

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Čebulj, M., 2016. Določanje svetlega profila železniške proge in medtirne razdalje. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Zgonc, B., somentorica Šemrov, D.): 97 str.

Datum arhiviranja: 22-08-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Čebulj, M., 2016. Določanje svetlega profila železniške proge in medtirne razdalje. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Zgonc, B., co-supervisor Šemrov, D.): 97 pp.

Archiving Date: 22-08-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*

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



UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
PROMETNA SMER

Kandidat:

MIHA ČEBULJ

**DOLOČANJE SVETLEGA PROFILA ŽELEZNIŠKE
PROGE IN MEDTIRNE RAZDALJE**

Diplomska naloga št.: 3481/PS

**DETERMINING THE STRUCTURE GAUGE OF
RAILWAY LINE AND DISTANCE BETWEEN TRACK
CENTRES**

Graduation thesis No.: 3481/PS

Mentor:

prof. dr. Bogdan Zgonc

Somentorica:

asist. dr. Darja Šemrov

Ljubljana, 18. 08. 2016

“Ta stran je namenoma prazna.”

IZJAVA AVTORJA

Podpisani študent **Miha Čebulj**, vpisna številka 26106643, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: **Določanje svetlega profila železniške proge in medtirne razdalje**.

IZJAVLJAM

1. da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;
5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;
7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V Ljubljani, 27. julija 2016

Miha Čebulj

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	625.143.1(497.4)(043.2)
Avtor:	Miha Čebulj
Mentor:	prof. dr. Bogdan Zgonc, univ. dipl. inž. grad.
Somentor:	asist. dr. Darja Šemrov, univ. dipl. inž. grad.
Naslov:	Določanje svetlega profila železniške proge in medtirne razdalje
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – UNI
Obseg in oprema:	XX, 97 str., 16 pregl., 15 graf., 26 sl.
Ključne besede:	svetli profil proge, medtirna razdalja, odnosnica, kinematična metoda, razširitev profila

IZVLEČEK

V diplomskem delu je obravnavan postopek za določitev svetlega profila železniške proge in medtirne razdalje. Najprej je predstavljena odnosnica, iz katere izhaja račun svetlega profila. Sledi opis vrst profilov, ki se v povezavi z železniškim transportom pojavljajo. Predstavljene so tudi delitve železniških prog glede na število tirov. V nadaljevanju je na osnovi standarda za svetle profile SIST EN 15273-3:2013 opisan postopek za določitev svetlega profila proge skupaj z vsemi razširitvami (preves v krivini, kvazistatični pomik in slučajnostni pojavi), ki pri tem nastopajo. Na osnovi istega standarda je opisan tudi postopek za določanje medtirne razdalje za večtirno progo. Opravljena je tudi primerjava izračunov, kot jih določa standard in kodeks UIC 505-4 OR. V zadnjem delu so izračunani konkretni primeri svetlih profilov železniških prog in medtirnih razdalj ob različnih vhodnih parametrih.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	625.143.1(497.4)(043.2)
Author:	Miha Čebulj
Supervisor:	Prof. Bogdan Zgonc, Ph.D.
Somentor:	Darja Šemrov, Ph.D
Title:	Determining the structure gauge of railway line and distance between track centres
Document type:	Graduation thesis – University studies
Scope and tools:	XX, 97 p., 16 tab., 15 graph., 26 fig.
Key words:	structure gauge, distance between track centres, reference profile, kinematic method, gauge widening

ABSTRACT

The thesis provides methodologies for determining railway structure gauge and distance between track centres. The first part provides information about reference profile, which is base for determining structure gauge. This is followed by description of different types of gauges, related to railway transport. The thesis also presents separation of railways according to number of tracks. The second part is based on Slovenian standard SIST EN 15273-3:2013. It describes methods for determining structure gauge including all presented widenings (additional overthrows, quasi static effect and random transverse phenomena). In accordance with same standard there are presented methods for determining distance between track centres. The last part of the thesis discusses differences between standard and UIC code 505-4 OR. Calculation examples of different railway gauges and distances between track centres are also included.

POSVETILO

Vedno, ko sem med svojo študijsko pavzo pomislil na še nezaključen študij, so se mi v misli prikradli spodnji verzi Toneta Pavčka:

Ko hodiš, pojdi zmeraj do konca.
Spomladi do rožne cvetice,
poleti do zrele pšenice,
jeseni do polne police,
pozimi do snežne kraljice,
v knjigi do zadnje vrstice,
v življenju do prave resnice,
a v sebi – do rdečice
čez eno in drugo lice.

A če ne prideš ne prvič, ne drugič
do krova in pravega kova
poskusi:
vnovič
in zopet
in znova.

Vedno sem vedel, da so zaključki v življenju pomembni, saj le tako lahko začnemo hoditi po sveži, novi poti.

Diplomsko delo zato posvečam otrokom – še posebej Jakobu in mali bubici, ki raste pod maminim srčkom –, ki imajo pred seboj še veliko poti, ki jih morajo prehoditi. To delo je dokaz, da se more in da se mora iti do zmeraj do konca!

ZAHVALA

Hvala mentorju prof. dr. Bogdanu Zgoncu in somentorici asist. dr. Darji Šemrov za usmerjanje pri izbiri teme, za čas, ki sta ga kot podpora namenila nastajanju tega diplomskega dela in za konstruktivne pripombe in komentarje, zaradi katerih je naloga še boljša. Posebej hvala za hiter odzivni čas, ko sem vaju potreboval. Ustvarjanje te diplomske naloge je moje znanje razširilo na področje, ki ga pred tem sploh nisem opazil.

Hvala vsem učiteljem Oddelka za gradbeništvo, s katerimi smo se v času študija srečevali v predavalnicah in na izpitih (včasih tudi več kot enkrat) za vse podano znanje in izkušnje.

Hvala sošolcem in sošolkam s katerimi smo se od prvega srečanja v predavalnici P-I/1 do zadnjega dne spodbujali, si pomagali in si vzeli tudi čas za zabavo.

Hvala ženi Anji, ker si, ker mi dovoliš, da te ljubim, in ker mi ljubezen vračaš!

Hvala staršem. Ker sta mi vedno na voljo. Hvala za vse, kar zame storita; za vso skrb, za vzpodbudo in za materialno podporo! Rad vaju imam!

KAZALO VSEBINE

ERRATA	I
IZJAVA AVTORJA	III
BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	IV
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	V
POSVETILO	VI
ZAHVALA	VII
KAZALO VSEBINE	VIII
KAZALO PREGLEDNIC.....	XII
KAZALO GRAFIKONOV	XIII
KAZALO SLIK.....	XIV
SEZNAM KRATIC.....	XVI
1 UVOD	1
2 POJASNILO POJMOV IN PREGLED PREDPISOV	4
2.1 Vozna površina	4
2.2 Os tira	4
2.3 Normalni koordinatni sistem.....	4
2.4 Interoperabilnost železniške infrastrukture	4
2.5 Tehnični normativi, ki se uporabljajo za projektiranje železniških prog	5
2.5.1 Kodeksi UIC.....	5
2.5.2 Tehnične specifikacije za interoperabilnost	5
2.5.3 Harmonizirani standardi	6

3	ODNOSNICA.....	7
3.1	Razdelitev odnosnice na zgornji in spodnji del.....	7
3.1.1	Zgornji del odnosnice.....	8
3.1.2	Spodnji del odnosnice.....	8
3.2	Najpomembnejše mednarodne odnosnice.....	9
3.2.1	Odnosnica G1.....	10
3.2.2	Odnosnica G2.....	11
3.2.3	Odnosnice GA, GB in GC.....	12
4	PROFILI.....	13
4.1	Vrste profilov.....	13
4.1.1	Profil vozila.....	15
4.1.2	Nakladalni profil.....	15
4.1.3	Svetli profil.....	19
4.2	Metode računa profila.....	28
4.2.1	Statična metoda.....	28
4.2.2	Kinematična metoda.....	28
4.2.3	Dinamična metoda.....	28
5	POSTOPEK RAČUNANJA PROFILOV PO KINEMATIČNI METODI.....	29
5.1	Izbira odnosnice.....	29
5.2	Prečne razširitve odnosnice.....	29
5.2.1	Dodatek zaradi prevesa vozila.....	29
5.2.2	Dodatek zaradi kvazistatičnega pomika vozila.....	31

5.2.3	Dodatki zaradi slučajnostnih pojavov	33
5.3	Vertikalni dodatki	37
5.3.1	Vertikalni pomiki na previsnih točkah	38
5.3.2	Učinek valja	39
5.4	Drugi dodatki, o kateri odloča upravljavec infrastrukture	40
5.5	Vrste profilov, določene s standardom	40
5.5.1	<i>Structure verification limit gauge</i>	41
5.5.2	Minimalni svetli profil.....	44
5.5.3	Normalni svetli profil	47
5.5.4	Enotni svetli profil.....	49
6	DOLOČANJE MEDTIRNE RAZDALJE	51
6.1	Razlika v nadvišanih sosednjih tirov.....	52
6.2	Določanje medtirne razdalje glede na različne vrste profilov kot jih določa standard 53	
6.2.1	Medtirna razdalja pri profilu <i>structure verification limit gauge</i>	53
6.2.2	Medtirna razdalja pri minimalnem svetlem profilu proge.....	54
6.2.3	Medtirna razdalja pri normalnem svetlem profilu proge	55
7	PRIMERJAVA STANDARDA SIST EN 15273-3:2013 IN KODEKSA UIC 505-4 OR.....	57
7.1	Izračun profila	57
7.1.1	Izračun prevesa vozila	57
7.1.2	Izračun kvazistatičnega dodatka	59
7.1.3	Izračun dodatkov zaradi slučajnostnih pojavov	60

7.1.4	Seštevek dodatkov in izračun profila.....	66
7.2	Izračun medtirne razdalje.....	68
8	IZRAČUN PROFILA PROGE.....	69
8.1	Robni pogoji in matrika računskih primerov.....	72
8.2	Prvi računski primer	75
8.3	Drugi računski primer.....	80
8.4	Primerjava računa svetlega profila po standardu, kodeksu UIC in popravku standarda 86	
8.5	Tretji računski primer	88
9	DOLOČANJE MEDTIRNE RAZDALJE	89
10	ZAKLJUČEK	93
VIRI	95

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Koeficienti zaradi nihanja vozila (SIST EN 15273-3:2013).....	34
Preglednica 2: Koeficienti <i>Tvoie</i> zaradi premikov tira (SIST EN 15273-3:2013)	35
Preglednica 3: Koeficienti zaradi odklona nadvišanja (SIST EN 15273-3:2013)	36
Preglednica 4: Koeficienti asimetrije vozila (SIST EN 15273-3:2013).....	37
Preglednica 5: Vrednosti parametrov za račun po UIC 505-4 OR	64
Preglednica 6: Vrednosti parametrov za račun po SIST EN 15273-3:2013	65
Preglednica 7: Dovoljeni bočni pospeški	70
Preglednica 8: Dovoljeni maksimalni primanjkljaji nadvišanj	71
Preglednica 9: Dovoljeni ekstremni negativni bočni pospeški.....	71
Preglednica 10: Dovoljeni ekstremni presežki nadvišanja	72
Preglednica 11: Matrika računskih primerov.....	73
Preglednica 12: Račun nadvišanj za robne pogoje pri bočnem pospešku $b = 0 \text{ m/s}^2$	74
Preglednica 13: Račun nadvišanj za robne pogoje pri bočnem pospešku $b = 0 \text{ m/s}^2$	74
Preglednica 14: Površine prečnih prerezov svetlih profilov GA, GB in GC.....	88
Preglednica 15: Izračun medtirnih razdalj pri izbranih robnih pogojih	90
Preglednica 16: Prva iteracija medtirnih razdalj.....	90

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Primerjava razširitev odnosnice na notranji strani krivine	76
Grafikon 2: Primerjava razširitev odnosnice na zunanji strani krivine	76
Grafikon 3: Primerjava širine svetlega profila na zunanji strani krivine	78
Grafikon 4: Primerjava širine svetlega profila na notranji strani krivine	78
Grafikon 5: Širina svetlega profila proge na notranji strani krivine s predlaganim popravkom enačbe.....	79
Grafikon 6: Notranja polovica svetlega profila za structure verification limit gauge, upoštevane popravljene enačbe	81
Grafikon 7: Notranja polovica svetlega profila za minimalni svetli profil, upoštevane so popravljene enačbe	82
Grafikon 8: Notranja polovica svetlega profila za normalni svetli profil	82
Grafikon 9: Zunanja polovica svetlega profila za structure verification limit gauge, upoštevane popravljene enačbe	83
Grafikon 10 Zunanja polovica svetlega profila za minimalni svetli profil, upoštevane so popravljene enačbe	83
Grafikon 11: Zunanja polovica svetlega profila za razširjeni svetli profil	84
Grafikon 12: Zunanja polovica svetlega profila za structure verification limit gauge, upoštevane popravljene enačbe	85
Grafikon 13: Zunanja polovica svetlega profila za structure verification limit gauge, upoštevane enačbe s prisotno tipkarsko napako.....	86
Grafikon 14: Primerjava standarda z upoštevano tipkarsko napako, kodeksa in popravka standarda.....	87
Grafikon 15: Primerjava medtirnih razdalj v odvisnosti od bočnega pospeška.....	91

KAZALO SLIK

Slika 1: Primer iz tujine, ki predstavlja nepravilno rabo prostora znotraj profila (lasten vir)	2
Slika 2: Normalni koordinatni sistem (povzeto po: UIC 505-4 OR)	4
Slika 3: Odnosnica GI2 (SIST EN 15273-3:2013, str. 94).....	8
Slika 4: Odnosnica G1 (SIST EN 15273-3:2013, str. 90).....	10
Slika 5: Odnosnica G2 (SIST EN 15273-3:2013, str. 105).....	11
Slika 6: Odnosnice GA, GB in CG (SIST EN 15273-3:2013, str. 91 in 93).....	12
Slika 7: Primerjava odnosnice in profila (povzeto po: Čertalič, 2011; UIC 505-4 OR)	14
Slika 8: Primerjava vozila, odnosnice in profila proge (povzeto po: Čertalič, 2011)	15
Slika 9: Nakladalni profil SŽ I (Program omrežja 2016. Priloga 3D, str: 5).....	16
Slika 10: Mednarodni nakladalni profil (Program omrežja 2016. Priloga 3D, str: 6)	17
Slika 11: Nakladalni profil za kombinirani transport GA, GB in GC (Program omrežja 2016. Priloga 3D, str. 7).....	18
Slika 12: Nagibanje potnikov iz vozila med vožnjo (lasten vir).....	19
Slika 13: Minimalni svetli profil za $R > 250$ m (Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010, priloga 5).....	21
Slika 14: Normalni svetli profil za $R > 250$ m (Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010, priloga 4).....	22
Slika 15: Svetli profil za novogradnje GC (Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010, priloga 6).....	25
Slika 16: Primerjava profilov GA, GB in GC (povzeto po: Wikimedia, 2016).....	26
Slika 17: Laik svetli profil železniške proge najlažje opazi pri železniških predorih (lasten vir)	27
Slika 18: Prikaz vozila v premi in krivini (povzeto po: Čertalič, 2011; UIC 505-4 OR)	30

Slika 19: Prikaz vertikalnih pomikov (SIST EN 15273-3:2013)	38
Slika 20: Učinek valja (SIST EN 15273-3:2013)	39
Slika 21: Merjenje medtirne razdalje (SIST EN 15273-3:2013, str. 13).....	51
Slika 22: Sosednja tira sta lahko koncentrična ali različno usmerjena (SIST EN 15273-3:2013, str. 41)	52
Slika 23: Medtirna razdalja pri tirih z različnim nadvišanjem (SIST EN 15273-3:2013, str. 42)	52

SEZNAM KRATIC

ERA	Evropska železniška agencija (European Union Agency for Railways)
CEN	Evropski komite za standardizacijo (Comité Européen de Normalisation)
GRT	Gornji rob tirnic
UIC	Mednarodna železniška zveza (Union internationale des chemins de fer)
SIST	Slovenski inštitut za standardizacijo

Kratice v formulah:

b	bočni pospešek (m/s^2)
η	dodatek zaradi asimetrije vozila [$^{\circ}$]
T_{osc}	dodatek zaradi nepravilnosti tirnic [m]
T_D	dodatek zaradi odklona nadvišanja [m]
T_{charge}	faktor nesimetrične razporeditve obtežbe vozila [$^{\circ}$]
T_{voie}	faktor premikov tira [m]
T_{susp}	faktor razlike v nastavitvah podvozja [$^{\circ}$]
T_D	faktor zaradi odklona nadvišanja [m]
D_0	fiksna vrednost nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m]
I_0	fiksna vrednost primanjkljaja nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m]
V	hitrost [km/h]
b_{PT}	horizontalna koordinata točke PT [m]
s_0	koeficient fleksibilnosti med vozili in progo [brezdimenzijski]
K	koeficient kvazistatičnega pomika [brezdimenzijski]
h_{PTi}, b_{PTi}	koordinata obravnavane točke na notranji strani krivine [m]
h_{PTa}, b_{PTa}	koordinata obravnavane točke na notranji strani krivine [m]
q_{Si}, q_{si}	kvazistatični premik vozila na notranji strani krivine [m]
q_{Sa}, q_{sa}	kvazistatični premik vozila na zunanji strani krivine [m]

l	medtirna razdalja [m]
EA_1	medtirna razdalja med osema tirov pri <i>structure verification limit gauge</i> [m]
EA_2	minimalna medtirna razdalja med osema tirov [m]
EA_3	normalna medtirna razdalja med osema tirov [m]
h	nadvišanje (mm)
D, E	nadvišanje [m]
D_1	nadvišanje tira 1 [m]
D_2	nadvišanje tira 2 [m]
$\Delta b_{\delta D}$	pojav razlike v nadvišanjih sosednjih tirov [m]
R	polmer krožnega loka [m]
b_{CR}	polovična širina odnosnice [m]
$[]_{>0}$	pomeni, da je vrednost oklepaja upoštevana le, kadar je ta pozitivna, v nasprotnem primeru pa je enaka nič.
$()_{>0}$	pomeni, da je vrednost oklepaja upoštevana le, kadar je ta pozitivna, v nasprotnem primeru pa je enaka nič.
S_i	preves vozila na notranji strani krivine [m]
S_a	preves vozila na zunanji strani krivine [m]
I	primanjkljaj nadvišanja [m]
$\Delta h_{p/v}$	primanjkljaj oz. presežek nadvišanja (mm)
L	razdalja med tirnicama [m]
$b_{ver,i/a}$	razširitev odnosnice na notranjo/zunanjo stran krivine [m]
$b_{lim,i/a}$	razširitev odnosnice na notranjo/zunanjo stran krivine [m]
$b_{nom,i/a}$	razširitev odnosnice na notranjo/zunanjo stran krivine [m]
$\Delta b_{i/a}$	razširitev profila na notranjo/zunanjo stran krivine [m]
$\alpha_{PTi}, \alpha_{PTa}$	rotacija profila zaradi kvazistatičnega efekta, ki je lahko različna na notranji in zunanji strani [°]
$b_{i/a}$	širina odnosnice na notranji/zunanji strani krivine [m]
k	varnostni faktor [brezdimenzijski]

T_N	vertikalni premik proge med eno in drugo obnovo proge [m]
h	višina opazovane točke [m]
h_p	višina točke P [m]
h_{c0}	višina vrtišča, dogovorjena med proizvajalci železniških vozil in infrastrukturo [m]
V	vozna hitrost (km/h)
$Supl$	vrednost dodatkov, ki jih glede na potrebe proge določi upravljavec [m]
Σ''_1	vsota prečnih premikov [m]
Σ''_2	vsota prečnih premikov [m]
Σ''	vsota prečnih premikov [m]
Σ''_1	vsota prečnih premikov [m]
Σ''_2	vsota prečnih premikov [m]
Σ''	vsota prečnih premikov [m]
$\Sigma'_{1,i/a}$	vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m]
$\Sigma'_{1,i/a}$	vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m]
$\Sigma'_{2,i/a}$	vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m]
$\Sigma'_{2,i/a}$	vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m]
$\Sigma_{3,i/a}$	vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m]
$\Sigma_{3,i/a}$	vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m]
$\Sigma'_{1,i/a}$	vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m]
$\Sigma''_{1,i/a}$	vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m]
$\Sigma'_{2,i/a}$	vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m]
$\Sigma''_{2,i/a}$	vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m]
$\Sigma_{3,i/a}$	vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m]
$\Sigma'_{i,a}$	vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m]
$\Sigma'_{i/a}$	vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m]

Σ'_{EA1}	vsota prečnih premikov za medtirno širino [m]
Σ''_{EA1}	vsota prečnih premikov za medtirno širino [m]
Σ'_{EA2}	vsota prečnih premikov za medtirno širino [m]
Σ''_{EA2}	vsota prečnih premikov za medtirno širino [m]
Σ_{EA3}	vsota prečnih premikov za medtirno širino [m]
$\Sigma_{V1,PT i/a}$	vsota vertikalnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m]
$\Sigma_{V2,PT i/a}$	vsota vertikalnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m]
$\Sigma_{V3,PT i/a}$	vsota vertikalnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m]

“Ta stran je namenoma prazna.”

