi, ter X. koridor, ki pa poteka od Salzburga, mimo Beljaka, Jesenic, Ljubljane, Zidanega Mosta, Dobove, Zagreba, Beograda, Niša, Skopja in do Soluna.



Slika 1: Potek V. in X. vse-evropskega koridorja po slovenskem ozemlju
(Vir: [http://www.slo-zeleznice.si/uploads/SZ/program_omrezja...\(30.4.2011\)](http://www.slo-zeleznice.si/uploads/SZ/program_omrezja...(30.4.2011)))

Da bi Slovenija kar najbolj izkoristila to strateško lego in s tem povezano gospodarsko sodelovanje med evropskimi državami in državami Srednje in Vzhodne Evrope, moramo stremeti k izenačitvi pogojev poslovanja vseh prometnih panog na trgu prometnih storitev. Zato je planiranje, projektiranje, gradnja in vzdrževanje železniške infrastrukture podprta s številnimi dokumenti in predpisi kot so Zakon o železniškem prometu, Zakon o varnosti v železniškem prometu, Uvedba o kategorizaciji prog, Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, Pravilnik o opremljenosti železniških postaj in postajališč, Pravilnik o nivojskih prehodih ceste preko železniške proge in Pravilnik za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje železniškega telekomunikacijskega omrežja. Ker pa mora železniška infrastruktura omogočati čim bolj neoviran prevoz vozil, brez menjave lokomotiv, moramo pri projektiranju, gradnji, vzdrževanju upoštevati tudi predpise Mednarodne železniške zveze (UIC). V tem diplomskem delu sem v prvem delu opisala zgradbo in karakteristike zgornjega ustroja, ki odločilno vplivajo na zmožnost prevzemanja obremenitve. Pri tem sem se omejila samo na uporabo Pravilnika o zgornjem ustroju železniških prog, objavljenega v Uradnem listu Republike Slovenije št. 92/2010 (v nadaljevanju Pravilnik o zgornjem ustroju), ki predpisuje tehnične zahteve in pogoje za projektiranje in izvajanje gradnje, nadgradnje, obnove, vzdrževanja ter nadzora zgornjega ustroja podsistema infrastruktura v Republiki Sloveniji.

Zaradi nezadostnih finančnih sredstev za razvoj, vzdrževanje in posodobitev se stanje javne železniške infrastrukture v Sloveniji iz leta v leto slabša. Slabo stanje je razvidno iz številnih poškodb in napak, ki nastanejo na tirih, vozni mreži, signalno – varnostnih napravah in na kretnicah ter iz uvedenih počasnih voženj. Nezadostno vzdrževanje in počasno posodabljanje železniške infrastrukture, ob povečani obremenitvi prog zaradi povečanega obsega transportnega dela, se kaže v večjem številu izdanih odločb Prometnega inšpektorata Republike Slovenije za omejitev hitrosti in osnih obremenitev, kar dodatno vpliva na kakovost prevoznih storitev (Operativni program razvoja okoljske in prometne infrastrukture za obdobje 2007 - 2013, 2010). Omejitev osnih obremenitev je bila izdana tudi za tri odseke na X. vse-evropskem koridorju in sicer za odseke Zidani Most – Celje, Dolga Gora – Pragersko in Maribor – Šentilj. Na omenjenih odsekih glavnih prog so dopustne osne obremenitve nižje od sicer v mednarodnem okviru deklarirane nacionalne osne obremenitve slovenskih železnic. Skladno z mednarodnim dogovorom bi morale vse proge na vse-evropskih koridorjih zagotavljati osno obremenitev 225 kN/os, dolžinsko obremenitev pa 72 kN/m.

Slovenske železnice so med leti 2006 in 2009 kupile tako imenovane večsistemske lokomotive, ki so zmogljivejše in zaradi njihove prilagodljivosti na različne električne napetosti omogočajo vožnjo po skoraj vseh evropskih železnicah. Zaradi njihove zmogljivosti so edine v voznem parku Slovenskih železnic, ki lahko same, brez pomoči druge lokomotive, prepeljejo tovor iz koprškega pristanišča do Divače, kjer naklon znaša 26 ‰, in naprej do Ljubljane. V Ljubljani jih moramo na poti v smeri Avstrije zaradi njihove prevelike osne mase na zgoraj omenjenih odsekih, zamenjati, kar pa

predstavlja velik strošek, saj se mora lokomotiva prazna vračati v koprsko pristanišče in s tem izgubi tudi veliko delovnih ur. Zato bom v drugem delu diplomske naloge na podlagi Zimmermannove metode izračuna sil in napetosti v zgornjem ustroju izračunala vrednosti dinamičnih upogibnih momentov, dinamičnih upogibnih napetosti v tirnici, pritisk tirnice na prag ter njen posedek, ki so potrebne, vendar še ne zadostne za določitev dopustne osne obremenitve proge, za večsistemsko Siemensovo lokomotivo SŽ 541 in enosistemsko lokomotivo SŽ 363, ter poskušala dokazati, da je stanje zgornjega ustroja zadovoljivo za vožnjo večsistemске lokomotive po njem in da le ta ne predstavlja ovire pri omejitvi dovoljenih osnih obremenitev. Na podlagi izračunov bom preverila tudi, pri kateri hitrosti imata ti dve lokomotivi, zaradi različnih vrednosti dinamičnih koeficientov, ki se z zmanjševanjem hitrosti zmanjšujejo, različnih razporeditev osi in različne osne obremenitve enake dinamične upogibne momente in napetosti.

2 SESTAVA ZGORNJEGA USTROJA

Zgornji ustroj je del železniške proge po katerem vozijo tirna vozila in ima funkcijo prenosa sil, ki jih le ta povzročajo, na spodnji ustroj ter njihovo vodenje. Na podlagi Pravilnika o zgornjem ustroju, sestoji zgornji ustroj iz naslednjih elementov:

- tirnic,
- pragov,
- tirne grede in
- tirnega pribora.

Poleg zgoraj naštetih elementov sodijo v zgornji ustroj tudi kretnice, tirna križišča, tirni zaključki, okretnice in prenosnice ter dilatcijske naprave.

Sestavni deli, njihova oblika, kakovost, mere, prevzemni pogoji, način izdelave ter dopustne tolerance zgornjega ustroja se določajo z veljavnimi tehničnimi predpisi in standardi, obveznimi objavami UIC, s SIST EN standardi in tehničnimi specifikacijami TSI ter TS-Z in so odvisni od vrste in reda proge, števila tirov, vrste pragov, osne obremenitve, največje dovoljene progovne hitrosti ter od tega, ali so tirnice zvarjene v dolgi tirni trak ali ne.

Zaradi povečevanja tovrnega železniškega prometa in z njim povezanih osnih obremenitev se mora zgornji ustroj projektirati, graditi, modernizirati ter vzdrževati tako, da se zagotovi varen in urejen železniški promet. Pri tem se mora poleg Pravilnika o zgornjem ustroju železniških prog upoštevati še odločbe zakona, ki ureja varnost v železniškem prometu, zakona, ki ureja graditev objektov, priznana tehnična pravila stroke in pogoje, določene z zakoni in z ratificiranimi mednarodnimi sporazumi, katerih sopolpisnica je Republika Slovenija, obvezne objave UIC, slovenske nacionalne standarde in tehnične specifikacije ter druge tehnične predpise, ki se nanašajo na zgornji ustroj železniških prog.



Slika 2: Sestavni deli zgornjega ustroja proge

(Vir: http://www.miniaturna-zeleznica.com/Viktor/pragersko_ormoz.htm (14.3.2011))

3 TIRNICA

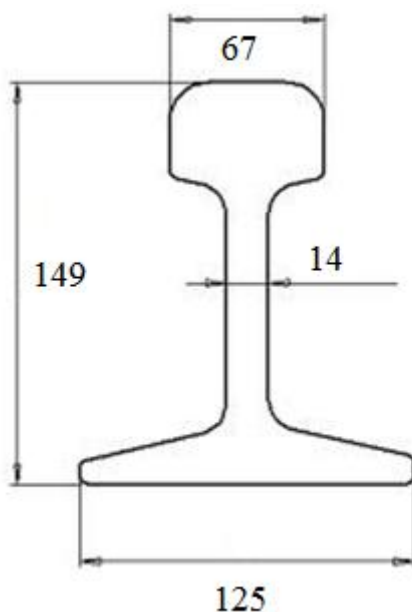
Tirnica je osnovni in karakteristični element zgornjega ustroja železniške proge. Je standarden jeklen nosilec konstantnega prereza in opravlja nalogo prevzema vertikalnih (kolesnih) in horizontalnih sil. Vertikalne ali kolesne sile se delijo na statične, to so sile v mirovanju vozila in na dinamične, sile v gibanju vozila, ki pa so lahko do 60 % večje od statičnih in so odvisne od hitrosti vozila ter od stanja tira. Horizontalne sile pa se delijo na vzdolžne, ki nastanejo zaradi speljevanja, zaviranja ali temperaturnih sprememb in na prečne sile, ki nastanejo zaradi vodenja tirnega vozila.

Tirnica je definirana s profilom, prečnim prerezom ter z njeno geometrijsko karakteristiko in mora biti izdelana iz kvalitetnega materiala. Tako je obenem vozna površina, nosilec in vodilni element in je v isti meri izpostavljena statičnim in dinamičnim silam. Skozi stoletja so se spreminjale oblike tirnic, dolžine tirnic ter trdota materiala iz katerega je izdelana, vendar pa je njena osnovna naloga vedno ostala enaka.

3.1 Oblika tirnice

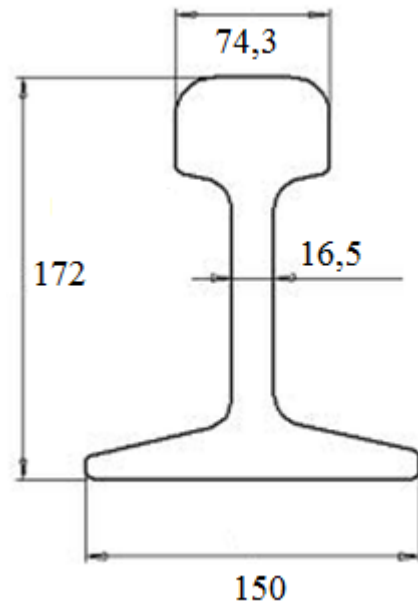
V prerezu ima tirnica obliko nosilca, ki je prilagojen zahtevanim statičnim, dinamičnim in konstruktivnim zahtevam. V Sloveniji se danes vgrajujejo tirnice tipa:

- 49 E1 (stara oznaka S49) za regionalne proge, teh tirnic je v Sloveniji okoli 60%,



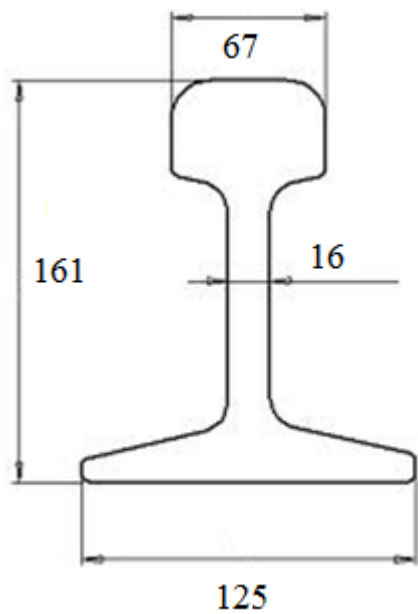
Slika 3: Tirnica 49 E1

- 60 E1 (stara oznaka UIC 60) na vseh rekonstrukcijah glavnih prog, v Sloveniji je teh tirnic okoli 35 %,



Slika 4: Tirnica 60 E1

- 54 E1 (stara oznaka UIC 54E), v Sloveniji je teh tirnic vgrajenih okoli 2%.



Slika 5: Tirnica 54 E1

Spodnja preglednica nam prikazuje karakteristike standardnih oblik tirnic, ki morajo biti zagotovljene, da jih lahko vgradimo v tir.

Preglednica 1: Podatki o tirnicah (Pravilnik o zgornem ustroju železniških prog, 2010):

Oblika tirnice		Masa [kg/m]	Površina prereza [cm ²]	Momenti	
Nova oznaka	Stara oznaka			I(x) [cm ⁴]	W(x) [cm ³]
60 E1	UIC 60	60,21	76,7	3038	333,6
54 E1	UIC 45E	53,81	68,56	2307	276,4
49 E1	S49	49,39	62,92	1816	240,3

Na nekaterih stranskih in industrijskih tirih v Sloveniji imamo vgrajene še nekatere nestandardne tipe tirnic (x_a , XI_{iz} , FS 46, RA 36, XXIV, S 45), ki pa bodisi zaradi manjšega preseka, slabše kvalitete jekla, manjšega vztrajnostnega in odpornostnega momenta danes, zaradi večje teže vlakov in večje hitrosti le teh, ne zagotavljajo več zadostne varnosti v železniškem prometu.

3.2 Proizvodnja in kakovost tirnic

Osnovni material za tirnično jeklo je železo (Fe) z dodatki ogljika (C), mangana (Mn), silicija (Si), fosforja (P), žvepla (S) ter ostalih legirnih elementov (krom (Cr), nikelj (Ni), baker (Cu) in drugi elementi) s katerimi povečujemo žilavost, trdoto ter odpornost na obrabo. Količina vsake izmed primesi v tirničnem jeklu je razvidna iz Preglednice 2.

Tirnice se izdelujejo iz valjanega jekla po naslednjih postopkih (Milojković, 1986):

- Simens – Martenovim postopku,
- Tomasovem postopku,
- elektro postopku
- ali z vpihanjem kisika.

Najbolj pogosto se uporablja Simens - Martenov postopek, pri katerem se iz vročega jekla naredijo t.i. ingoti, ki se nato postavijo v peč, se segrejejo na 1150⁰C – 1200⁰C, nato grejo v valjanje po posebnem postopku in sicer najprej skozi gladke valje in nato skozi profilirane valje, da tirnica dobi obliko. Različni profili tirnice imajo različno število prehodov skoz valje, na primer tirnica 49 E1 gre 19 krat skozi gladke valje in od 9 do 11 krat skozi profilirane valje. Med valjanjem se tirnica ohladi na 900⁰C. Nato sledi poseben postopek ohlajanja tirnice, ki traja toliko časa, da temperatura v tirnici pade na

500°C, sledi naravno ohlajanje na posebnih odrih. Po končanem postopku izdelave tirnice mora le ta ustrezati vsem pogojem, ki so predpisani v standardih.

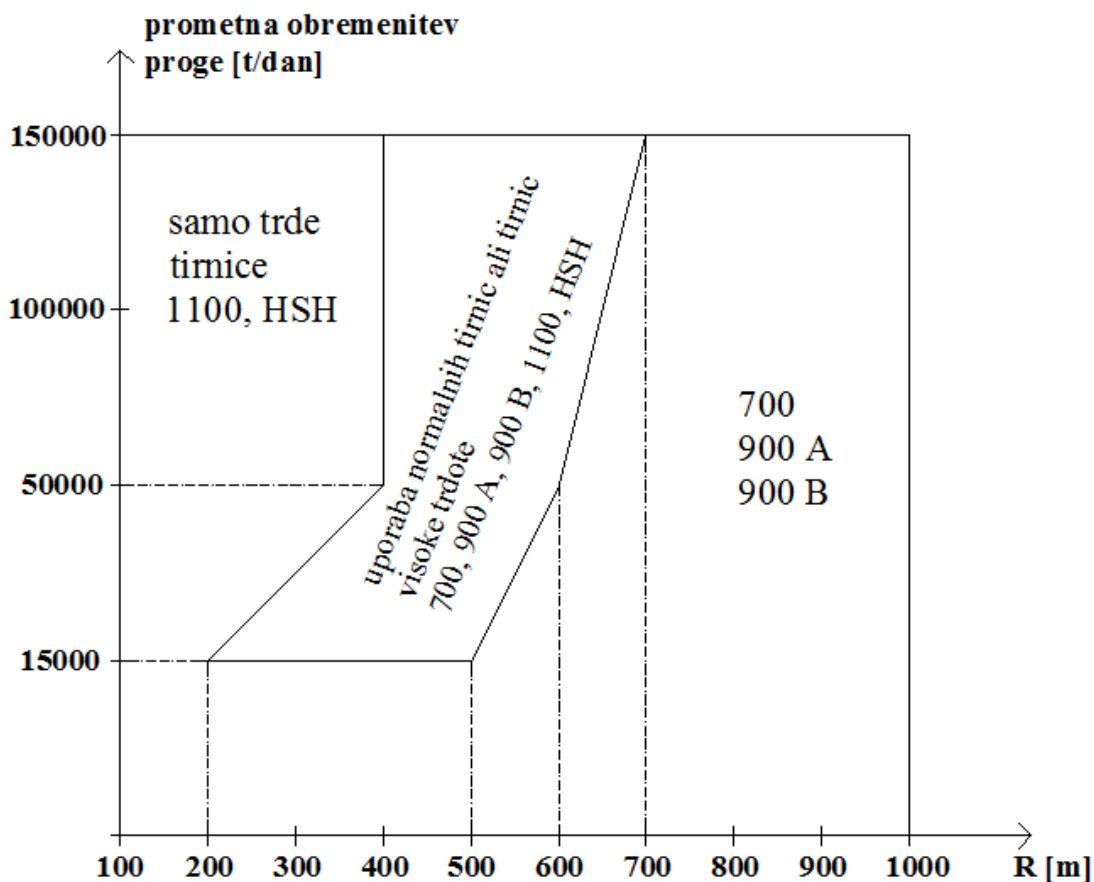
Kakovost tirnice je definirana z njeno trdoto in mora ustrezati najmanj vrsti jekla R 260 oziroma kakovostnemu razredu 900 z minimalno natezno trdnostjo 880 MPa. Tako poznamo sledeče kvalitete tirnic:

- zmerno trda tirnica (označujemo jo z 900 A in 900 B), katere natezna trdnost znaša od 880 N/mm² do 1080 N/mm², trdota pa od 260 – 300 HB,
- posebno trda tirnica (označujemo jo s 1100) iz legiranega jekla, katere natezna trdnost je večja od 1080 N/mm², trdota pa 320 – 360 HB,
- »HSH« tirnica, kjer je osnovni material kvalitete 900 A (R 260), glava pa je toplotno obdelana in ima zato povečano trdoto, natezna trdnost je večja od 1175 N/mm², trdota pa je 350 – 390 HB.

Preglednica 2: Pregled kakovosti tirnic in njihova kemijska sestava (Milojković, 1986):

Kakovost	Natezna trdnost [N/mm ²]	C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]	P [%]	S [%]
900 A	880 - 1080	0,6 - 0,8	0,8 - 1,3	0,1 - 0,5	-	< 0,05	< 0,05
900 B	880 - 1080	0,55 - 0,75	1,3 - 1,7	0,1 - 0,5	-	< 0,05	< 0,05
1100	> 1080	0,55 - 0,8	0,8 - 1,3	0,3 - 0,9	0,7 - 1,3	< 0,03	< 0,03

Kodeks UIC 721 – R priporoča izbor kakovosti tirnic v odvisnosti od obsega prometa in geometrijskih karakteristik proge (velikosti polmera krožnega loka ter vzdolžnega nagiba nivelete). Za proge z veliko prometno obremenitvijo, velikim vzdolžnim nagibom nivelete, predvsem pa v krivinah z majhnim polmerom krožnega loka, kjer se pričakuje večja obraba tirnice, se priporoča uporaba tirnic z večjo natezno trdnostjo, kar prikazuje spodnja slika.



Slika 6: Graf izbora kakovosti tirnice v odvisnosti od obsega prometa in polmera krožnega loka

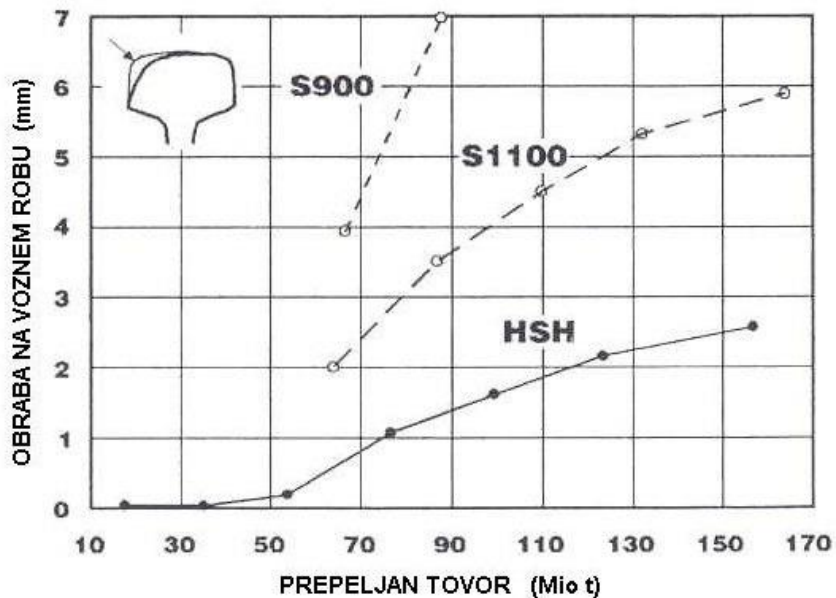
3.3 Dolžine tirnic

Dolžina proizvedene tirnice ni omejena na velikost proizvodnega obrata, ampak na dolžino transportnega sredstva, ki le to pripelje do mesta vgradnje. Običajne dolžine, ki se proizvajajo so 18 m, 22.5 m, 30 m 45 m in vse do 120 m. V Sloveniji se običajno naročijo tirnice dolžine 120 m, ki jih nato na mestu vgradnje zvarijo v dolgi tirni trak. Daljše kot so tirnice hitrejša je vgradnja le teh, krajši je čas nalaganja in raztovarjanja, večja je varnost, trajnost in manj počasnih voženj, zaradi zmanjševanja števila šibkih mest (manj je zvarov v progi, manjša je verjetnost napak v zvarih) ter manj vzdrževalnih del.

3.4 Obraba tirnice

Obraba tirnic je zelo odvisna od vrste in količine prometa ter od teže vlakov, kar je prikazano na naslednji sliki. Na hitrost obrabe pomembno vpliva trdota tirnice. Najbolj se tirnice obrabljajo v

krivinah, pri tem se zunanja tirnica obrablja predvsem bočno (zaradi bočnega pospeška), kar je vidno kot "žleb" na voznem robu tirnice, notranja tirnica pa se obrablja predvsem višinsko, nanjo je namreč zaradi nadvišanja razporejen večji del teže vlaka. Obrabo v krivinah običajno poskušamo omiliti z uporabo tirnih mazalk, kar je opisano v nadaljevanju.



Slika 7: Bočna obraba različnih kvalitet tirnic

(Vir: Zaletelj, Flerin, 2006: str. 6)

Obraba tirnic se na naših progah meri enkrat letno in sicer ročno ali z uporabo merilnega vlaka.

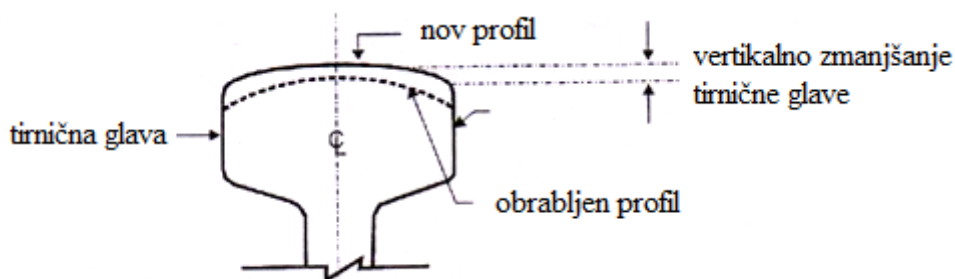


Slika 8: Naprava za ročno merjenje obrabe tirnice

(Vir: Šemrov, 2011)

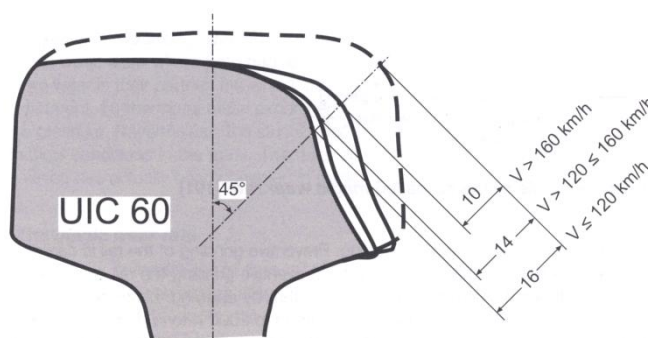
Kot je omenjeno že zgoraj poznamo dve vrsti obrabe tirnic:

- višinska obraba tirnice predstavlja vertikalno zmanjšanje višine tirnične glave in se meri v vertikalni osi tirnice,



Slika 9: Višinska obraba tirnice

- bočna obraba tirnice je sprememba orisa tirnične glave na njenem voznom robu, merimo jo pod kotom 45° , 14 mm pod ravnino zgornjega roba tirnice.



Slika 10: Dovoljena bočna obraba tirnice 60 E1 pri različnih hitrostih

(Vir: Lichtberger, 2005: str. 122)

Glede na dovoljeno obrabo tirnic razlikujemo naslednje vrste tirov oziroma prog (Pravilnik o zgornem ustroju železniških prog, 2010):

- vrsta proge 1: glavne proge $120 \text{ km/h} < V \leq 160 \text{ km/h}$,
- vrsta proge 2: glavne proge $V \leq 120 \text{ km/h}$ in regionalne proge $80 \text{ km/h} < V \leq 120 \text{ km/h}$,
- vrsta proge 3: regionalne proge $V \leq 80 \text{ km/h}$ (če je dovoljena hitrost večja kot 80 km/h , samo ta odsek proge spada v skupino vrsta proge 2),
- vrsta proge 4: stranski postajni in industrijski tiri.