1 UVOD

Potovanja z vlakom od nekdaj privlačijo. Na vlaku so se zgodili nekateri slavni umori Agathe Christie, Alexey Kondakov je v vagon mestnega vlaka preselil Bouguereaujevo Devico angelov, France Prešeren pa v pesmi svojemu dekletu objublja raziskovanje velikih avstro-ogrskih mest prav po železniških tirih. Nekoč slavni Orient ekspres, ki je na začetku svojega obstoja potnike vozil med Parizom in Carigradom in je skozi desetletja svojo traso nekoliko spreminjal, so na koncu izpodrinila letala in spor naslednikov glede komercialne uporabe imena. Več sreče ima druga slavna, 9.289 km dolga (Süddeutsche Zeitung, 2016) transsibirska železnica, ki Moskvo povezuje z Vladivostokom oz. tromejo med Rusijo, Kitajsko in Severno Korejo. Ta še danes ostaja najpomembnejša transportna tovorna in potniška povezava vzdolž Rusije, hkrati pa pritegne tudi veliko turistov, ki želijo doživeti najveličastnejše potovanje tega sveta.

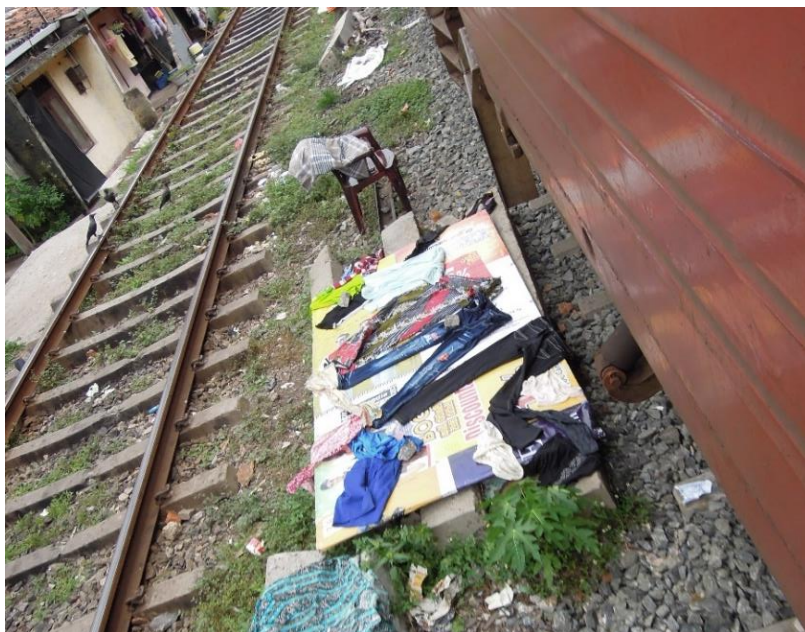
Da ne ostajam samo v preteklosti, ne smem izpustiti hitrih vlakov. Težko je določiti, kateri je bil prvi hitri vlak, saj se je ta mejnik skozi zgodovino z vsakim preseženim rekordom prestavljal nekoliko višje. Če z današnjega zornega kota mejo postavimo na 200 km/h, jo je prvi vlak presegel leta 1938 na progi med Rimom in Neapljem, ki je z doseženo hitrostjo 201 km/h postavil takratni svetovni hitrostni rekord (Deutsches Museum, 2016). Danes je Evropa, z izjemo svojega jugovzhodnega dela (meja poteka med Ljubljano, Brnom in Gdanskom), dobro prepletena s številnimi železniškimi koridorji, kjer vlaki dosegajo hitrosti tudi že preko 300 km/h. Španski hitri vlak AVE, ki za 621 km dolgo potovanje med Madridom in Barcelono potrebuje poltretjo uro, zaradi večjega udobja za potnike že izpodriva letalski promet med mestoma (ZonaForo, 2016).

Za ohranjanje oz. nadaljevanje razvoja hitrega, varnega in učinkovitega železniškega transporta moramo v prvi meri zagotoviti ustrezno infrastrukturo. Potrebujemo železniške proge, ki bodo imele ustrezne tlorisne elemente, da potniki v krivinah ne bomo občutili neprijetnih občutkov, potrebujemo takšne elemente narisa, da bodo vlaki lahko uspešno premagovali klančine in da bodo tudi na spustih lahko varno ustavljali, potrebujemo zanesljive signalno-varnostne naprave in potrebujemo kakovostne in dobro vzdrževane tire, po katerih bodo vlaki vozili. Ker vlak zasede vse tri dimenzije v prostoru, poleg linije, po kateri potuje, potrebuje tudi zadostno širino in višino, ki mu jih zagotovimo z ustrezno izbranimi svetlimi profili proge.

Svetli profil proge je omejena, na tir pravokotna ravnina, ki mora ostati prosta vseh predmetov, saj jo vlaki potrebujejo, da po progi lahko vozijo brez nevarnosti, da bi ob tem trčili v predmete ob progi (Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010; Zgonc, 2012). Tako kot imamo različne vlake, poznamo tudi različne profile. Ti niso neposredno vezani na konkretno vozilo, ampak so tipski, tako da je skozi mogoč promet vseh potniških in tovornih vlakov. Svetli profili se razlikujejo glede na geografsko uporabo in glede na predvideni tovor, ki ga bodo vlaki na določenih progah prevažali. Na progi od npr. pristanišča proti notranjosti države je normalno pričakovati kontejnerski tovorni promet, tako da moramo na taki progi izbrati profil, ki bo zadostil temu robnemu pogoju.

Trenutno veljavni standardi in drugi tehnični normativi, ki se nanašajo na določanje svetlih profilov proge, uporabljajo pristop, da za osnovo vzamejo odnosnico, ki upošteva dogovorjeni obris vozila, in jo v nadaljevanju razširijo zaradi različnih parametrov, ki povzročajo nihanja železniških vozil. Odnosnico in razširitve, ki so določeni v standardu opišem v nadaljevanju. Razširitve odnosnice določa standard, ki predpisuje tudi tri različne metode, po katerih svetli profil lahko izračunamo.

Profil proge mora, kot izhaja iz njegove definicije, ostati prost vseh predmetov. Skrb za vzdrževanje profila prevzema upravljavec proge. Prav je, da tudi okoliško prebivalstvo to spoštuje in da znotraj njega npr. ne suši perila (kot je prikazano na sliki 1), saj upravljavec nima kontinuiranega pregleda nad stanjem železniške proge. Upravljavec mora skrbeti tudi za vegetacijo ob progi in jo v primeru, ko bi se preveč razrasla, ustrezno porezati.



Slika 1: Primer iz tujine, ki predstavlja nepravilno rabo prostora znotraj profila (lasten vir)

V tej diplomski nalogi v začetnem teoretičnem delu predstavljam različne profile proge, pojasnim, iz česa vse so sestavljeni in kako se jih določa. Pri določanju profilov se sklicujem na veljavni slovenski standard SIST EN 15273-3:2013, pri tem pa uporabljam metode, ki jih določa Uredba Evropske komisije o interoperabilnosti železniškega sistema. V nadaljevanju primerjam postopek za določanje svetlega profila in medtirne razdalje, kot jo določata standard SIST EN 15273-3:2013 in kodeks UIC 505-4 OR, v zadnjem delu pa se lotim konkretnega izračuna svetlega profila za progo, ki bi se glede na vhodne podatke lahko nahajala v Sloveniji. S spreminjanjem različnih parametrov proge določam tudi medtirno razdaljo za dvotirno železniško progo.

2 Pojasnilo pojmov in pregled predpisov

2.1 Vozna površina

Vozna površina je premica, ki jo določata gornja robova tirnic (GRT) (UIC 505-4 OR).

2.2 Os tira

Os tira je premica, ki je pravokotna na vozno površino. Določena je tako, da poteka ravno po sredini razdalje med obema tirnicama, kar pomeni, da tir razpolavlja po sredini. Os tira predstavlja tudi simetralo profila (UIC 505-4 OR).

2.3 Normalni koordinatni sistem

Normalni koordinatni sistem ima svoje izhodišče v presečišču vozne površine in osi tira. Vozna površina v normalnem koordinatnem sistemu predstavlja ordinatno os, os tira pa kot abscisno os. To velja tako za preme kot za krivine, kjer je normalni koordinatni sistem zaradi nadvišanja proge nekoliko zasukan (UIC 505-4 OR). Normalni koordinatni sistem je prikazan na sliki 2.



Slika 2: Normalni koordinatni sistem (povzeto po: UIC 505-4 OR)

2.4 Interoperabilnost železniške infrastrukture

Železniški promet ni omejen samo na področje ene države ali pokrajine, ampak med seboj povezuje več držav in celin. Za čim bolj nemoteno in čim hitrejšo povezavo preko meja mora biti tako sistem ene države karseda močno kompatibilen s sistemom sosednje države. Zgonc (2012) pojasnjuje, da so bili osnovni parametri, kot so tirna širina, nakladalni profil in svetli profil

poenoteni že leta 1887, še vedno pa obstajajo razlike v elektrifikaciji in različnih sistemih signalnovarnostnih naprav in vodenja prometa vlakov. Poenotenje železniške infrastrukture imenujemo interoperabilnost. Z interoperabilnostjo železniškega prometa se ukvarja tudi Evropski parlament, ki je sprejel že več direktiv, ki države članice zavezujejo k vzpostavljanju enotnega železniškega območja (EP, 2016).

Del interoperabilnosti železniške infrastrukture je tudi poenotenje svetlih profilov železniških prog. Trenutno veljavni tehnični normativi, ki področje obravnavajo, izhajajo iz odnosnice, ki jo z dodatki zaradi pomikov vozila, skladno s predpisanimi računskimi postopki, razširijo v svetli profil proge. Celoten postopek, skupaj s pojmi, ki se pri tem pojavljajo, je podrobneje predstavljen v nadaljevanju te diplomske naloge. Pri tem se večinoma opiram na veljavni slovenski standard za svetle profile SIST EN 15273-1:2013.

2.5 Tehnični normativi, ki se uporabljajo za projektiranje železniških prog

Skozi zgodovino so se za zagotavljanje varnega in enotnega železniškega sistema pojavljali različni tehnični normativi, ki so jih izdajale strokovne organizacije. Najbolj pogosto so danes uporabljeni kodeksi UIC, Tehnične specifikacije za interoperabilnost in harmonizirani evropski (ter tudi slovenski) standardi.

Predpisi se med seboj močno prepletajo in se navezujejo na predhodno izdan predpis drugih izdajateljcev.

2.5.1 Kodeksi UIC

Mednarodna železniška zveza (UIC) združuje železniške prevoznike družbe, upravljavce železniških sistemov in druga podjetja, ki se v svojem delovanju ukvarjajo z železnicami. Ustanovljena je bila leta 1922 in jo danes sestavlja 195 članov. Njen namen je bil in ostaja poenotenje železniške infrastrukture in vodenja železniškega prometa v mednarodnem prometu. Mednarodna železniška zveza tako izdaja kodekse UIC, ki se navezujejo na različna področja železniškega prometa (<http://www.uic.org/>, 2016).

2.5.2 Tehnične specifikacije za interoperabilnost

Tehnične specifikacije za interoperabilnost (TSI) izdaja Evropska železniška agencija (ERA). Glavni namen agencije ERA je ustvarjanje takšnega železniškega sistema, ki bi za občo družbo deloval bolje. TSI so specifikacije, ki pokrivajo vse železniške podsisteme ali njihove dele, kot so infrastruktura, železniška vozila, energija, signalnovarnostne naprave. Tehnične

specifikacije opisujejo tehnične zahteve, ki zagotavljajo interoperabilnost na evropskem železniškem sistemu tako pri progah za visoke hitrosti kot pri progah za običajne hitrosti (ERA, 2016).

2.5.3 Harmonizirani standardi

Standarde na evropski ravni izdaja Evropski komite za standardizacijo (CEN). Njegova naloga je spodbujanje in promoviranje prostovoljne standardizacije. Ker so skozi zgodovino evropske nacionalne standardizacijske organizacije zaradi lokalnih specifik uporabljale različne pristope k standardizaciji, je pri sprejemanju novih standardov pomemben proces usklajevanja oz. harmonizacije vseh članic CEN. Slovenski član CEN je Slovenski inštitut za standardizacijo (SIST), ki evropske standarde prilagaja lokalnim potrebam in specifikam. Ko je standard sprejet, ga je na področju, ki ga pokriva zavezujoč dokument in ga je potrebno upoštevati (CEN, 2016).

Na področju standardizacije s področja železniške infrastrukture tako zgodovinski proces že preteklega evropskega povezovanja preko kodeksov UIC in kasneje specifikacij TSI nudi dobre pogoje ustvarjanja standardov, ki so sprejemljivi za vse evropske države.

3 Odnosnica

Standarda SIST EN 15273-1:2013 in SIST EN 15273-3:2013 kot osnovo za račun profila železniške proge določata odnosnico, ki jo nadgradita z računskimi pravili, ki jo razširjajo. Odnosnica je na tir pravokotna omejitvena črta, ki jo določajo točke normalnega koordinatnega sistema železniškega profila in predstavlja izhodišče za določanje profilov za infrastrukturo in železniška vozila (SIST EN 15273-1:2013; Zgonc, 2012). Določena je za progo v premi, ki je brez nadvišanj, pri čemer se upošteva vozilo oz. njegovo ovojnico in nekatere pomike vozila.

V literaturi se pojavlja neenotno poimenovanje odnosnic in profilov. Kodeks UIC 505-4 OR večinoma govori o odnosnicah G1, GA, GB, GC, G2 ..., standard SIST EN 15273-3:2013 pa o profilih G1, GA, GB, GC, G2 ... Smiselno je, da sta tako odnosnica kot profil, ki je izračunan na osnovi izbrane odnosnice, zaradi sistematičnosti in boljše preglednosti poimenovana z enako oznako.

Standard predpisuje različne mednarodne in lokalne odnosnice. Izbira odnosnice je odvisna od geografske lokacije in namena uporabe proge (potniški, kontejnerski idr. promet).

Pri računu profila se odnosnica razširi glede na geometrijo proge (radij krivine, nadvišanje), vozno hitrost (primanjkljaj nadvišanja) in nekatere druge dodatke zaradi slučajnih pojavov ali potreb zaradi vzdrževanja proge.

Proizvajalci železniških vozil pri načrtovanju vozil (profil vozila) in upravljavci železniške infrastrukture pri določanju nakladalnega profila prav tako izhajajo iz enakih odnosnic, ki jih s predpisanimi računskimi modeli zožijo. Postopke za določanje profila vozila in nakladalnega profila opisuje standard SIST EN 15273-2:2013.

Odnosnico delimo na zgornji in spodnji del.

3.1 Razdelitev odnosnice na zgornji in spodnji del

Standard odnosnico deli na zgornji in spodnji del. Meja med njima je sicer odvisna od izbrane odnosnice, za večino odnosnic pa je meja med enim in drugim delom določena na višini 400 mm nad GRT. Delitev odnosnice olajša računanje svetlih profilov proge, saj podaja ločen postopek za račun vsakega dela posebej.

3.1.1 Zgornji del odnosnice

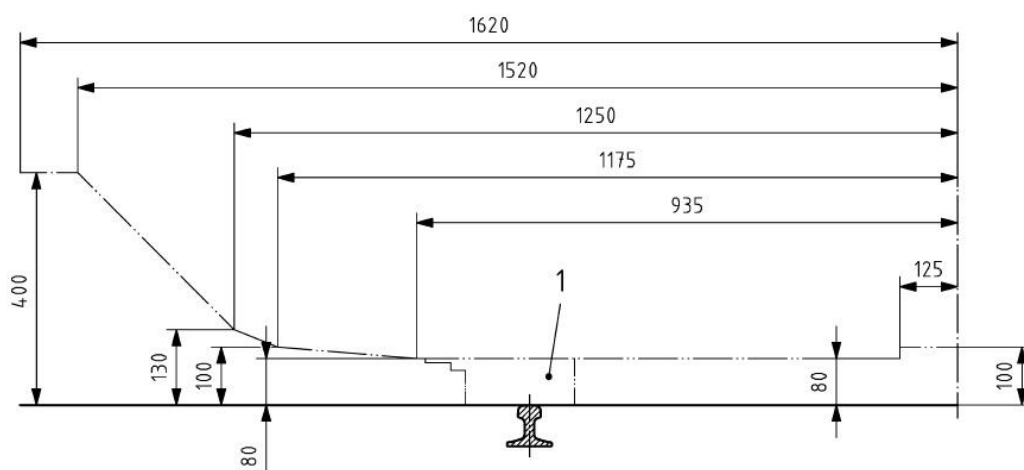
Zgornji del odnosnice glede na standard pri računu profila razširimo z dodatki, ki so posledica premikov vozila. V zgornjem delu moramo zagotoviti ustrezen prostor za neovirano srečevanje železniških vozil. Še posebej moramo biti pozorni pri večtirnih progah, pri progah ob peronih, kjer hitrosti vlakov lahko variirajo v večji meri, saj se ob nekem peronu vlak ustavi, drug vlak pa pelje mimo njega, in pri določanju primernih presekov predorov.

Najpogostejše mednarodne odnosnice, ki se uporabljajo na področju Srednje Evrope, so predstavljene v poglavju 3.2.

3.1.2 Spodnji del odnosnice

V spodnjem delu odnosnice se nahajajo različne naprave, ki skrbijo za vodenje železniškega prometa. To so lahko tirne zavore, ki se nahajajo na ranžirnih postajah, različni števcji in kontrolni elementi, pa tudi nivojska križanja proge in ceste. Spodnji del odnosnice tako ne vpliva na horizontalne odmike naprav in objektov od osi proge, ampak je namenjen varnemu prehodu koles tirnih vozil. Postopek računa spodnjega dela profila proge je ekvivalenten postopku za računanje zgornjega dela. Specifike spodnjega dela standard upošteva tako, da za spodnji del določa posebne odnosnice (npr. G11, G12, G13).

Standard SIST EN 15273-3:2013 določa, da na vseh železniških omrežjih za vse vrste mednarodnih vozil kot spodnji del odnosnice lahko uporabimo odnosnico G12, ki je prikazana na sliki 3.



Slika 3: Odnosnica G12 (SIST EN 15273-3:2013, str. 94)

Z oznako 1 je označen prostor za kolesa.

Prostor za kolesa se ne spreminja, ker so kolesa v konstantnem stiku s tirnicami. Za to področje računanje razširitev tako ni zahtevano, obrabo tirnic pa se lahko upošteva z računom vertikalnih dodatkov, ki je opisan v standardu.

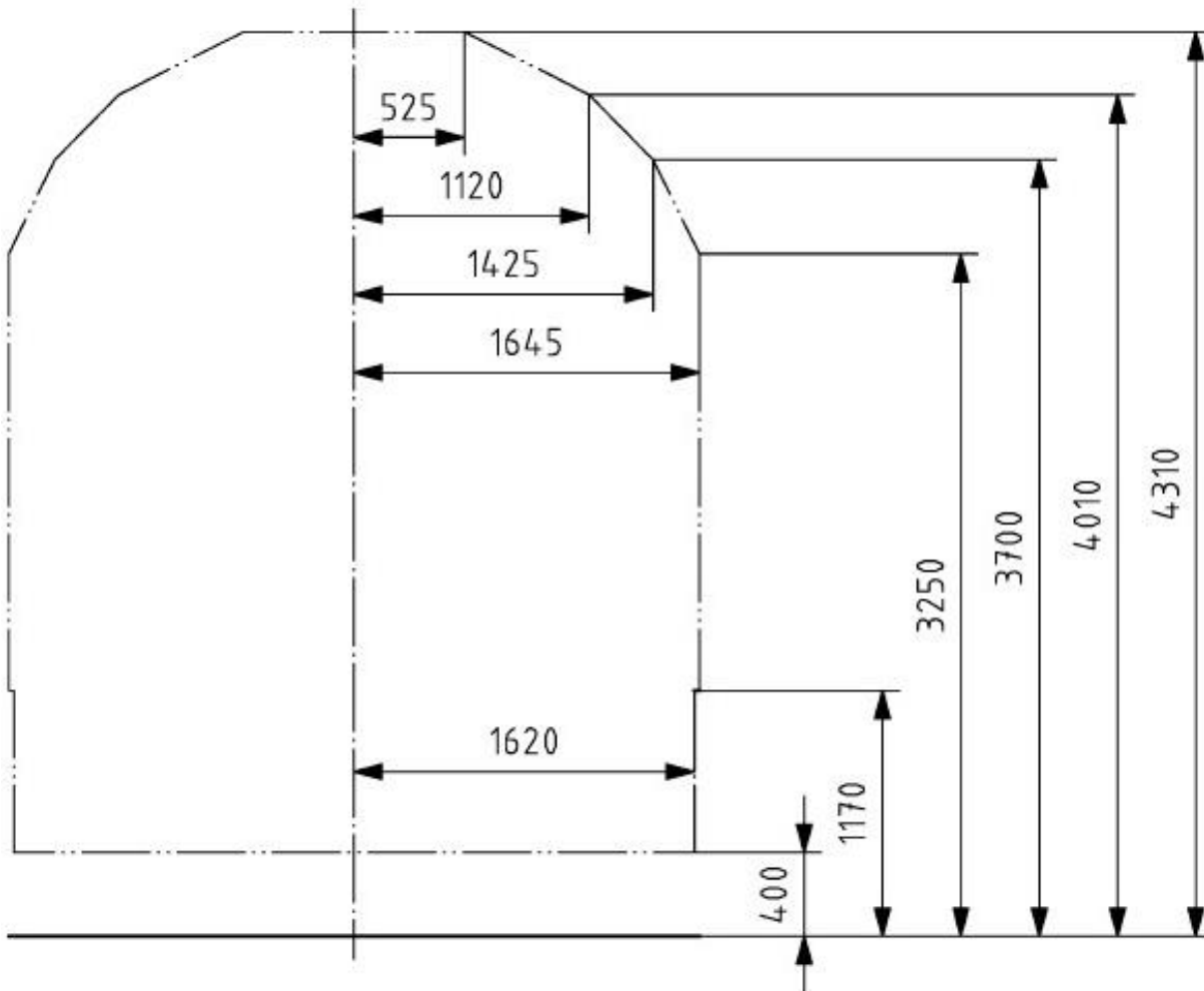
Računanju spodnjega dela svetlega profila proge se v tej diplomski nalogi dodatno ne posvečam.

3.2 Najpomembnejše mednarodne odnosnice

Odnosnice, ki so predstavljene v tem poglavju, se uporabljajo, ko svetli profil proge računamo po kinematični metodi. Za račun svetlega profila po statični metodi so odnosnice po obliki podobne odnosnicam, določenim za račun po kinematični metodi, od katerih se ločijo le v dimenzijah, odnosnice, določene po dinamični metodi, pa so konceptualno zastavljene drugače in jih ne moremo primerjati.

3.2.1 Odnosnica G1

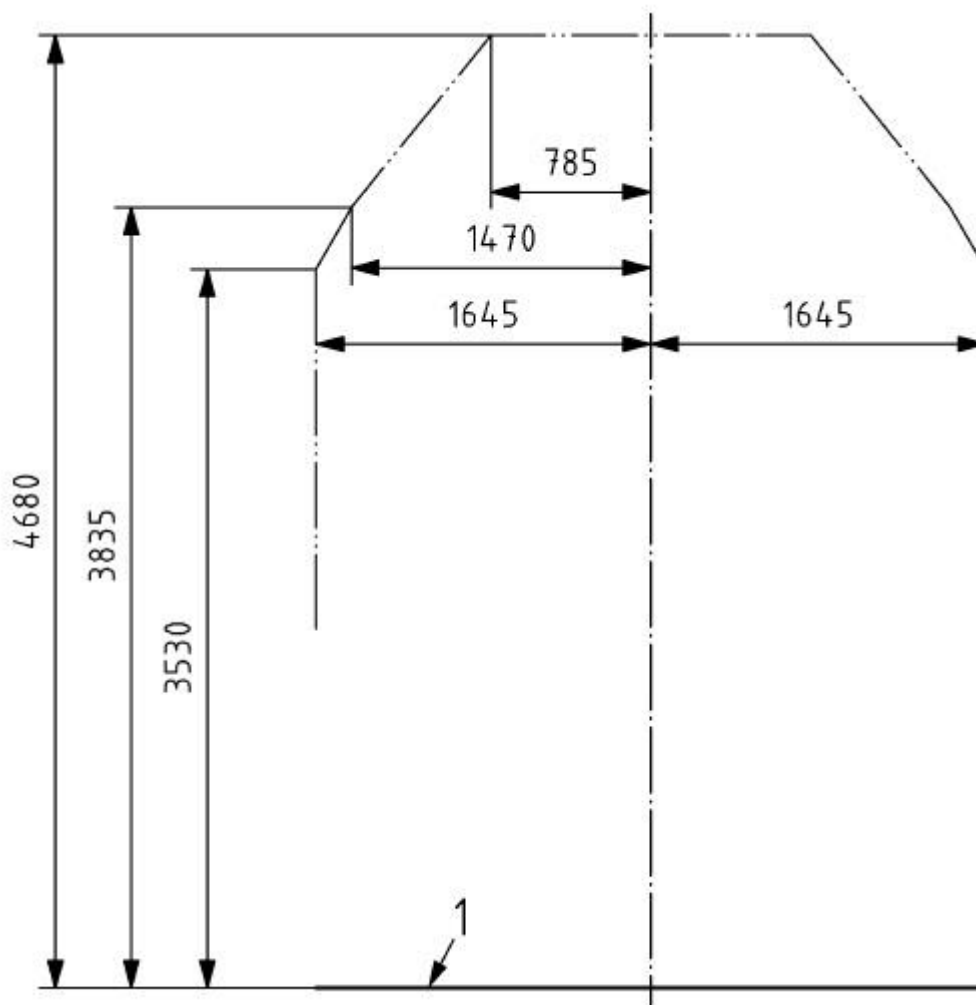
Kodeks UIC 505-4 (2007) določa, da je odnosnica G1 najmanjša odnosnica, ki mora biti upoštevana na celotnem evropskem železniškem sistemu z izjemo Velike Britanije. Njeno obliko in dimenzije prikazujem na sliki 4.



Slika 4: Odnosnica G1 (SIST EN 15273-3:2013, str. 90)

3.2.2 Odnosnica G2

Odnosnica G2 se od odnosnice G1 razlikuje samo v zgornjem delu, kjer je nekoliko višja in drugače oblikovana. Velja za železniška omrežja, kjer je za njeno upoštevanje sprejet ustrezeni dogovor. Večinoma je sprejeta za železniške sisteme na področju Srednje Evrope – Slovenije, Avstrije, Nemčije, Švice ... Oblika in dimenzije odnosnice G2 so prikazane na sliki 5.

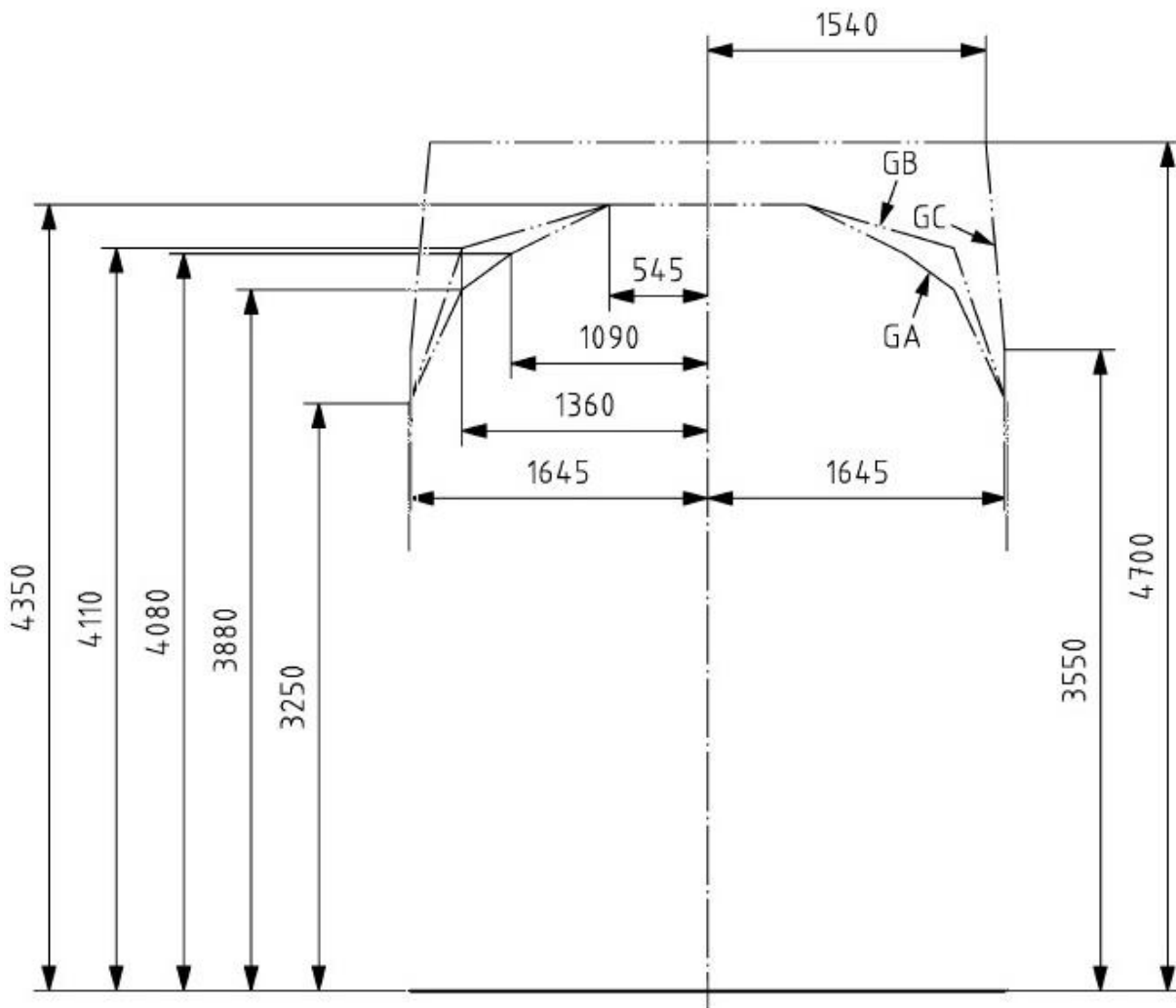


Slika 5: Odnosnica G2 (SIST EN 15273-3:2013, str. 105)

Z oznako 1 je označen GRT.

3.2.3 Odnosnice GA, GB in GC

Spodnji del odnosnic GA, GB in GC je enak kot pri spodnjem delu odnosnice G1, iz katere tudi izhajajo. Razlika med njimi in med njimi in odnosnico G1 je ponovno v zgornjem delu, kjer so od G1 višje (GA in GB imata enako višino, GC je od njiju višja) in drugače oblikovane. Določene so zaradi kontejnerskega transporta na evropskem železniškem omrežju. Razlike med njimi so predstavljene na sliki 6.



Slika 6: Odnosnice GA, GB in CG (SIST EN 15273-3:2013, str. 91 in 93)

4 Profili

Matthews (2003) ugotavlja, da je profil proge bistveni element prečnega preseka proge. Gre za območje, v katerega ne smejo posegati nobeni zunanji fiksni objekti. Izračunan mora biti tako, da vozilo vključno s svojim tovorom, ob vseh možnih pomikih in napakah v tiru, lahko varno vozi brez nevarnosti trka v objekte in naprave ob progi.

Rob oz. meja profila je odvisen od vrste profila, torej profila G1, GA, GB, GC, G2 ...

Standard SIST EN 15273-1:2013 kot osnovne elemente, ki določajo profil, našteva:

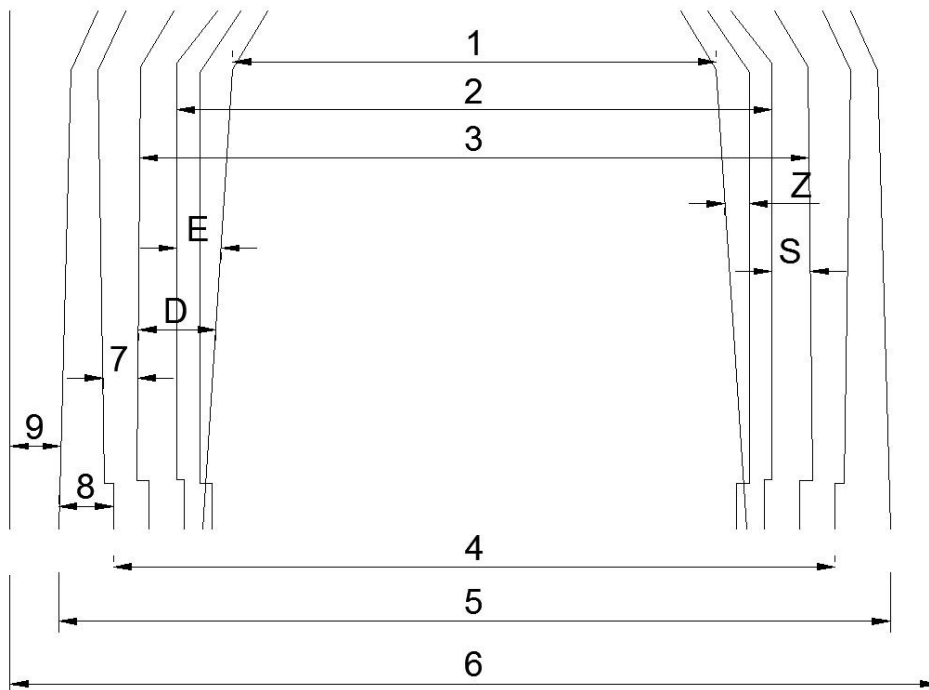
- a) izbrano odnosnico;
- b) referenčno vozilo;
- c) razdelitev odgovornosti med železniško infrastrukturo in proizvajalce železniških vozil;
- d) pravila za računanje profila za infrastrukturo in železniška vozila;
- e) dovoljene prevese vozila v krivini izven izbrane odnosnice.

Standard SIST EN 15273-1:2013 opisuje skupna pravila, ki se jih morajo držati tako proizvajalci železniških vozil kot infrastruktura. Profili se tako na eni strani nanašajo na vozila, na drugi strani pa na infrastrukturo proge, kar podrobneje opisujem v poglavju 4.1. Standard predvideva tri različne računske pristope k določanju svetlega profila, ki jih predstavljam v poglavju 4.2. Tako standard kot tudi Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog (2010) dopuščata, da se svetli profil proge določa bolj ali manj konzervativno oz. progresivno, pri čemer se upoštevajo različni parametri. Svetle profile, ki jih določa Pravilnik o zgornjem ustroju železnih prog, povzemam v poglavju 4.1.3, svetle profile, ki pa jih določa standard za račun po kinematični metodi, pa skupaj z računskimi pravili predstavljam v poglavju 5.5.

4.1 Vrste profilov

Profile ločimo na profile, ki se nanašajo na železniška vozila, in na profile, ki se nanašajo na infrastrukturo proge. Prvi določajo dopustne skrajne dimenzije naloženega vozila, drugi pa določajo prostor ob progi, v katerega ne sme posegati noben začasen ali stalen predmet.

Medsebojni odnosi med profilom vozila, odnosnico in dodatki, ki jih odnosnici dodajamo, da dobimo svetli profil proge, so prikazani na sliki 7.



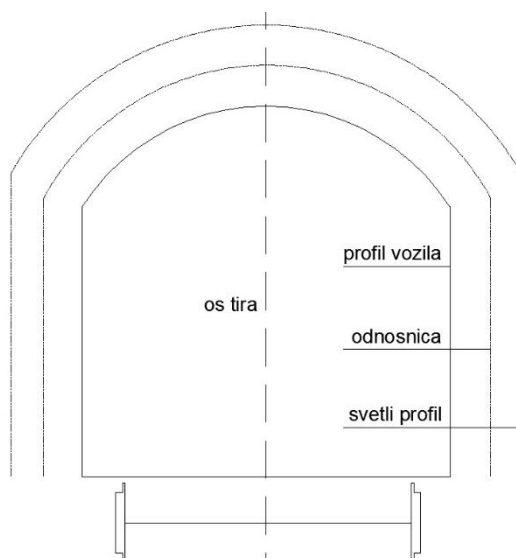
Slika 7: Primerjava odnosnice in profila (povzeto po: Čertalič, 2011; UIC 505-4 OR)

Kjer je:

- 1 profil vozila;
 - 2 odnosnica;
 - 3 razširjena odnosnica;
 - 4 odnosnica vlakovnega niza;
 - 5 omejitev svetlega profila;
 - 6 obtirni prostor, ki je namenjen inštalacijam;
 - 7 prostor za kvazistatični pomik, ki se pojavi zaradi nadvišanja nad 0,05 m;
 - 8 varnostni dodatek;
 - 9 dodatni varnostni dodatek, ki ga upravljavec infrastrukture za vsako progo posebej določi zaradi specifičnih zahtev (vetrovi, višja progovna hitrost ...);
- Z kvazistatični pomik, ki je sestavljen iz:
- presežka oz. primanjkljaja nadvišanja do 0,05 m,
 - asimetrije, ki presega 1°,
 - primanjkljaja med 0,05 m in 0,2 m ter $s > 0,4$; $h_c < 0,5$ m;
- E $E = (E_i, E_a)$;
- S razširitev odnosnice;
- D bočni pomik.

4.1.1 Profil vozila

Profil vozila je oris referenčnega vozila, preko katerega ne sme segati noben del vozila. Profil vozila je določen za mirujoče vozilo na progi v premi (Stehlik in Petrović, 1951). Profil vozila je za infrastrukturo neločljivo povezan z nakladalnim profilom. Za lažjo predstavo profil vozila primerjam z odnosnico in svetlim profilom na sliki 8.



Slika 8: Primerjava vozila, odnosnice in profila proge (povzeto po: Čertalič, 2011)

4.1.2 Nakladalni profil

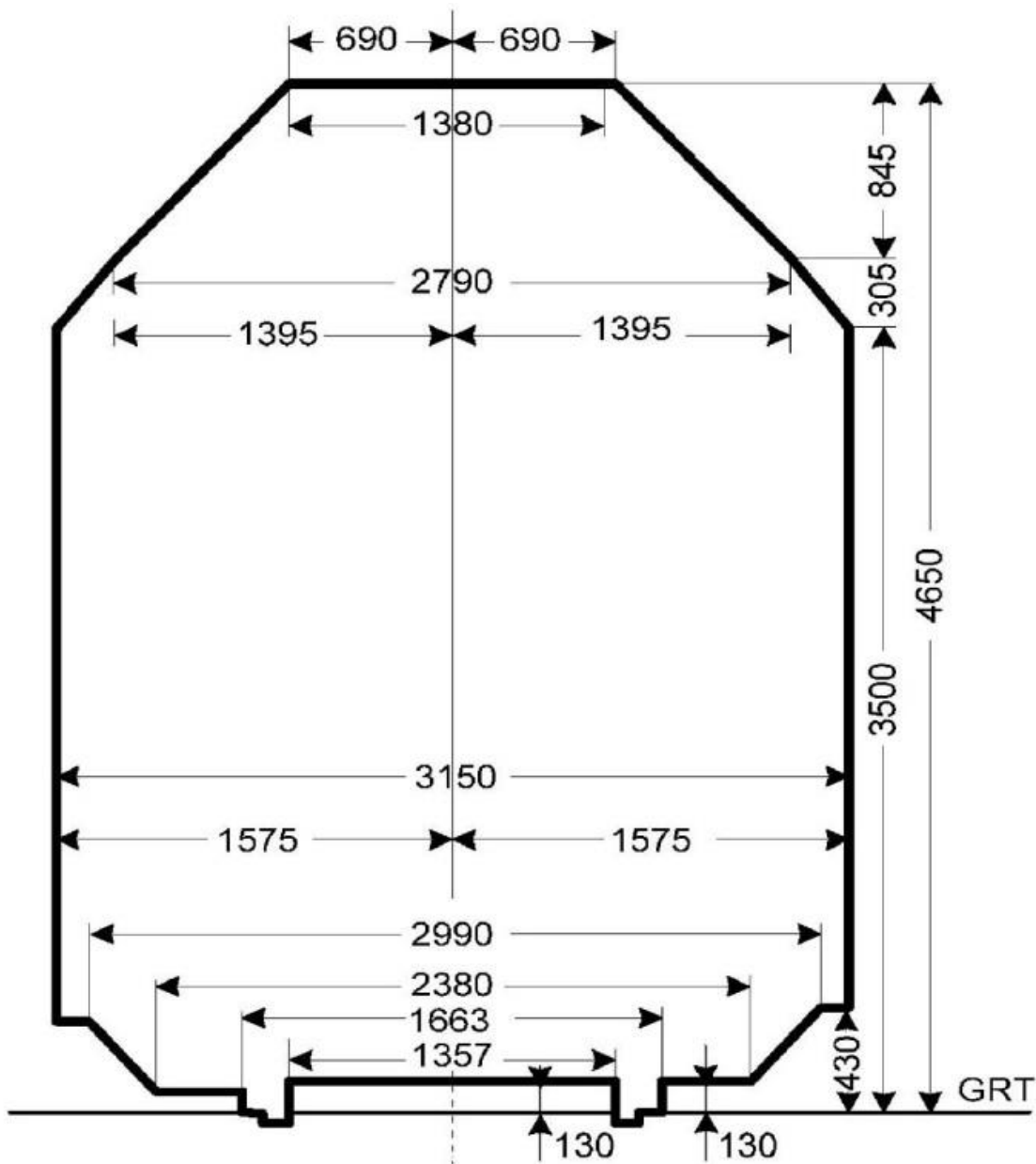
Nakladalni profil je omejena, na tir pravokotna ravnina, ki je tirno vozilo skupaj z vsem svojim tovorom, z nobenim svojim delom ne sme preseči.