Preglednica 3: Dovoljena obraba tirnic (Pravilnik o zgornem ustroju železniških prog, 2010):

Oblika tirnice	Višina nove tirnice	Vrsta proge	Višina obrabljene tirnice	Dovoljena višinska obraba	Dovoljena bočna obraba	Dovoljena vsota višinske in bočne obrabe
60 E	172	1	158	14	19	26
		2	155	17	19	26
		3	154	18	20	32
		4	152	20	20	
54 E	161	1	149	12	15	
		2	145	16	20	28
		3	141	20	20	32
		4	141	20	20	
49 E	149	1	137	12	15	
		2	137	12	15	
		3	133	16	18	
		4	129	20	20	

Da bi se tirnice in sledilni venci vozil kar najmanj obrabili, v krivinah s polmerom manjšim od 600 m ter na odsekih, kjer je količina prometa večja od 1,5 milijona brt/leto tirnice mažemo z grafitnim mazivom. (Pravilnik o zgornem ustroju železniških prog, 2010).

Tirnice se mažejo s stabilnimi tirnimi mazalkami, vgrajenimi v tiru, z napravami, vgrajenimi v vlečno vozilo ali pa izjemoma ročno. Maže se vedno notranji rob tirnične glave, ki je v dotiku s sledilnimi venci kolesnih obročev. Mazanje zgornje površine tirnične glave je prepovedano. Stabilne tirne mazalke mažejo sledilnevence koles vozila, ki raznašajo mazivo v smeri vožnje na zunanje tirnice istosmernih krivin. Dolžina uspešnega mazanja je odvisna od števila in dolžine krivine ter od nastavitve mazalke.

Tirna mazalka se vgrajuje na začetku prehodnice pred mestom, kjer se začne stranska obraba tirnice. Pritrdi se na tirnico med dvema pragoma, kot je prikazano na spodnji sliki, in se z ustreznimi podložkami prilagaja različnim sistemom tirnic.



Slika 11: Tirna mazalka na progi Celje – Maribor

(Vir: http://www.slo-zeleznice.si/uploads/pictures/gallery/file/nova_proga_02_03_2009.pdf (25.3.2011))

4 PRAG

Prag je nosilni element na katerega pritrdimo dve vzporedni tirnici in ima funkcijo ohranjanja tirne širine ter prenosa sil, ki jih povzročajo tirna vozila, iz tirnice na tirno gredo. Njegova naloga je tudi dušenje nihanja tirnic in zmanjševanje vplivov zvočnih valov, ki jih oddajajo posamezni elementi zgornjega ustroja. Mora biti vremensko obstojen in odporen na dinamične učinke vožnje, hkrati pa mora zagotavljati zadostno prečno odpornost tirne rešetke v tirni gredi.

V preteklosti so imele proge namesto današnjih pravokotno na os tira položenih pragov, posamezne podpore – kamnite kocke s stranico 60 cm. Poskušali so tudi s polaganjem pragov vzdolžno na os tira, v smeri tirnice, vendar se je pokazalo, da se taki pragi le s težka prilagajajo tirnici v krivini, še posebno v krivinah z majhnim radijem, le s težka se ohranja konstantno tirno širino in nagib tirnice, težko se izvede dobro in kvalitetno nadvišanje tirnice v krivinah, ni bilo mogoče vgrajevati pragov iz različnih vrst materialov, težka je bila tudi zamenjava dotrajanih pragov, zato se vzdolžno na os tira položeni pragi dandanes uporabljajo le še v posebnih primerih, kot so na čistilnih ali delovnih jaških, na nekaterih premostitvenih konstrukcijah ali pri izvedbi tirov brez tirne grede (Milojković, 1986). Na mreži nizozemskih železnic se uporablja tudi tako imenovane "cik-cak" betonske prage, ki ustvarijo diagonalno vez med dvema tirnicama in hkrati služijo tudi kot podlaga za tirnico ter tudi kot zatič za ohranjanje razdalje med tirnicama.

Danes se na klasičnih tirnih progah po celem svetu uporabljajo samo prečno na os tirnice položeni pragi v razmiku 60 do 70 cm, kar za proge, kjer je razmik 60 cm, znese 1667 pragov na kilometer proge.

Pragi se izdelujejo iz lesa, betona, jekla ali umetnih materialov. Izbira materiala je odvisna od tehničnih, obratovalnih in skupnih gospodarnostnih pogojev.

Življenjska doba pragov je določena z leti delovanja ali pa s stopnjo obrabe. Obstojnost in s tem življenjska doba pragov iz trdega lesa se ocenjuje na 20 do 30 let, iz mehkega lesa pa na 13 do 20 let, življenjska doba betonskih pragov pa se ocenjuje na 30 do 50 let. Slabo stanje spodnjega ustroja, visoke osne obremenitve, porast dinamičnih obremenitev, velike bočne sile v krivinah in obraba pragov so dejavniki, ki odločilno vplivajo na življenjsko dobo pragov. Prag je včasih potrebno zamenjati tudi že pred iztekom njegove življenjske dobe in sicer, če pride na lesenem pragu do razrahljanja lukenj pri pritrdilnem priboru in s tem do povečanja tirne širine, če pride do gnitja lesenega pragu ali do razpada armature in izgube elastičnosti v primeru betonskih pragov ter zaradi mehanske obrabe, razpok in zlomov (Zaletelj, 2006).

4.1 Leseni pragi

Za lesene prage se praviloma uporablja trdi les hrasta in bukve. Za manj obremenjene in manj pomembne proge ter industrijske tire pa se lahko uporablja tudi les črnega in belega bora, macesna, akacije ali kostanja. Les, ki ga uporabimo za izdelavo pragov mora biti zdrav in dobre kvalitete, odporen na pritisk ter razpadanje. Kljub temu, da so leseni pragi dražji od betonskih, jih dandanes še vedno v veliki večini vgrajujejo v železniške proge. So namreč relativno lahko vgradljivi in lahki za manipulacijo, uporabljamo lahko vse vrste pritrdilnega pribora, z razliko do betonskega praga, kjer lahko uporabimo le elastičen tip pribora, vožnja po njih je bolj tiha in elastična ter lahko jih vgrajujemo na manj kvalitetne podlage. Obvezno jih je potrebno vgraditi na potniških prehodih, v krivinah z radiem manjšim od 250 m ter v kretnice (Milojković, 1986).



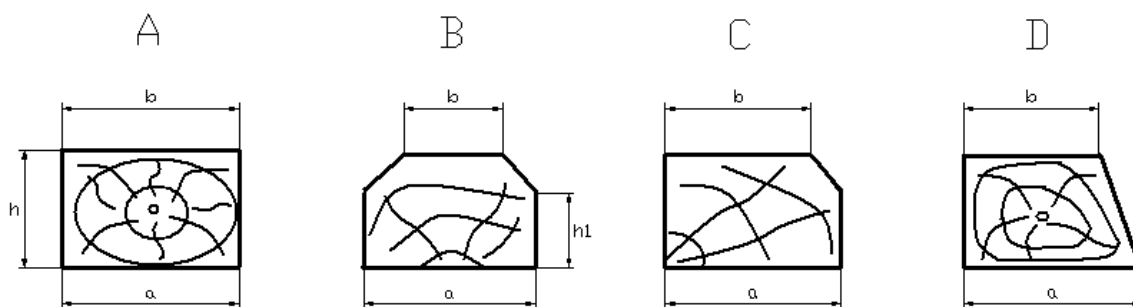
Slika 12: Leseni pragi

(Vir: Bajželj, 2011)

Glede na mesto vgradnje ločimo progovne prage, ki so vgrajeni v tirih, kretniške prage v kretnicah in mostovne prage na jeklenih mostovih.

4.1.1 Progovni pragi

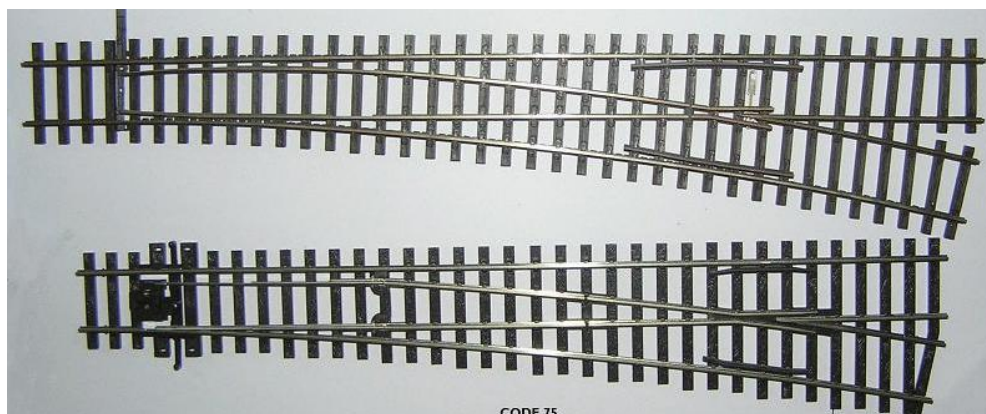
Progovni pragi so običajno ostrorobi (spodnja slika tip A), v posebnih primerih pa se lahko vgrajujejo tudi pragi z prisekanimi robovi oziroma topo robni pragi (spodnja slika tipi B, C, D). Običajno so velikosti 16/26/260 cm in težki okoli 100 kg.



Slika 13: Progovni pragi
(Vir: Milojković, 1986: str. 97)

4.1.2 Kretniški pragi

Posebnost kretniških pragov je v tem, da ima vsak prag točno določeno dolžino in mesto v kretnici. Dolžina kretnice je določena z zadnjim dolgim skupnim pragom. Ti pragi morajo biti ravni, ležišča za drsne blazine in podložne plošče pa morajo biti v isti ravnini. V menjalu se morajo vgrajevati ostrorobi pragi, uporaba topo robnih pragov na srednjem delu kretnice je dopustna, če na tem delu niso predvidene naprave za preprečevanje vzdolžnega pomika tirnic.



Slika 14: Kretniški pragi
(Vir: <http://www.rmweb.co.uk/community/...> (17.2.2011))

4.1.3 Mostovni pragi

Praviloma se izdelujejo samo iz hrastovega lesa in niso impregnirani. Če se izjemoma uporabi bukov les, pa morajo biti le ti impregnirani. Mostovni pragi morajo biti pravokotne ali kvadratne in ostrorobe oblike.



Slika 15: Mostovni pragi

(Vir: <http://www.corbat-holding.ch/CMS/default.asp?ID=1858&Language=EN> (17.2.2011))

Življenjska doba lesenih pragov je odvisna od vrste lesa, od postopka sečnje, načina impregnacije, vrste uporabljenih antiseptičnih sredstev, od načina pritrdjevanja tirnice in tipa pritrdilnega pribora, od čistoče tirne grede (vlaga, vegetacija), odvodnavanja in od prometne obremenitve in znaša pri trdem lesu od 20 do 30 let, pri mehkem pa od 13 do 20 let.

Za podaljšanje življenjske dobe lesenih pragov moramo le te impregnirati, da jih zaščitimo pred različnimi zajedavci, mikroorganizmi, gnitjem oziroma trohnenjem. Običajno se impregnacijo izvede po Ripingovi metodi, pri kateri se za impregnacijsko sredstvo uporabljata krezotno olje, ki se pridobiva z destilacijo oglja, in cinkov klorid. Poznamo pa tudi metodo polne impregnacije po Betelu ter dvojno Ripingovo metodo za bukove prage (Milojković, 1986).

Naravno posušene prage, vlažnosti okoli 22%, se po Ripingovi metodi impregnacije zapre v hermetično zaprt valj v katerem se ustvari vakuum približno $6 \cdot 10^5$ Pa, ki traja najmanj 10 min. Pri tem se iz prostorov izsesa snov, da se naredi prostor za impregnacijsko sredstvo. Valj se nato napolni s krezotnim oljem, ki se pod pritiskom, približno 160 min, vtiska v prag. Nato se zopet ustvari vakuum, ki traja vsaj 15 min, da se vso odvečno impregnacijsko sredstvo izsesa iz praga.

4.2 Betonski pragi

Zaradi vse večjega pomanjkanja kvalitetnega lesa in zviševanja cene le tega se je pojavila potreba po uporabi betonskih pragov. Ti so vremensko bolj odporni, prilagodljivih oblik, dimenzij in mas, ki so

potrebne za pričakovano količino prometa, so cenejši od lesenih, odporni na požar, primerni za uporabo na mestih, kjer bi bila uporaba lesenih pragov nevarna, hitra proizvodnja in so do 3 krat težji od lesenih in s tem zagotavljajo večjo stabilnost zgornjega ustroja, vendar pa so do 4 krat bolj togi od lesenih, vožnja po njih je glasnejša, so krhki in zato lahko pride do zloma praga in naj se ne bi vgrajevali v krivine z radiem manjšim od 400 m (Milojković, 1986).

Betonski pragi so vedno armirani, lahko z običajno ali s prednapeto armaturo. Poznamo enodelne prage, to so pragi iz enega kosa in s prednapeto armaturo, ter dvodelne prage z običajno armaturo.

4.2.1 Enodelni betonski pragi

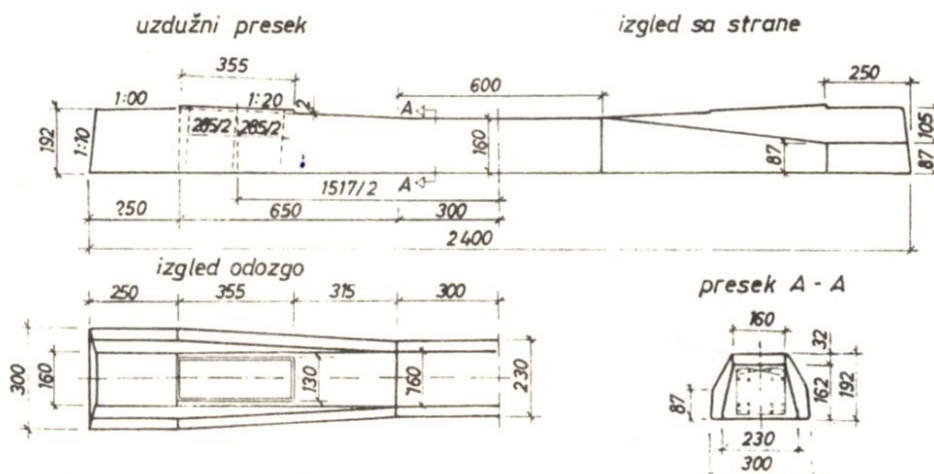
Na mreži slovenskih železnic se vgrajujejo samo enodelni betonski pragi. Ti imajo večjo maso od dvodelnih in so zato primerni za uporabo v dolgem tirnem traku ter zahtevajo mehanizirano polaganje. Imajo veliko naležno površino, zato jih je potrebno vgrajevati samo v dobro in čvrsto podlago s kvalitetnim tolčencem. Na betonskem pragu se lahko uporablja le elastični pritrdilni pribor, v katerega že v postopku izdelave vgradijo sidro v katero nato pri montaži vtisnejo elastično vzmet.



Slika 16: Enodelni betonski prag

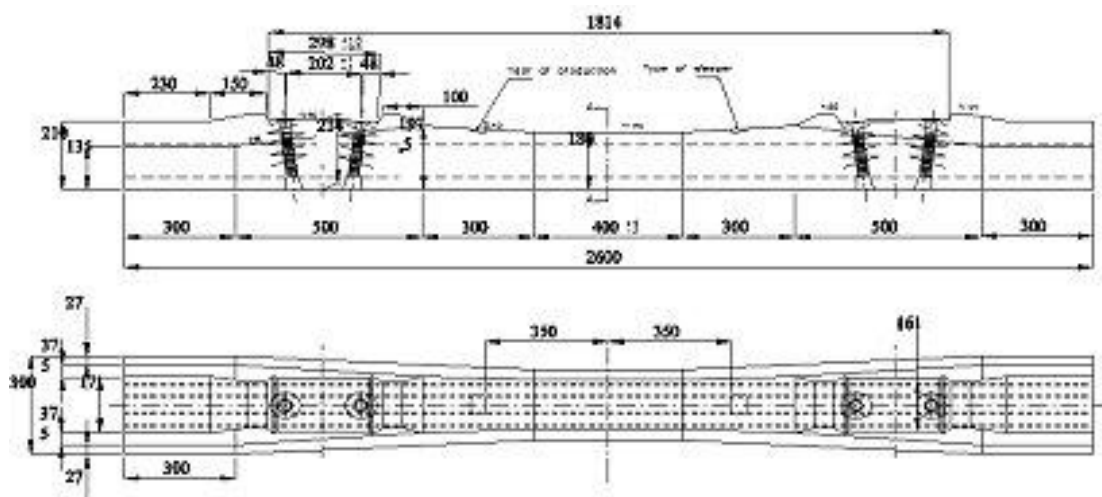
(Vir: <http://www.miniaturna-zeleznica.com> (14.3.2011))

Pri nas uporabljamo dva tipa enodelnih betonskih pragov in sicer tip JŽ 70, ki ima dolžino 240 cm in B 70 MOD z dolžino 260 cm, ki je primeren za tirnice 60 E1.



Slika 17: Betonski prag JŽ 70

(Vir: Milojković, 1986: str. 107)

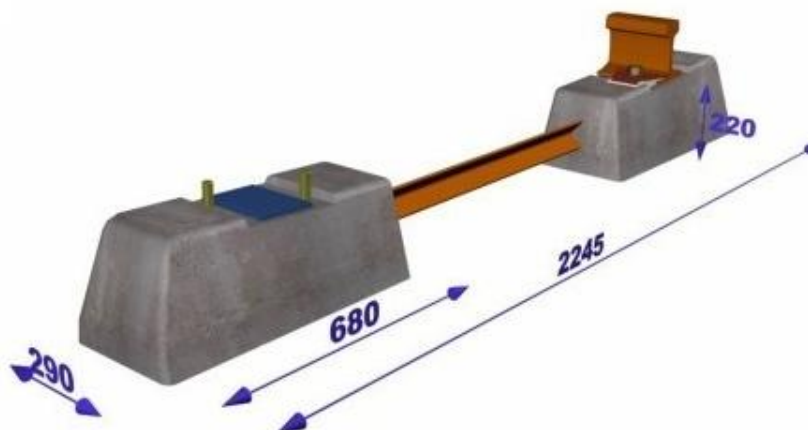


Slika 18: Betonski prag B – 70

(Vir: http://fib.bme.hu/news/cikk/v99_4_teljes/cikk99-4-3.htm (17.3.2011))

4.2.2 Dvodelni betonski pragi

Dvodelni armiranobetonski prag je sestavljen iz dveh betonskih blokov, ki sta medsebojno povezana z jeklenim elementom Y ali I profila. So bolj elastični od enodelnih pragov, imajo manjšo naležno površino, so cenejši od prednapetih enodelnih, vendar pa se jih v mrežo slovenskih železnic ne vgrajuje.



Slika 19: Dvodelni betonski prag

(Vir: <http://www.zeljeznice.net/forum/index.php...> (18.2.2011))

4.3 Jekleni pragi

Jeklene prage so pogosto vgrajevali zaradi pomanjkanja kvalitetnega lesa, v kretnicah zaradi povečane smerne stabilnosti ali pa v krajih, kjer so podnebne in okoljske razmere narekovale njihovo uporabo. Življenjska ali uporabna doba teh pragov je med 40 in 60 let. Danes teh pragov na slovenskem železniškem omrežju na vgrajujemo več, čeprav ja njihova vgradnja dovoljena s Pravilnikom o zgornjem ustroju.

Pri jeklenih pragih razlikujemo dva tipa in sicer starejši koritasti z upognjenima koncema in novejši Y-prag.

4.3.1 Koritast jekleni prag

Koritast jekleni prag ima majhno težo in je s tem omogočena enostavnejša manipulacija, ima majhno konstruktivno višino, kar zahteva manjšo debelino tirne grede in ima dolgo življenjsko dobo. Poleg tega ima slabo lastnost, da se zaradi nedušenih udarcev jekla ob kamen tolčenec močno drobi, zdrobljeni material pa nato povzroča lepljenje zrn tolčenca in s tem se zmanjšuje vodoprepustnost tirne grede. Ima tudi majhen odpor proti bočnemu premiku v primerjavi z betonskim pragom, zaradi česar imajo nekateri tipi teh pragov podaljšane čelne stranice, zaradi katerih so zato smerne regulacije težje izvedljive (Lichtberger, 2005).

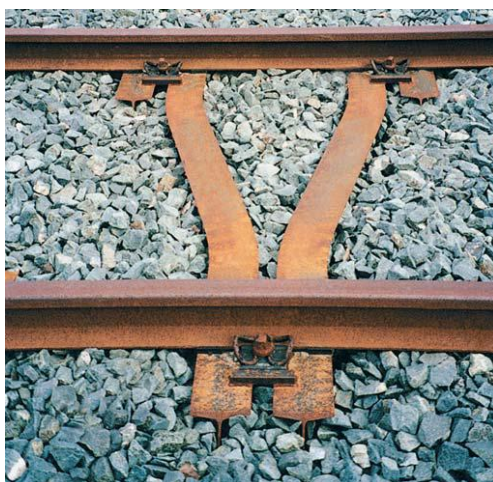


Slika 20: Koritast jekleni prag

(Vir: http://www.svr-vlo.org.uk/floodline_no60-69.htm (22.1.2011))

4.3.2 Y – jekleni prag

Od leta 1984 dalje je na trgu železniškega materiala prisoten tudi tako imenovani Y-jekleni prag. Sestavljen je iz dveh glavnih nosilcev v obliki črke "S" in ukrivljenih vroče valjanih "I" profilov s širokima pasnicama. Dodatna stranska ravna nosilca omogočata dvojno ležišče tirnicama na eni oporni točki. Povezava med jeklenimi profili je izvedena v območju ležišča tirnic, in sicer s po dvema jeklenima spodnjima oziroma zgornjima sponama, ki so privarjene na jeklene profile. Za razliko od klasičnega praga z dvema ležiščema za tirnici ima Y-prag 3 pare ležišč s centrično nameščeno pritrditvijo. Y-prag se uporablja v tirih s tirno gredno in brez nje v kombinaciji z nosilnim asfaltnim slojem.



Slika 21: Y – jeklen prag

(<http://www.tkgftgleistechnik.de/en/products...> (15.2.2011))

4.4 Pragi iz umetnih materialov

Konec prejšnjega stoletja so se v svetu začeli pojavljati tudi železniški pragi iz umetnih materialov. Njihova prednost je v majhni teži, odpornosti proti termitom, glivicam in gnitju, zaradi česar imajo dolgo življenjsko dobo ter visoki sposobnosti dušenja vibracij tirnic in s tem v dušenju zvoka.

Ti pragi se običajno vgrajujejo na jeklene mostove brez tirne grede ali v zgornji ustroj brez tirne grede in služijo zmanjševanju širjenja zvoka v telesih in v zraku ter zmanjševanju vibracij.

Pragi iz umetnih materialov se vstavijo v gumijasto oblogo in zalijejo z betonom v betonsko ploščo, ki je s protivibracijsko izolacijo ločena od temeljne konstrukcije. Ti pragi so izdelani iz penjenega poliuretana, jedro je iz trdnih vlaken v katerem so nameščeni jekleni vložki za privijanje pritrdilnih vijakov, s čimer je že določena tirna širina. Podložne plošče so privijačene neposredno na prage.



Slika 22: Pragi iz umetnih materialov

(Vir: <http://www.usq.edu.au/ceefc/grantsprojects...> (17.2.2011))

5 TIRNA GREDA

Tirna greda je sestavni del zgornjega ustroja, v kateri leži tirna rešetka (pragi in tirnice). Zagotavlja enakomeren prenos pritiska pragov na planum oz. spodnji ustroj, odpor proti bočnemu in vzdolžnemu pomiku tirne rešetke, enostavno vzpostavitev horizontalne in vertikalne lege tira, zračnost in vodoprepustnost ter elastičnost tira za zmanjševanje dinamičnih sil. Zgrajena je iz tolčenca in mora biti čista, obstojna na mraz in obrus, imeti mora predpisano obliko in enakomerno višino, dobro mora prenašati atmosferske padavine in omogočati hitro odvodnjavanje planuma, prevzemati in prenašati prometno obtežbo, preprečevati vzdolžni in prečni premik pragov ter zagotavljati pravilo vzdolžno in prečno lego tira. Oblika in dimenzije prečnega prereza tirne grede so odvisne od vrste proge, števila in vrste tirov, vrste in dolžine pragov, nagiba planuma, geometrije tira (prema ali krivina), od dolžine tirnic (NZT ali klasični tir) in od načina vzdrževanja tira (Pravilnik o zgornem ustroju železniških prog, 2010). Življenjska doba tirne grede je določena z leti obratovanja (v razponu 15 do 50 let) in je odvisna od vrste in kvalitete grede, od stopnje zablatenosti, vrste pritrditve, razmika med pragi, teže vlakov in gostote prometa, stanja kolesnih vencev ter velikost osne in dinamične obremenitve (Zaletelj, 2006).

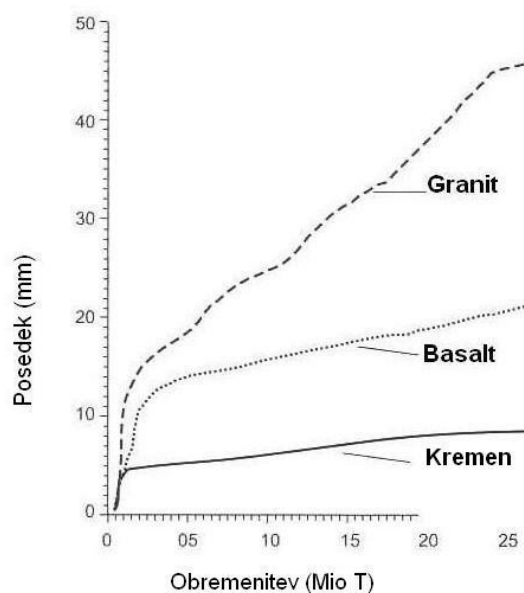
5.1 Material za tirno gredo železniških tirov

V preteklosti se projektanti železniških tirov niso zavedali pomembnosti vgrajevanja kvalitetnih materialov v tirno gredo, zato so vgrajevali material, ki je bil lokalno na voljo (npr. pepel, kreda, glina) in poceni, kar pa bi bilo dandanes popolnoma nesprejemljivo. Iz izkušen so kaj kmalu ugotovili, da dober, kvaliteten material, kot so apnenec in magmatske kamnine zelo pripomorejo k daljši življenjski dobi tirne grede. Zato mora danes kamnina za proizvodnjo tolčenca za tirno gredo železniških prog izvirati iz nahajališč zdravega, trdnega, gostega in žilavega kamna. Kamnina v nahajališču mora biti homogena, brez primesi gline, humusa, železovih oksidov ali drugih škodljivih snovi, odporna proti zmrzovanju in zunanjim vplivom. Osnovni material za proizvodnjo tolčenca so tako lahko magmatske, metamorfne ali sedimentne kamnine. Proizvodnja tolčenca poteka preko drobljenja in sejanja na tehnološko ustreznih drobilnih in sejalnih strojih. Kakovost materialov primernih za tirno gredo določamo z:

- mineraloško petrografskim pregledom zrn,
- meritvami vpijanja vode (obstojnost tolčenca) in obstojnost v raztopini Na_2SO_4 ,
- odpornost kamnine na zmrzal,
- odpornost proti drobljenju.

Kakovost kamnine za proizvodnjo tolčenca se izkazuje z izjavo o skladnosti in certifikatom notranje kontrole proizvodnje kamnoloma ter ostalo veljavno zakonodajo o agregatu (kamnini) kot surovinskemu materialu. Kakovost tolčenca pa mora biti v skladu s standardoma SIST EN 13450:2003 in 13450:2003/AC:2004, ki predpisujeta agregat za tirno gredo železniških prog.

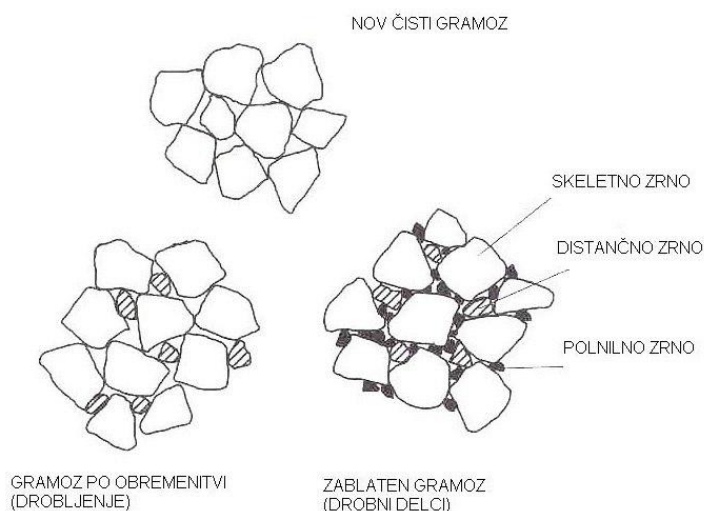
V Sloveniji se za tirno gredo uporablja apnenec (iz kamnoloma Verd), ki je relativno mehka kamnina in zato se pod prometno obremenitvijo hitreje drobi, kot magmatske kamnine, ki so trše in zato boljše za vgrajevanje v tirno gredo, vendar pa v Sloveniji nimamo primernih nahajališč magmatskih kamnin in bi uvoz le teh pomenil velik strošek. Zaradi hitrejšega drobljenja apnenca se sama stabilnost tirne grede hitreje slabša, kar močno vpliva na vzdrževanje smeri in nivelete proge med eksploatacijo. Na spodnji sliki so prikazani posedki različnih magmatskih kamnin v odvisnosti od obremenitve prog.



Slika 23: Značilnosti posedanja različnih magmatskih kamnin za tirno gredo

(Vir: Zaletelj, Flerin, 2006: str. 8)

Posedanje tirne grede pod obremenitvijo je posledica drobljenja zrn. Pri samem postopku dinamičnih obremenitev tirne grede prihaja do efekta ireverzibilnosti v vertikalnem pogledu. Prazna mesta, ki se s časoma zapolnijo z zdrobljenimi delci zrn in drugo umazanijo (spodnja slika), ne opravljajo več svoje osnovne funkcije sistema vzmetenja, kar povzroča povečanje togosti proge.



Slika 24: Shematični prikaz zrn v sestavi tirne grede

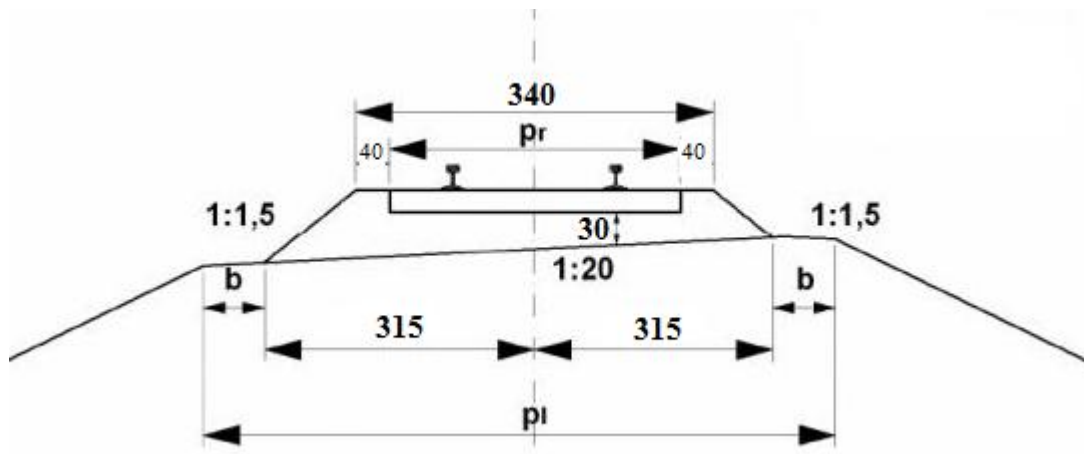
(Vir: Zaletelj, Flerin, 2006: str. 8)

5.2 Zrnavost

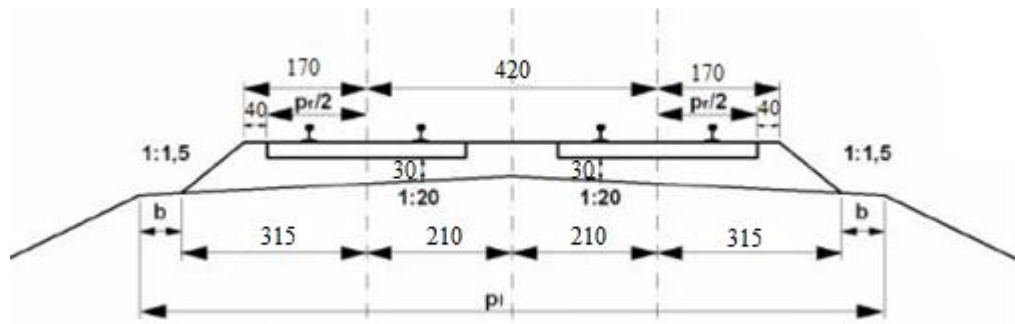
Tolčenec mora biti zgrajen iz oglatih zrn, katerih oblika se približuje obliki kocke. Zrnavostna sestava tolčenca za tirno gredo je določena z nazivno zrnavostjo. Za potrebe tirne grede železniških prog se uporablja tolčenec z nazivno zrnavostjo 22,4 mm – 63 mm.

5.3 Debelina tirne grede

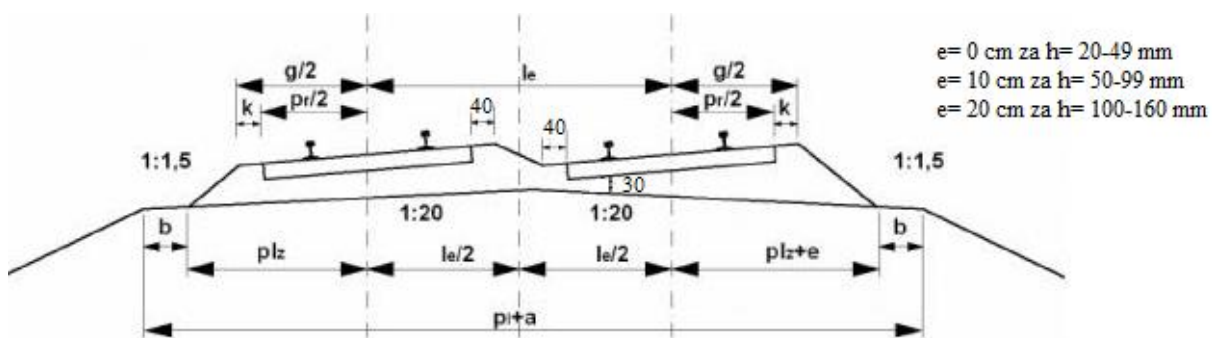
Potrebna debelina kvalitetne tirne grede je odvisna od maksimalne hitrosti tirnih vozil, maksimalnih osnih sil ter od velikosti pričakovane teže vlakov in se meri pod tirnico, in sicer med spodnjim robom praga in planumom. V splošnem debelina tirne grede nebi smela biti manjša od 150 mm (Bonnert, 2005). Pri nas so s Pravilnikom o zgornjem ustroju določene minimalne debeline tirne grede, in sicer za glavne proge 300 mm, za regionalne proge 250 mm ter za stranske postajne tire vseh prog in industrijske tire 200 mm. Na spodnjih slikah so prikazani prečni preseki tirne grede enotirnih in dvotirnih prog.



Slika 25: Prečni presek tirne grede v premi in enostranskem nagibu planuma (glavna proga)
(Vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010: str. 28)



Slika 26: Prečni presek tirne grede dvotirne proge v premi (novogradnja, glavna proga)
(Vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010: str. 29)



Slika 27: Prečni presek tirne grede dvotirne proge v krivini
(Vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010: str. 29)



Slika 28: Tirna greda
(Vir: Bajželj, 2011)

6 TIRNI PRIBOR

Tirni pribor se glede na funkcijo, ki jo opravlja v tiru deli na:

- pritrdilni pribor, ki pritrjuje tirnico na prag,
- vezni pribor, ki medsebojno povezuje tirnice in na
- drugi tirni pribor, ki služi za ojačenje tirne rešetke.

Tirni pribor tako služi za pričvrstitev tirnice na prag in čim daljše vzdrževanje potrebne velikosti pritrdilne sile, medsebojno povezuje dve tirnici v vzdolžni smeri in izvršuje njihovo reguliranje v horizontalni in vertikalni smeri. Prav tako je naloga tirnega pribora tudi preprečevanje vzdolžnega premika tirnic, preprečevanje bočnega premika pragov oziroma povečati bočni odpor tirne rešetke ter vzdrževanje predpisane tirne širine.

Tirni pribor mora ustrezati vsem zgoraj naštetim pogojem, da lahko uspešno vrši svojo funkcijo v tiru. Od njega se zahteva, da je čim lažji, da je sestavljen iz čim manj elementov, da je lahko vgradljiv, da se ga da enostavno zamenjati ter, da se enaki elementi pritrdilnega materiala lahko uporabljajo tako pri lesenih kot tudi pri betonskih pragih (Milojković, 1986). Elementi tirnega pribora se izdelujejo iz jekla natezne trdnosti $400 - 650 \text{ N/mm}^2$, razen elastične podložke in nekaterih elementov elastičnega pritrdilnega pribora, ki se izdelujejo iz jekla natezne trdnosti okoli 1280 N/mm^2 .

6.1 Pritrdilni pribor

Pritrdilni pribor je sklop elementov, ki omogočajo zanesljivo in kakovostno pritrnitev tirnice na prag. Glavna naloga pritrdilnega pribora je vzdrževanje pritrdilne sile med pritrdilnim materialom in nogo tirnice. Preprečevati mora tudi vzdolžne pomike tirnice, bočne pomike pragov, sodeluje pri dušenju nihanja tirnic in zmanjšuje energijo, ki se prenaša na prage in nato na podlago. Življenjska doba tirnega pritrdilnega pribora se ugotavlja kot stopnja obrabe. Nanjo odločilno vplivajo velike osne obremenitve, velike nezavrte mase, ploščata mesta na kolesih in povečanje togosti – trdote tirne grede, tipi spojk in vrsta zaščite proti koroziji, servisni pogoji in slabo vzdrževanje proge ter proces, ki vodi do povečevanja lukenj v pragu ali poškodovanja lesnih vijakov (Zaletelj, 2006).

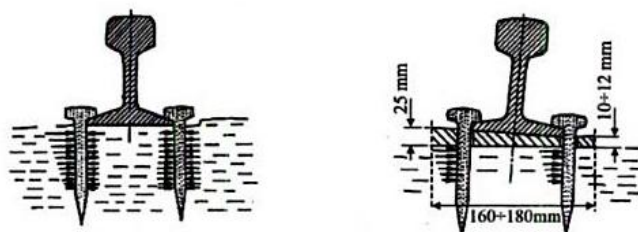
Pritrdilni pribor je lahko tog ali elastičen. K togemu pritrdilnemu priboru sodijo podložne plošče, pritrdilne ploščice, pritrdilni vijaki z maticami, elastični obročki in tirfoni. K elastičnemu pritrdilnemu priboru pa sodijo elastične vzmeti in elastične ploščice. V Sloveniji je standardiziran pritrdilni pribor za tip zgornjega ustroja s tirno gredo elastični pribor e-sponka in pritrdilni pribor K z rebrastimi

podložnimi ploščami ter togimi pritrtilnimi ploščicami ali elastičnimi sponkami SKL 2, SKL 12, SKL 14 (Pravilnik o zgornem ustroju železniških prog, 2010).

6.1.1 Togi pritrtilni pribor

6.1.1.1 Žebljani pritrtilni pribor

Običajni tirniški žebli so se za pritrjevanje tirnice na prag uporabljali vse do prve svetovne vojne, dandanes pa se jih uporablja samo še v nekaterih državah. Čeprav je žebljani pritrtilni pribor najcenejši, pa le ta predstavlja zastarel način pritrjevanja tirnice na prag in ne zadostuje današnjim tehničnim zahtevam. Žebli se zelo slabo upirajo delovanju vzdolžnih in bočnih sil, kar pripelje do rahljanja veze in s tem do povečanja tirne širine. Vgrajujejo se samo v lesene prage in sicer tako, da se zabijejo skozi luknjo na nogi tirnice tako, da glava žeblja preprečuje zvrnitev tirnice, telo žeblja pa preprečuje bočne pomike. Žebli nudijo majhen odpor proti vzdolžnim silam, zato moramo hkrati z njimi uporabljati tudi naprave proti vzdolžnemu premiku tira. Ob uporabi podložnih plošč se bočni odpor aktivira v vseh žeblih, le ti se upirajo na podložno ploščo in s tem nudijo dvakrat večji bočni odpor.



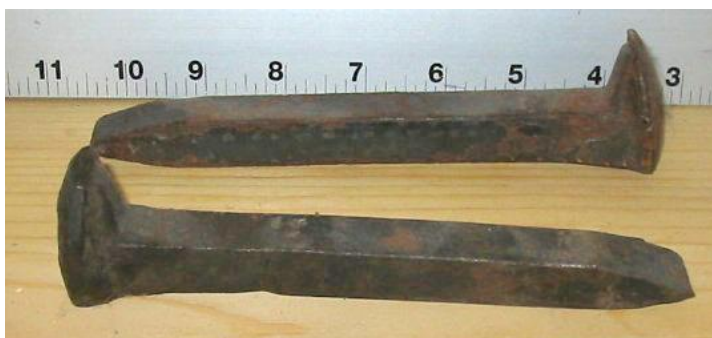
Slika 29: Žebljani pritrtilni pribor z uporabo podložne plošče (desno) in brez nje (levo)

(Vir: <http://books.google.si/books?id=MumsYYDF2xAC&pg...> (15.3.2011))



Slika 30: Žebljani pritrtilni pribor

(Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/Rail_fastening_system (24.3.2011))



Slika 31: Žablji za pritrnitev tirnice na prag

(Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/Rail_fastening_system (24.3.2011))

Ker so ugotovili, da tirniški žablji ne nudijo zadostnega bočnega odpora, so namesto njih začeli uporabljati lesne vijake oz. tirfone (ime so dobili po francoskem inženirju Tirfonu), ki so krožnega preseka in imajo narezan spodnji del. Ti se ne zabijajo v prag, tako kot žablji, ampak se jih uvrta v najprej za ta namen pripravljene luknje v pragu. Lesni vijaki se danes veliko uporabljajo kot sestavni deli velikemu številu pritrtilnih priborov.



Slika 32: Lesni vijak

(Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/Rail_fastening_system (24.3.2011))

Razvili so tudi tako imenovane elastične žablje, ki so veliko boljši od običajnih togih žabljev. Elastičnost je definirana z razmikom med delom žablja, ki se nahaja v tiru in delom, ki leži na nogi tirnice. Poznamo jih veliko različnih oblik in v glavnem vsi zagotavljajo velik odpor proti vlečni sili. V pogledu odpora proti bočnim silam niso nič boljši od običajnih togih žabljev ali tirfona. Primerni so samo za uporabo na lesenih pragih in še to pod pogojem, da so pragi zdravi. Priporoča se uporaba na hrastovih in ne na bukovih pragih, saj le ti nudijo boljši odpor proti vlečni sili.

Velika slabost vseh žebeljanih pritrdilnih priborov je v majhnem odporu proti bočnim silam, zaradi česar prihaja do večanja tirne širine, predvsem v tistih krivinah, v katerih ni uporabljena podložna plošča. Hkrati prihaja pri direktnem pritrjevanju tirnice na prag tudi do vtiskovanja tirnične noge v naležno površino praga. Kljub temu, da je ta način pritrditve najcenejši in najlažje vgradljiv, pa je to zastarel način pritrjevanja in se je dandanes ne uporablja več.

6.1.1.2 K sistem z rebrasto podložno ploščo

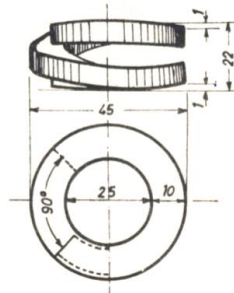
Najpogostejši togi tip pritrdilnega pribora, ki se uporablja pri nas, je klasičen pribor tipa K, ki se ga lahko uporablja na lesenih pragih. Pribor je zelo robusten kar doprinese k togosti tira v tirni rešetki in je zato primeren za vgradnje v dolge tirne trakove. Prednost te pritrditve je možnost popolne zamenjave večine njegovih delov in njihovega postopnega izkoriščanja do popolne izrabe. Slabost pribora je v veliki masi, ki na en lesen prag znaša okoli 24 kg (masa vsakega posameznega dela pribora K je prikazana v Preglednici 4) in posledično tudi v visoki ceni, v primerjavi z ostalim pritrdilnim priborom. Ima veliko število sestavnih elementov, kar povzroča večjo obrabo na stičnih mestih in s tem rahljanje vezi. Zaradi tega je posledično potrebno pogosteje izvajati kontrolo in pritegovati vijake. Pri privijanju vijakov pri vzmetnem obročku toge pritrditve K moramo biti pozorni, da matice ne privijemo premočno, saj bi s tem izgubili elastičnost zveze.

Preglednica 4: Masa togega pritrdilnega pribora za lesen prag (Milojković, 1986):

NAZIV ELEMENTA	MASA [kg]	ŠTEVILO ELEMENTOV	MASA [kg]
Podložna plošča	7,510	2,000	15,020
Pritrdilna ploščica	0,635	4,000	2,540
Pokončni vijak	0,302	4,000	1,208
Matica	0,156	4,000	0,624
Tirfon z ravno naležno površino	0,538	8,000	4,304
Vzmetni obroček	0,090	4,000	0,360
Topolov vložek	-	2,000	-
SKUPAJ			24,056 kg

Tirni pribor tipa K predstavlja indirektni način pritrjevanja tirnice na prag, kar pomeni, da je pritrjevanje podložne plošče s lesnim vijakom izvedeno neodvisno od pritrjevanja tirnice na podložno ploščo, ki je izvedeno s pokončnim vijakom in pritrdilno ploščico.

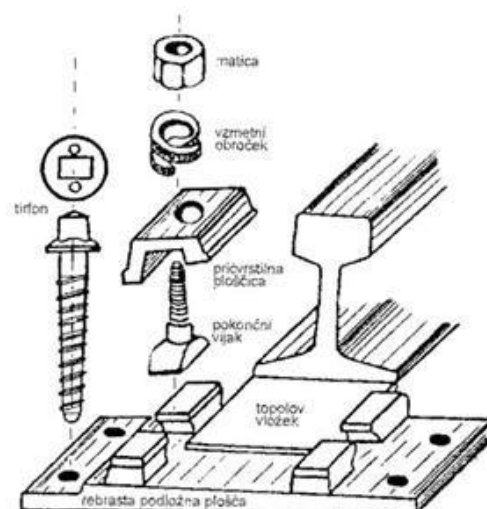
Kljub temu, da je pritrtilni pribor tipa K predstavnik togega pritrtilnega pribora, vsebuje tudi elastična elementa, to sta gumijasti vložek in vzmetni obroček. Vzmetni obročki so lahko različni, z samo enim navojem (Groverjev obroček), z dvema navojema (nemška oznaka Fe 6) – prikazan na spodnji sliki ali s tremi krožnimi navoji (nemška oznaka Fe19). V večini se uporabljajo obročki z dvema navojema. Vzmetni obročki preprečujejo odvijanje matice, s čimer se doseže močna in bolj trajna pritrditev tirnice na prag ter preprečujejo premike tirnice.



Slika 33: Vzmetni obroček z dvema navojema

(Vir: Milojković, 1986: str. 77)

Pribor tipa K ni primeren za proge večjih hitrosti zaradi slabšega absorbiranja vibracij visokih frekvenc, ki vodijo do rahljanja zveze. Vibracije se prenašajo na prag in pri zrahljani zvezi prihaja do poškodbe naležne površine praga, kar je posebno neugodno za betonske prage. Če se to dogaja pri večih pragih, prihaja pod pragi do drobljenja in zablatenja tolčenca, kar pa privede od tega, da je potrebno dodajati nov tolčenec in pobijati prage.



Slika 34: Sistem toge pritrditve

(Vir: http://164.8.132.54/Logisticna_infrastruktura_VS/cetrto.html (2.3.2011))

6.1.2 Elastični pritrtilni pribor

Elastični pritrtilni pribor je kvalitetna rešitev za zmanjšanje nekaterih slabih lastnosti togih pritrtilnih sistemov. Ta vrsta pritrtilnega pribora je v standardni uporabi v številnih državah, in sicer na progah, kjer hitrosti vlakov presegajo hitrost 100 km/h, vedno pogosteje pa se elastična pritrtditev uporablja tudi na vseh ostalih vrstah prog. Uporabljamo ga lahko tako na lesenih, betonskih kot tudi na jeklenih pragih. Zaradi svojih elastičnih karakteristik, tehničnih lastnosti, obstojnosti, cene in manj vzdrževalnih del se je elastični pritrtilni pribor izkazal kot boljši in ekonomičnejši od togega pritrtilnega pribora tipa K. Na večini železniških prog si ob uporabi elementov, kot so armiranobetonski pragi, varjene tirnice v dolgi tirni trak in podobno, ne moremo več zamisliti proge brez elastičnega pritrtilnega pribora. Betonski pragi le v kombinaciji z elastičnim pritrtilnim priborom dosežejo svojo polno uporabno vrednost in ekonomičnost.

V kombinaciji z gumijastim vložkom pod tirnično nogo dobimo dvostransko (navzgor in navzdol) elastično pritrtditev. Gumijasti vložek elastično prenaša udarce, duši nihanje visokih frekvenc (1000 – 3000 Hz) in zmanjšuje energijo, ki se prenaša na prage in tirno gredo, jekleni elastični element, ki drži tirnično nogo z zgornje strani pa se upira tendenci dviganja tirnice. Na ta način se ne izgubi zveza med tirnico in podlago in ne pride do udara tirnice v prag, pa tudi zveza se ne zrahlja. Tako dobimo pritrtditev, ki je elastična tako navzdol kot tudi navzgor. Pri elastičnem pritrtilnem priboru, ki omogoča elastičnost v obeh smereh ne prihaja do prekomernega drobljenja tirne grede, saj so dinamični vplivi na prag zmanjšani. Elastičnost v obeh smereh omogoča absorbiranje vibracij in s tem manjše pritiske na prag, tirno gredo in podlago, pritrtilna sila pa ostaja konstantna dlje časa, kar skupaj z velikim koeficientom trenja med tirnico in gumijastim vložkom daje velik odpor vzdolžnemu premiku tirnic in zato ni potrebno vgrajevati naprav proti premiku tirnic. Z dvostransko elastično pritrtditvijo je tirnici je onemogočeno udarjanje ob prag, s čimer se življenjska doba le tega podaljša in so zato tudi manjši stroški rednega vzdrževanja.

Elastični pritrtilni pribori so zelo različne mase, ki odpade na en prag, do 2 pa do 25 kg. Elastični elementi so izdelani iz specialnega visokokvalitetnega, termično obdelanega jekla natezne trdnosti okoli 1300 N/mm². Običajno so lažji od pribora K in s tem tudi cenejši, nekatere konstrukcije celo 2 – 3 krat. Faktorji, ki vplivajo na izbiro tipa elastičnega pribora so osna obremenitev proge in hitrost, možnost mehaniziranega vzdrževanja, potreba po kvalificirani delovni sili za vgrajevanje in vzdrževanje pribora ter klimatske razmere. Poleg tega na izbiro vplivajo tudi cena pribora in stroški vzdrževanja, možnost vgrajevanja istega tipa pribora na lesene in na betonske prage zaradi poenotenja proizvodnje ter usposabljanje kadra za delo.