Stehlik in Petrović (1951) pojasnjujeta, da je bil za nemoten prehod železniškega prometa med državami nakladalni profil določen že leta 1913 na srečanju v Bernu. Nakladalni profil so takrat potrdili vsi evropski železniški operaterji (razen Velike Britanije, saj je bilo njihovo omrežje takrat še ločeno od celinske Evrope), ki so uporabljali tirno širino 1435 mm. Nakladalni profil je tako v literaturi omenjan tudi kot bernski profil oz. izvorno Gabarit passe-partout international (PPI).

V primeru, ko del vozila ali njegovega tovora presega nakladalni profil, gre za izredni dogodek, ki ga mora glede na razpoložljiv svetli profil konkretne proge odobriti upravljavec infrastrukture, ki takemu vozilu predpiše tudi posebne omejitve, npr. glede dovoljene hitrosti. Tak dogodek imenujemo izredni prevoz.

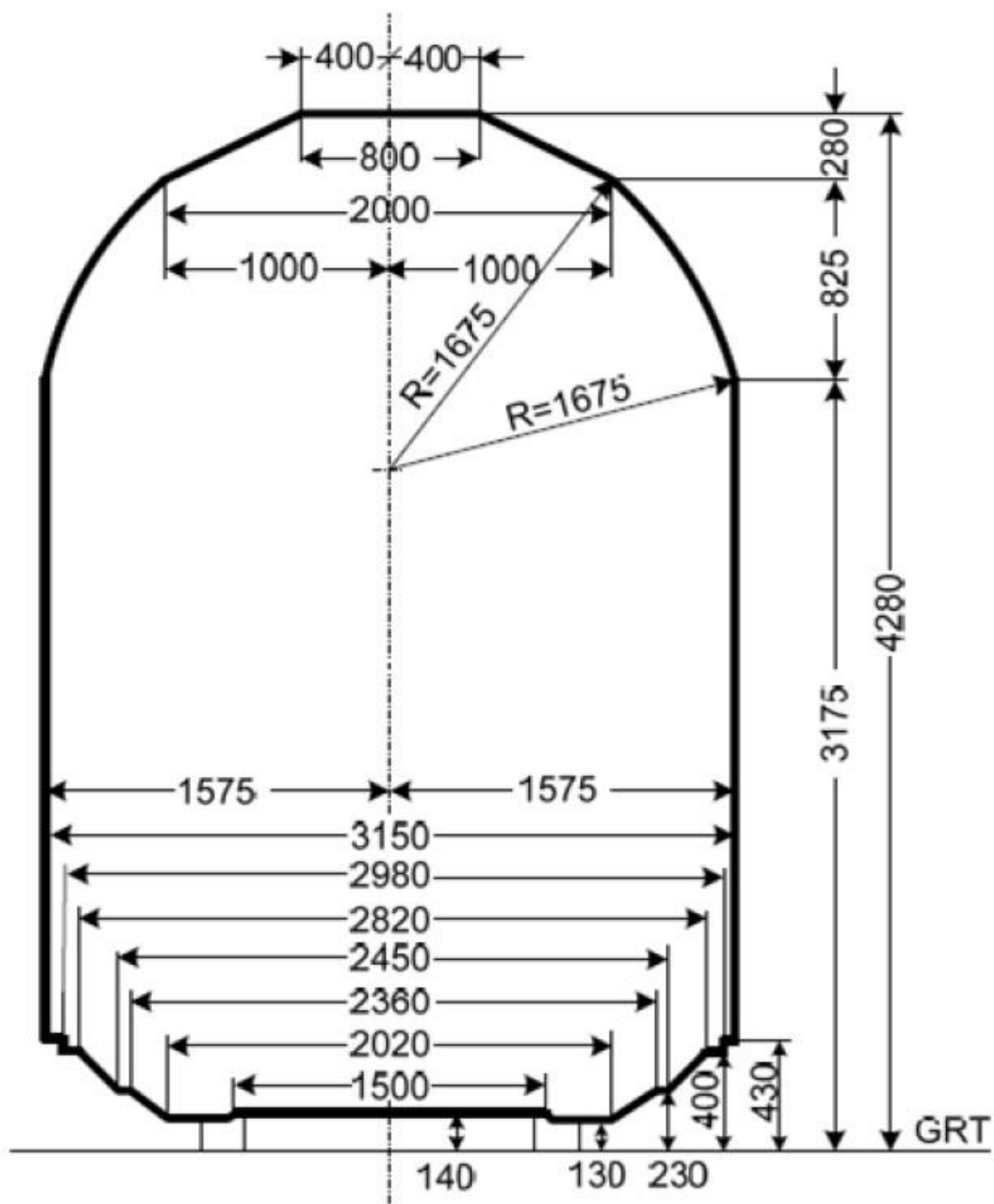
Slovenske železnice infrastruktura kot upravljavec slovenskega železniškega sistema v Programu omrežja 2016 v prilogi 3D navajajo, da so na slovenskem železniškem omrežju zagotovljeni naslednji nakladalni profili: nakladalni profil SŽ I, mednarodni nakladalni profil in nakladalni profil za kombinirani transport GA, GB, GC.

Vsi omenjeni nakladalni profili so prikazani na slikah 9, 10 in 11.

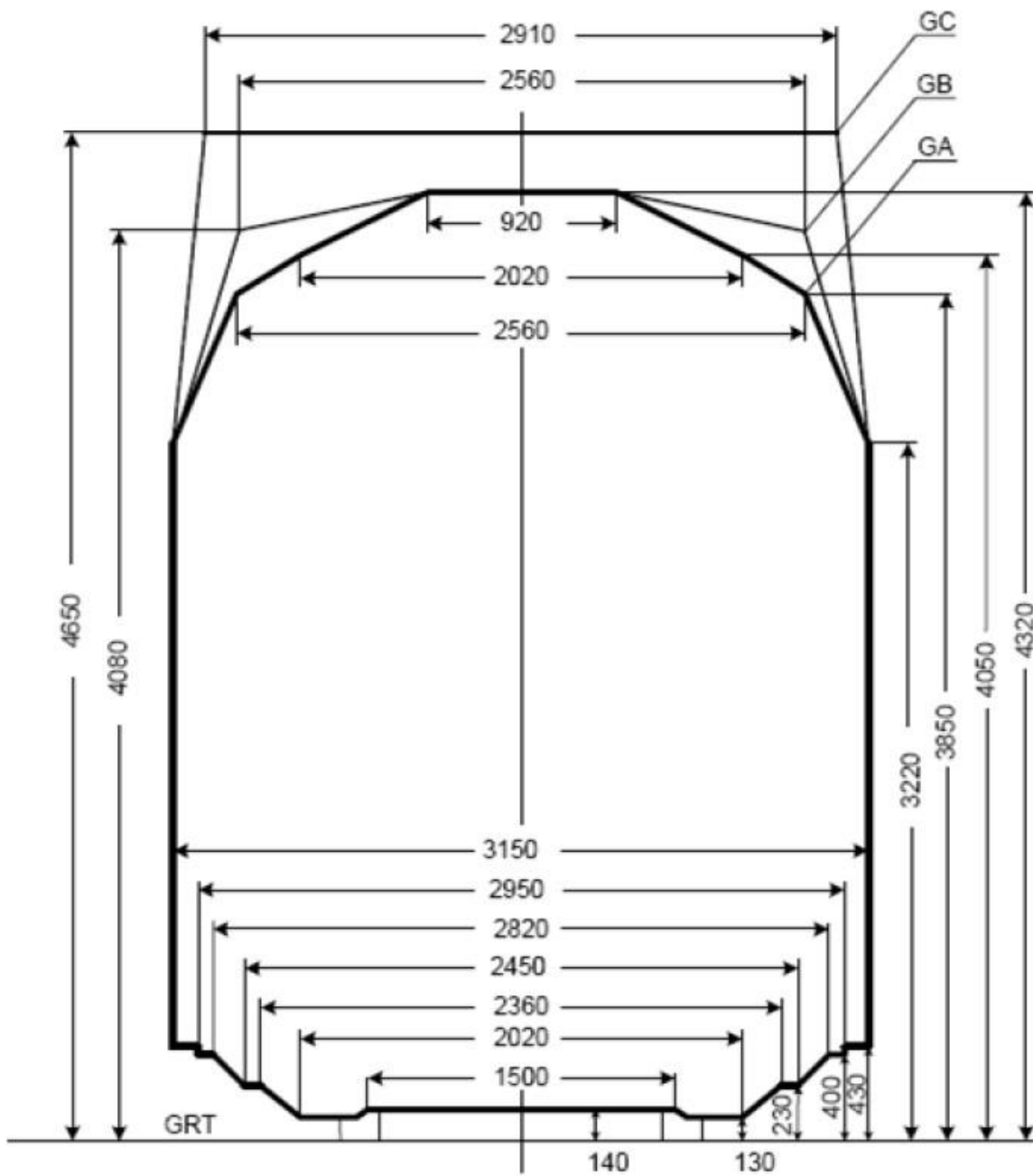


Slika 9: Nakladalni profil SŽ I (Program omrežja 2016. Priloga 3D, str: 5)

Leva polovica slike predstavlja nakladalni profil SŽ I za lokomotive in motorne garniture, desna polovica slike pa nakladalni profil SŽ I za vagoni in vagonске naklade.



Slika 10: Mednarodni nakladalni profil (Program omrežja 2016. Priloga 3D, str: 6)



Slika 11: Nakladalni profil za kombinirani transport GA, GB in GC (Program omrežja 2016.
 Priloga 3D, str. 7)

4.1.3 Svetli profil

Svetli profil proge je omejena, na tir proge pravokotna ravnina v normalnem koordinatnem sistemu, v katero ne sme segati noben del tira, fiksnih ali začasnih objektov ali kakršnih koli drugih predmetov (Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010). Gre za profil, ki je potreben za varen prehod tirnih vozil. Stehlik in Petrović (1951) navajata, da mora biti svetli profil večji od nakladalnega profila zaradi:

- a) nepravilnosti na tirih;
- b) nepravilnosti na vozilih;
- c) prevesa vozila v krivini;
- d) preprečitve nesreč zaradi nagibanj potnikov iz vozila ali odprtih vrat vagonov.



Slika 12: Nagibanje potnikov iz vozila med vožnjo (lasten vir)

Če sta Stehlik in Petrović pri določanju svetlega profila proge pred več kot pol stoletja projektante še opozarjala na možnost nagibanja potnikov iz vozila, danes v Sloveniji to ni več možno, saj imajo novi Siemens vagoni nameščena fiksna okna, njihova vrata pa morajo biti med vožnjo zaprta. V državah s slabše razvito infrastrukturo je pojav še prisoten in je prikazan na sliki 12.

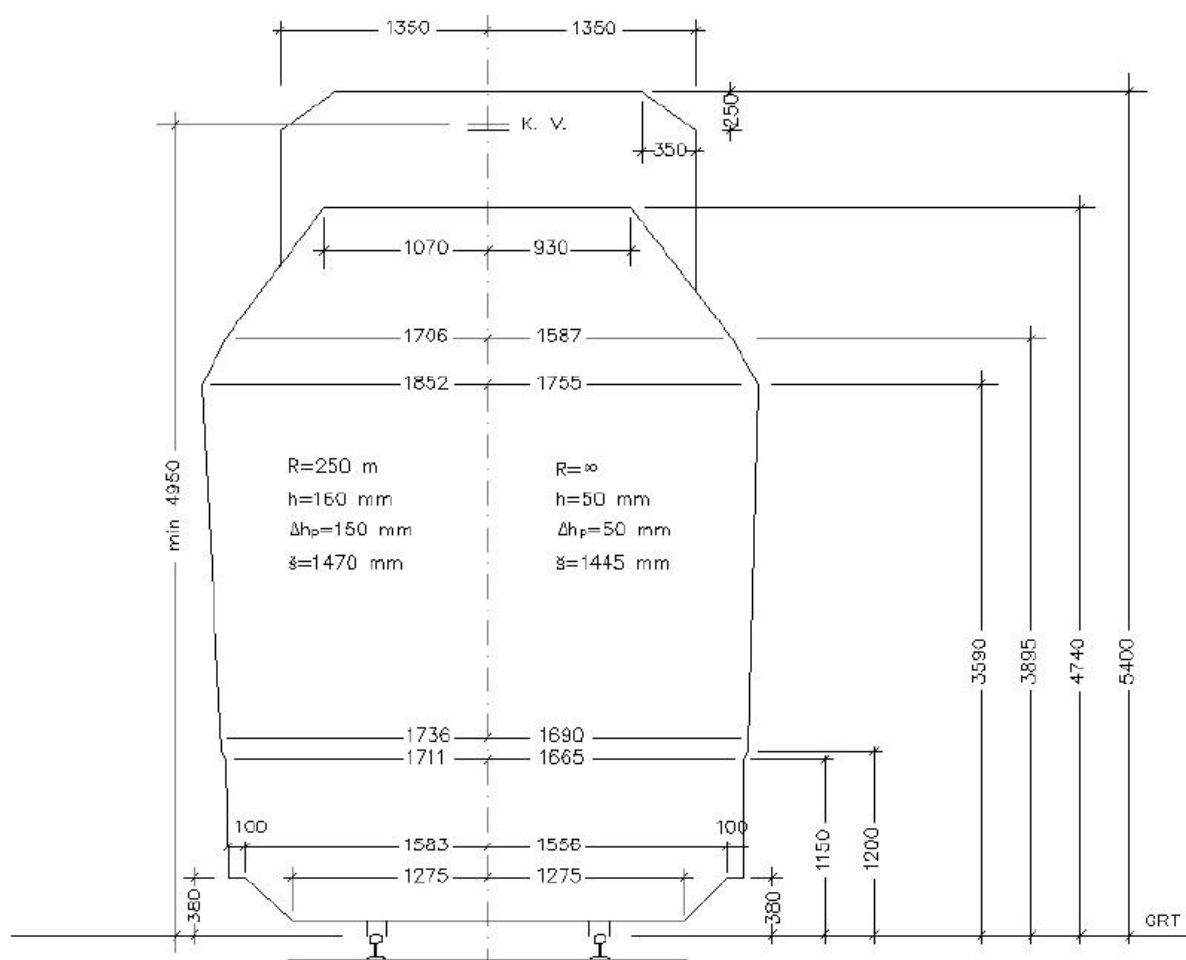
Svetli profil proge določi upravljavec infrastrukture, pri čemer mora upoštevati določila standarda in mednarodne ali bilateralne predpise. Račun svetlega profila temelji na izbrani odnosnici in računski metodi. Po kinematični metodi se ga izračuna tako, da se k meram izbrane odnosnice prišteje dodatke zaradi razširitev, ki jih določa standard.

Enačbe za določanje svetlega profila železniške proge so odvisne od višine opazovane točke. Pri izbiri višine opazovane točke je smiselno upoštevati obstoječe fiksne objekte ob progi. Na ta način lahko prihranimo prostor ob peronih, se izognemo rušenju zidov ali pa prestavljanju drogov v krivinah.

Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog (2010) loči tri vrste svetlih profilov, in sicer minimalni svetli profil, normalni svetli profil in svetli profil GC.

4.1.3.1 Minimalni svetli profil

Svetli profil mora biti zagotovljen v vsaki stacionažni točki proge. Ker bi bilo preračunavanje odnosnic v profil za vsako točko preobsežno, je sprejet dogovor, da se izračuna minimalni svetli profil, ki predstavlja najmanjši možni svetli profil proge. Minimalni svetli profil mora biti tako zagotovljen v vsaki stacionažni točki. Temelji na odnosnici G2, preračunani po kinematični metodi. Določen je za progo v premi in za progo, pri kateri je radij večji ali enak 250 m. Njegova oblika in dimenzije so prikazani na sliki 13.

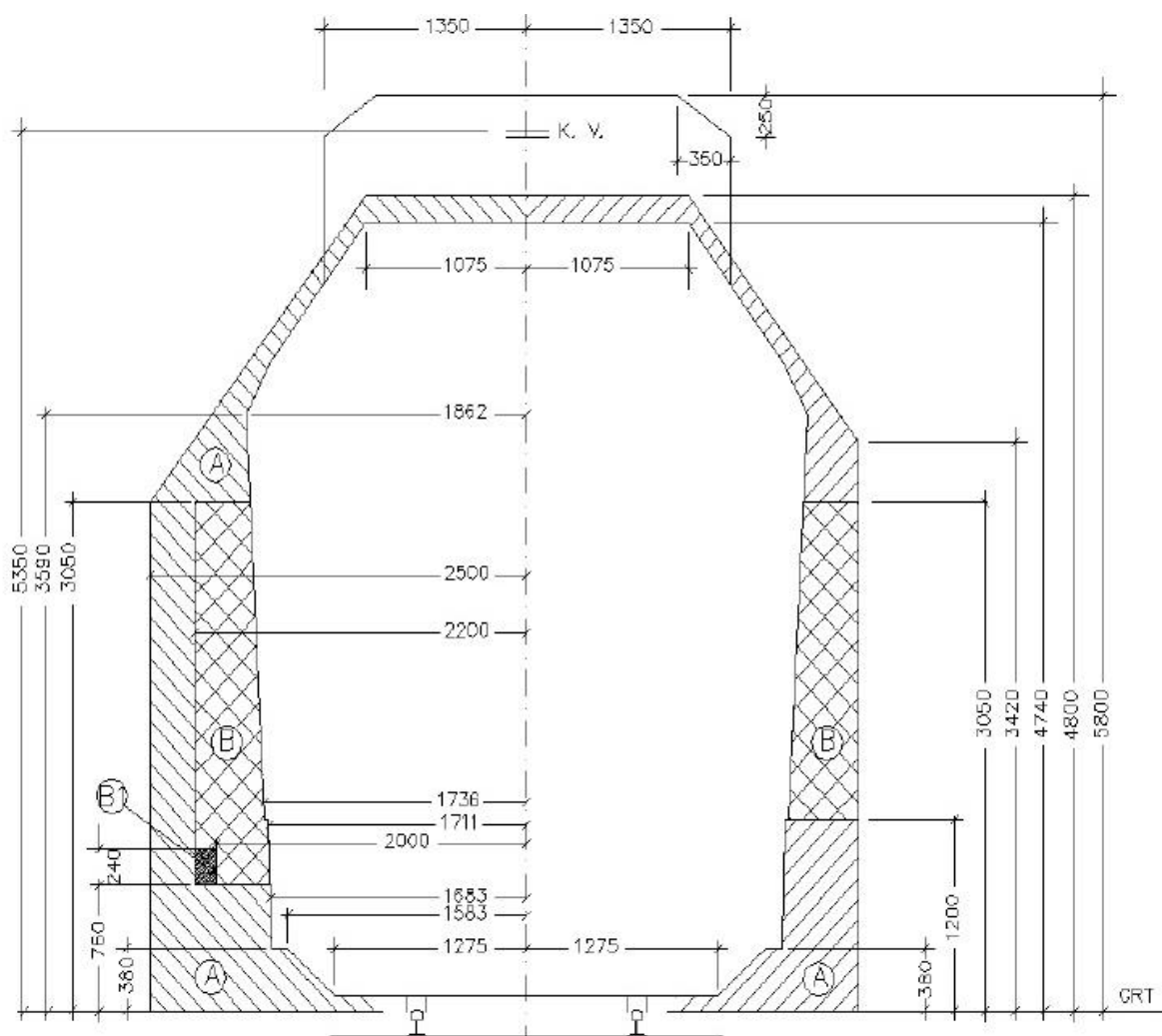


Slika 13: Minimalni svetli profil za $R > 250$ m (Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010, priloga 5)

Leva polovica slike prikazuje izračunani minimalni svetli profil proge za najmanj ugodne pogoje proge ($R = 250$ m, $h_{max} = 160$ mm, $\Delta h_p = 150$ mm, $\check{s} = 1470$ mm), levi pa za progo v premi.