Elastični pritrdilni pribor, ki se danes uporablja v železniških tirih lahko razdelimo v 3 osnovne skupine:

- izvedenke iz pribora tipa K,
- elastične vzmeti in
- elastične ploščice.

6.1.2.1 Izvedenke iz pribora K oziroma Skl sistemi

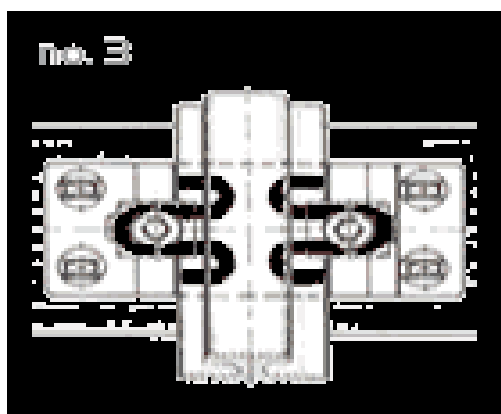
Da bi se izkoristila obstoječa podložna plošča, ki je najtežji in s tem tudi najdražji dela pribora K, a povečala elastičnost proge, so v zahodni Nemčiji razvili veliko število polelastičnih pritrdilnih priborov. Pri vseh teh priborih so elastični elementi vzmeti različnih oblik. Obdržali so podložno ploščo pribora K, ki je položena indirektno, a namesto pokončnega vijaka in pritrdilne ploščice, se uporablja elastični pritrdilni element. Število sestavnih elementov pribora je še vedno veliko, prav tako tudi njihova masa. Na lesenih pragih se pod nogo tirnice vgrajuje topolov vložek (stara rešitev), tako da ta veza ni elastična navzdol, ampak samo navzgor in zato pravimo, da je enostransko elastična oziroma polelastična. Pri novejših izvedbah pa je topolov vložek zamenjan z gumijastim vložkom, s čimer postane ta sistem elastičen v obeh smereh.

Primeri polelastičnih pritrdilnih priborov:



Slika 35: Skl 1 (primeren za uporabo na lesenih pragih)

(Vir: <http://www.vossloh-middleeast.com> (16.3.2011))



Slika 36: Skl 2

(Vir: <http://www.ec21.com/product-details/...> (18.3.2011))



Slika 37: Skl 12

(Vir: <http://www.tradeeasy.com/manufacturers/...> (15.3.2011))



Slika 38: Skl 14

(Vir: <http://www.vossloh-middleeast.com> (16.3.2011))

Ti pritrtilni pribori so boljši od sistema tipa K, ker zagotavljajo konstanten in večji vzdolžni podpor tirnice. Od elastičnih pritrtilnih priborov so ti sistemi najdražji, saj imajo največjo maso, vendar so še vedno cenejši od sistema K.

6.1.2.3 Elastične vzmeti

Pri tem načinu pritrditve je elastičen element vzmet, ki je lahko pravokotnega ali okroglega preseka in se vgrajuje brez pokončnega vijaka ali kakšnega drugega pritrtilnega elementa tako, da ni potrebno kontrolirati in regulirati pritrtilne sile.

Med najbolj razširjenimi sistemi, ki se jih uporablja po svetu in tudi pri nas je sistem Pandrol, ki ga lahko uporabljamo na lesenih in betonskih pragih. Za montažo in demontažo vzmeti se običajno uporablja vzvodno orodje, s katerim vzmet potisnemo v ležišče ali pa se jo vgrajuje strojno. Pri Pandrolu, kot tudi pri ostalih sistemih iz te skupine se ne uporabljajo vezni elementi (pokončni vijaki in maticice), zato ni periodičnega reguliranja pritrtilne sile, kar pomeni, da praktično ni vzdrževalnih del. Na betonskih pragih se v fazi proizvodnje vgrajujejo jeklena sidra, v katera se pri montaži vtisne vzmet Pandrol. Pri betonskih pragih, kot tudi pri lesenih se pod nogo tirnice vgradi elastični vmesnik (guma) in izolacijska ploščica za zagotavljanje električne izolativnosti.



Slika 39: Sistem Pandrol z e-sponko

(Vir: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pandrol-on-concrete.jpg> (28.3.2011))



Slika 40: Sistem Pandrol

(Vir: <http://www.railway-technology.com/contractors/rail/pandrol/pandrol1.html> (28.3.2011))

6.1.2.4 Elastične ploščice

V svetu obstaja zelo veliko različnih tipov elastičnih pritrdilnih ploščic, kot sta na primer norveški Hay-back in predstavnik nove skupine francoski tip RN, ki je primeren za uporabo na lesenih in betonskih pragih. Obstaja okoli 150 izvedenk tipa RN za uporabno na lesenih pragih in okoli 250 variant za uporabo na betonskih pragih, kar priča o njegovem lahkem prilagajanju vsem zahtevam tira. Skupna masa na en lesen prag znaša 4,2 kg. V krivinah z radijem manjšim od 1000 m je obvezna uporaba podložne plošče in s tem se masa, ki odpade na en lesen prag poveča na 15,32 kg. Obvezno se mora pod nogo tirnice vgraditi žlebasti gumijasti vložek, ki je sestavni del zveze, ki je elastična v obeh smereh (navzgor in navzdol). Na lesenih pragih se v krivine, katerih radij je večji od 1000 m, vgrajuje elastična ploščica, preko katere se pritrdilna ploščica RN naslanja na prag in s tem zmanjšuje specifični pritisk, ki se prenaša iz tirnice na prag. Ta ploščica je narejena iz valjanega železa in je težka 0,185 kg. Na betonskih pragih pa se uporablja podobna elastična pritrdilna ploščica, ki je na poseben način ukrivljena, tako da se na enem koncu upre na nogo tirnice, na drugem pa v betonski prag, s čimer je zagotovljeno, da ne pride do premikanja tirnice. Na eno do dve leti je potreben reden pregled elastičnosti in pritrdjenosti RN ploščic. Ker se RN pribor uspešno zoperstavlja vsem silam, ki delujejo nanj, ni potrebna dodatna vgraditev naprav za preprečevanje premika tira. Cena pribora RN je odvisna od njegove oblike in znaša okoli 50 – 80% cene pribora tipa K.



Slika 41: Sistem RN pritrditve

(Vir: <http://www.mmrs.org.uk/technical/track2.html> (28.3.2011))

Da bi se dobila večja naležna površina pritrdilne ploščice, so razvili ploščico sistema NABLA. Ta ploščica je primerna za proge, kjer se dosegajo največje hitrosti.



Slika 42: Sistem NABLA

(Vir: <http://www.railway-technology.com/contractors...> (28.3.2011))

6.2 Vezni tirni pribor

Vezni tirni pribor so spojke, spojni vijaki z maticami in elastični obročki. Standardiziran vezni pribor, ki se uporablja v Sloveniji, so ravne spojke, ki ustrezajo standardiziranim tirničnim profilom in se vgrajujejo pri novogradnji, nadgradnji, obnovi in zamenjavi v okviru vzdrževanja vseh prog (Pravilnik o zgornem ustroju železniških prog, 2010). Vezni tirni pribor se uporablja za povezavo tirnic pri klasičnem stikovanem tiru. Za povezavo služita dve ravni spojki s štirimi spojnimi vijaki, maticami in vzmetnimi obročki. Vezni tirni pribor se vedno bolj nadomešča z varjenjem tirnic v dolge tirne trakove.



Slika 43: Vezni pribor
(Vir: Bajželj, 2011)

6.3 Drugi tirni pribor

Med drugi tirni pribor sodijo leseni, gumijasti in plastični vložki, naprave proti vzdolžnemu potovanju tirnic, naprave proti bočnemu pomiku tira, vijaki z matico in podložko za vezanje dvojnih pragov.

6.3.1 Naprave za preprečevanje vzdolžnega pomika tirnic

Da se tirnice ne bi prekomerno raztezale, se pred pragi na koncih neprekinjeno zvarjenega tirnega traku vgrajujejo MATHEE naprave, ki preprečujejo vzdolžno pomikanje tirnic. Na vsakem koncu neprekinjeno zvarjenega tira je treba v tir oblike 49 E vgraditi 74 naprav proti vzdolžnemu pomikanju tirnic na 37 pragih. V tiru oblike 54 E je treba število naprav povečati na 82, v tiru oblike 60 E pa na 90 (Pravilnik o zgornem ustroju železniških prog, 2010). Na vseh ostalih objektih in tirnih napravah pa se naprave proti vzdolžnemu pomiku tirnic vgrajujejo v skladu z izdelano projektno dokumentacijo ali

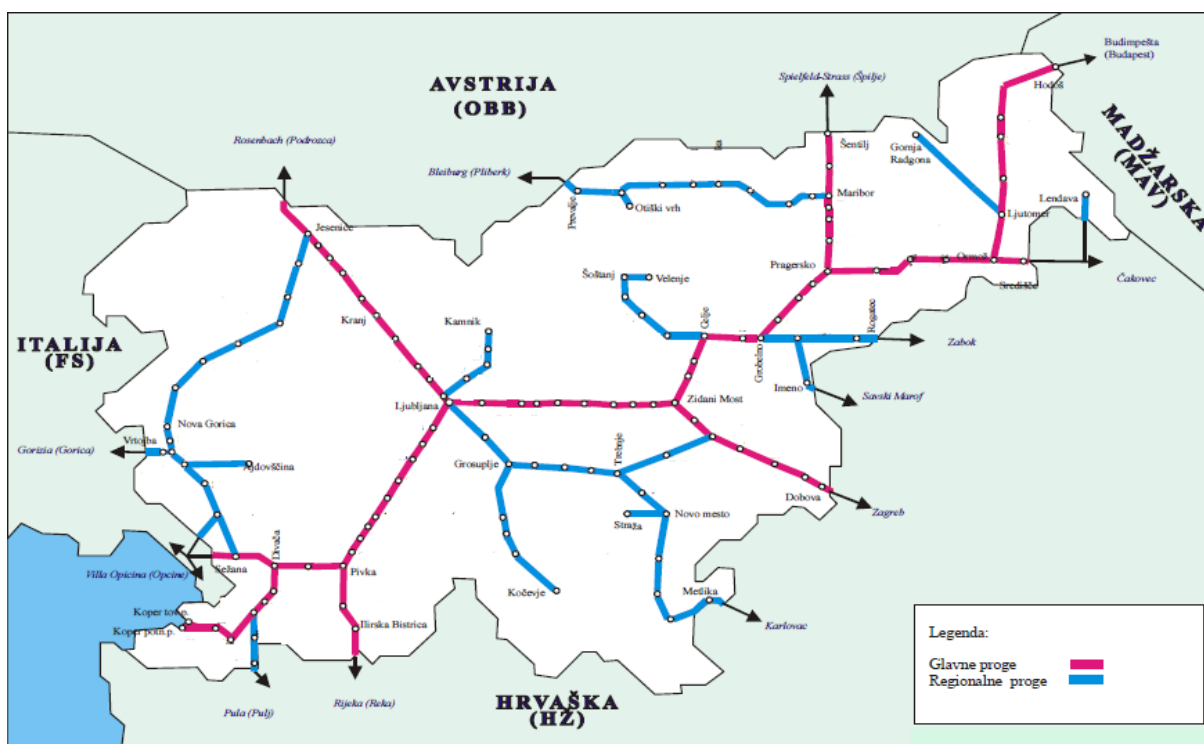
izvedbenim načrtom. Vgrajevanje in regulacija teh naprav mora biti izvršena istočasno s sproščanjem tira. Lego in pritrditev naprav, ki preprečujejo vzdolžno pomikanje tirnic, je potrebno občasno preveriti.

6.3.2 Naprave za preprečevanje bočnega premika tira

Za povečanje bočnega upora tirov se morajo v krivinah z manjšimi polmeri neprekinjeno zvarjenega tira vgrajevati naprave, ki preprečujejo bočni premik tira. Naprave se vgrajujejo na koncu praga na notranji strani krožnega loka in prehodnice. V prehodnici se naprave nameščajo odvisno od ukrivljenosti prehodnice. S periodičnim preverjanjem med obratovanjem je treba ugotoviti stanje in pritegnjenost vijakov, s katerimi so naprave za preprečevanje bočnega premika tira pritrjene na prage, ter jih občasno očistiti in namazati.

7 PRAKTIČNI DEL

Glede na obseg prometa, gospodarski pomen in povezovalno vlogo železniškega prometa se proge v Republiki Sloveniji delijo na glavne in regionalne proge. Glavne proge v skupni dolžini 608 km so E 65 državna meja – Jesenice – Ljubljana – Pivka – Ilirska Bistrica – državna meja, E 67 Zidani Most – Maribor – Šentilj – državna meja, E 69 državna meja – Središče – Pragersko, Zidani Most – Ljubljana – Divača – Koper, E 70 državna meja – Dobova – Ljubljana – Sežana – Državna meja in T 69 Ormož – Murska Sobota – Hodoš – državna meja. V kategorijo regionalnih prog v skupni dolžini 615 km pa spadajo proge Ljubljana Šiška – Kamnik Graben, Kranj – Naklo, Celje – Velenje, državna meja – Rogatec – Stranje – Grobelno, državna meja – Imeno – Stranje, Maribor – Prevalje – državna meja, Dravograd – Otiški vrh, Ljutomer – Gornja Radgona, državna meja – Lendava, Prešnica – Rakitovec – državna meja, Jesenice – Nova Gorica – Sežana, cepišče Šempeter – Vrtojba – državna meja, Prvačina – Ajdovščina, cepišče Kreplje – Repentabor – državna meja, državna meja – Metlika – Novo mesto – Ljubljana, Sevnica – Trebnje, Grosuplje – Kočevje in Novo mesto – Straža (Uredba o kategorizaciji prog, 2009). Na spodnji sliki so grafično prikazane vse glavne in regionalne proge v Republiki Sloveniji.



Slika 44: Grafičen prikaz glavnih in regionalnih prog v Republiki Sloveniji

(Vir: [http://www.slo-zeleznice.si/uploads/SZ/program_omrezja...\(30.4.2011\)](http://www.slo-zeleznice.si/uploads/SZ/program_omrezja...(30.4.2011)))

Vse zgoraj naštete proge, tako glavne kot tudi regionalne, se glede na dovoljeno osno in dolžinsko obremenitev razvrščajo v 9 kategorij, in sicer v kategorije A, B1, B2, C2, C3, C4, D2, D3, D4, kot je prikazano v Preglednici 5.

Preglednica 5: Vrednosti dovoljenih osnih in dolžinskih obremenitev za posamezno kategorijo (Uredba o kategorizaciji prog, 2009):

Dolžinska obremenitev p (kN/m)	Osna obremenitev P (kN)			
	A	B	C	D
	160	180	200	225
50	A	B1		
64		B2	C2	D2
72			C3	D3
80			C4	D4

Progo ali odsek proge uvrstimo v določeno kategorijo, če je sposobna za prevoz vlaka z neomejenim številom štiriosnih tovornih vagonov in s tej kategoriji ustrezno osno in dolžinsko obremenitev. Na progi izven območja mostov je za razvrstitev v posamezno kategorijo odločilna dopustna osna obremenitev glede na vrsto in stanje zgornjega ustroja (sistem tirnic in kretnic, vrsta pritrditve, razmik in vrsta pragov, debelina tirne grede, obraba itd.) ter stanje spodnjega ustroja, medtem ko je na mostovih določena dopustna osna in dolžinska obremenitev glede na nosilnost mostne konstrukcije, stanja mostu, vrsto in utrujenost materiala.

Poleg razvrstitve prog v eno izmed kategorij, ki so podane v zgornji preglednici, se zaradi določitve nakladalne mase vagonov v mednarodnem prometu in v skladu z Objavo UIC 700 določi še tako imenovana normalna kategorija mreže prog v Republiki Sloveniji. Ta kategorija se določi glede na kategorije pretežnega dela prog, odprtega za mednarodni promet. Glede na to, da pretežni del prog železniškega omrežja v Republiki Sloveniji, odprtih za mednarodni tranzitni promet, ustreza kategoriji D3, se za normalno kategorijo slovenskih prog določi kategorija D3 (Uredba o kategorizaciji prog, 2009). Kategorija D je predpisana tudi v pogojih za zagotavljanje interoperabilnosti na progah, ki so odprte za mednarodni promet, v Sloveniji so to vse glavne proge. Kot pa je razvidno iz spodnje slike odseki glavne proge E 67 Zidani Most – Celje, v dolžini 25 km, Dolga Gora – Pragersko, v dolžini 22 km in odsek Maribor – Šentilj, v dolžini 14 km, ne ustrezajo tej kategoriji ampak kategoriji z manjšo osno obremenitvijo in sicer kategoriji C3, zato je potrebno na teh odsekih omejevati težo vagonov in lokomotiv, s čimer pa je prepeljana manjša količina tovora. Problem manjše dopustne osne obremenitve na zgoraj omenjenih odsekih se pojavi tudi pri novih tako imenovanih večsistemskih Siemensovih lokomotivah, ki so jih Slovenske železnice kupile med leti 2006 in 2009. Pri teh

lokomotivah je problem v kolesni sili, ki je prevelika, da bi lokomotiva na teh odsekih lahko vozila, zato morajo vlakom, namenjenim v Avstrijo, preko mejnega prehoda Šentilj, že v Ljubljani zamenjati lokomotivo, s čimer pa ostanejo nove večsistemske lokomotive neizkoriščene. Zato bom v tem delu diplomske naloge na podlagi Zimmermannove metode izračuna sil in napetosti v zgornjem ustroju izračunala dinamične upogibne momente in napetosti, posedek tirnice in pritisk tirnice na prag za zgoraj omenjeno lokomotivo in lokomotivo SŽ 363, ki na zgoraj omenjenih odsekih lahko vozi, ter s tem preverila, če so upogibne napetosti lokomotive SŽ 541 primerljive z upogibnimi napetostmi lokomotive SŽ 363. Dobljene rezultate bom med seboj primerjala ter preverila tudi, pri katerih hitrostih imata ti dve lokomotivi zaradi različnih vrednosti dinamičnih faktorjev, ki z zmanjševanjem hitrosti padajo, različnih osnih obremenitev in različnih razporeditev osi enake dinamične upogibne momente in napetosti.



Slika 45: Grafičen prikaz glavnih in regionalnih prog glede na dovoljeno osno in dolžinsko obremenitev

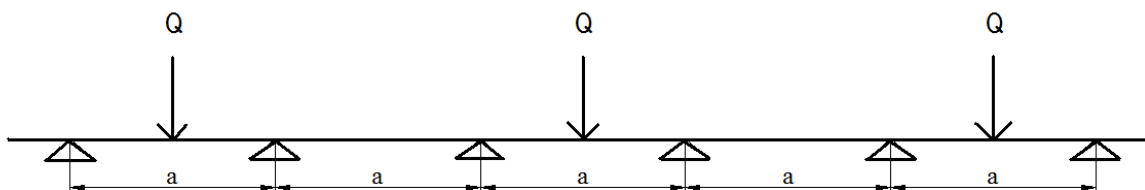
(Vir: [http://www.slo-zeleznice.si/uploads/SZ/program_omrezja...\(30.4.2011\)](http://www.slo-zeleznice.si/uploads/SZ/program_omrezja...(30.4.2011)))

7.1 Teorija izračuna sil in napetosti v zgornjem ustroju

Osnovna predpostavka za izračun sil in napetosti v zgornjem ustroju je, da se tirnice, ki ležijo na pragih, smatrajo kot kontinuirani vzdolžni nosilec brez lastne teže, ki ležijo na posameznih podporah – pragih. Pragi so lahko fiksni ali premični, podlaga pa je elastična in ravna. Predpostavlja se tudi, da so karakteristike podlage poznane in da so obremenitve le vertikalne sile. Prvi je z računanjem zgornjega ustroja začel Winkler leta 1875.

7.1.1 Metoda izračuna upogibne napetosti po Winklerju

Osnovna predpostavka njegovega izračuna je, da je upogib tirnice na katerikoli točki sorazmeren podpornemu pritisku pod tirnico. Tirnico je opredelil kot kontinuirani nosilec, ki leži na čvrstih podporah (pragih) enakih karakteristik in je v vsakem drugem polju obremenjen z enakimi točkovnimi silami Q , kot prikazuje spodnja slika.



Slika 46: Winklerjeva predpostavka izračuna zgornjega ustroja

(Vir: Milojković, 1986: str. 62)

Upogibni moment pod točkovno silo Q je izračunal na podlagi spodnje enačbe

$$M = 0,189 Q a \quad [kNcm] \quad (1)$$

kjer je:

Q – statična kolesna sila [kN],

a – razmik med pragi [cm].

Statično upogibno napetost v tirnici se izračuna po enačbi:

$$\sigma_{st} = \frac{M}{W} \quad \left[\frac{kN}{cm^2} \right] \quad (2)$$

kjer je:

M – upogibni moment pod točkovno silo Q [kNcm],
 W - odpornostni moment tirnice [cm³].

Dopustne upogibne napetosti v tirnici se glede na uporabljeno metodo izračuna upogibnega momenta med seboj razlikujejo, predvsem z ozirom na to, v kolikšni meri ustrezajo rezultatom pridobljenim z neposrednim merjenjem na terenu. Dopustna napetost v tirnici zaradi vertikalnih sil znaša 130 N/mm².

Dinamična upogibna napetost v tirnici z upoštevanjem dinamičnega koeficienta α se izračuna po enačbi:

$$\sigma_{din} = \sigma_{st} \alpha \quad (3)$$

Dinamični koeficient α se izračuna:

- za hitrosti manjše od 100 km/h po enačbi $\alpha = 1 + \frac{V^2}{30000}$ (4)

- za hitrosti večje od 100 km/h pa po enačbi $\alpha = 1 + \frac{4,5 V^2}{10^5} - \frac{1,5 V^3}{10^7}$ (5)

V – hitrost vozila [km/h].

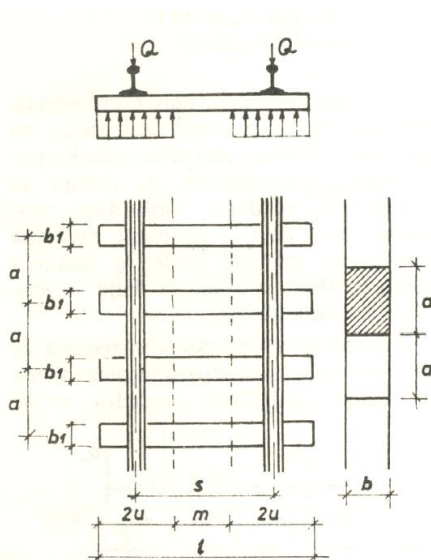
Winklerjev pristop zanemara nekatere dejanske razmere železniških tirov. Pri tem predpostavke za togo podporo tirnic ne odražajo dejanskih učinkov, ki jih povzročajo pragi, saj podpore v praksi niso toge. Slabost modela je tudi v tem, da ta model izračuna zgornjega ustroja ne vključuje interakcije med podpornimi elementi in za izračun upogibnih momentov in upogiba tirnice uporablja Bernoulli – Eulerjevo teorijo. Poleg tega niso jasno ločene različne plasti v podlagi, zato je podlaga obravnavana kot en sloj enakih karakteristik. Zaradi teh slabosti v Winklerjevi metodi so nekateri raziskovalci, med katerimi je bil prvi Zimmermann, razvili bolj realističen pristop in predlagali izračun zgornjega ustroja na predpostavki, da je tirnica vzdolžni nosilec, ki leži na elastični podlagi (Sadeghi, 2010).

7.1.2 Metoda izračuna upogibne napetosti, upogiba in pritiska po Zimmermannu

Nemški znanstvenik H. Zimmermann je leta 1888 predstavil rešitev za izračun zgornjega ustroja, ki temelji na Winklerjevi domnevi, da je upogib tirnice v katerikoli točki soracionalen pritisku na tej točki in ni odvisen od pritiska na katerokoli drugo točko. Zimmermann je prvi opredelil tirnico kot vzdolžni nosilec, ki leži na elastični podlagi. Elastična elementa na katerem leži tirnica, ki je pritrjena na prage, sta tirna greda in zemljinska podlaga. Elastičnost te podlage je odvisna od mnogih stalnih in spremenljivih vplivov, kot so debelina tirne grede, zrnastost in oblika zrna, granulacijska sestava in

vrsta kamna iz katerega je izdelana tirna greda, elastičnost je odvisna tudi od vrste pragov vgrajenih v progo (armiranobetonski so do 4 krat bolj togi od lesenih), pri lesenih pragih je tudi odvisno od vrste lesa in od stanja vzdrževanosti le teh, odvisna je tudi od površine naleganja pragov na tirno gredo in od razmika pragov (Milojković, 1986).

Zimmermann v svojem izračunu predpostavlja, da je tirnica vzdolžni nosilec brez teže, ki leži na elastični podlagi pri čemer izhaja iz dejstva, da je zaradi elastične podajnosti zgornjega ustroja upogib tirnice med dvema pragoma zelo majhen (zanemarljiv) v primerjavi s celotnim upogibom tirnice. Iz tega razloga prečne prage pod tirnico nadomesti z namišljenimi vzdolžnimi pragi z enako naležno površino, kot je razvidno iz spodnje slike. Pri tem upošteva le efektivno naležno površino praga, torej le površino v neposrednem območju tirnice, brez srednjega dela, ki ne sodeluje pri prenosu obremenitve.



Slika 47: Zimmermannov pristop k izračunu zgornjega ustroja

(Vir: Milojković, 1986: str. 68)

Širina namišljenega vzdolžnega praga b se izračuna po naslednji enačbi:

$$b = \frac{2u b_1}{a} \quad [cm], \quad (6)$$

kjer je:

b_1 – širina prečnega praga [cm],

u – razdalja med osjo tirnice in koncem praga [cm],

a – razdalja med pragi [cm].

Zimmermann je v svoj izračun uvedel tudi tako imenovan koeficient podajnosti zgornjega ustroja C , ki nam pove, kolikšna mora biti sila na cm^2 površine praga, da se bo prag posedel za 1 cm. Koeficient podajnosti zgornjega ustroja C izračunamo po naslednji enačbi:

$$C = \frac{p}{y} \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{cm}^3} \right], \quad (7)$$

kjer je:

p – enakomerna porazdeljena obtežba, ki povzroča vtiskovanje praga v tirno gredo,

y – velikost posedka praga, pod enakomerno porazdeljeno obtežbo p .

Koeficient podajnosti zgornjega ustroja C predstavlja temeljno hipotezo za izračun zgornjega ustroja, saj v izračunu za upogib tirnice v obzir vzame tudi kvaliteto oziroma elastičnost podlage. Iz prakse je znano, da elastičnost in homogenost podlage, kot temeljni predpostavki izračuna, nista vedno enaki, zato ta predpostavka velja samo v neki ožji coni v velikosti nekaj milimetrov. Velikost posedka praga y se namreč od praga do praga spreminja in je odvisen od mnogih dejavnikov. Vrednost koeficienta podajnosti zgornjega ustroja C se giblje od 20 do 600 N/cm^3 . Najnižje vrednosti so za zelo slabo podlago in znašajo 20 N/cm^3 , za relativno slabo podlago so vrednosti 50 N/cm^3 , za dobro podlago 100 N/cm^3 , za zelo dobro podlago 150 N/cm^3 in za nepodajno podlago od 300 do 600 N/cm^3 . V izračunu običajno predpostavimo, da gre za dobro podlago in upoštevamo, da je vrednost koeficienta podajnosti tira $C = 100 \text{ N}/\text{cm}^3$.

Zimmermann v svoj izračun uvede tudi parameter L , ki predstavlja karakteristično dolžino namišljenega nosilca na elastični podlagi in se izračuna po sledeči enačbi:

$$L = \sqrt[4]{\frac{4EI}{bC}} \quad [\text{cm}], \quad (8)$$

kjer je:

E – modul elastičnosti jekla ($21 \cdot 10^6 \text{ N}/\text{cm}^2$),

I – moment inercije tirnice [cm^4],

b – širina namišljenega vzdolžnega praga [cm],

C – koeficient podajnosti zgornjega ustroja [N/cm^3].

Običajne vrednosti za L se gibljejo od 50 do 120 cm. Iz zgornje enačbe lahko zaključimo, da je če je uporabljena boljša tirnica, z večjim vztrajnostnim momentom I , dobimo večjo vrednost za L , kar pomeni, da se pritiski prenesejo na večje število pragov (na večjo dolžino), s čimer dobimo manjši

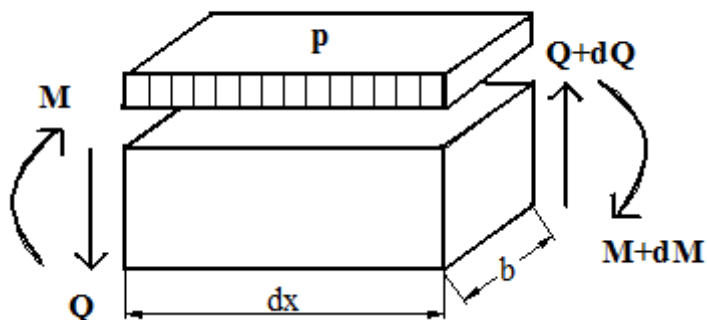
pritisek na podlago. Zato lahko rečemo, da če je podlaga boljša (večje vrednosti za C) se pritiski razprostirajo na manjši dolžini in s tem dobimo večje napetosti pod obremenitvijo.

Ob predpostavki elastične podajnosti podlage je Zimmermann prišel do hipoteze, da je pritisk grede na vzdolžni prag p premo sorazmeren posedku praga y , pri čemer je C v tem primeru koeficient proporcionalnosti.

$$p = C y \quad (9)$$

Če je b širina namišljenega vzdolžnega nosilca, je potem $b \cdot p$ pritisk na enoto dolžine.

Ob upoštevanju predhodno navedenih izhodišč temelji njegova teorija na predpostavki, da sta prečna sila Q in upogibni moment M v opazovanem prerezu dx vzdolžnega nosilca na elastični podlagi v ravnotežju z delovanjem zunanjih sil v obliki zvezno porazdeljene obtežbe p , kot je prikazano na spodnji sliki.



Slika 48: Sile in momenti v prečnem prerezu tirnice

(Vir: Zgonc, 2011: str. 5)

Iz pogoja za ravnotežje sil sledi:

$$dQ = b p dx \quad (10)$$

$$dM = q dx, \quad (11)$$

oziroma:

$$\frac{dM}{dx} = Q, \quad (12)$$

kjer je x oddaljenost opazovanega prereza od neke točke. Koordinatni začetek vzamemo v opazovani točki nosilca s koncentrirano silo Q . Diferencialna enačba za upogibni moment tirnice je:

$$\frac{d^2 M}{dx^2} = \frac{dQ}{dx} = b p. \quad (13)$$

Z upoštevanjem enačbe (9) dobimo:

$$\frac{d^2 M}{dx^2} = b C y. \quad (14)$$

Iz teorije elastičnosti izračunamo upogibni moment po naslednji enačbi:

$$M = -E I \frac{d^2 y}{dx^2}. \quad (15)$$

Zgornjo enačbo dvakrat diferencialno odvajamo

$$\frac{d^2 M}{dx^2} = -E I \frac{d^4 y}{dx^4} = b p, \quad (16)$$

upoštevamo še enačbo (9) in dobimo

$$E I \frac{d^4 y}{dx^4} = -b C y, \quad (17)$$

sledi

$$\frac{d^4 y}{dx^4} = -\frac{b C y}{E I}. \quad (18)$$

V račun nato uvedemo enačbi (8) in $\xi = \frac{x}{L}$,

kjer je $x = L * \xi$, to je $y = y(x) = y(L)$

$$\frac{d\xi}{dx} = \frac{1}{L}, \quad (19)$$

sledi

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{d\xi} \frac{d\xi}{dx} = \frac{dy}{d\xi} \frac{1}{L}. \quad (20)$$

Enačbo (20) nato štirikrat diferencialno odvajamo in dobimo:

$$\frac{d^4 y}{dx^4} = \frac{1}{L^4} \frac{d^4 y}{d\xi^4}, \quad (21)$$

nato enačbo (21) izenačimo z enačbo (18)

$$\frac{1}{L^4} \frac{d^4 y}{d\xi^4} = -\frac{b C y}{E I}. \quad (22)$$

Upoštevamo še osnovno vrednost zgornjega ustroja L in dobimo:

$$E I \frac{b C}{4 E I} \frac{d^4 y}{d\xi^4} = -b C y. \quad (23)$$

S primerjanjem enačb dobimo končno linearno diferencialno enačbo upogibne črte

$$-4 y = \frac{d^4 y}{d\xi^4}. \quad (24)$$

Z integriranjem zgornje enačbe dobimo enačbo elastične linije tirnice oziroma upogiba tirnice, ki se glasi

$$y = \frac{Q}{2 b C L} \eta, \quad (25)$$

kjer je η ordinata vplivnice za upogib tirnice pod silo Q in se izračuna po enačbi

$$\eta = \frac{\cos\xi + \sin\xi}{e^\xi}. \quad (26)$$

Enačbo za upogibni moment M dobimo iz enačbe ukrivljenosti upogibne črte

$$M = -E I \frac{d^2 y}{dx^2}, \quad (27)$$

oziroma

$$\frac{d^2 y}{d\xi^2} = 2 k \frac{\sin\xi - \cos\xi}{e^\xi} = 2 k (-\mu). \quad (28)$$

Upoštevamo še enačbi za osnovno vrednost zgornjega ustroja L (9) in $k = \frac{Q}{2 b C L}$ ter tako dobimo enačbo za upogibni moment tirnice, ki se glasi

$$M = \frac{Q L}{4} \mu, \quad (29)$$

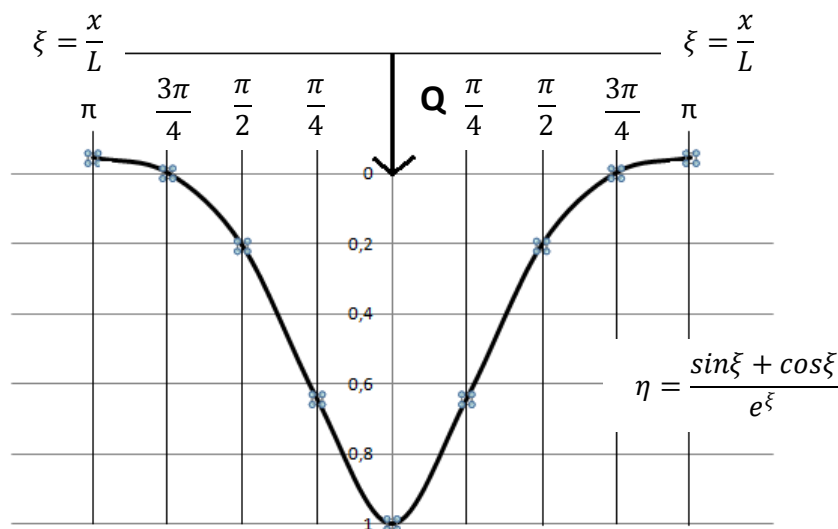
kjer je μ ordinata vplivnice za moment pod silo Q in se izračuna po enačbi:

$$\mu = \frac{\cos\xi - \sin\xi}{e^\xi}. \quad (30)$$

Enačbo za pritisk na podlago $p = C y$ dobimo iz enačbe za upogib tirnice, in sicer

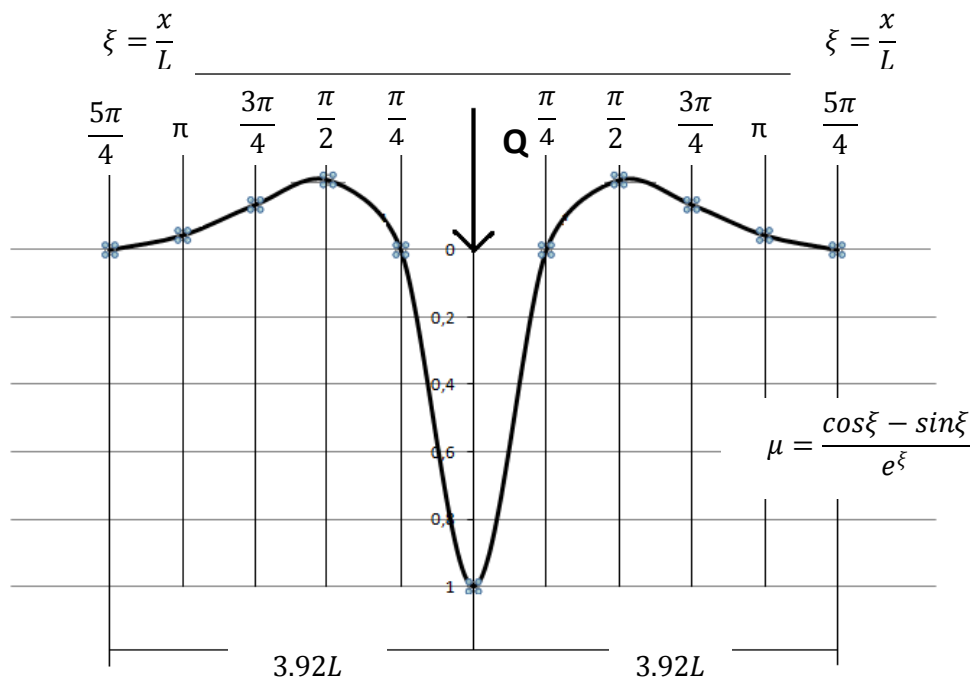
$$p = \frac{Q}{2bL} \eta \quad (31)$$

Enačbe (25), (29) in (31) nam povedo kakšen je upogib, upogibni moment in pritisk praga na gredo zaradi posamične kolesne sile Q v točkah, ki so za $x = L\xi$ oddaljene od prijema sile. Spremenljivki μ in η sta funkciji spremenljivke ξ in določata vpliv kolesne sile Q na velikost upogiba, momenta ali pritiska v opazovani točki. Vplivnici μ in η sta grafično prikazani na spodnjih slikah.



Slika 49: Vplivnica za upogib η

(Vir: Zgonc, 2011: str.8)

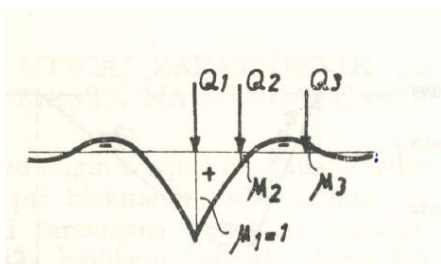


Slika 50: Vplivnica za moment μ

(Vir: Zgonc, 2011: str.8)

V primeru delovanja večih sil prihaja do prekrivanja vplivov posameznih sil tako, da se vrednosti za upogibni moment M , upogib tirnice y in pritisk na podlago p bodisi povečujejo bodisi zmanjšujejo v odvisnosti od tega ali se nahajajo v pozitivnem ali negativnem območju vplivnice. Moment je pri skupini sil zaradi konstrukcijskih lastnosti železniških vozil praviloma manjši od momenta pri posamezni sili. Moment pri skupini sil se na podlagi spodnje slike izračuna po enačbi:

$$M = \frac{Q_1 * L}{4} * 1 + \frac{Q_2 * L}{4} * \mu_2 + \frac{Q_3 * L}{4} * (-\mu_3). \quad (32)$$



Slika 51: Moment pri skupini sil

(Vir: Milojković, 1986: str. 71)

Čeprav so mnogi drugi avtorji, kot so Hoffmann, Schwedler, Engesser, Schwarzkopf, Lehwald, Riese, Löwe, Jaehn, Eisenmann in ostali, razvili svoje metode za izračun zgornjega ustroja, pa ostaja Zimmermannova metoda izračuna zgornjega ustroja najbolj enostavna in se uporablja še danes.

7.1.3 Metoda izračuna upogibne napetosti po Eisenmannu

Eisenmannova metoda temelji na Zimmermannovi teoriji izračuna zgornjega ustroja, vendar upošteva novejša spoznanja, stanje zgornjega ustroja in druge pomembne parametre, kot bo razvidno iz nadaljevanja.

Vpliv prenosa sil zaradi krivine, nadvišanja in višine težišča vozila, Eisenmann upošteva tako, da statično kolesno silo Q , poveča za 20 % oziroma za $\Delta Q = 0,2 Q$. Vpliv hitrosti zajame z nekoliko drugačnim dinamičnim koeficientom kot Winkler in Zimmermann. Dinamični koeficient α Eisenmann izračunava

- za hitrosti manjše od 60 km/h po enačbi $\alpha = 1 + t s$ (33)

- za hitrosti med 60 km/h in 200 km/h pa po enačbi $\alpha = 1 + t s \left(1 + \frac{V-60}{140}\right)$ (34)

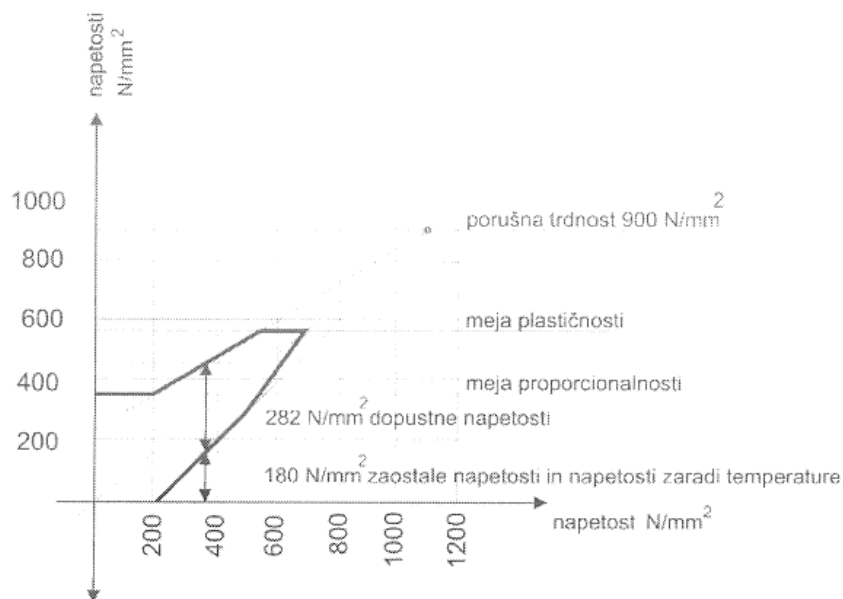
kjer je:

s – vpliv stanja zgornjega ustroja,

t – statična verjetnost zajetja dinamičnih vplivov.

Glavna razlika v primerjavi s predhodnima metodama je v tem, da Eisenmann pri izračunu upošteva tudi stanje zgornjega ustroja, katerega posledica je večja ali manjša razpršenost rezultatov okrog izračunanih srednjih vrednosti. Izračunanje vrednosti napetosti in posedkov se namreč dobro ujamejo s srednjimi vrednostmi merjenja na terenu. Pri presoji nosilnosti zgornjega ustroja pa je potrebno upoštevati največje vrednosti, ki pri razsipanju rezultatov lahko nastopijo.

Upogibni moment po Eisenmannu tako, pri upoštevanju statistične verjetnosti zajetja vseh sil, bolj ustreza realnemu stanju. Posebnost te metode izračuna je, da se dopustne upogibne napetosti določajo glede na dinamično trdnost materiala. Dopustne upogibne napetosti se določijo s pomočjo diagrama dinamične trdnosti (Smithov diagram), ki je prikazan na spodnji sliki.



Slika 52: Diagram dinamične trdnosti tirnice kakovosti 900

(Vir: Zgonc, 2011: str. 18)

Ta diagram prikazuje dinamično trdnost tirnice v odvisnosti od srednje napetosti pri različnih obremenitvah. Dinamična trdnost je največja napetost, pri kateri se material pri kakršnem koli povečanju števila nihajev ne zlomi. Pri tem se, poleg upogibnih nateznih napetosti v nogi tirnice zaradi vertikalnih sil, upoštevajo tudi zaostale napetosti in natezne napetosti zaradi temperaturnih sprememb v zimskem času. Z upoštevanjem teh napetosti v Smithovem diagramu dobimo dopustne upogibne

napetosti pri dinamični obtežbi, ki so odvisne od kakovosti tirničnega jekla (njegove natezne trdnosti) in od vrste tira (neprekinjeno zvarjeni tir ali stikovani tir).

Največji upogibni moment pod posamično obtežbo izračunamo enako kot pri Zimmermannovi metodi s tem, da upoštevamo še stanje zgornjega ustroja in hitrost v obliki standardne deviacije s kot sledi:

$$M_{max} = \frac{Q L}{4} (1 + 3 s). \quad (35)$$

Vpliv sosednjih sil se upošteva s vplivnicami μ , največji upogibni moment za skupino sil pa se izračuna po sledeči enačbi:

$$M = \frac{Q L}{4} (1 + 3 s) \sum \mu. \quad (36)$$

Upogibni moment in upogibne napetosti v nogi tirnice se torej odvisne od osne obtežbe, od razporeda osi, od odpornostnega momenta tirnice W , od razmika pragov a , od naležne površine pragov F in od koeficienta podajnosti grede C (Zgonc, 2011).

7.2 Podatki o večsistemski lokomotivi SŽ 541

Slovenske železnice so leta 2006 do 2009 kupile dvaintrideset novih Siemensovih večsistemskih električnih lokomotiv. Gre za štirisosne lokomotive iz družine Euro Sprinter z maso 87 ton. Vozijo lahko po progah z različnimi sistemi elektrifikacije, to so enosmerna napetost 3 kV, ki jo imamo pri nas in v Italiji, ter izmenični napetosti 15 kV, ki jo uporabljajo v Avstriji in Nemčiji, in 25 kV, ki jo uporabljajo na Hrvaškem in Madžarskem. Dosežejo hitrost do 230 km/h, imajo 6 MW moči in največjo vlečno silo 300 kN. Med zaviranjem energijo vračajo nazaj v železniško omrežje, kar pomeni zmanjševanje stroškov in tudi vpliva na okolje (Tancar, Nova proga, 2008). Podobne lokomotive že vozijo po progah nemških, avstrijskih, italijanskih in madžarskih železnic. Za nakup pa so se odločili tudi v Švici in na Češkem.

7.2.1 Osnovni tehnični podatki večsistemske lokomotive vrste 541

Sistem napajanja:	15 kV 16 2/3 Hz AC 25 kV 50 Hz AC 3000 V DC
Razpored osi:	Bo'Bo'

Masa:	87 t
Dolžina čez odbojnice:	19.580 mm
Sredinska razdalja podstavnih vozičkov:	9.900 mm
Medosna razdalja kolesnih dvojic v podstavnem vozičku:	3.000 mm
Premer novih gonilnih koles:	1.150 mm
Vlečna sila pri speljevanju:	304 kN
Največja hitrost:	200 km/h
Največja moč:	6.400 kW
Oсна masa:	21,75 t

Vir: (Tancar, Nova proga, 2006)



Slika 53: Siemensova večsistemska lokomotiva

(Vir: Bajželj, 2011)

7.3 Podatki o lokomotivi SŽ 363

Lokomotiva SŽ 363 je serija enosistemskih šestosnih električnih lokomotiv, ki sestavljajo vozni park Slovenskih železnic. Zaradi francoskega porekla in elegantne oblike se je zanjo po francoski igralki Brigitte Bardot uveljavil vzdevek brižita oziroma brižitka. Prijel se je tudi vzdevek kraljica, saj je

skoraj tri desetletja veljala za najzmogljivejšo električno lokomotivo. Ta lokomotiva je izpeljanka francoske serije SNCF CC 6500. Med letoma 1975 in 1977 je bilo v Slovenijo dobavljenih 39 lokomotiv v voznem stanju in še ena v obliki rezervnih delov. Vozijo po vseh slovenskih elektrificiranih progah in vlečejo tako potniške kot tovarne vlake. Vse do prihoda "Helg" (serije 541) leta 2005 so veljale za najzmogljivejše električne lokomotive na slovenskih tirih, vendar pa se jim že pozna zastarelost, na primer neudobna kabina, hrup, težave z reduktorjem, relativno nizka največja hitrost itd.

Lokomotiva serije 363 ima dve pogonski osi, na vsaki sta po dva električno ločena elektromotorja. Motorje je mogoče preklapljati na vzporedno in zaporedno vezavo. Njena posebnost je, da ima možnost prestavljanja prenosa moči na tire s pomočjo reduktorja. V primeru, da je potrebno vleči tovorni vlak se prestavi v "tovorno" prestavo, s tem je zmanjšana njena končna hitrost na 75 km/h, pridobi pa se na moči. V "potniški" prestavi pa je njena končna hitrost 125 km/h (http://sl.wikipedia.org/wiki/S%C5%BD_serija_363).

7.3.1 Osnovni tehnični podatki lokomotive SŽ 363

Trajni tok:	2 x 495 A
Nazivna napetost:	3 kV
Razpored osi:	C'C'
Masa:	115 t
Dolžina čez odbojnice:	20.100 mm
Medosna razdalja v podstavnem vozičku:	1.608 mm
Premer novih gonilnih koles:	1.100 mm
Največja hitrost:	125/75 km/h
Največja moč:	2.970 kW
Oсна masa:	19,2 t

(Vir: <http://www.miniaturna-zeleznica.com/SZ363.htm>)



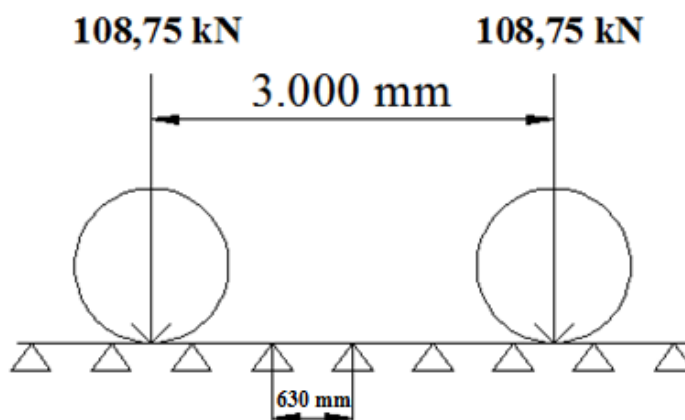
Slika 54: Lokomotiva SŽ 363

(Vir: <http://www.miniaturna-zeleznica.com> (30.4.2011))

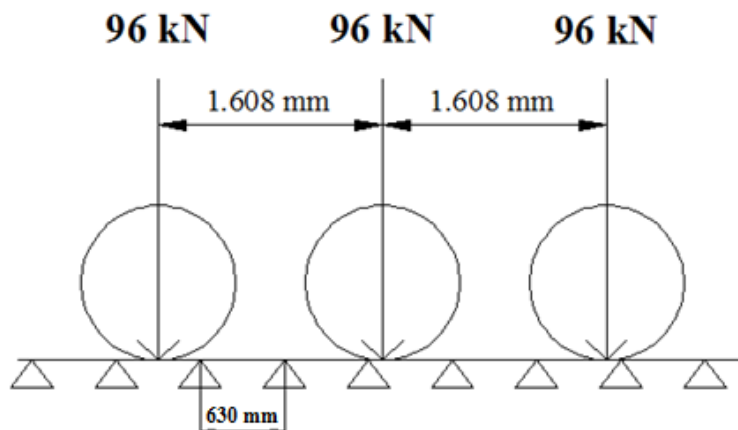
7.4 Izračun

7.4.1 Podatki uporabljeni v izračunu

V izračunu sil in napetosti v zgornjem ustroju, kjer sem primerjala lokomotivi SŽ 541 in SŽ 363, sem izbrala tirnico oblike 49 E1 ($W = 239 \text{ cm}^3$, $I = 1795 \text{ cm}^4$, $E = 2,1 \times 10^7 \text{ N/cm}^2$), ki je še vedno vgrajena v odseke Zidani Most – Celje, Dolga Gora – Pragersko in Maribor – Šentilj. Na teh odsekih je razmik med pragi $a = 63 \text{ cm}$, širina pragov $26,5 \text{ cm}$ ter naležna površina praga $2ub_f = 2385 \text{ cm}^2$. Na spodnjih dveh slikah sta prikazani obtežbeni shemi obeh lokomotiv, na podlagi katerih sem izračunala sile in napetosti v zgornjem ustroju. Pri izračunih sem upoštevala samo prvi podstavni voziček lokomotive, saj je drugi oddaljen za več kot 340 cm in s tem sile v njem nimajo več vpliva na prvega.