4.1.3.2 Normalni svetli profil

Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog (2010) določa, da je potrebno normalni svetli profil upoštevati pri vzdrževanju, nadgradnjah in obnovah obstoječih prog. Določen je iz minimalnega profila, ki je potreben za varen prevoz tirnih vozil in dodatnega prostora, ki je namenjen izvajanju železniškega prometa in začasnim ali stalnim objektom, ki so potrebni ob gradbenih delih ob progi. Tudi normalni svetli profil, prav tako kot minimalni svetli profil, temelji na odnosnici G2 in pripadajočih računskih metodah za kinematične profile. Prikazan je na sliki 14.



Slika 14: Normalni svetli profil za $R > 250$ m (Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010, priloga 4)

Levi del slike velja za odprto progo, glavne prevozne tire in potniške tire, desni del pa za druge tire.

Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog (2010) določa tudi območja A, B in B1 normalnega svetlega profila proge, ki so opisani spodaj.

V območje, označeno z A, smejo segati objekti in naprave, ki so potrebni za izvajanje prometa (stebri vozne mreže, ranžirne postaje, nakladalne klančine in peroni) in druge naprave ter predmeti ob gradbenih delih na progi, pri čemer morajo biti zagotovljeni primerni varnostni ukrepi.

V območje, označeno z B, smejo segati naprave, začasni objekti ob gradbenih delih na železniški progi in deponirani material, pri čemer morajo biti zagotovljeni primerni varnostni ukrepi.

V območje, označeno z B1, lahko segajo ojačitve signalov v prostoru medtirja.

Območji, označeni z A in B, se ne upoštevata pri nakladalnih in razkladalnih žerjavih, nakladalnih profilih, ki so namenjeni kontroli, ob silosih, pri vratih depojev lokomotiv in delavnic, ki so namenjena tirnim vozilom, ter pri tirih na prenosnicah in okretnicah.

4.1.3.3 Svetli profil GA, GB in GC

Standardizirani svetli profili GA, GB in GC temeljijo na odnosnicah GA, GB in GC in pripadajočih kinematičnih računskih metodah. Vsi profili so večji od profila G1, ki je predpisan kot minimalni profil za proge v Evropi. Vsi trije profili so podrejeni tovornemu prometu, ki s pomočjo oprtnih vozil prevažata avtomobile, naložene v dveh nivojih ali pa standardizirane ISO in *high cube* kontejnerje.

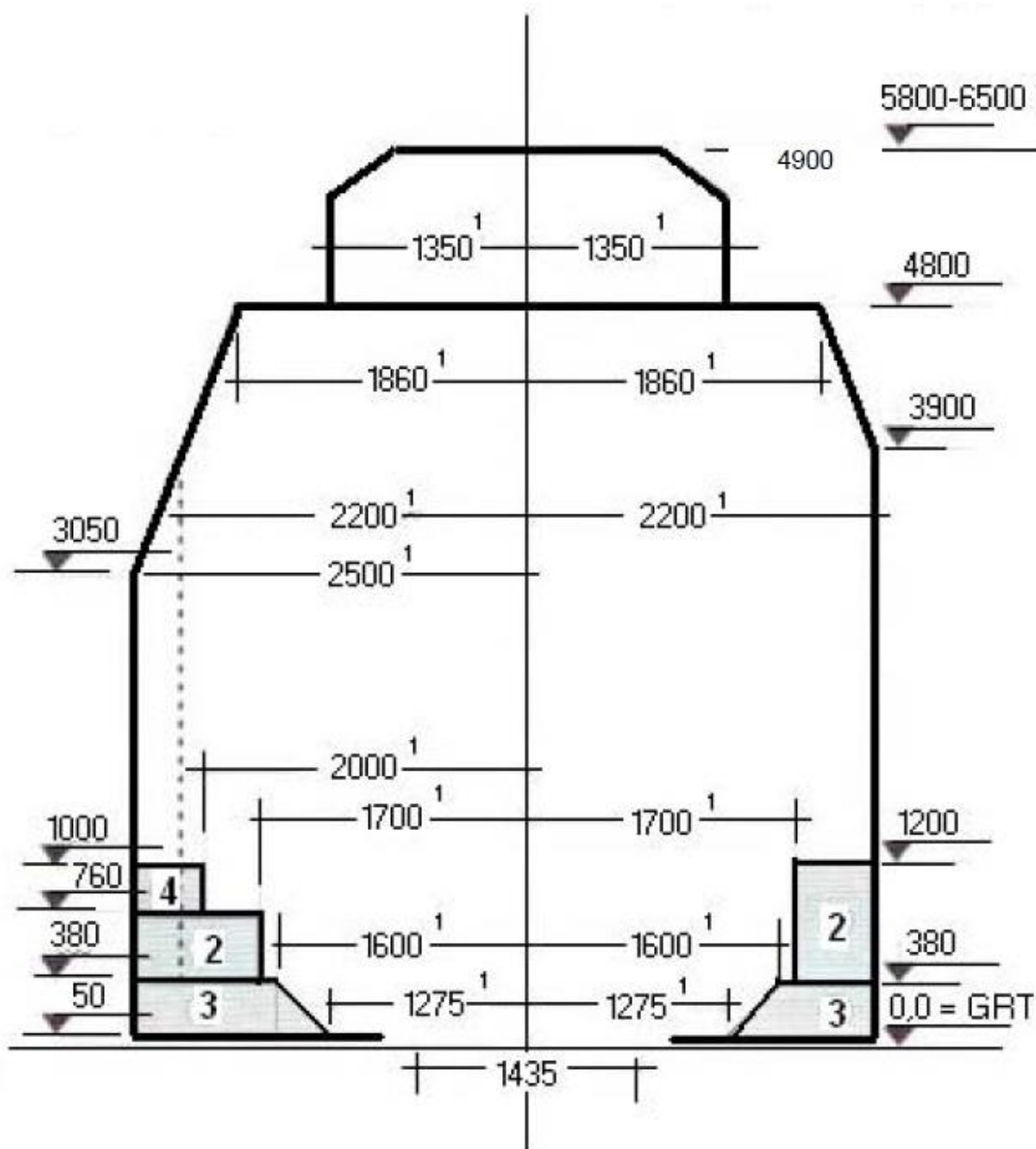
Širina profilov GA, GB in GC je pri vseh treh enaka. Vsi profili poleg prostora, potrebnega za varen prehod tirnih vozil, upoštevajo še potrebni prostor za signalne naprave, nakladalne klančine, perone in ranžirno opremo in začasne ali stalne objekte pri vzdrževanju proge.

Odnosnici za profile GA in GB sta enako visoki, le v povsem zgornjem delu nekoliko drugače oblikovani. Profila GA in GB sta za razliko od profila GC varčnejša s prostorom, kar je pomembno predvsem na območjih, kjer bo na trasi proge potrebna gradnja predora. Zaradi varnega transporta *high cube* kontejnerjev standard SIST EN 15273-3:2013 zanj predvideva nekoliko drugačno izpeljavo enačb za preves v krivini in kvazistatični pomik vozila. Enačbe za preves vozila v krivini in kvazistatični premik vozila se tudi znotraj izbranega profila GA ali GB preračunavajo različno, odvisno od izbrane višine opazovane točke.

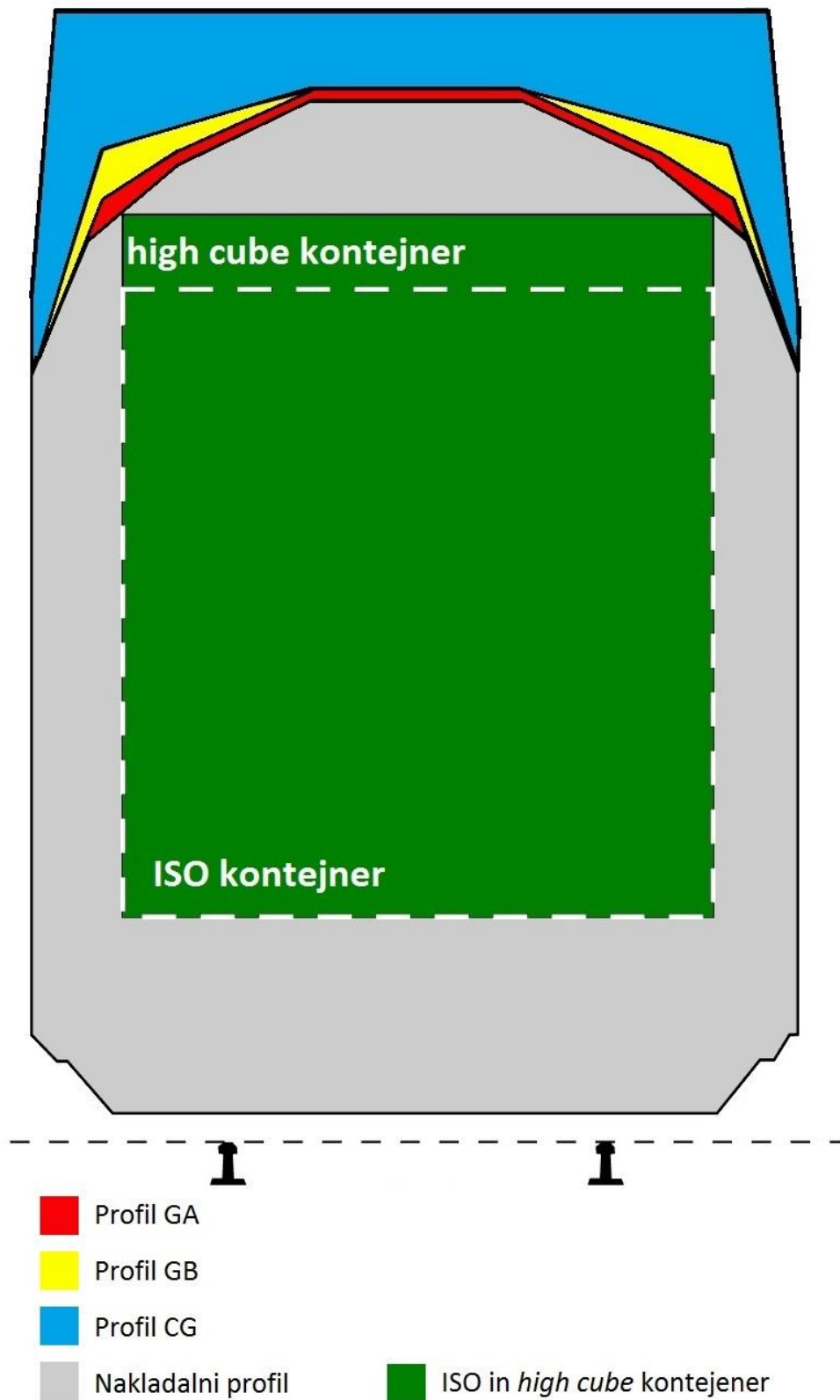
Svetli profil GC je od profilov GA in GB višji, saj vključuje tudi rezervo za dvig nivelete proge ob njenem vzdrževanju za do 100 mm.

V Sloveniji Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog (2010) za novogradnje in večje nadgradnje obstoječih prog predpisuje uporabo profila GC. Glede na geografski teren v Sloveniji pride do izraza večja višina profila v primerjavi s profiloma GA in GB predvsem pri predorih in železniških podvozih. Uporaba predpisanega profila GC se za novogradnje zdi smiselna. Res je, da to pomeni večje investicijske stroške ob gradnji predora, vendar je proga, na kateri je tak profil zagotovljen, primerna za prevoz tudi večjih izrednih pošiljk in morebitne spremembe mednarodno določenih nakladalnih profilov. Večja težava se pojavlja pri nadgradnjah prog. Obstoječi predori imajo namreč manjši prečni prerez in zagotavljanje prereza GC predstavlja večji problem pri izvedbi del. Menim, da bi bilo zaradi tega za nadgradnje smiselno dovoliti tudi uporabo profila GA ali profila GB.

Na sliki 15 je prikazan svetli profil GC, na sliki 16 pa so predstavljene razlike med profili GA, GB in GC v primerjavi z nakladalnim profilom ter ISO in *high cube* kontejnerjem. Slika 17 prikazuje dejansko relacijo med vozilom in predorom. Nekomu, ki na železnice gleda zgolj kot na enega izmed načinov potovanja, tak pogled včasih vzpodbudi razmišljanje o odnosih med vlaki in objekti.



Slika 15: Svetli profil za novogradnje GC (Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010, priloga 6)



Slika 16: Primerjava profilov GA, GB in GC (povzeto po: Wikimedia, 2016)



Slika 17: Laik svetli profil železniške proge najlažje opazi pri železniških predorih (lasten vir)

4.2 Metode računa profila

Pri računu profilov so določene tri različne metode izračuna, in sicer statična metoda, kinematična metoda in dinamična metoda.

4.2.1 Statična metoda

Statična metoda je določena na osnovi izbrane odnosnice in statičnih računskih pravil za njeno razširitev (SIST EN 15273-1:2013). »Določena je v najmanj ugodni legi vozila v mirujočem stanju v premi ali krivini. Nanj vplivajo bočni pomiki zaradi obrabe koles, bočni pomiki zaradi podstavnih vozičkov in pomik prevesa v krivini« (Čertalič, 2011). Pri računu statičnega profila uporabimo fiksne dodatke k osnovni odnosnici, znotraj katerih se morajo nahajati dinamični pomiki vozila. Uporaba metode je omejena samo na določene vrste vozil.

4.2.2 Kinematična metoda

Uredba Evropske komisije o tehničnih specifikacijah za interoperabilnost v zvezi s podsistemom infrastruktura železniškega sistema v Evropski uniji (2014), kot splošno veljaven in v celoti zavezujoč dokument, določa, da je potrebno svetli profil proge izračunati s pomočjo kinematične metode.

Profil po kinematični metodi izračunamo s pomočjo izbrane odnosnice in pripadajočih kinematičnih računskih pravil za njene razširitve. Pri kinematičnem profilu se za infrastrukturo upoštevajo dinamični pomiki vozila, ki morajo biti znotraj predpisanega okvira.

4.2.3 Dinamična metoda

Dinamična metoda temelji na izbrani odnosnici in pripadajočih računskih pravilih za dinamične profile. Je najnatančnejša metoda za določanje profila proge. Določa se ga lahko tudi s pomočjo računalniških simulacij in tako vključuje vse realne pomike vozila (Simpack, 2016). Pri uporabi dinamične metode pomikov vozila ne kompenziramo s prilagajanjem infrastrukture, ampak z železniškimi vozili. Kakovost proge mora ustrezati dogovorjenim normativom.

5 Postopek računanja profilov po kinematični metodi

Za zagotavljanje lažjega branja tega poglavja poudarjam, da je povzeto po standardih SIST EN 15273-1:2013 in SIST EN 15273-3:2013, iz katerih sledijo tudi vse predstavljene enačbe, preglednice in slike, razen kadar je označeno drugače.

Izpeljave računskih dodatkov so odvisne od izbrane odnosnice. V poglavju povzete enačbe veljajo za odnosnico G1 in so izračune po kinematični metodi.

Poglavje je strukturirano tako, da najprej predstavi način izbire odnosnice. Sledi opis in razlaga razširitev, ki se pri računu profila lahko uporabijo. Na koncu so predstavljeni trije različni svetli profili, ki jih standard na osnovi predstavljenih razširitev določa.

5.1 Izbira odnosnice

Standard izbiro odnosnice, na osnovi katere bo izračunan svetli profil proge, prepušča upravljavcu infrastrukture, pri čemer naj upravljavec pri izbiri upošteva:

- veljavne predpise za interoperabilnost železniškega sistema;
- druge bilateralne ali mednarodne dogovore;
- veljavne tehnične specifikacije;
- prevoznike, ki uporabljajo traso in posebnosti glede njihovih tovorov;
- prostor, ki je vzdolž trase na voljo;
- razne obstoječe omejitve.

5.2 Prečne razširitve odnosnice

5.2.1 Dodatek zaradi prevesa vozila

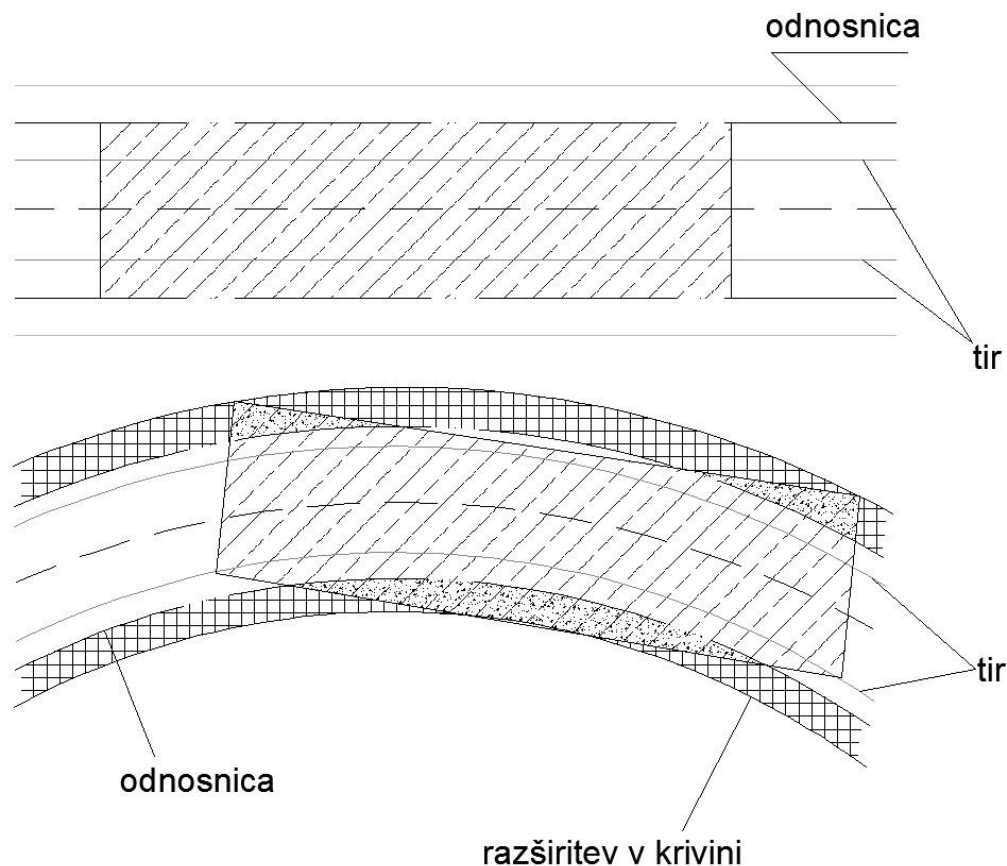
Pri vožnji tirnega vozila skozi krivino se zaradi njegove veliko večje dolžine v primerjavi z njegovo širino pojavi preves vozila izven tira. Sprednji in zadnji del vozila se prevesita na zunanjo stran krivine, osrednji del pa na notranjo stran krivine.

Standard predvideva ločena postopka računa za radije, ki so večji do 250 m, in radije, ki so manjši od 250 m in hkrati večji od 150 m.

Razširitev je odvisna od radija krivine in tirne širine.

Razširitve se označijo z oznako S_i oz. S_a , odvisno od tega, ali jih računamo za notranji ali zunanji del krivine.

Preves vozila je shematično prikazan na sliki 18.



Slika 18: Prikaz vozila v premi in krivini (povzeto po: Čertalič, 2011; UIC 505-4 OR)

a) za $\infty \geq R \geq 250 \text{ m}$

$$S_i = S_a = \frac{3,75}{R} + \frac{l - 1,435}{2} \quad (1)$$

b) za $250 \text{ m} > R \geq 150 \text{ m}$

$$S_i = \frac{50}{R} - 0,185 + \frac{l - 1,435}{2} \quad (2)$$

$$S_a = \frac{60}{R} - 0,225 + \frac{l - 1,435}{2} \quad (3)$$

Kjer je:

S_i preves vozila na notranji strani krivine [m];

S_a preves vozila na zunanji strani krivine [m];

R polmer krožnega loka [m];

l medtirna razdalja [m].