Slika 55: Obtežbena shema večsistemske lokomotive 541



Slika 56: Obtežbena shema lokomotive SŽ 363

Najprej je bilo potrebno po enačbi (6) izračunati širino namišljenega vzdolžnega nosilca

$$b = \frac{2 u b_1}{a} = \frac{2385}{63} = 38 \text{ cm} .$$

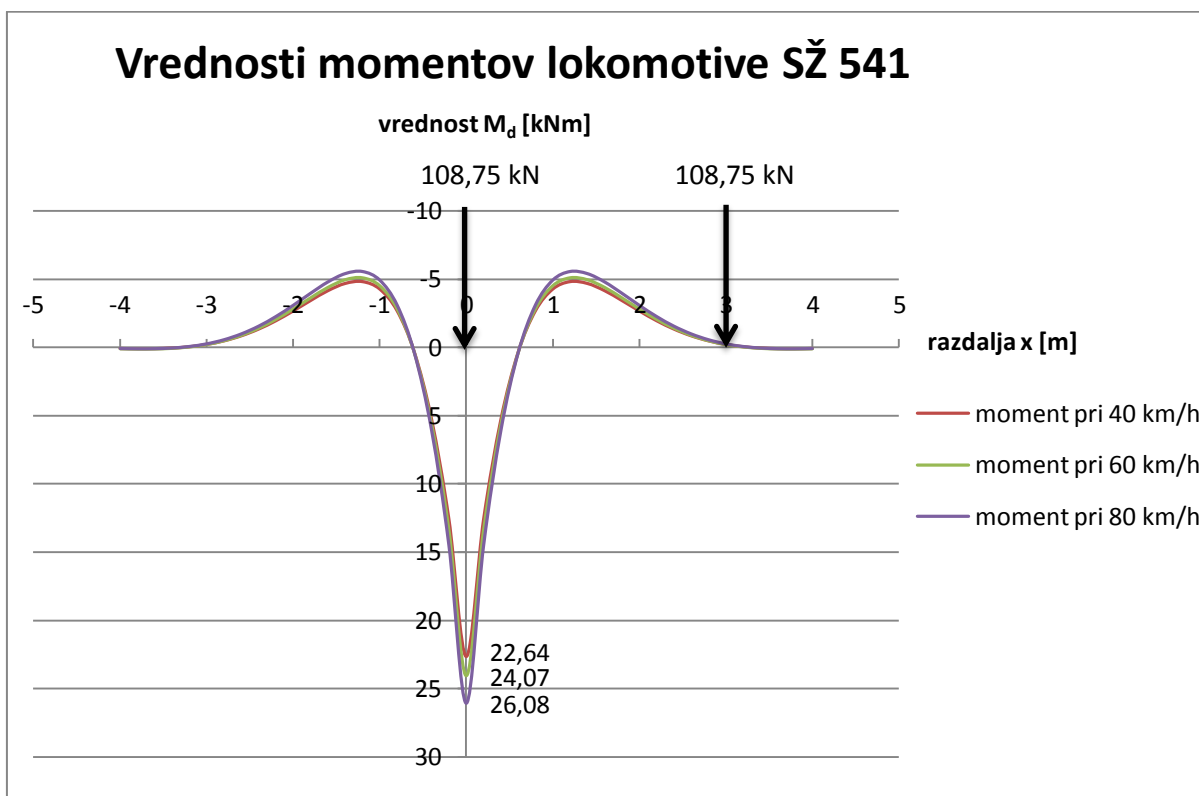
Osnovna vrednost zgornjega ustroja proge L glede na dane podatke po enačbi (8) znaša

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 E I}{b C}} = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^7 \cdot 1795}{38 \cdot 100}} = 79,4 \text{ cm} ,$$

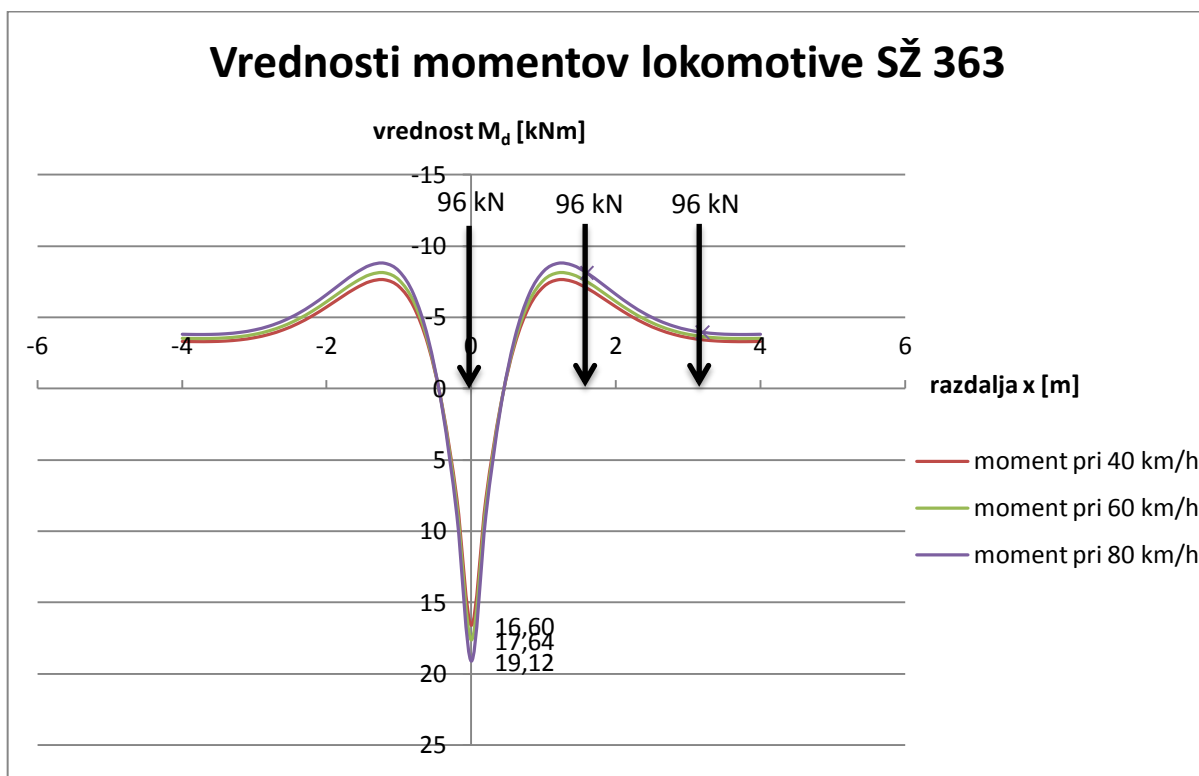
pri čemer smo upoštevali dobro stanje zgornjega ustroja ($C = 100 \text{ N/cm}^3$).

7.4.2 Rezultati po Zimmermannovi metodi izračuna zgornjega ustroja

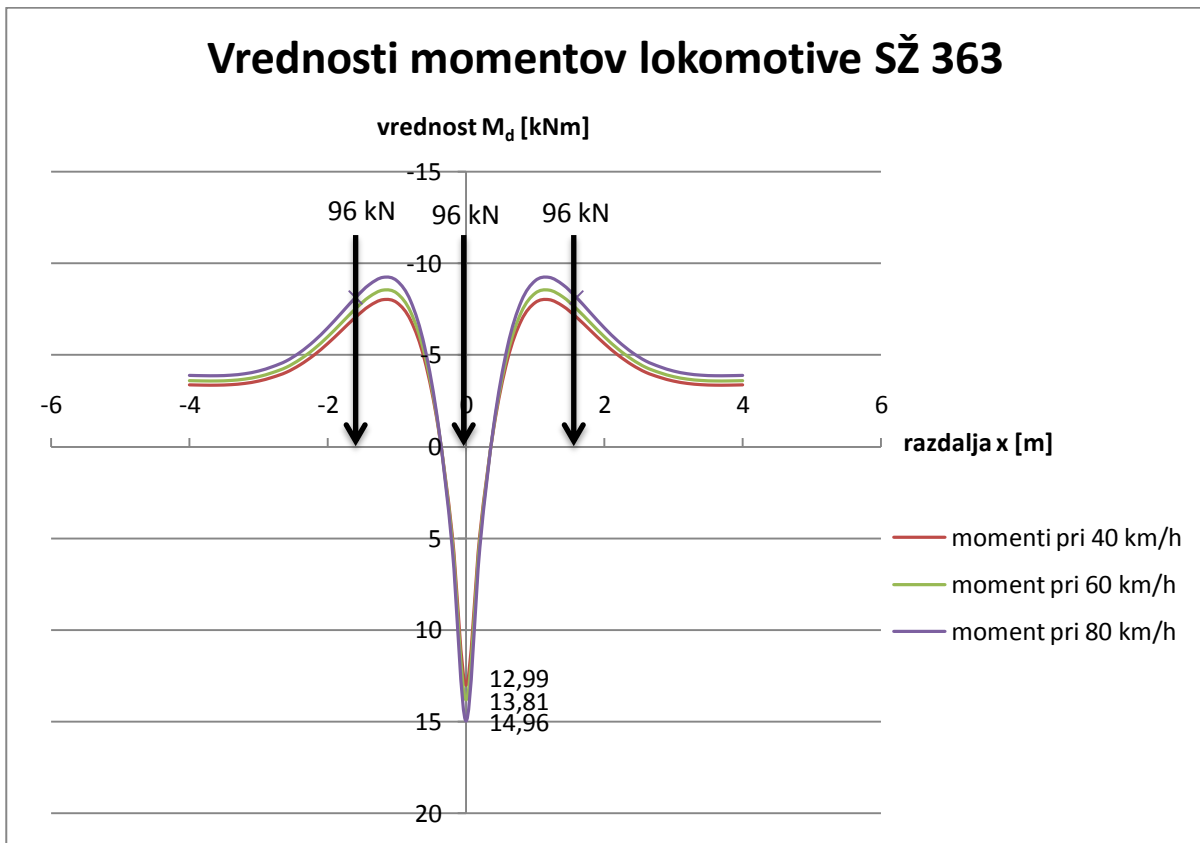
Na podlagi enačbe (32), pri kateri sem upoštevala še dinamični koeficient, ki ga dobimo po enačbi (4), sem izračunala dinamične upogibne momente v tirnici za lokomotivi SŽ 541 in SŽ 363 za hitrosti 40 km/h, 60 km/h in 80 km/h, kot je razvidno iz spodnjih grafikonov. Ker pa so za presojo nosilnosti zgornjega ustroja merodajni največji upogibni momenti, je bilo potrebno preveriti, katera sila mora biti v opazovanem prerezu, da dobimo največje vrednosti. Za določitev največjih upogibnih momentov pri lokomotivi SŽ 541 ni bilo problema, saj ne glede na to katera sila je v opazovanem prerezu, vedno dobimo enake rezultate, zato sem v izračunu upoštevala momente, ko je v opazovanem prerezu prva sila. Pri lokomotivi SŽ 363 pa je bilo potrebno preveriti v katerem primeru dobimo večje upogibne momente in kot je razvidno iz grafikonov oziroma številčnih vrednosti, dobimo večje dinamične upogibne momente v primeru, ko je v opazovanem prerezu prva sila.



Grafikon 1: Vrednosti momentov, ki jih povzroča lokomotiva SŽ 541

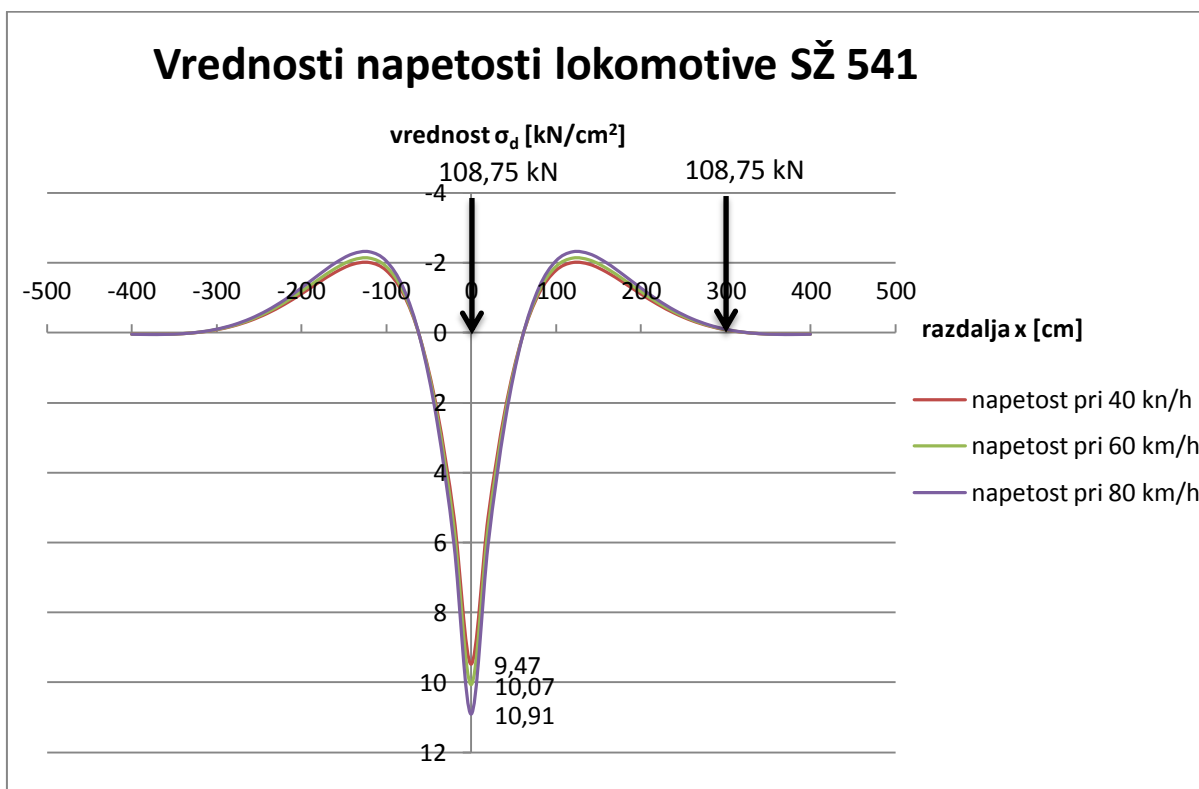


Grafikon 2: Vrednosti momentov, ki jih povzroča lokomotiva SŽ 363, ko je v opazovanem prerezu prva sila

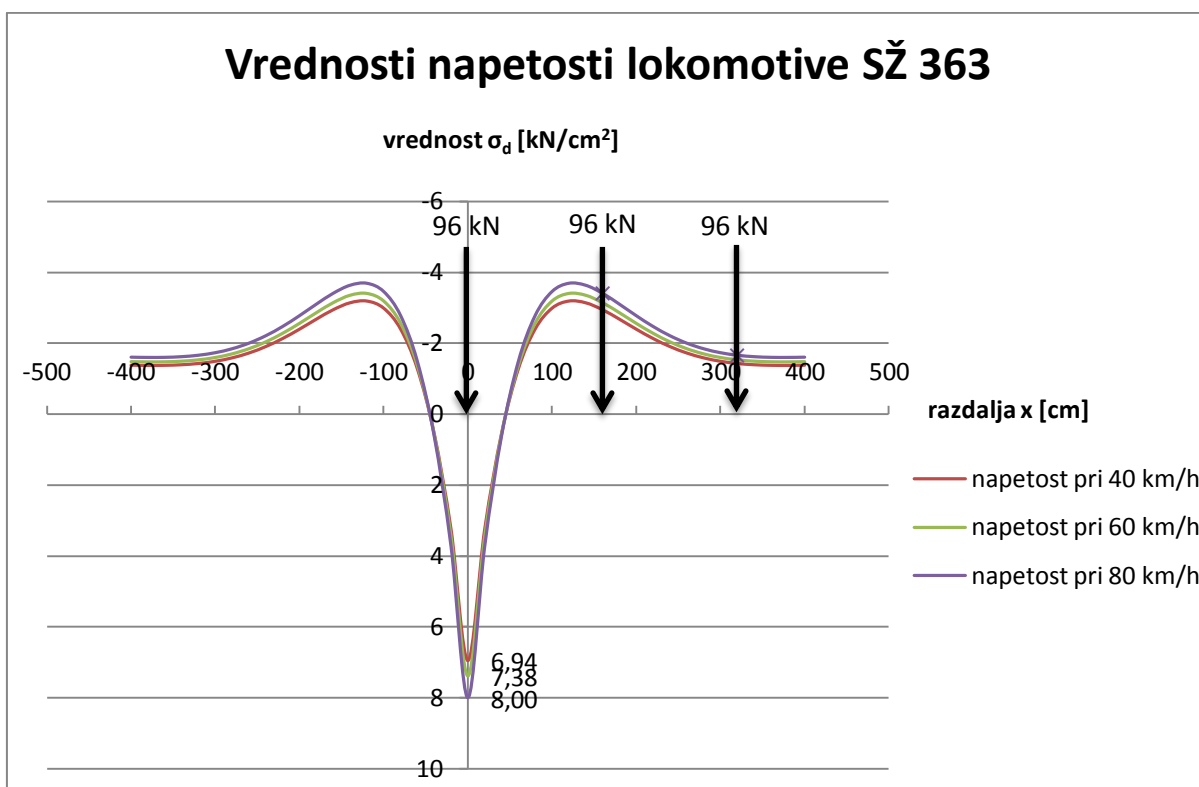


Grafikon 3: Vrednosti momentov, ki jih povzroča lokomotiva SŽ 363, ko je v opazovanem prerezu druga sila

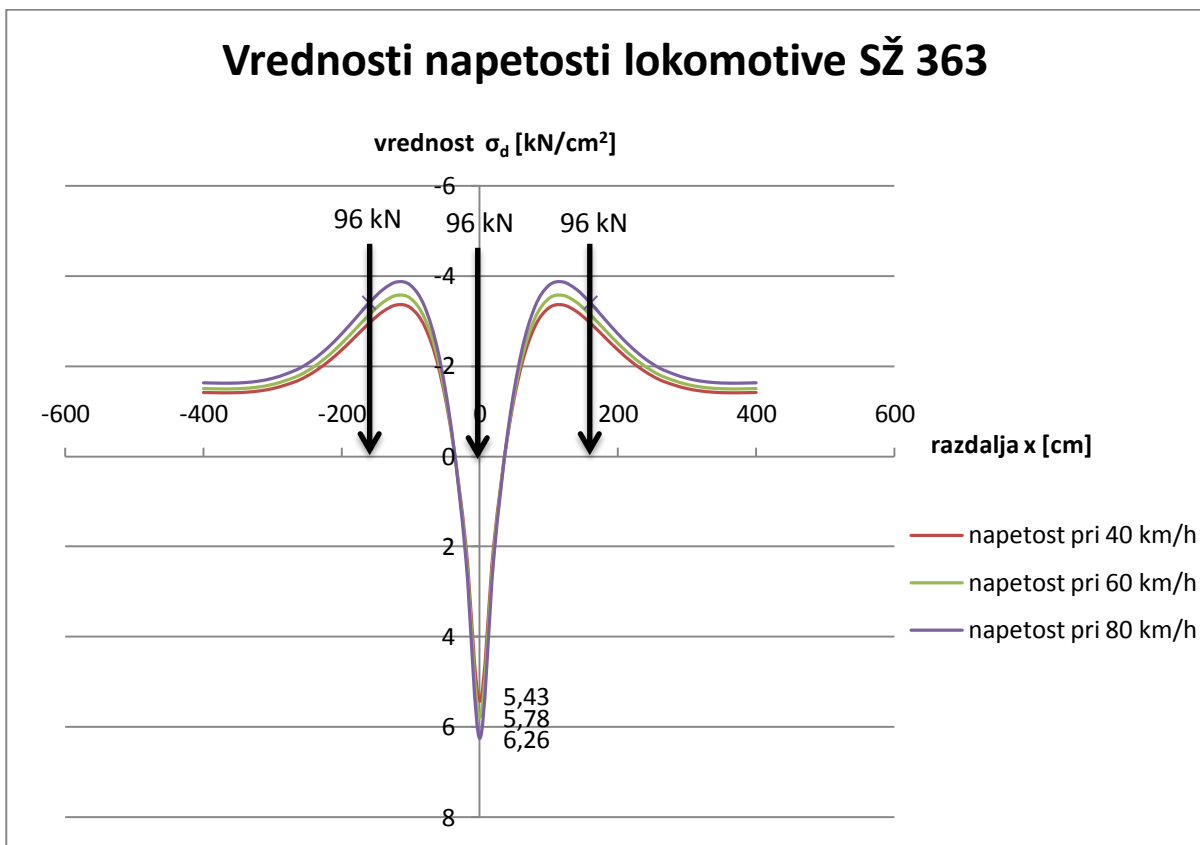
Z enačbo (2) sem izračunala upogibno napetost v tirnici, pri čemer sem upoštevala še dinamične faktorje za vsako izmed hitrosti, ki se jih izračuna z enačbo (4). Rezultati so prikazani na spodnjih grafikonih, pri čemer vidimo, da je največja napetost pri lokomotivi SŽ 541 pri hitrosti 80 km/h 10,91 kN/cm², pri lokomotivi SŽ 363 pa pri enaki hitrosti 8,00 kN/cm², pri kateri sem vzela rezultate, ki sem jih dobila v primeru, ko je v opazovanem prerezu prva sila, saj kot je razvidno iz grafikonov dobimo v tem primeru največje dinamične upogibne napetosti. Dobljeni rezultati so še vedno znotraj dovoljenih vrednosti, saj namreč dopustna dinamična napetost v tirnici po Zimmermannu za hitrost 80 km/h znaša 15,77 kN/cm².



Grafikon 4: Vrednosti napetosti, ki jih povzroča lokomotiva SŽ 541

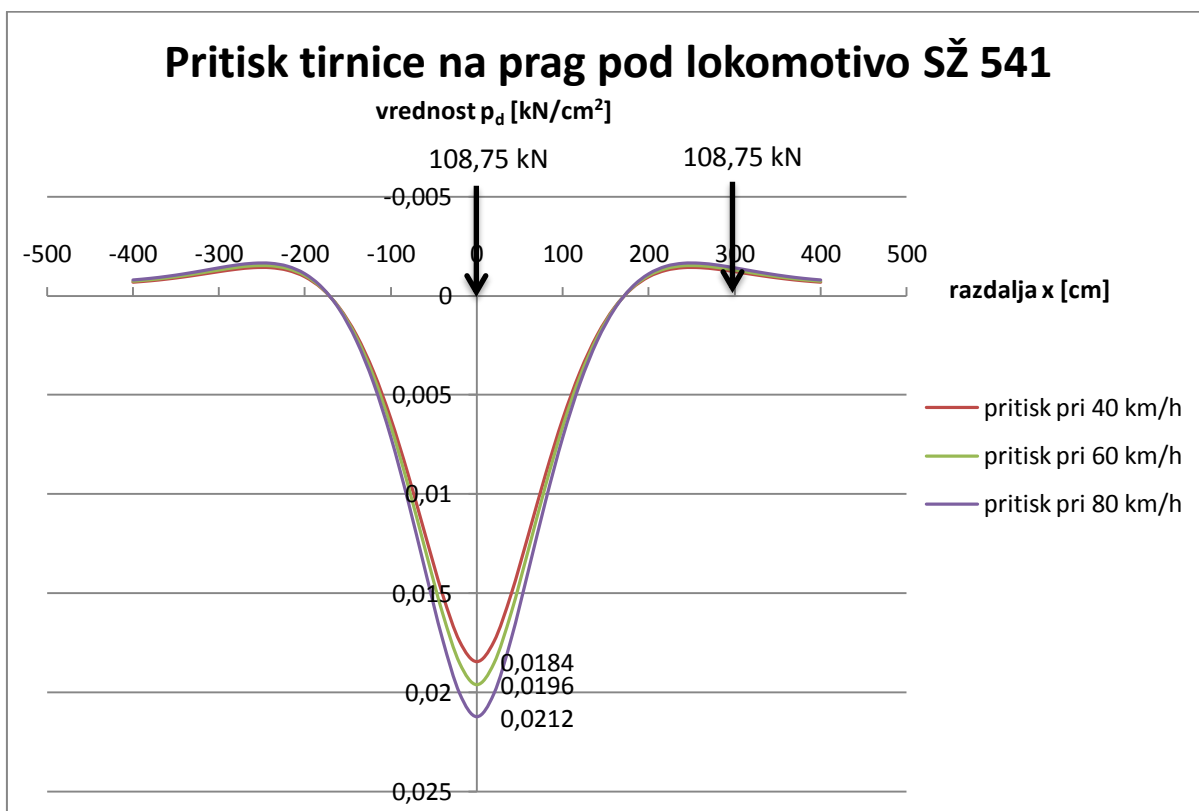


Grafikon 5: Vrednosti napetosti, ki jih povzroča lokomotiva SŽ 363, ko je v opazovanem prerezu prva sila

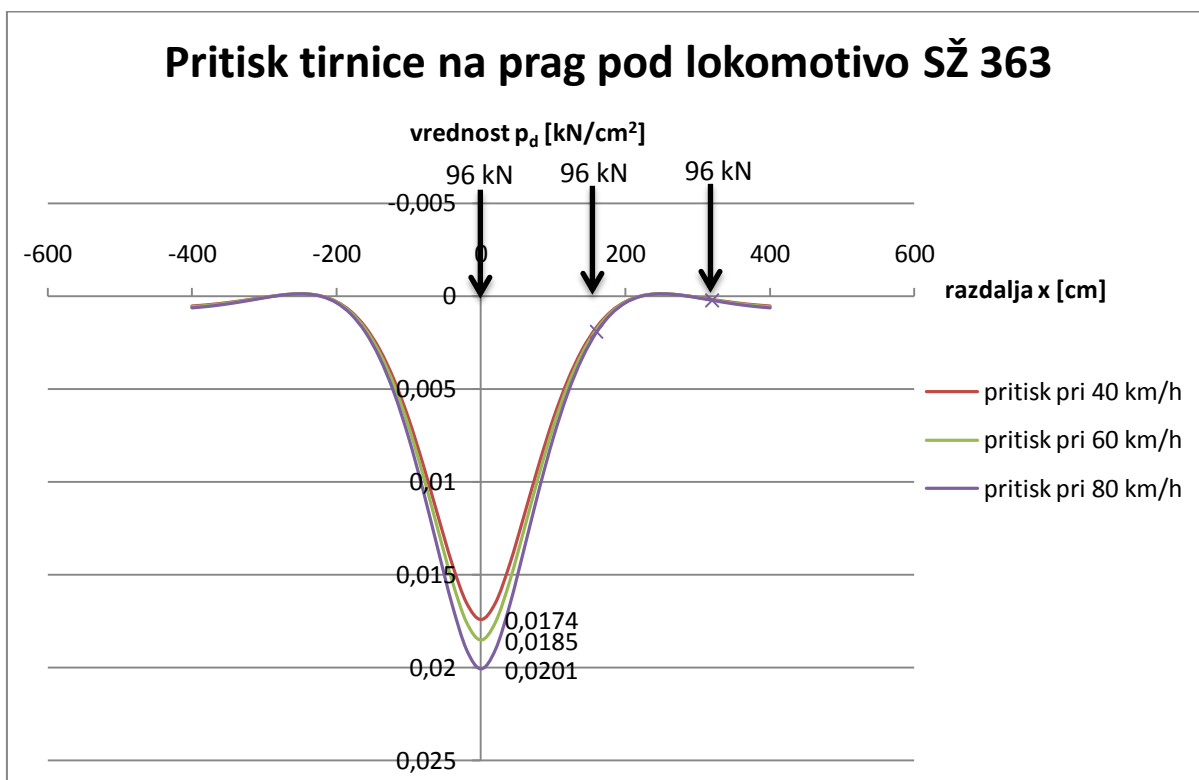


Grafikon 6: Vrednosti napetosti, ki jih povzroča lokomotiva SŽ 363, ko je v opazovanem prerezu druga sila

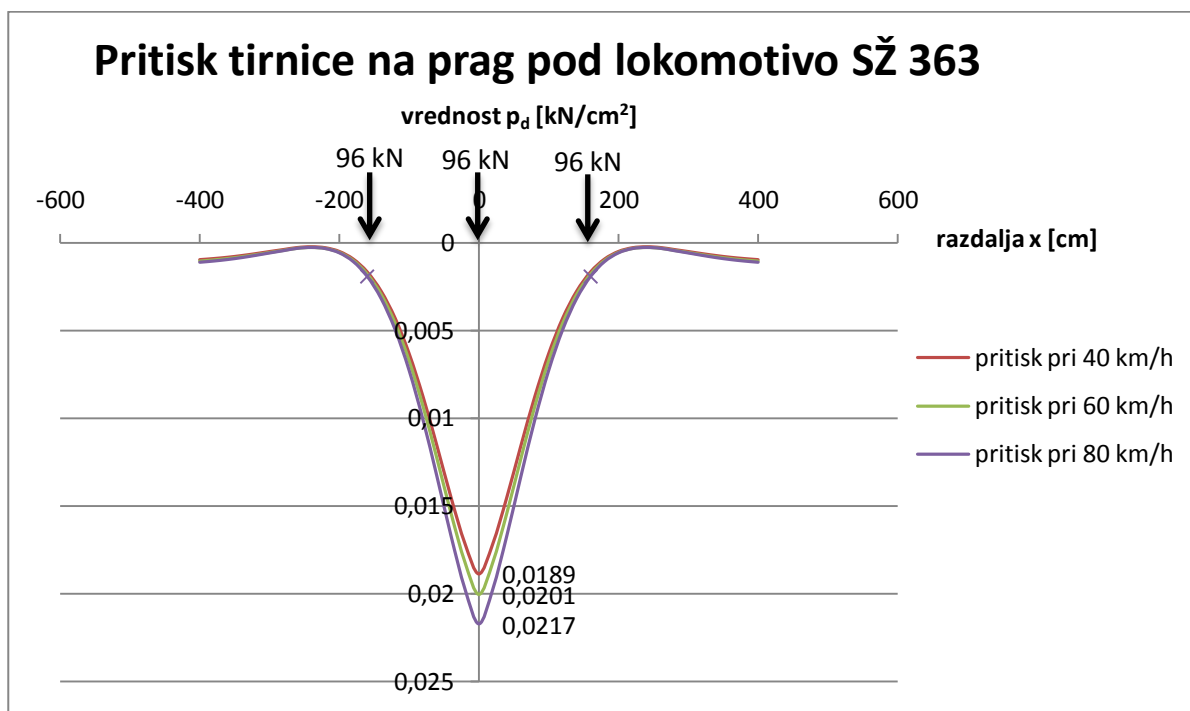
Pritisk, ki ga tirnica povzroča na prag pod obtežbo lokomotiv SŽ 541 in SŽ 363, sem na podlagi Zimmermannove metode izračunala z enačbo (31). Rezultati izračuna so prikazani na spodnjih grafikonih, iz katerih lahko razberemo, da v primeru pritiskov povzroča lokomotiva SŽ 363, kljub manjši kolesni sili, nekoliko večji pritisk na podlago, kot lokomotiva SŽ 541, saj ima slednja primernejši razpored osi. Iz grafikonov lahko razberemo tudi, da v primeru pritiskov in upogiba tirnice dobimo pri lokomotivi SŽ 363 v primeru, ko je v opazovanem prerezu druga sila, večji pritisk in upogib tirnice, kot če bi bila v opazovanem prerezu prva sila. To je posledica tega, da se tretja os v primeru, ko je v opazovanem prerezu prva sila, nahaja malenkost v negativnem območju in s tem daje ugodnejši vpliv, s čimer pa se zmanjša pritisk oziroma upogib tirnice. Iz dobljenih rezultatov, pri katerih vidimo, da lokomotiva SŽ 636 povzroča večji pritisk in upogib tirnice, kot lokomotiva SŽ 541, lahko sklepamo, da ta dva parametra ne vplivata na prepoved vožnje lokomotive SŽ 541 na odsekih glavne proge E 67, saj namreč lokomotiva SŽ 363, ki povzroča večje pritiske in upogib tirnice, lahko vozi na teh odsekih.



Grafikon 7: Pritisk tirnice na prag, ki ga povzroča lokomotiva SŽ 541

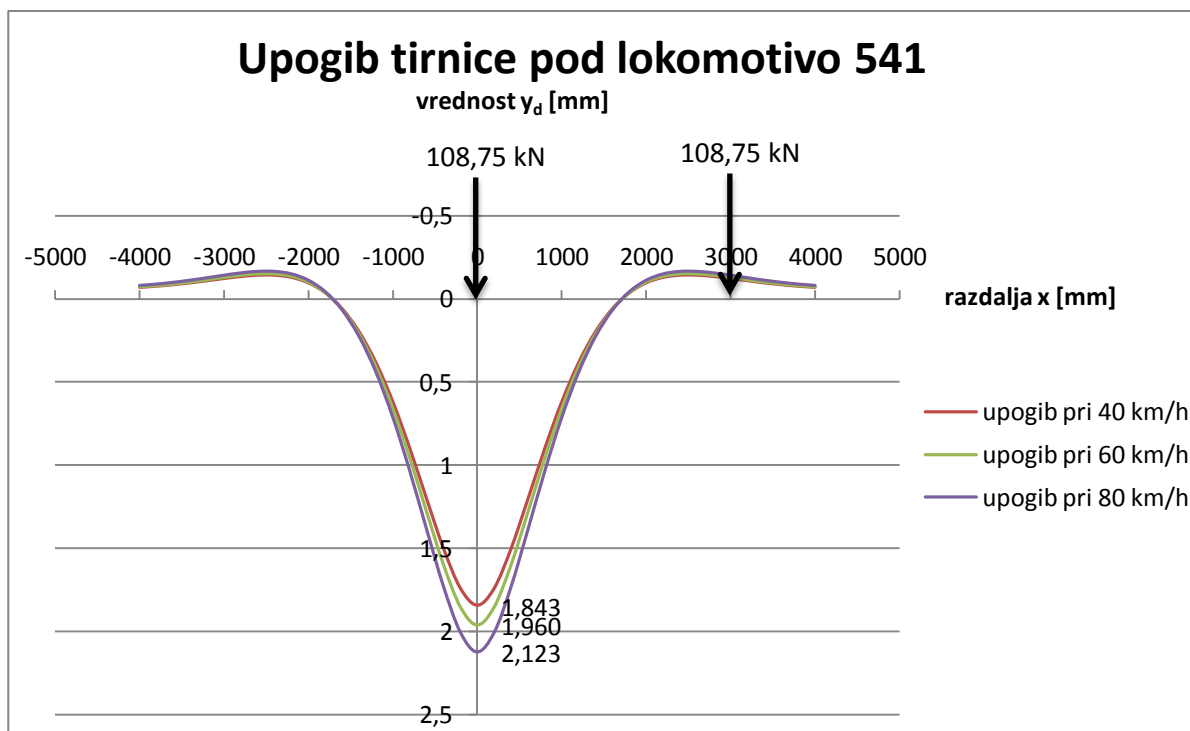


Grafikon 8: Pritisk tirnice na prag, ki ga povzroča lokomotiva SŽ 363, ko je v opazovanem prerezu prva sila

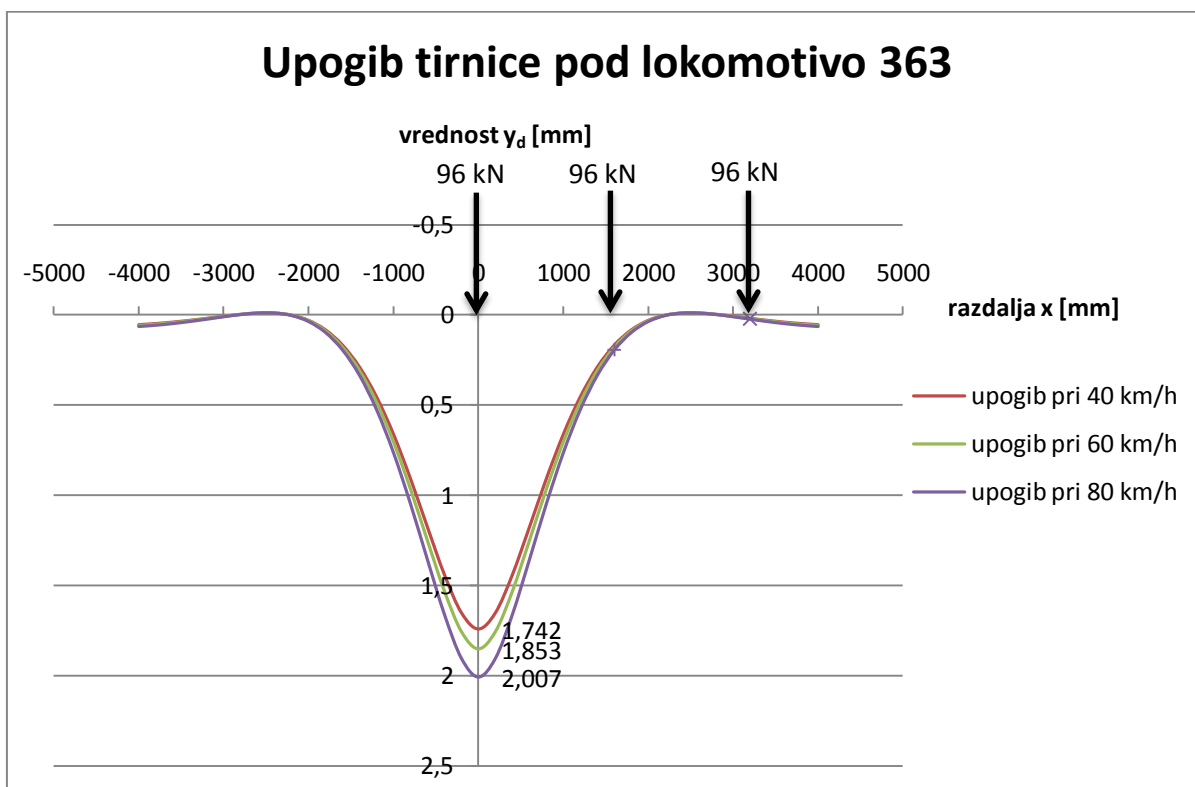


Grafikon 9: : Pritisk tirnice na prag, ki ga povzroča lokomotiva SŽ, ko je v opazovanem prerezu druga sila

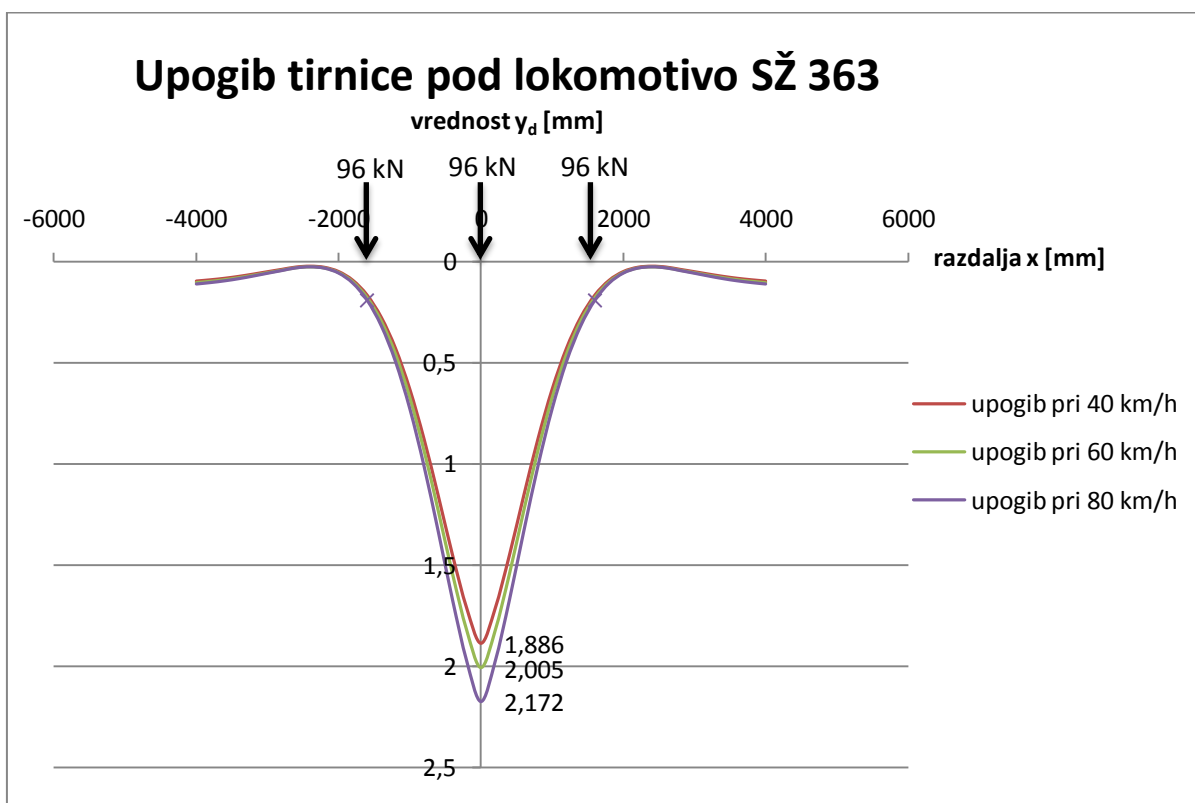
Enako kot za pritisk tirnice na prag velja tudi za upogib oziroma posedek tirnice, ki sem ga izračunala z enačbo (25).



Grafikon 10: Upogib tirnice pod lokomotivo SŽ 541



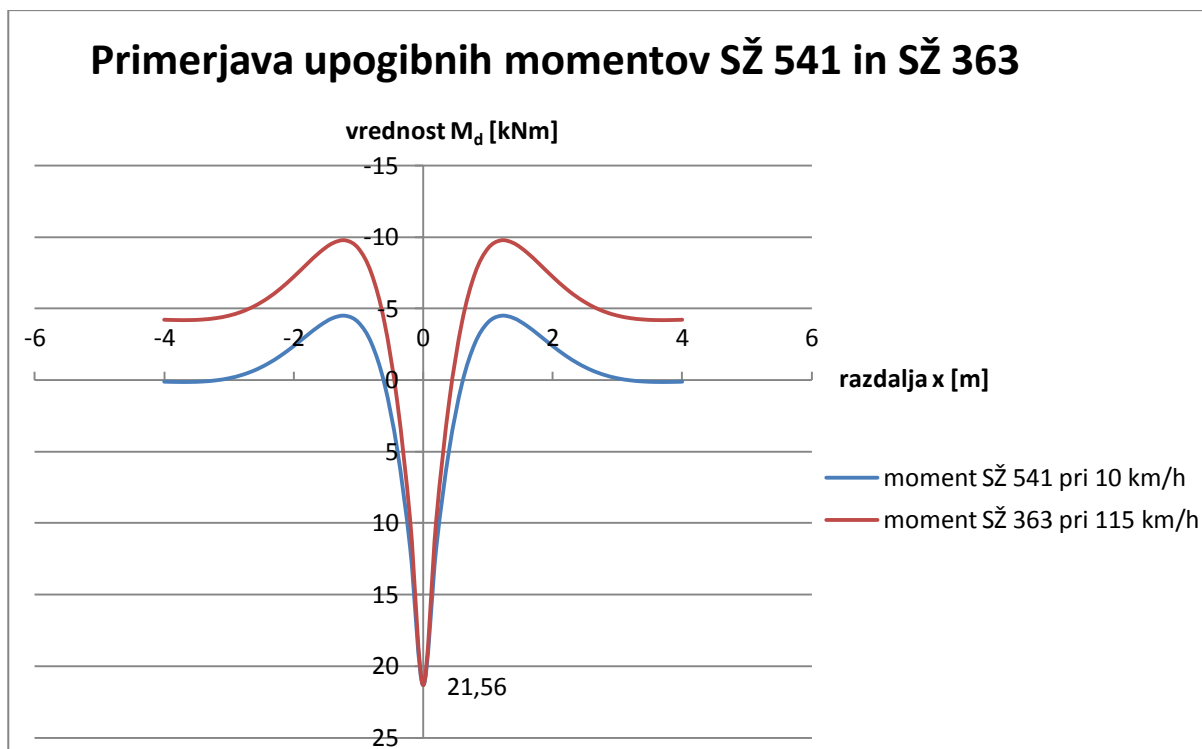
Grafikon 11: Upogib tirnice pod lokomotivo SŽ 363, ko je v opazovanem prerezu prva sila



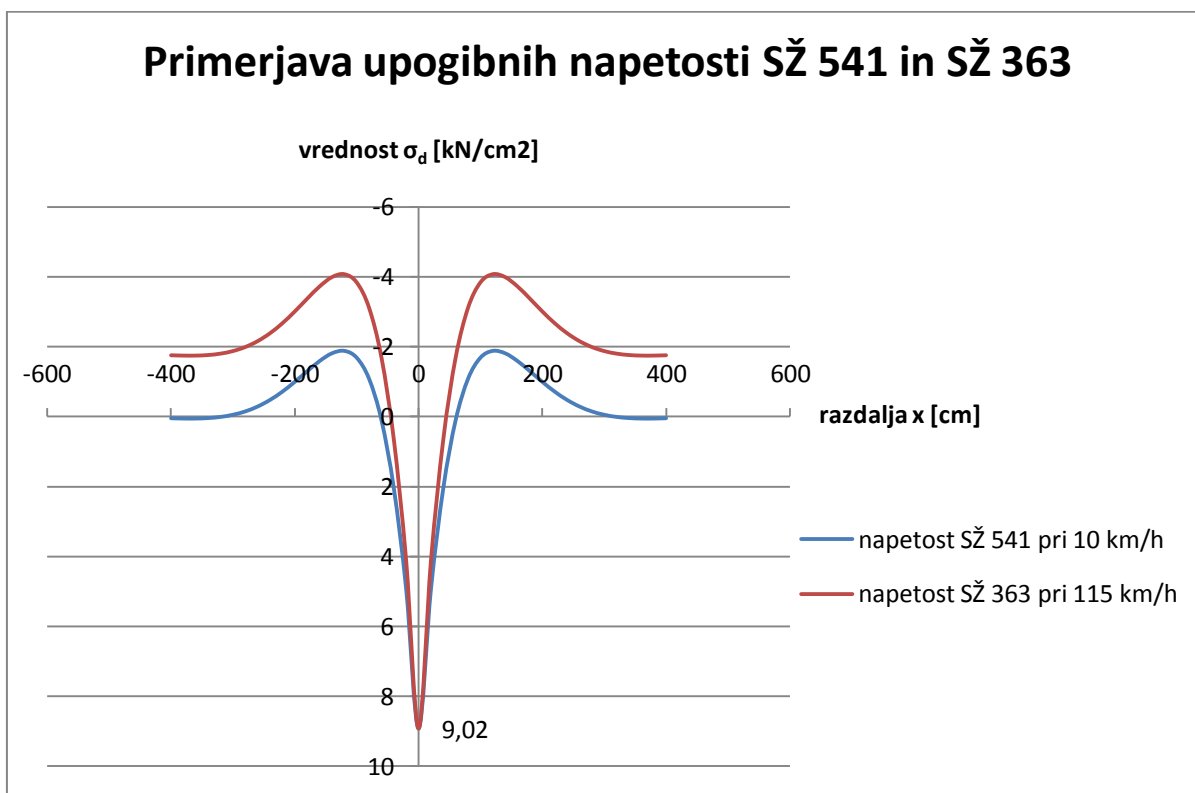
Grafikon 12: : Upogib tirnice pod lokomotivo SŽ, ko je v opazovanem prerezu druga sila

V diplomski nalogi sem primerjala vrednosti dinamičnih upogibnih momentov in napetosti, ki sem jih izračunala za lokomotivi SŽ 541 in SŽ 363 s Zimmermannovo metodo izračuna sil in napetosti v zgornjem ustroju. Namen te primerjave je bil ugotoviti kakšni so upogibni momenti in upogibne napetosti v tirnici pri vožnji večsistemske Siemensove lokomotive SŽ 541 in enosistemske lokomotive SŽ 363 na omenjenih treh odsekih glavne proge E 67 oziroma ugotoviti ali le te presegajo dopustne napetosti. Vzporedno s tem sem s pomočjo dinamičnega koeficienta izračunala tudi vpliv hitrosti na omenjene parametre. Kot je razvidno iz zgornjih grafikonov, so upogibni momenti v tirnici pri lokomotivi SŽ 541 za 36% večji, kot pri lokomotivi SŽ 363, vendar pa napetosti ne presegajo dopustnih napetosti v tirnici. Primerjala sem tudi pritiske in upogib tirnice, ki sem jih izračunala po isti metodi. Iz zgornjih grafikonov lahko vidimo, da lokomotiva SŽ 363, zaradi slabše razporeditve osi, povzroča za 2% večje pritiske na prag in za enako vrednost večji upogib tirnice, kot lokomotiva SŽ 541.

S primerjavo upogibnih momentov in upogibnih napetosti v tirnici, ki sem jih izračunala za lokomotivi SŽ 541 in SŽ 363, sem ugotavljala tudi, pri kateri hitrosti dobimo, zaradi različnih dinamičnih koeficientov, različne razporeditve osi in različne osne mase, enake dinamične upogibne momente in napetosti v nogi tirnice. Kot je prikazano na spodnjem grafikonu, dobimo enake največje dinamične momente v primeru, ko na progi, s podatki iz poglavja 7.6.1, lokomotiva SŽ 541 vozi 10 km/h, lokomotiva SŽ 363 pa s hitrostjo 115 km/h. Enako je tudi v primeru dinamičnih napetosti.