5.2.2 Dodatek zaradi kvazistatičnega pomika vozila

Kvazistatični pomik vozila je posledica bočnih pospeškov, ki delujejo na vozilo, ki vozi skozi krožni lok. Bočni pospeški se pojavijo kot posledica centrifugalne sile in so odvisni od vozne hitrosti in polmera krivine. Za zmanjšanje bočnih pospeškov pri gradnji železniških prog uporabljamo nadvišanje proge. Praviloma se nadvišanje izvede tako, da se niveleta tirnice, ki je na zunanji strani krivine, dvigne, lahko pa ga izvedemo tudi s spustom nivelete notranje tirnice. V idealnem primeru, kar bi pomenilo, da vsa vozila vozijo z enako hitrostjo, bi lahko vse sile, ki se pri vožnji vlaka skozi krivino pojavijo, kompenzirali s teoretičnim nadvišanjem, kar bi pomenilo, da na nobeno vozilo ne delujejo bočni pospeški. Ker pa imajo različna tirna vozila različne vozne hitrosti, je pri vozilih, ki so počasnejša od projektirane hitrosti, nadvišanje preveliko (presežek nadvišanja) in na vozilu se pojavijo negativni bočni pospeški, pri vozilih, ki so hitrejša od projektirane hitrosti, pa je nadvišanje premajhno (primanjkljaj nadvišanja), bočni pospeški pa so pozitivni.

Zaradi primanjkljaja oz. presežka nadvišanja se na vozilu pri vožnji skozi krivino pojavi kvazistatični pomik. Za primanjkljaje ali presežke nadvišanj, ki so manjši od 50 mm, je kvazistatični pomik že upoštevan v odnosnici, za primanjkljaje ali presežke, ki so večji od 50 mm, pa moramo kvazistatični pomik upoštevati pri določanju profila.

Kvazistatični pomik je odvisen od primanjkljaja ali presežka nadvišanja in od višine opazovane točke nad GRT.

Kvazistatični pomik se označi z oznako qs_i oz. qs_a , odvisno od tega, ali ga računamo za notranji ali zunanji del krivine, in je odvisen od izbrane odnosnice. Za notranji oz. zunanji del krivine izračunamo po enačbah:

$$qs_i = \frac{s_0}{L} \cdot [D - D_0]_{>0} \cdot [h - h_{c0}]_{>0} \quad (4)$$

$$qs_a = \frac{s_0}{L} \cdot [I - I_0]_{>0} \cdot [h - h_{c0}]_{>0} \quad (5)$$

Kjer je:

- qs_i kvazistatični premik vozila na notranji strani krivine [m];
 qs_a kvazistatični premik vozila na zunanji strani krivine [m];
 s_0 koeficient fleksibilnosti med vozili in progo [brezdimenzijski];
 L razdalja med tirnicama [m];
 D nadvišanje [m];
 D_0 fiksna vrednost nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m];
 I primanjkljaj nadvišanja [m];
 I_0 fiksna vrednost primanjkljaja nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m];
 h višina opazovane točke [m];
 h_{c0} višina vrtilišča, dogovorjena med proizvajalci železniških vozil in infrastrukturo [m];
 $[]_{>0}$ pomeni, da je vrednost oklepaja upoštevana le, kadar je ta pozitivna, v nasprotnem primeru pa je enaka nič.

Ne glede na zgornji enačbi standard v nadaljevanju kvazistatični pomik pri izračunu svetlega profila proge in medtirne razdalje uporablja v drugačni obliki, in sicer:

$$K = \frac{s_0}{L} \cdot (h - h_{c0})_{>0} \quad (6)$$

$$qs_i = K \cdot (D - D_0) \quad (7)$$

$$qs_a = K \cdot (I - I_0)$$

Kjer je:

- qs_i kvazistatični premik vozila na notranji strani krivine [m];
 qs_a kvazistatični premik vozila na zunanji strani krivine [m];
 K koeficient kvazistatičnega pomika [brezdimenzijski];
 h višina opazovane točke nad GRT [m];
 h_{c0} višina vrtilišča, dogovorjena med proizvajalci železniških vozil in infrastrukturo [m];
 s_0 koeficient fleksibilnosti med vozili in progo [brezdimenzijski];
 L razdalja med tirnicama [m];
 D nadvišanje [m];
 D_0 fiksna vrednost nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m];

- I primanjkljaj nadvišanja [m];
- I_0 fiksna vrednost primanjkljaja nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m];
- $(\)_{>0}$ pomeni, da je vrednost oklepaja upoštevana le, kadar je ta pozitivna, v nasprotnem primeru pa je enaka nič.

Ob primerjavi enačb 4, 5 in 7 ter standardov SIST EN 15273-1:2013 in SIST EN 15273-3:2013 opozarjam na tipkarsko napako v standardu pri zapisu enačb 7.

Standard SIST EN 15273-1:2013 namreč predhodno pojasnjuje, da vrednost kvazistatičnega pomika do nadvišanja, manjšega od vrednosti D_0 , in primanjkljaja nadvišanja, manjšega od vrednosti I_0 , prevzamejo proizvajalci železniških vozil in je za infrastrukturo privzet že v izbrani odnosnici.

Da bi enačbi 7 matematično enakovredno lahko nadomeščali enačbi 4 in 5, bi morali biti zapisani nekoliko drugače, in sicer:

$$qs_i = K \cdot (D - D_0)_{>0} \quad (7a)$$

$$qs_a = K \cdot (I - I_0)_{>0}$$

Ista tipkarska napaka se pojavi tudi pri zapisih enačb, ki se pojavijo v poglavju 5.5.

Površni uporabnik standarda, ki bi se računanja profilov lotil tako, da bi v zapisane enačbe zgolj vstavil vrednosti parametrov brez predhodnega poznavanja teoretičnega ozadja, ki je v standardu pojasnjen, bi svetli profil proge izračunal narobe. Ker pa projektant področje, s katerim se ukvarja mora poznati, ve tudi, kako standard enačbe za kvazistatični pomik izpelje, in jih ustrezno korigira.

V nadaljevanju primerjam standarde s kodeksom UIC (tudi z računskimi primeri) in tako prikažem, kakšen vpliv bi napaka na določitev končnih dimenzij svetlega profila železniške proge imela, če bi standard uporabljal površni uporabnik.

5.2.3 Dodatki zaradi slučajnostnih pojavov

Zaradi slučajnostnih pojavov, ki nastopajo pri obratovanju proge, odnosnici pri računu profila dodamo dodatke zaradi nihanj vozila, premikov tira, odklona nadvišanja in asimetrije vozil.

Dodatki zaradi slučajnostnih pojavov s standardom niso nujno zahtevani pri računu profila proge. O njih odloča upravljavec infrastrukture glede na specifične lastnosti in potrebe

prilagajanja konkretni progi. Tudi vrednosti koeficientov v preglednicah niso obvezne, ampak priporočljive.

5.2.3.1 Dodatek zaradi nihanja vozila, ki nastopi zaradi nepravilnosti tira (T_{osc})

Dodatki zaradi nihanj vozila so posledica geometrijskih nepravilnosti tira. Zaradi geometrijskih nepravilnosti med vozilom in tirom pride do dinamičnih interakcij. Te so odvisne predvsem od stanja proge, lastnosti podvozja vozila in vozne hitrosti. Vrednost dodatka se v času med eno in drugo obnovo proge spreminja, saj se kakovost tira v odvisnosti od časa po obnovi slabša. Dodatke se izračuna po naslednji enačbi:

$$\Delta b_{i/a} = \frac{s_0}{L} \cdot T_{osc} \cdot (h - h_{c0})_{>0} \quad (8)$$

Kjer je:

$\Delta b_{i/a}$ razširitev profila na notranjo/zunanjo stran krivine [m];

s_0 koeficient fleksibilnosti med vozili in progo [brezdimenzijski];

L razdalja med tirnicama [m];

T_{osc} dodatek zaradi nepravilnosti tirnic [m];

h višina opazovane točke nad GRT [m];

h_{c0} višina vrtilišča, dogovorjena med proizvajalci železniških vozil in infrastrukturo [m];

$()_{>0}$ pomeni, da je vrednost oklepaja upoštevana le, kadar je ta pozitivna, v nasprotnem primeru pa je enaka nič.

Vrednosti parametra T_{osc} so zapisane v preglednici 1.

Preglednica 1: Koeficienti zaradi nihanja vozila (SIST EN 15273-3:2013)

T_{osc}	Tir na tirni gredi		Tir na togi podlagi	
	Notranja stran krivine	Zunanja stran krivine	Notranja stran krivine	Zunanja stran krivine
Zelo dobro vzdrževana proga	0,007 m	0,039 m	0,007 m	0,039 m
Slabše vzdrževana proga	0,013 m	0,065 m		

Glede na kakovost proge se lahko vzame tudi vmesne vrednosti med navedenimi v preglednici.

5.2.3.2 Dodatek zaradi premikov tira (T_{voie})

V času obratovanja proge se lahko zaradi prometnih obremenitev in vzdrževanja tira, geometrijski položaj proge nekoliko spremeni. Pri vzdrževanju tira in njegovi regulaciji namreč obstajajo nekatere tolerance, ki jih upravljavec lahko dopušča.

Vpliv zaradi spremenjenega geometrijskega položaja tira je zajet v preglednici 2.

Pri tiru na togi podlagi obstajajo različni sistemi pritrditve tira, ki so jih razvili različni proizvajalci. Z njimi nas podrobneje seznanja Golob (2014). Če je izbran tak sistem, da premik tira ni možen, dodatka ni potrebno upoštevati.

Preglednica 2: Koeficienti T_{voie} zaradi premikov tira (SIST EN 15273-3:2013)

Tir na tirni gredi		Tir na togi podlagi	
Notranja stran krivine	Zunanja stran krivine	Notranja stran krivine	Zunanja stran krivine
0,025 m	0,025 m	0,005 m	0,005 m

5.2.3.3 Dodatek zaradi spremembe nadvišanja (T_D)

Pri gradnji in med obratovanjem proge se lahko pojavijo določeni dopustni odkloni od projektiranega nadvišanja proge. Zaradi toleranc pri vzdrževanju proge in prometa na progi dodatek računamo v dveh razširitvah, ki sta medsebojno odvisni in ju moramo vedno upoštevati skupaj:

- razširitev odnosnice zaradi vrtenja odnosnice okoli osi tira:

$$\Delta b_{i/a} = \frac{T_D}{L} \cdot h \quad (9)$$

- razširitev zaradi vrtenja vozila okoli vrlišča zaradi prilagodljivosti podvozja:

$$\Delta b_{i/a} = s_0 \frac{T_D}{L} \cdot (h - h_{c0})_{>0} \quad (10)$$

Kjer je:

$\Delta b_{i/a}$ razširitev profila na notranjo/zunanjo stran krivine [m];

s_0 koeficient fleksibilnosti med vozili in progo [brezdimenzijski];

T_D dodatek zaradi odklona nadvišanja [m];

L razdalja med tirnicama [m];

h višina opazovane točke nad GRT [m];

h_{c0} višina vrlišča, dogovorjena med proizvajalci železniških vozil in infrastrukturo [m];

$()_{>0}$ pomeni, da je vrednost oklepaja upoštevana le, kadar je ta pozitivna, v nasprotnem primeru pa je enaka nič.

Vpliv koeficienta T_D prikazuje preglednica 3.

Preglednica 3: Koeficienti zaradi odklona nadvišanja (SIST EN 15273-3:2013)

T_D	Tir na tirni gredi		Tir na togi podlagi	
	Notranja stran krivine	Zunanja stran krivine	Notranja stran krivine	Zunanja stran krivine
$V \leq 80 \text{ km/h}$	0,020 m	0,020 m	0,005 m	0,005 m
$V > 80 \text{ km/h}$	0,015 m	0,015 m		

5.2.3.4 Dodatek zaradi asimetrije vozila (η_0)

Tirno vozilo, ki vozi po progi, nikoli ni povsem simetrično. Razloga za asimetrijo sta:

- razlike v nastavitvah podvozja, ki jih označimo s T_{susp} , in
- nesimetrična razporeditev obtežbe znotraj vozila, ki jo označimo s T_{charge} .

Asimetrija vozila povzroči rahlo nihanje vozila med vožnjo po progi.

Vpliv posamezne asimetrije prikazuje spodnja preglednica. Skupni dodatek zaradi asimetrije pa je seštevek obeh.

$$\eta = T_{susp} + T_{charge} \quad (11)$$

Kjer je:

- η dodatek zaradi asimetrije vozila [°];
 T_{susp} razlike v nastavitvah podvozja [°];
 T_{charge} nesimetrična razporeditev obtežbe po vozilu [°].

Vpliv dodatka zaradi asimetrije vozila prikazuje preglednica 4.

Preglednica 4: Koeficienti asimetrije vozila (SIST EN 15273-3:2013).

	Tir na tirni gredi		Tir na togi podlagi	
	Notranja stran krivine	Zunanja stran krivine	Notranja stran krivine	Zunanja stran krivine
Nastavitve podvozja T_{susp}	0,77°	0,77°	0,77°	0,77°
Razporeditev obtežbe T_{charge}	0,23°	0,23°	0,23°	0,23°

5.3 Vertikalni dodatki

Med vožnjo tirnega vozila po progi prihaja tudi do vertikalnih pomikov tirnega vozila. Standard določa, da morajo večino dodatkov pri konstruiranju vozil upoštevati že proizvajalci vozil. Ti dodatki so za infrastrukturo določeni že v sami odnosnici. Nanje vplivajo:

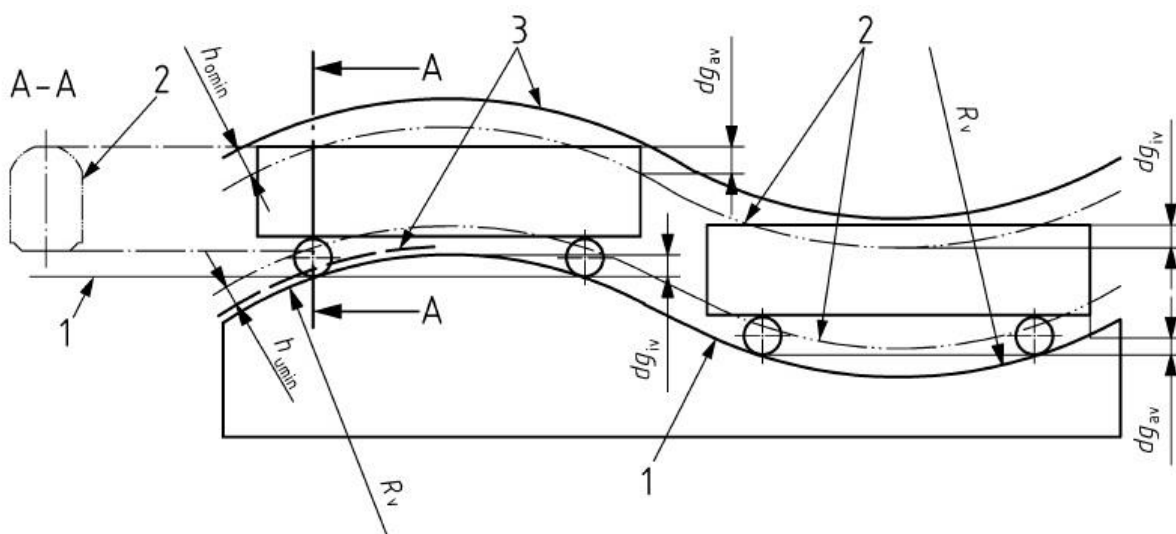
- obraba kolesne dvojice in drugih delov vozila;
- premiki podvozja vozila;
- oblika povsem zgornjega dela odnosnice;
- dinamični dvigi podvozja;

- geometrijski presežki vertikalnih zaokrožitvev;
- premiki tirnic, ko vozilo vozi čeznje;
- idr.

Nekatere vertikalne dodatke pa mora pri določanju svetlega profila upoštevati tudi upravljavec infrastrukture.

5.3.1 Vertikalni pomiki na previsnih točkah

Železniške proge sledijo reliefni obliki površine, po kateri potekajo. V vertikalni smeri zaokrožitve označujemo z R_v . Te so pri železniškem prometu v primerjavi z zaokrožitvami v horizontalni ravnini relativno velike. Na previsnih točkah, ki se pojavijo pri prehodih med nagibi z različnimi predznaki (vzpon – spust ali spust – vzpon), je za skrajni točki (zgornja in spodnja) potrebno preveriti ustreznost profila. Shematični prikaz je na sliki 19.



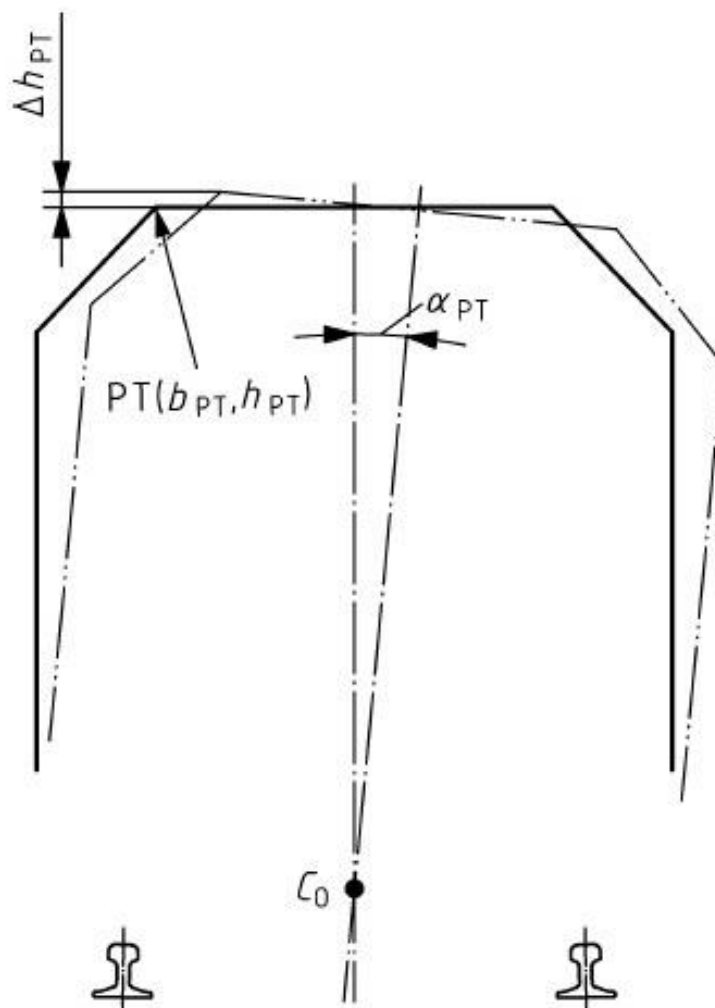
Slika 19: Prikaz vertikalnih pomikov (SIST EN 15273-3:2013)

Kjer je:

- 1 vozna površina,
- 2 odhosnica,
- 3 meja svetlega profila.

5.3.2 Učinek valja

Učinek valja se pojavi zaradi bočnega nagibanja karoserije levo in desno pri profilih, ki imajo glede na celotno širino odnosnice relativno veliko dolžino ravnega zgornjega dela (npr. odnosnica GC). Grafično je učinek prikazan na sliki 20.



Slika 20: Učinek valja (SIST EN 15273-3:2013)

Rotacije, ki izhajajo iz tega dodatka, je treba upoštevati pri:

- dodatku zaradi kvazistatičnega pomika vozila (glej 5.2.2);
- dodatku zaradi nihanja vozila, ki nastopi zaradi nepravilnosti tirnic (glej 5.2.3.1);
- dodatku zaradi odklona nadvišanja (glej 5.2.3.3);
- dodatku zaradi asimetrije vozila (glej 5.2.3.4).

Rotacijo proge zaradi nadvišanja, ki izhaja iz kvazistatičnega efekta, opisujeta naslednji enačbi:

$$\Delta h_{PTi} \approx b_{PTi} \cdot \sin \alpha_{PTi} \quad (12)$$

$$\Delta h_{PTa} \approx b_{PTa} \cdot \sin \alpha_{PTa} \quad (13)$$

Kjer je:

h_{PTi}, b_{PTi} koordinata obravnavane točke na notranji strani krivine [m] (glej Slika 20);

h_{PTa}, b_{PTa} koordinata obravnavane točke na notranji strani krivine [m] (glej Slika 20);

$\alpha_{PTi}, \alpha_{PTa}$ rotacija profila zaradi kvazistatičnega efekta, ki je lahko različna na notranji in zunanji strani [°].

5.4 Drugi dodatki, o kateri odloča upravljavec infrastrukture

Upravljavec infrastrukture lahko profil dodatno razširi zaradi:

- povečanja vozne hitrosti;
- potrebe po prevozu posebnih pošiljk;
- odpiranja vrat vagonov in varnosti osebja prevoznika;
- možnosti nadgradnje proge v prihodnje;
- določitve fiksnega referenčnega profila, ki služi kot pomoč pri nadzoru ali vzdrževanju proge;
- večjih bočnih vetrov.

5.5 Vrste profilov, določene s standardom

Podobno kot slovenski Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog (2010) tudi standard SIST EN 15273-3:2013 predpisuje različne vrste svetlih profilov. Vsaka vrsta profila vsebuje določene razširitve.