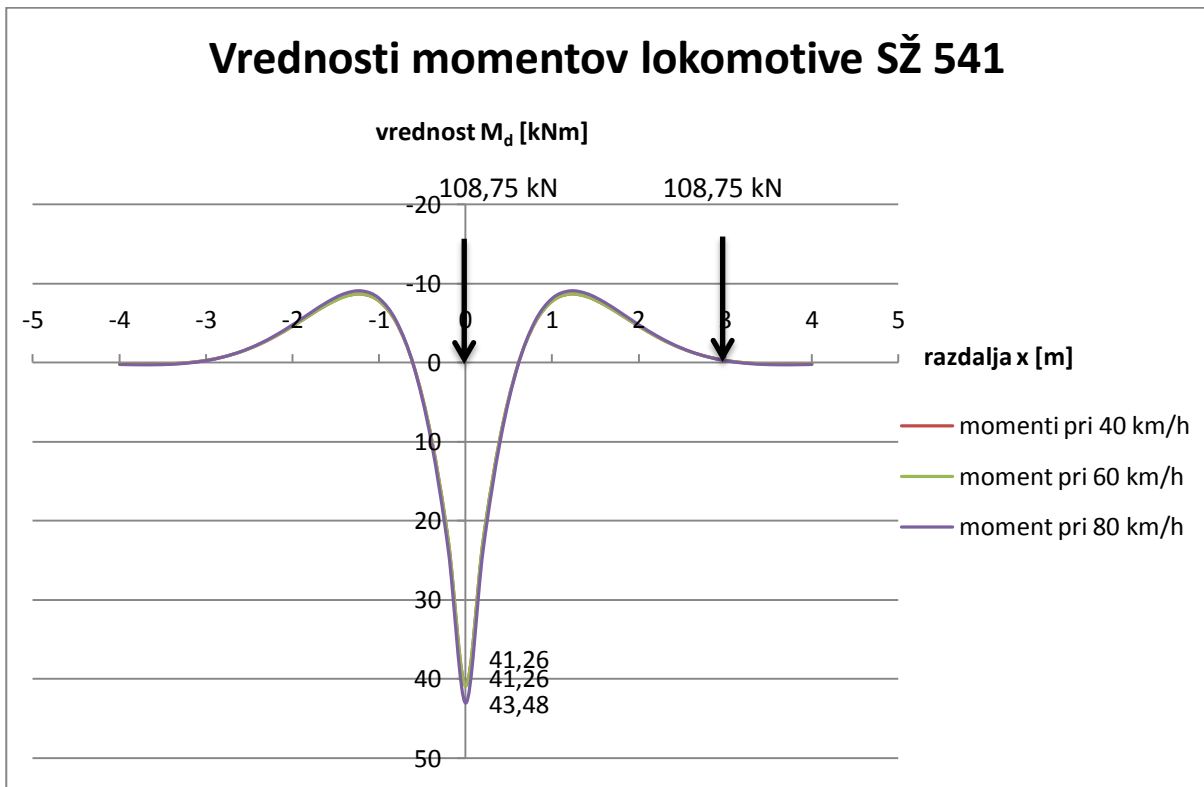
Grafikon 13: Primerjava upogibnih momentov lokomotiv SŽ 541 in SŽ 363



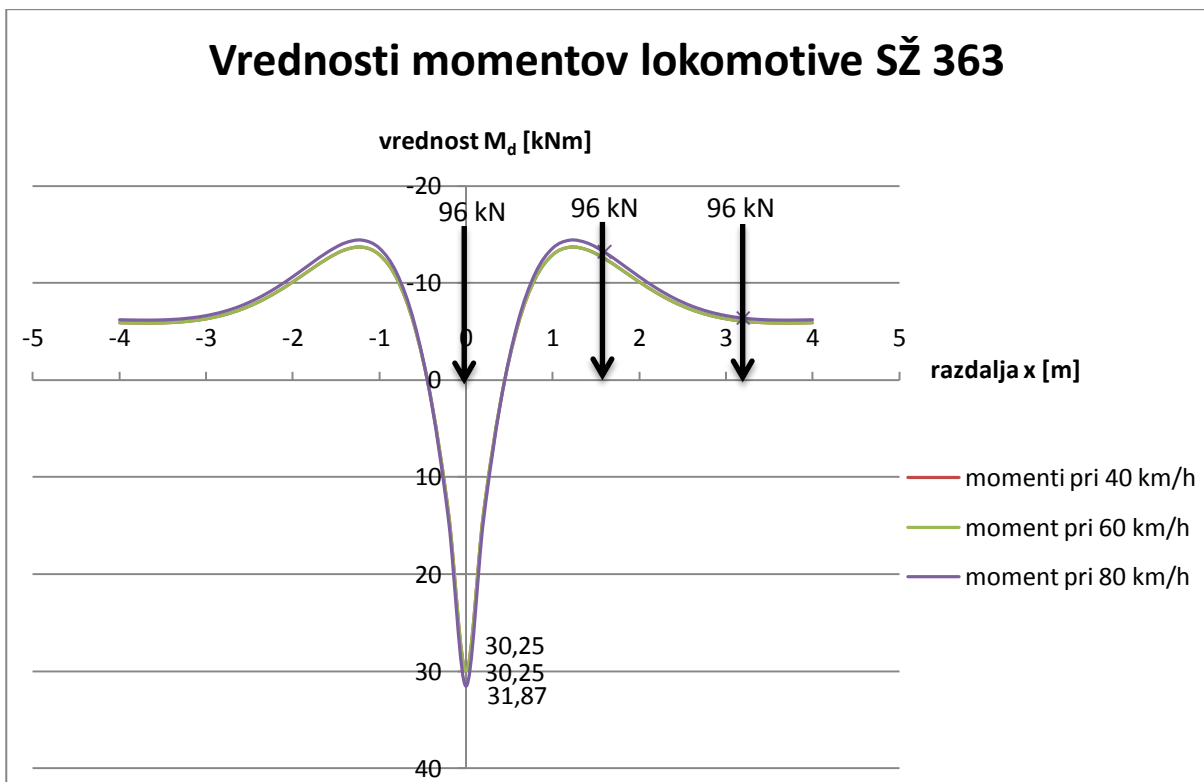
Grafikon 14: Primerjava upogibne napetosti lokomotiv SŽ 541 in SŽ 363

7.4.3 Rezultati po Eisenmannovi metodi izračuna zgornjega ustroja

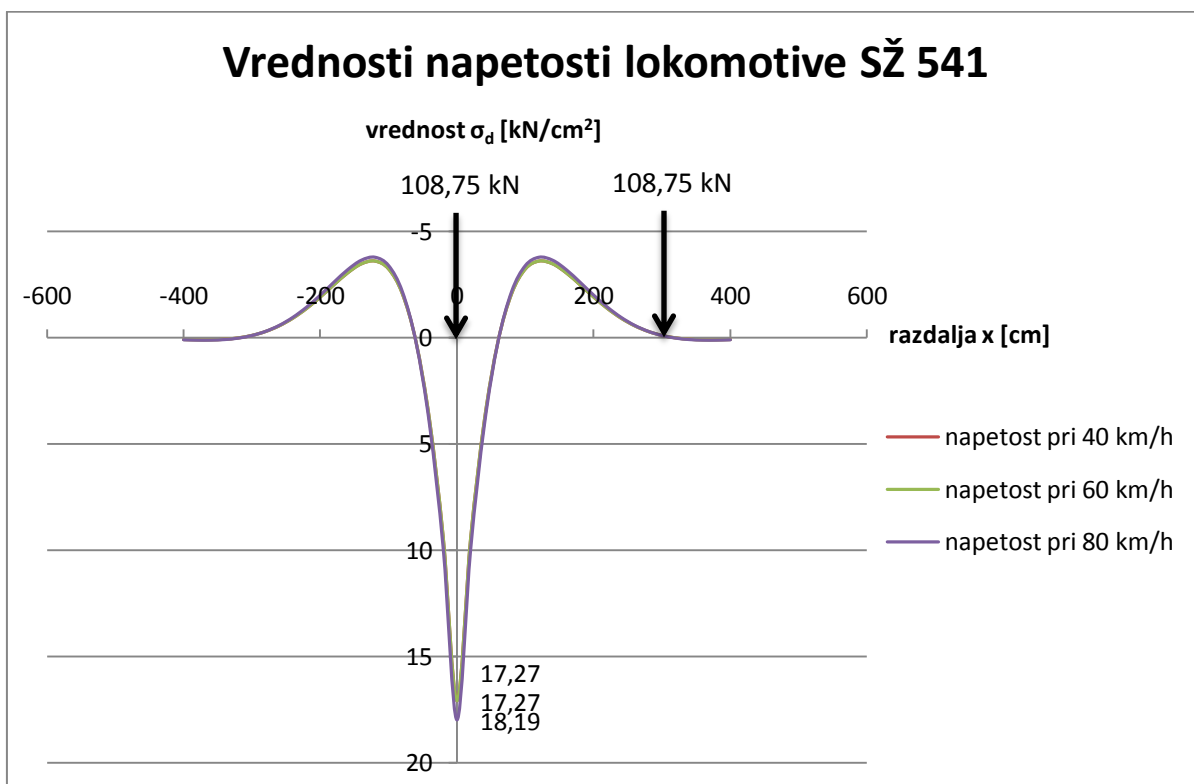
Z enakimi podatki, kot v primeru Zimmermannove metode, sem izračunala dinamične upogibne momente in dinamične upogibne napetosti v nogi tirnice pod obtežbo, ki jo povzročata lokomotivi SŽ 541 in SŽ 363, še po Eisenmannovi metodi. Pri tem sem pri obeh lokomotivah izračunala vrednosti parametrov v primeru, ko je v opazovanem prerezu prva sila, saj podobno kot pri Zimmermannovi metodi tudi tukaj v tem primeru dobimo večje dinamične upogibne momente in s tem tudi večje dinamične upogibne napetosti. V nadaljevanju so prikazani grafikoni izračuna dinamičnih upogibnih momentov in napetosti po Eisenmannovi metodi za lokomotivi SŽ 541 in SŽ 363.



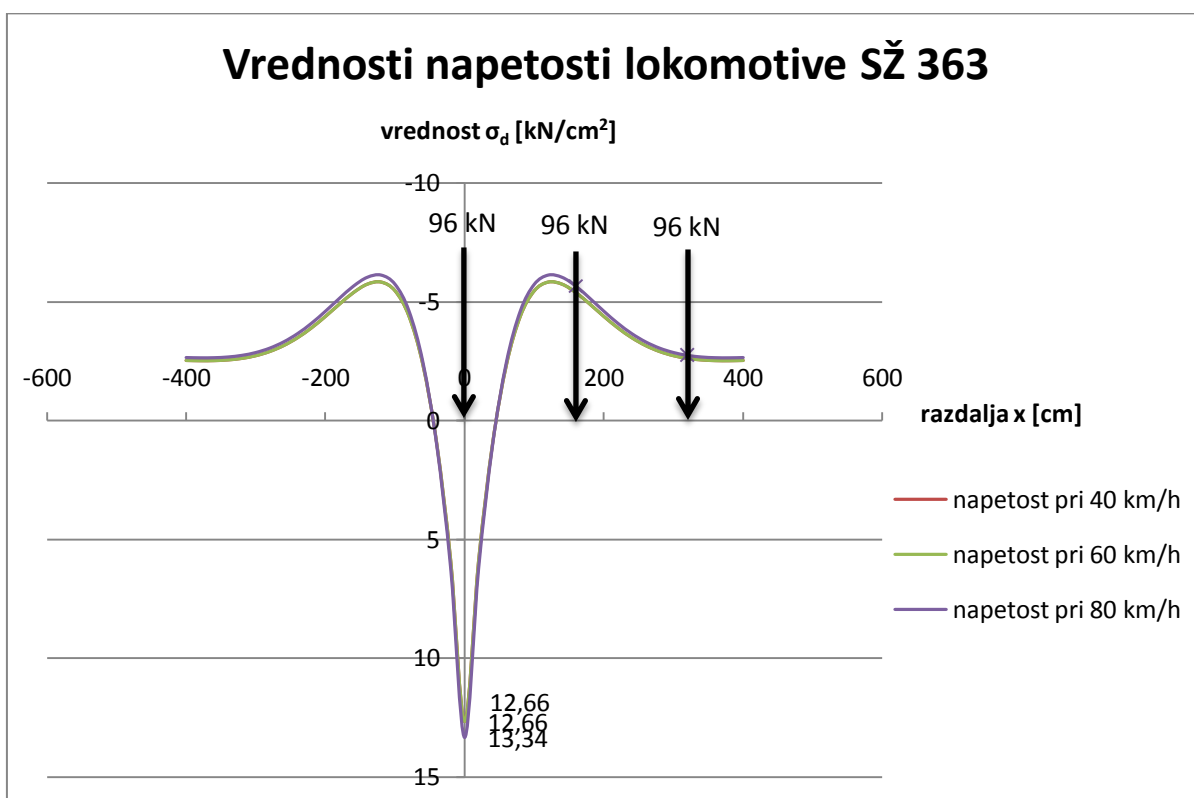
Grafikon 15: Vrednosti momentov lokomotive SŽ 541 po Eisenmannu



Grafikon 16: Vrednosti momentov lokomotive SŽ 363 po Eisenmannu

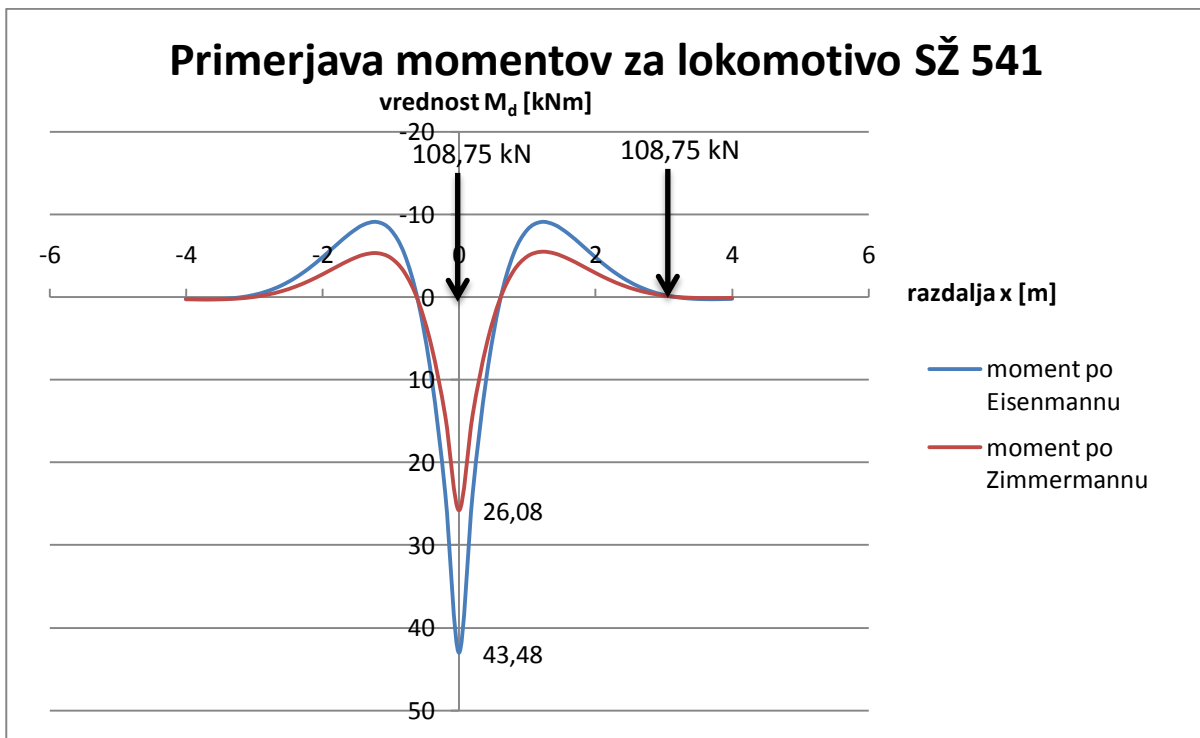


Grafikon 17: Vrednosti napetosti lokomotive SŽ 541 po Eisenmannu

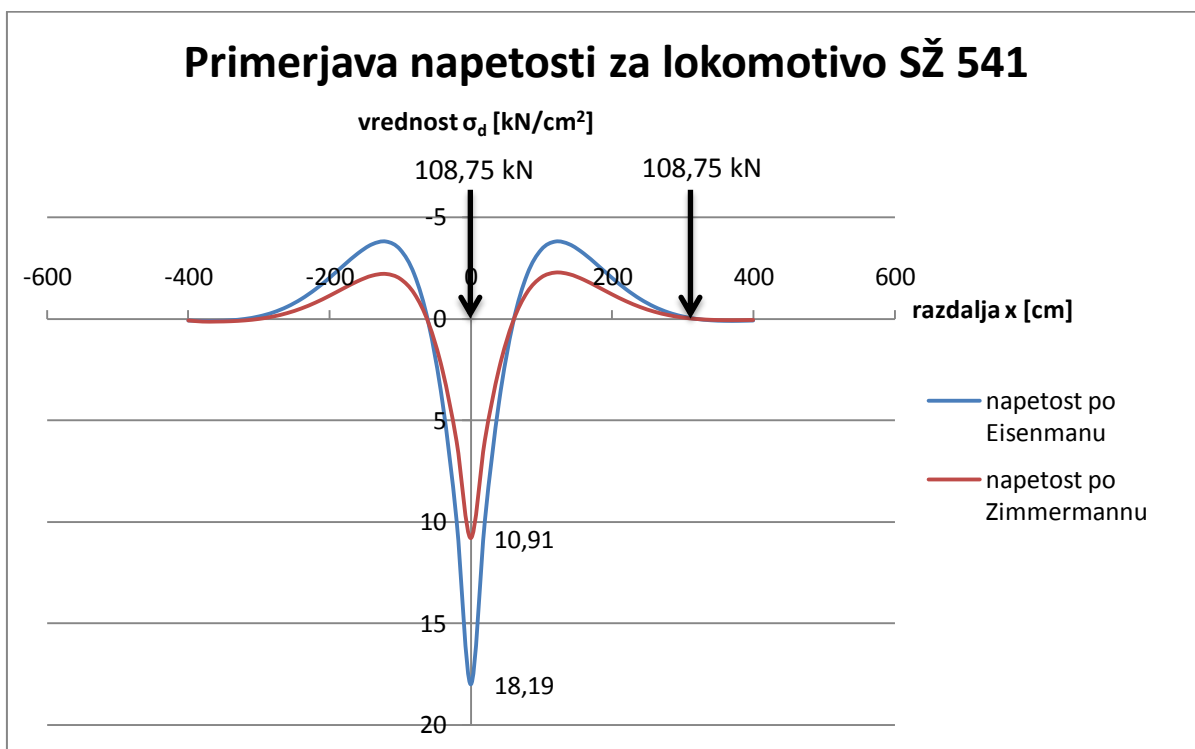


Grafikon 18: Vrednosti napetosti lokomotive SŽ 363 po Eisenmannu

Če primerjamo grafikone upogibnih momentov in napetosti po Zimmermannovi in Eisenmannovi metodi, lahko vidimo, da so največje vrednosti po Eisenmannu skoraj za faktor 2 večje od Zimmermannovih, kot je prikazano na spodnjem grafikonu za lokomotivo SŽ 541 pri hitrosti 80 km/h. To je posledica tega, da Eisenmann v svojem izračunu upošteva novejša spoznanja, stanje zgornjega stroja in druge pomembne parametre, zato upogibni momenti in s tem tudi napetosti po Eisenmannu bolj ustrezajo realnemu stanju. Ker je njegov izračun zgornjega stroja bolj natančen, dopušča s tem večje dopustne upogibne napetosti pri dinamični obtežbi. Iz grafikonov lahko razberemo, da sta največji upogibni napetosti lokomotiv SŽ 541 in SŽ 363, pri čemer sem upoštevala, da je zgornji ustroj dobre kakovosti ($s = 0,2$), statistična verjetnost zajetja dinamičnih vplivov pa $t = 3$, znotraj dopustne vrednosti, ki po Eisenmannu za neprekinjeno zvarjen tir znaša $28,2 \text{ kN/cm}^2$.



Grafikon 19: Primerjava dinamičnih upogibnih momentov izračunanih po Zimmermannovi in Eisenmannovi metodi za lokomotivo SŽ 541



Grafikon 20: Primerjava dinamičnih upogibnih napetosti izračunanih po Zimmermannovi in Eisenmannovi metodi za lokomotivo SŽ 541

8 ZAKLJUČEK

Železnicam se daje vedno večji pomen tako v ekonomskem, kot tudi ekološkem smislu. Ker se je količina cestnega tovornega prometa v zadnjem desetletju hitro povečevala in s tem tudi onesnaževanje okolja, stremita tako Slovenija, kot tudi Evropa k povečevanju prevoza tovora po železnici, saj so le te namreč veliko manjši onesnaževalec v primerjavi z cestnim tovornim prometom. Da pa bi bilo to omogočeno je potrebno zagotoviti ustrezne pogoje, zato si Evropska unija, katere članica je tudi Republika Slovenija, prizadeva zagotoviti enake vozne pogoje na področju celotne Evrope. Tako so bili ustanovljeni vse-evropski koridorji, od katerih kar dva potekata po slovenskem ozemlju. Eden izmed pogojev vse-evropskih koridorjev za zagotovitev enakih voznih pogojev je tudi največja dovoljena osna obremenitev proge, ki znaša 225 kN. Vendar pa trije odseki Zidani Most – Celje, Dolga Gora – Pragersko in Maribor - Šentilj na X. koridorju, ki poteka po ozemlju Republike Slovenije, ne izpolnjujejo te zahteve, zato bo na teh treh odsekih potrebna rekonstrukcija proge. Da pa bi bila le ta dobro in kvalitetno izvedena, je potrebno dobro poznati tudi elemente zgornjega ustroja, ki so opisani v tem diplomskem delu in njihove karakteristike. Pri tem sem natančno opisala vse potrebne karakteristike tirnice, pragov, tirne grede in tirnega pribora, ki odločilno vplivajo na stanje proge.

Z izračunom zgornjega ustroja se je ukvarjalo veliko avtorjev, med katerimi pa je bil prvi Winkler. Ta je opredelil tirnico kot kontinuirani nosilec, ki leži na čvrstih podporah, vendar pa ta predpostavka ne odraža dejanskega dogajanja v tirnici pod obremenitvijo, zato je njegovo teorijo nadaljeval nemški znanstvenik Zimmermann. Ta je opredelil tirnico kot vzdolžni nosilec, ki leži na elastični podlagi. Njegov izračun zgornjega ustroja se uporablja še danes, zato sem v diplomski nalogi na podlagi njegove teorije, po podatkih, ki veljajo za zgoraj omenjene tri odseke na glavni progi X. koridorja, izračunala sile in napetosti v zgornjem ustroju, ki so osnova za določitev dopustne osne obremenitve proge. Sile in napetosti sem izračunala za večsistemsko Siemensovo lokomotivo SŽ 541, ki izpolnjuje pogoje za vožnjo po skoraj vseh progah znotraj Evropske unije, ter za lokomotivo SŽ 363, ki pa je zaradi električne napetosti prilagojena samo za vožnjo po slovenskih in italijanskih tirih. Na podlagi izračunov sem ugotovila, da so vrednosti napetosti, za pogoje, ki veljajo na teh odsekih, lokomotive SŽ 541 za 36% večje, od vrednosti napetosti, ki jih povzroča lokomotiva SŽ 363, vendar pa so le te tudi pri hitrosti 80 km/h, ki je na teh odsekih dovoljena, znotraj dopustnih vrednosti, ki jih je določil avtor. Na podlagi primerjave rezultatov obeh lokomotiv sem ugotovila tudi, da lokomotiva SŽ 363, ki na zgoraj omenjenih odsekih lahko vozi, povzroča pri enakih hitrostih za 2% večje pritiske na prag, kot lokomotiva SŽ 541. S tem sem dokazala, da je stanje zgornjega ustroja zadovoljivo za vožnjo obeh lokomotiv po teh tirih. Vendar pa lokomotiva SŽ 541 na teh odsekih ne sme voziti, zato bi bilo potrebno, preden ji dovolimo vožnjo, preveriti še izračun spodnjega ustroja, kar pa ni bila naloga te diplomske naloge. Na podlagi dobljenih rezultatov sem ugotovila tudi, da imata ti dve lokomotivi enake dinamične upogibne momente in napetosti v primeru, ko lokomotiva SŽ 541, pri danih pogojih,

vozi s hitrostjo 10 km/h, lokomotiva SŽ 363 pa s hitrostjo 115 km/h. Na koncu sem izračunala še dinamične upogibne momente in napetosti v tirnici po Eisenmannovi metodi in kot sem ugotovila, so te vrednosti skoraj za faktor dva večje od vrednosti izračunanih po Zimmermannovi metodi, saj Eisenmann v svojih izračunih upošteva še stanje zgornjega ustroja in so s tem rezultati bolj natančni, s čimer pa dopušča tudi večje dovoljene napetosti v tirnici.

Za rekonstrukcijo teh treh odsekov na X. vse-evropskem koridorju se bo potrebno odločiti kmalu, saj so zaradi nezadostnih dopustnih osnih obremenitev posamezni tovari že usmerjeni na poti mimo Slovenije, kar pomeni izgubo tovora oziroma se vagoni v smeri Zidani Most - Šentilj nakladajo za 15 % manj, kot bi to bilo glede na njihovo nosilnost dopustno, s tem pa Slovenske železnice in država izgubljajo še kako potreben denar.

VIRI

Bonnett, C. 2005. Practical railway engineering. London, Imperial College Press: 59 – 60 str.

Lichtberger, B. 2005. Track Compendium. Hamburg, Eurailpress Tetzlaff – Hestra GmbH & Co.: 122 -164 str.

Milojković, T. 1986. Gornji stroj železnica. Beograd, Zavod za novinsko – izdavačku i propagandnu delatnost na JŽ Beograd: 61 – 112 str.

Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog. UL RS št. 92/2010.

Sadeghi, J.B. 2010. Evaluation of conventional methods in Analysis and Design of Railway Track System. International Jurnal of Civil Engineering.

Tancar, M. 2008. Dobava dodatnih lokomotiv. Nova proga: 3 str.

Tancar, M. 2006. SŽ 541 – 101 že na naših tirih. Nova proga: 12 str.

Uredba o kategorizaciji prog. UL RS št. 4/2009.

Zaletelj, M., Flerin, G. 2006. Sodobni trendi pri posodabljanju in vzdrževanju železniške infrastrukture z uporabo "LCC" metode. Ljubljana, DRC, Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije.

Zgonc, B. 2011. Sile in napetosti v zgornjem ustroju. f 24.

Naslov: Lokomotiva SŽ 363

http://sl.wikipedia.org/wiki/S%C5%BD_serija_363 (30.4.2011)

Naslov: Tehnični podatki lokomotive SŽ 363

www.miniaturna-zeleznica.com/SZ363.htm (30.4.2011)

Naslov: Nacionalni program razvoja Slovenske železniške infrastrukture

http://www.sindikatszps.si/downloads/Nacionalni_program_razvoja_Slovenske_zelezniske_infrastrukture.pdf (20.4.2011)

Naslov: Logistična infrastruktura

http://164.8.132.54/Logisticna_infrastruktura_VS/cetrto.html (15.2.2011)