Upravljevec infrastrukture lahko samostojno izbere vrsto profila, a mora biti pri tem pozoren na:

- veljavne zahteve za zagotavljanje interoperabilnosti;
- bilateralne ali mednarodne dogovore;
- veljavne mednarodne tehnične specifikacije;
- razpoložljiv prostor vzdolž proge
- idr.

5.5.1 *Structure verification limit gauge*

Structure verification limit gauge je najmanjši svetli profil proge, ki ga standard določa. V Sloveniji ga ne uporabljamo. *Structure verification limit gauge* odnosnici dodaja razširitve, ki še zagotavljajo varno vožnjo med normalnim delovanjem proge. Standard izhaja iz izhodišča, da je malo verjetno, da bi vsi pojavi, ki vplivajo na razširitev odnosnice, nastopili istočasno, zato jih sešteje po metodi kvadratične vsote, za katero velja $\sqrt{a^2 + b^2} < a + b$. Vsoto dodatkov hkrati poveča z varnostnim faktorjem k , za katerega velja, da je $k \geq 1$.

Za račun po kinematični metodi odnosnico razširimo z:

- dodatkom zaradi prevesa vozila (glej 5.2.1);
- dodatkom zaradi kvazistatičnega pomika (glej 5.2.2);
- dodatkom zaradi nihanja vozila, ki nastopi zaradi nepravilnosti tira (glej 5.2.3.1), in
- dodatkom zaradi asimetrije vozila (glej 5.2.3.4).

Seštevek vseh parametrov v prečni smeri, ki določajo *structure verification limit gauge*, standard označuje s Σ_1 .

$$\Sigma'_{1,i/a} = k \cdot \sqrt{\left\{ \tan(T_{susp}) \cdot [h - h_{c0}]_{>0} \right\}^2 + \left\{ \tan(T_{charge}) \cdot [h - h_{c0}]_{>0} \right\}^2 + \left\{ \frac{s_0}{L} \cdot T_{osc} \cdot [h - h_{c0}]_{>0} \right\}^2} \quad (14)$$

in

$$\Sigma''_1 = k \cdot \sqrt{\left\{ \tan(T_{susp}) \cdot [h - h_{c0}]_{>0} \right\}^2 + \left\{ \tan(T_{charge}) \cdot [h - h_{c0}]_{>0} \right\}^2} \quad (15)$$

Kjer je:

- $\Sigma'_{1,i/a}$ vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m];
 Σ''_1 vsota prečnih premikov [m];
 k varnostni koeficient za primer prekoračitve toleranc pomikov [brezdimenzijski];
 T_{susp} faktor razlike v nastavitvah podvozja [°];
 h višina opazovane točke nad GRT [m];
 h_{c0} višina vrtilišča, dogovorjena med proizvajalci železniških vozil in infrastrukturo [m];
 T_{charge} faktor nesimetrične razporeditve obtežbe vozila [°];
 s_0 koeficient fleksibilnosti med vozili in progo [brezdimenzijski];
 L razdalja med tirnicama [m];
 T_{osc} dodatek zaradi nepravilnosti tirnic [m];
 $[]_{>0}$ pomeni, da je vrednost oklepaja upoštevana le, kadar je ta pozitivna, v nasprotnem primeru pa je enaka nič.

Polovično širino profila *structure verification limit gauge* za notranjo in zunanjo stran krivine določimo:

$$b_{ver,i} = b_{CR} + S_i + \max \begin{cases} \Sigma'_{1,i} + K \cdot (D - D_0) \\ \Sigma''_1 \\ \Sigma'_{1,a} - K \cdot I_0 \end{cases} \quad (16)$$

$$b_{ver,a} = b_{CR} + S_a + \max \begin{cases} \Sigma'_{1,a} + K \cdot (I - I_0) \\ \Sigma''_1 \end{cases} \quad (17)$$

Kjer je:

- $b_{ver,i/a}$ razširitev odnosnice na notranjo/zunanjo stran krivine [m];
 b_{CR} polovična širina odnosnice [m];
 S_i preves vozila na notranji strani krivine [m];
 S_a preves vozila na zunanji strani krivine [m];
 K koeficient kvazistatičnega pomika [brezdimenzijski];
 D nadvišanje [m];
 D_0 fiksna vrednost nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m];
 I primanjkljaj nadvišanja [m];

- I_0 fiksna vrednost primanjkljaja nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m];
- $\Sigma'_{1,i/a}$ vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m];
- Σ''_1 vsota prečnih premikov [m].

Pri čemer je:

$$K = \frac{s_0}{L} \cdot [h - h_{c0}]_{>0} \quad (18)$$

in velja za vse tri vrste profilov.

Kjer je:

- K koeficient kvazistatičnega pomika [brezdimenzijski];
- s_0 koeficient fleksibilnosti med vozili in progo [brezdimenzijski];
- L razdalja med tirnicama [m];
- h višina opazovane točke nad GRT [m];
- h_{c0} višina vrtišča, dogovorjena med proizvajalci železniških vozil in infrastrukturo [m];
- $[]_{>0}$ pomeni, da je vrednost oklepaja upoštevana le, kadar je ta pozitivna, v nasprotnem primeru pa je enaka nič.

V vertikalni smeri so dodatki določeni za premik točke PT (glej poglavje 5.3.2) z naslednjimi enačbami.

$$\Sigma_{V1,PTa} = k \cdot \sqrt{\left(b_{PT} \cdot \frac{s_0}{L} \cdot T_{osc}\right)^2 + b_{PT}^2 \cdot \tan^2(T_{charge}) + b_{PT}^2 \cdot \tan^2(T_{susp})} \quad (19)$$

$$\Sigma_{V1,PTi} = k \cdot \sqrt{\left(b_{PT} \cdot \frac{s_0}{L} \cdot T_{osc}\right)^2 + b_{PT}^2 \cdot \tan^2(T_{charge}) + b_{PT}^2 \cdot \tan^2(T_{susp})} \quad (20)$$

Kjer je:

- $\Sigma_{V1,PT i/a}$ vsota vertikalnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m];
- k varnostni koeficient za primer prekoračitve toleranc pomikov [brezdimenzijski];

b_{PT}	horizontalna koordinata točke PT [m];
s_0	koeficient fleksibilnosti med vozili in progo [brezdimenzijski];
L	razdalja med tirnicama [m];
T_{osc}	dodatek zaradi nepravilnosti tirnic [m];
T_{charge}	faktor nesimetrične razporeditve obtežbe vozila [°];
T_{susp}	faktor razlike v nastavitvah podvozja [°].

5.5.2 Minimalni svetli profil

Minimalni svetli profil proge (standard ga poimenuje *structure installation limit gauge*) je profil, ki poleg dodatkov, ki jih že upošteva *structure verification limit gauge*, upošteva še dodatke, ki se na progi pojavijo zaradi sprememb v geometriji proge. Standard pri računu minimalnega svetlega profila proge ponovno izhaja iz izhodišča, da je malo verjetno, da bi vsi pojavi, ki vplivajo na razširitev odnosnice, nastopili istočasno, zato jih ponovno sešteje po metodi kvadratične vsote, za katero velja $\sqrt{a^2 + b^2} < a + b$. Vsoto dodatkov hkrati zopet poveča z varnostnim faktorjem k , za katerega velja, da je $k \geq 1$.

Po kinematični računski metodi poleg dodatkov, ki jih že prištejemo k *structure verification limit gauge*, minimalnemu svetlemu profilu dodamo še:

- dodatek zaradi premikov tira (glej 5.2.3.2) in
- dodatek zaradi spremembe nadvišanja (glej 5.2.3.3).

Seštevek vseh parametrov, ki določajo minimalni svetli profil proge standard SIST EN 15273-3:2013, označuje s Σ_2 .

$$\Sigma'_{2,i/a} = k \cdot \sqrt{T_{voie}^2 + \left\{ \frac{T_D}{L} \cdot h + s_0 \cdot \frac{T_D}{L} \cdot [h - h_{c0}]_{>0} \right\}^2 + \left\{ \tan(T_{susp}) \cdot [h - h_{c0}]_{>0} \right\}^2 + \left\{ \tan(T_{charge}) \cdot [h - h_{c0}]_{>0} \right\}^2 + \left\{ \frac{s_0}{L} \cdot T_{osc} \cdot [h - h_{c0}]_{>0} \right\}^2} \quad (21)$$

in

$$\Sigma''_2 = k \cdot \sqrt{T_{voie}^2 + \left[\frac{T_D}{L} \cdot h \right]^2} \quad (22)$$

Kjer je:

$\Sigma'_{2,i/a}$	vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m];
Σ''_2	vsota prečnih premikov [m];
k	varnostni koeficient za primer prekoračitve toleranc pomikov [brezdimenzijski];
T_{voie}	faktor premikov tira [m];
L	razdalja med tirnicama [m];
h	višina opazovane točke nad GRT [m];
s_0	koeficient fleksibilnosti med vozili in progo [brezdimenzijski];
T_D	faktor zaradi odklona nadvišanja [m];
h_{c0}	višina vrtilišča, dogovorjena med proizvajalci železniških vozil in infrastrukturo [m];
T_{susp}	faktor razlike v nastavitvah podvozja [°];
T_{charge}	faktor nesimetrične razporeditve obtežbe vozila [°];
T_{osc}	dodatek zaradi nepravilnosti tirnic [m];
$[]_{>0}$	pomeni, da je vrednost oklepaja upoštevana le, kadar je ta pozitivna, v nasprotnem primeru pa je enaka nič.

Polovično širino minimalnega profila za notranjo in zunanjo stran krivine določimo:

$$b_{lim,i} = b_{CR} + S_i + \max \begin{cases} \Sigma'_{2,i} + K \cdot (D - D_0) \\ \Sigma''_2 \\ \Sigma'_{2,a} - K \cdot I_0 \end{cases} \quad (23)$$

$$b_{lim,a} = b_{CR} + S_a + \max \begin{cases} \Sigma'_{2,a} + K \cdot (I - I_0) \\ \Sigma''_2 \end{cases} \quad (24)$$

Kjer je:

$b_{lim,i/a}$	razširitev odnosnice na notranjo/zunanjo stran krivine [m];
b_{CR}	polovična širina odnosnice [m];
S_i	preves vozila na notranji strani krivine [m];
S_a	preves vozila na zunanji strani krivine [m];
K	koeficient kvazistatičnega pomika [brezdimenzijski];
D	nadvišanje [m];
D_0	fiksna vrednost nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m];
I	primanjkljaj nadvišanja [m];

- I_0 fiksna vrednost primanjkljaja nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m];
- $\Sigma'_{2,i/a}$ vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m];
- Σ''_2 vsota prečnih premikov [m].

V vertikalni smeri so dodatki določeni za premik točke PT (glej poglavje 5.3.2) z naslednjimi enačbami:

$$\Sigma_{V2,PTa} = k \cdot \sqrt{\left\{ \left[(1 + s_0) \cdot b_{PT} + \frac{L}{2} \right] \cdot \frac{T_D}{L} \right\}^2 + \left(b_{PT} \cdot \frac{s_0}{L} \cdot T_{osc} \right)^2 + b_{PT}^2 \cdot \tan^2(T_{charge}) + b_{PT}^2 \cdot \tan^2(T_{susp}) + T_N^2} \quad (25)$$

$$\Sigma_{V2,PTi} = k \cdot \sqrt{\left\{ \left[(1 + s_0) \cdot b_{PT} - \frac{L}{2} \right]_{>0} \cdot \frac{T_D}{L} \right\}^2 + \left(b_{PT} \cdot \frac{s_0}{L} \cdot T_{osc} \right)^2 + b_{PT}^2 \cdot \tan^2(T_{charge}) + b_{PT}^2 \cdot \tan^2(T_{susp}) + T_N^2} \quad (26)$$

Kjer je:

- $\Sigma_{V2,PT i/a}$ vsota vertikalnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m];
- k varnostni koeficient za primer prekoračitve toleranc pomikov [brezdimenzijski];
- s_0 koeficient fleksibilnosti med vozili in progo [brezdimenzijski];
- b_{PT} horizontalna koordinata točke PT [m];
- L razdalja med tirnicama [m];
- T_D faktor zaradi odklona nadvišanja [m];
- T_{osc} dodatek zaradi nepravilnosti tirnic [m];
- T_{charge} faktor nesimetrične razporeditve obtežbe vozila [°];
- T_{susp} faktor razlike v nastavitvah podvozja [°];
- T_N vertikalni premik proge med eno in drugo obnovo proge [m];
- $[]_{>0}$ pomeni, da je vrednost oklepaja upoštevana le, kadar je ta pozitivna, v nasprotnem primeru pa je enaka nič.

5.5.3 Normalni svetli profil

Normalni svetli profil proge (standard ga poimenuje *structure installation nominal gauge*) je profil, ki poleg vseh naštetih dodatkov upošteva še druge dodatke, o katerih odloča upravljavec infrastrukture in so opisani v poglavju 5.4. Za razliko od profila *structure verification limit gauge* in minimalnega svetlega profila zanj ni enotne metode, po kateri bi profil določili, ampak ga vsak upravljavec za vsako progo določa posebej glede na potrebe in glede na zahtevane varnostne, tehnične in finančne zahteve in zmožnosti.

Za določanje normalnega svetlega profila proge standard uporablja aritmetično vsoto.

Seštevek vseh parametrov, ki določajo normalni svetli profil proge standard SIST EN 15273-3:2013, označuje s Σ_3 .

$$\begin{aligned} \Sigma_{3,i/a} = & T_{voie} + \frac{T_D}{L} \cdot h + s_0 \frac{T_D}{L} \cdot [h - h_{c0}]_{>0} + \tan(T_{susp}) \cdot [h - h_{c0}]_{>0} + \\ & + \tan(T_{charge}) \cdot [h - h_{c0}]_{>0} + \frac{s_0}{L} T_{osc} \cdot (h - h_{c0})_{>0} + Supl \end{aligned} \quad (27)$$

Kjer je:

- $\Sigma_{3,i/a}$ vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m];
- T_{voie} faktor premikov tira [m];
- T_D faktor zaradi odklona nadvišanja [m];
- L razdalja med tirnicama [m];
- h višina opazovane točke nad GRT [m];
- h_{c0} višina vrtilišča, dogovorjena med proizvajalci železniških vozil in infrastrukturo [m];
- T_{susp} faktor razlike v nastavitvah podvozja [°];
- T_{charge} faktor nesimetrične razporeditve obtežbe vozila [°];
- s_0 koeficient fleksibilnosti med vozili in progo [brezdimenzijski];
- T_{osc} dodatek zaradi nepravilnosti tirnic [m];
- $Supl$ vrednost dodatkov, ki jih glede na potrebe proge določi upravljavec [m];
- $()_{>0}$ pomeni, da je vrednost oklepaja upoštevana le, kadar je ta pozitivna, v nasprotnem primeru pa je enaka nič.

Normalni svetli profil proge izračunamo po spodnjih enačbah:

$$b_{nom,i} = b_{CR} + S_i + \Sigma_{3,i} + K \cdot [D - D_0]_{>0} \quad (28)$$

$$b_{nom,a} = b_{CR} + S_a + \Sigma_{3,a} + K \cdot [I - I_0]_{>0} \quad (29)$$

Kjer je:

$b_{nom,i/a}$ razširitev odnosnice na notranjo/zunanjo stran krivine [m];

b_{CR} polovična širina odnosnice [m];

S_i preves vozila na notranji strani krivine [m];

S_a preves vozila na zunanji strani krivine [m];

$\Sigma_{3,i/a}$ vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m];

K koeficient kvazistatičnega pomika [brezdimenzijski];

D nadvišanje [m];

D_0 fiksna vrednost nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m];

I primanjkljaj nadvišanja [m];

I_0 fiksna vrednost primanjkljaja nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m];

$[]_{>0}$ pomeni, da je vrednost oklepaja upoštevana le, kadar je ta pozitivna, v nasprotnem primeru pa je enaka nič.

V vertikalni smeri so dodatki določeni za premik točke PT (glej poglavje 5.3.2) z naslednjimi enačbami:

$$\begin{aligned} \Sigma_{V3,PTa} = & \left(b_{PT} + \frac{L}{2} + s_0 b_{PT} \right) \cdot \frac{T_D}{L} + b_{PT} \cdot \frac{s_0}{L} \cdot T_{osc} + b_{PT} \cdot \tan(T_{charge}) + \\ & + b_{PT} \cdot \tan(T_{susp}) + T_N + Supl \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \Sigma_{V3,PTi} = & \left(b_{PT} - \frac{L}{2} + s_0 b_{PT} \right)_{>0} \cdot \frac{T_D}{L} + b_{PT} \cdot \frac{s_0}{L} \cdot T_{osc} + b_{PT} \cdot \tan(T_{charge}) + \\ & + b_{PT} \cdot \tan(T_{susp}) + T_N + Supl \end{aligned} \quad (31)$$

Kjer je:

$\Sigma_{V3,PT} i/a$	vsota vertikalnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m];
b_{PT}	horizontalna koordinata točke PT [m];
L	razdalja med tirnicama [m];
s_0	koeficient fleksibilnosti med vozili in progo [brezdimenzijski];
T_D	faktor zaradi odklona nadvišanja [m];
T_{osc}	dodatek zaradi nepravilnosti tirnic [m];
T_{charge}	faktor nesimetrične razporeditve obtežbe vozila [°];
T_{susp}	faktor razlike v nastavitvah podvozja [°];
T_N	vertikalni premik proge med eno in drugo obnovo proge [m];
$Supl$	vrednost dodatkov, ki jih glede na potrebe proge določi upravljavec [m]
$[]_{>0}$	pomeni, da je vrednost oklepaja upoštevana le, kadar je ta pozitivna, v nasprotnem primeru pa je enaka nič.

5.5.4 Enotni svetli profil

Standard SIST EN 15273-3:2013 dopušča tudi možnost, da upravljavec infrastrukture določi enotni svetli profil proge. Enotni profil je za razliko od predhodno opisanih svetlih profilov, ki se spreminjajo v odvisnosti od razširitev, ki jih opisujem v poglavju 5.2, fiksen. Tak enotni profil je lahko določen, če je ob progi na voljo dovolj prostora. Njegova prednost v primerjavi s predhodno opisanimi svetlimi profili je, da lajša delo vzdrževalcev železniške proge.

Evropski upravljavci železniške infrastrukture se uporabijo enotnega svetlega profila pogosto poslužujejo. Eden izmed možnih pristopov k določanju enotnega profila je, da upravljavec določi dva svetla profila proge. Enega za premo oz. za zelo velike radije krožnih lokov, ko železniška proga nima nadvišanja in drugega za progo v krivini, za katero veljajo najbolj neugodni pogoji glede polmera krivine in nadvišanja. Ta postopek za določanje svetlega profila železniške proge je uporabljen tudi v Sloveniji, saj Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog (2010) predpisuje fiksni minimalni in normalni svetli profil proge. S takim pristopom je svetli profil železniške proge širši, kot bi bil, če bi ga izračunali neposredno. Če na določenem delu proge zaradi obstoječih fiksnih ovir enotnega svetlega profila ne moremo zagotoviti, moramo svetli profil proge na tem odseku izračunati po opisanih računskih postopkih.

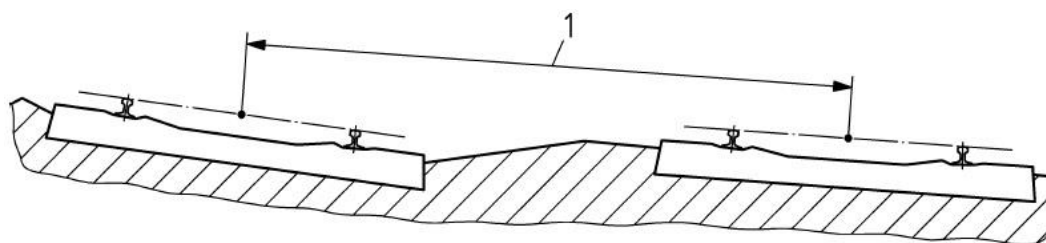
Standard predstavi nekaj različnih enotnih svetlih profilov, med njimi enotna profila GU1, GU2, ki izhajata iz odnosnice G2 in enotni profil GUC, ki izhaja iz odnosnice GC. Konceptualno najbližji slovenskim svetlim profilom, ki so določeni v Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog je enotni profil GU2, saj je na eni strani določen za progo v premi, na drugi strani pa za progo z radijem 250 m.

6 Določanje medtirne razdalje

Poleg določanja svetlih profilov proge v diplomski nalogi določam tudi medtirne razdalje železniške proge. Medtirna razdalja pri dvo- ali večtirni progi je neločljivo povezana s profilom proge, saj je brez poznavanja prostora, ki ga tirno vozilo za varno vožnjo potrebuje, ne moremo določiti.

Za zagotavljanje lažjega branja tega poglavja poudarjam, da je povzeto po standardu SIST EN 15273-3:2013, iz katerega sledijo tudi vse predstavljene enačbe, preglednice in slike, razen kadar je označeno drugače.

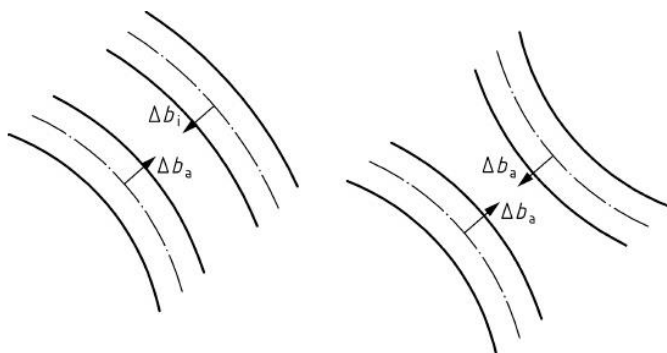
Medtirno razdaljo merimo med osema sosednjih tirov, kot to prikazuje slika 21.



Slika 21: Merjenje medtirne razdalje (SIST EN 15273-3:2013, str. 13)

Določanje medtirne razdalje je pomembno za normalen in varen promet, ki istočasno poteka po vseh tirih proge, na eni strani in za zagotavljanje ekonomičnosti gradnje z vidika odkupa zemljišč za traso proge na drugi strani. Tako kot standard loči tri različne profile, opisane v poglavju 5.5, loči tudi z njimi povezane tri različne načine za določanje medtirne razdalje, pri čemer upošteva razširitve odnosnice, kot so opisane v poglavjih od 5.2 do 5.4, dodatno pa še razliko v nadvišanjih sosednjih tirov.

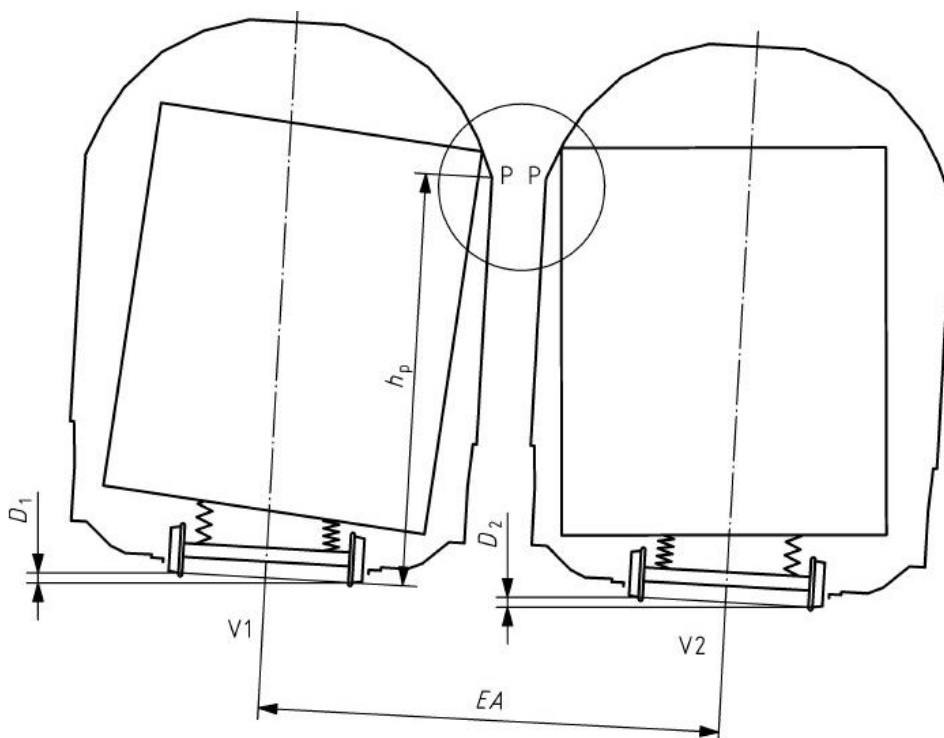
Pri računanju medtirne razdalje, se večinoma srečujemo s primerom, ko sta tira železniške proge koncentrična. Odvisno od geometrije proge in terena, pa sta tira v krivini lahko tudi različno usmerjena. V tem primeru moramo biti pozorni predvsem na točko, ko sta si tira najbližje. Usmerjenost sosednjih tirov prikazuje slika 22.



Slika 22: Sosednja tira sta lahko koncentrična ali različno usmerjena (SIST EN 15273-3:2013, str. 41)

6.1 Razlika v nadvišanjih sosednjih tirov

Ko imata sosednja tira različno nadvišanje, se sosednja profila drug k drugemu lahko dodatno približata ali oddaljita. Pojav pride do izraza v zgornjem delu profila, kar je z oznako P prikazano na sliki 23. Pojav zato vpliva na določitev medtirne razdalje. V primeru, da se profila drug drugemu približata, moramo medtirno razdaljo povečati, v nasprotnem primeru pa jo lahko zmanjšamo.



Slika 23: Medtirna razdalja pri tirih z različnim nadvišanjem (SIST EN 15273-3:2013, str. 42)

Z V1 je označen tir 1, z V2 pa tir 2.

Razliko v nadvišanih sosednjih tirov opišemo s sledečo enačbo:

$$\Delta b_{\delta D} = \frac{h_p}{L} \cdot [D_1 - D_2]_{>0} \quad (32)$$

Kjer je:

$\Delta b_{\delta D}$ pojav razlike v nadvišanih sosednjih tirov [m];

h_p višina točke P [m];

L razdalja med tirnicama [m];

D_1 nadvišanje tira 1 [m];

D_2 nadvišanje tira 2 [m];

$[]_{>0}$ pomeni, da je vrednost oklepaja upoštevana le, kadar je ta pozitivna, v nasprotnem primeru pa je enaka nič.

6.2 Določanje medtirne razdalje glede na različne vrste profilov kot jih določa standard

6.2.1 Medtirna razdalja pri profilu *structure verification limit gauge*

Standard določa enak postopek za določanje medtirne razdalje za železniške proge, pri katerih svetli profil proge temelji na profilu *structure verification limit gauge* in minimalnem svetlem profilu proge. Pri računu enega ali drugega se spreminjajo samo računске vrednosti razširitev, ki smo jih izračunali pri posameznem profilu.

Pri računu medtirne razdalje za *structure verification limit gauge* uporabimo enake razširitve, kot smo jih uporabili pri računu svetlega profila proge.

Pri določanju medtirne razdalje upoštevamo samo vsoto dodatkov, ki so posledica razširitev v horizontalni smeri, kot sledi:

$$\Sigma'_{EA1} = \sqrt{(\Sigma'_{1,i/a})_{voie1}^2 + (\Sigma'_{1,i/a})_{voie2}^2} \quad (33)$$

$$\Sigma''_{EA1} = \sqrt{(\Sigma''_{1,i/a})_{voie1}^2 + (\Sigma''_{1,i/a})_{voie2}^2} \quad (34)$$

Medtirna razdalja je določena z enačbo:

$$EA_1 = 2b_{CR} + S_a + S_i + \Delta b_{\delta D} + \max \left\{ \begin{array}{l} \Sigma'_{EA1} + K(I - I_0) + K(D - D_0) \\ \Sigma''_{EA1} \end{array} \right. \quad (35)$$

Kjer je:

Σ'_{EA1} vsota prečnih premikov za medtirno širino [m];

Σ''_{EA1} vsota prečnih premikov za medtirno širino [m];

$\Sigma'_{1,i/a}$ vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m];

$\Sigma''_{1,i/a}$ vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m];

EA_1 medtirna razdalja med osema tirov [m];

b_{CR} polovična širina odnosnice [m];

S_i preves vozila na notranji strani krivine [m];

S_a preves vozila na zunanji strani krivine [m];

$\Delta b_{\delta D}$ pojav razlike v nadvišanjih sosednjih tirov [m];

K koeficient kvazistatičnega pomika [brezdimenzijski];

D nadvišanje [m];

D_0 fiksna vrednost nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m];

I primanjkljaj nadvišanja [m];

I_0 fiksna vrednost primanjkljaja nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m].

6.2.2 Medtirna razdalja pri minimalnem svetlem profilu proge

Kot je opisano že pri predhodnem poglavju, kjer opisujem določanje medtirne razdalje za profil proge, ki temelji na profilu *structure verification limit gauge*, je določanje medtirne razdalje za minimalni svetli profil podobno.

Vsoto dodatkov, ki jih prištejemo odnosnici, izračunamo po spodnjih enačbah:

$$\Sigma'_{EA2} = \sqrt{(\Sigma'_{2,i/a})_{voie1}^2 + (\Sigma'_{2,i/a})_{voie2}^2} \quad (36)$$

$$\Sigma''_{EA2} = \sqrt{(\Sigma''_{2,i/a})_{voie1}^2 + (\Sigma''_{2,i/a})_{voie2}^2} \quad (37)$$

Medtirno razdaljo za minimalni svetli profil izračunamo po spodnji enačbi:

$$EA_2 = 2b_{CR} + S_a + S_i + \Delta b_{\delta D} + \max \left\{ \begin{array}{l} \Sigma'_{EA2} + K(I - I_0) + K(D - D_0) \\ \Sigma''_{EA2} \end{array} \right. \quad (38)$$

Kjer je:

- Σ'_{EA2} vsota prečnih premikov za medtirno širino [m];
 Σ''_{EA2} vsota prečnih premikov za medtirno širino [m];
 $\Sigma'_{2,i/a}$ vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m];
 $\Sigma''_{2,i/a}$ vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m];
 EA_2 medtirna razdalja med osema tirov [m];
 b_{CR} polovična širina odnosnice [m];
 S_i preves vozila na notranji strani krivine [m];
 S_a preves vozila na zunanji strani krivine [m];
 $\Delta b_{\delta D}$ pojav razlike v nadvišanjih sosednjih tirov [m];
 K koeficient kvazistatičnega pomika [brezdimenzijski];
 D nadvišanje [m];
 D_0 fiksna vrednost nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m];
 I primanjkljaj nadvišanja [m];
 I_0 fiksna vrednost primanjkljaja nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m].

6.2.3 Medtirna razdalja pri normalnem svetlem profilu proge

Enako kot pri določanju svetlega profila za normalni profil proge tudi pri določanju medtirne razdalje ni enotnega načina računanja. Vsak upravljavec se za vsako progo lahko odloči za uporabo različnih dodatnih razširitev zaradi:

- povečanja stopnje varnosti,
- potrebe vzdrževanje proge,
- različnih aerodinamičnih vplivov,
- lažje umestitve kretnic ali prehodov proge s cesto,
- potrebe po prevozih večjih tovorov,
- načrtovanih nadgradenj proge,
- idr.

Dodatke, ki vplivajo na določitev medtirne razdalje, izračunamo z enačbo:

$$\Sigma_{EA3} = (\Sigma_{3,i/a})_{voie1} + (\Sigma_{3,i/a})_{voie2} \quad (39)$$

Medtirno razdaljo za normalni svetli profil izračunamo po enačbi:

$$EA_3 = 2b_{CR} + S_a + S_i + \Sigma_{EA3} + [K \cdot (I - I_0)]_{>0} + [K \cdot (D - D_0)]_{>0} + \Delta b_{\delta D} \quad (40)$$

Kjer je:

- Σ_{EA3} vsota prečnih premikov za medtirno širino [m];
- $\Sigma_{3,i/a}$ vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m];
- EA_3 medtirna razdalja med osema tirov [m];
- b_{CR} polovična širina odnosnice [m];
- S_i preves vozila na notranji strani krivine [m];
- S_a preves vozila na zunanji strani krivine [m];
- $\Delta b_{\delta D}$ pojav razlike v nadvišanjih sosednjih tirov [m];
- K koeficient kvazistatičnega pomika [brezdimenzijski];
- D nadvišanje [m];
- D_0 fiksna vrednost nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m];
- I primanjkljaj nadvišanja [m];
- I_0 fiksna vrednost primanjkljaja nadvišanja, dogovorjena med proizvajalci vozil in infrastrukturo [m];
- $[]_{>0}$ pomeni, da je vrednost oklepaja upoštevana le, kadar je ta pozitivna, v nasprotnem primeru pa je enaka nič.

7 Primerjava standarda SIST EN 15273-3:2013 in kodeksa UIC 505-4 OR

Kodeksi UIC so razdeljeni v deset poglavij, ki skupaj obsegajo vsa področja, povezana z železniškim prometom. Od zakonodaje in predpisov, potniškega in tovornega prometa, finančnega vidika, vozil, železniških naprav idr. Poglavlje 5 opisuje vozila, njegovo podpoglavje 50 pa v 16 kodeksih opisuje splošne določbe v povezavi z železniškimi objekti. En izmed teh 16 kodeksov je kodeks UIC 505-4 OR. Oznaka OR pomeni, da je njegova uporaba obvezna (Obligatory) in priporočljiva (Recommendatory) (UIC Code 2015). Kodeks 505-4 OR se nanaša izključno na računanje profilov po kinematični metodi.

Postopek izračuna svetlega profila proge in medtirne razdalje, kot ga določa standard za profile SIST EN 15273-3:2013, je v osnovi zelo podoben izračunu svetlega profila in medtirne razdalje, kot ju določa kodeks UIC 505-4 OR. Oba izhajata iz osnovne odnosnice in dodatkov v obliki razširitev.

Standard in kodeks se razlikujeta po terminologiji. Medtem ko kodeks UIC 505-4 OR večinoma govori o kinematični odnosnici, kar pomeni, da odnosnici pri računu svetlega profila proge prišteva dodatke, ki so izračunani po kinematični metodi, pa standard SIST EN15273-3:2013 govori o kinematičnem profilu, kar pomeni, da je svetli profil proge izračunan iz odnosnice po kinematični metodi. Vsebinsko gre tako v enem kot v drugem primeru za povsem enako stvar, ki pa je zgolj formalno izražena nekoliko drugače. Razlika med poimenovanjema je opazna pri prebiranju druge literature in bralca ne sme zmešati. Sam sem se pri pisanju te diplomske naloge poimenovanjema poskušal izogniti in uporabljam formalno natančnejši izraz, in sicer govorim o kinematični metodi za račun svetlega profila proge.

Ker kodeks UIC 505-4 OR določa metodologijo za izračun svetlega profila proge, ki temelji na odnosnicah G1 in G2 (postopka izračuna sta identična), se v primerjavi opiram na odnosnico G1.

7.1 Izračun profila

7.1.1 Izračun prevesa vozila

Dodatek zaradi prevesa vozila v krivini, ki je opisan v poglavju 5.2.1, se po kodeksu UIC 505-4 OR za notranjo in zunanjo stran krivine izračuna povsem enako, kot se izračuna po standardu SIST EN 15273-3:2013, in sicer po enačbah:

a) za $\infty \geq R \geq 250 \text{ m}$

$$S_i = S_a = \frac{3,75}{R} + \frac{l - 1,435}{2} \quad (41)$$

b) za $250 \text{ m} \geq R \geq 150 \text{ m}$

$$S_i = \frac{50}{R} - 0,185 + \frac{l - 1,435}{2} \quad (42)$$

$$S_a = \frac{60}{R} - 0,225 + \frac{l - 1,435}{2} \quad (43)$$

Kjer je:

S_i preves vozila na notranji strani krivine [m];

S_a preves vozila na zunanji strani krivine [m];

R polmer krožnega loka [m];

l medtirna razdalja [m].

Če primerjamo enačbe 41, 42 in 43 z enačbami 1, 2 in 3, vidimo, da so enačbe, ki jih določa kodeks UIC 505-4 OR, identične enačbam, ki jih določa standard SIST EN 15273-3:2013. Na prvi pogled kodeks UIC 505-4 OR deluje nedosleden pri opisu pogoja za velikost radija proge, saj za $R = 250 \text{ m}$ dovoljuje uporabo tako enačbe za večje kot za manjše radije, vendar, če enačbe preverimo, ugotovimo, da je rezultat za izračun po eni in drugi enačbi povsem enak:

Ad a) za $\infty \geq R \geq 250 \text{ m}$

$$S_i = S_a = \frac{3,75}{250} + \frac{l - 1,435}{2}$$

$$S_i = S_a = 0,015 + \frac{l - 1,435}{2}$$

Ad b) za $250 \text{ m} \geq R \geq 150 \text{ m}$

$$S_i = \frac{50}{250} - 0,185 + \frac{l - 1,435}{2}$$

$$S_i = 0,015 + \frac{l - 1,435}{2}$$

$$S_a = \frac{60}{250} - 0,225 + \frac{l - 1,435}{2}$$

$$S_a = 0,015 + \frac{l - 1,435}{2}$$

7.1.2 Izračun kvazistatičnega dodatka

Dodatek zaradi kvazistatičnega pomika vozila, ki je opisan v poglavju 5.2.2, se po kodeksu UIC 505-4 OR izračuna tako, kot ga določata enačbi 4 in 5. Spremenjene so le oznake parametrov.

$$q_{si} = \frac{0,4}{1,5} \cdot [E - 0,05]_{>0} \cdot [h - 0,5]_{>0} \quad (44)$$

$$q_{sa} = \frac{0,4}{1,5} \cdot [I - 0,05]_{>0} \cdot [h - 0,5]_{>0} \quad (45)$$

Kjer je:

q_{si} kvazistatični premik vozila na notranji strani krivine [m];

q_{sa} kvazistatični premik vozila na zunanji strani krivine [m];

E nadvišanje [m];

I presežek oz. primanjkljaj nadvišanja [m];

h višina opazovane točke [m];

$[]_{>0}$ pomeni, da je vrednost oklepaja upoštevana le, kadar je ta pozitivna, v nasprotnem primeru pa je enaka nič.

7.1.3 Izračun dodatkov zaradi slučajnostnih pojavov

Kodeks UIC 505-4 OR odnosnici pri računu profila določa enake slučajnostne dodatke, kot jih določa tudi standard SIST EN 15273-3:2013.

- a) Kot dodatek zaradi premikov tira določa pavšalni dodatek: 0,025 m
- b) Kot dodatek zaradi napak v višinski legi tirnic določa naslednje vrednosti:

- a. $\pm 0,015$ m ($V > 80$ km/h):

$$\text{geometrijski vpliv} = 0,015 \cdot \frac{h}{1,5} = 0,01 \cdot h$$

$$\text{kvazistatični vpliv} = \frac{0,4}{1,5} \cdot 0,015 \cdot [h - 0,5]_{>0}$$

- b. $\pm 0,020$ m ($V \leq 80$ km/h):

$$\text{geometrijski vpliv} = 0,020 \cdot \frac{h}{1,5} = 0,0133 \cdot h$$

$$\text{kvazistatični vpliv} = \frac{0,4}{1,5} \cdot 0,02 \cdot [h - 0,5]_{>0}$$

- c) Kot dodatek zaradi nihanja vozila določa sledeče vrednosti:

- a. dobro vzdrževana proga:

zunanja stran krivine 0,039 m

notranja stran krivine 0,007 m

- b. druge proge:

zunanja stran krivine 0,065 m

notranja stran krivine 0,013 m

- d) Kot dodatek zaradi asimetrije določa spodnje vrednosti:

- a. zaradi neenakomerne obremenitve vozila 0,050 m

- b. zaradi nastavitev podvozja vozila 0,015 m

Skupni seštevek dodatkov zaradi slučajnostnih napak podobno kot standard določa za minimalni svetli profil proge, ki ga izračuna s pomočjo kvadratične vsote, povečane za varnostni faktor in normalni svetli profil, ki ga sešteje z navadno vsoto.

7.1.3.1 Minimalni svetli profil

Kodeks UIC 505-4 OR podobno kot standard pri določanju minimalnega svetlega profila predpostavlja, da obstaja majhna verjetnost, da bi vsi pojavi nastopili istočasno, zato jih sešteje s pomočjo kvadratične vsote, za katero velja $\sqrt{a^2 + b^2} < a + b$, seštevek pa poveča za varnostni faktor, za katerega velja $k > 1$.

1. za dobro vzdrževane proge in $V > 80 \text{ km/h}$

$$\Sigma'_i = k \sqrt{0,025^2 + \left[0,01h + \frac{0,4}{1,5} \cdot 0,015 \cdot (h - 0,5)_{>0}\right]^2 + \left(\frac{0,4}{1,5}\right)^2 \cdot [0,007^2 + 0,05^2 + 0,015^2] \cdot (h - 0,5)_{>0}^2} \quad (46)$$

$$\Sigma'_a = k \sqrt{0,025^2 + \left[0,01h + \frac{0,4}{1,5} \cdot 0,015 \cdot (h - 0,5)_{>0}\right]^2 + \left(\frac{0,4}{1,5}\right)^2 \cdot [0,039^2 + 0,05^2 + 0,015^2] \cdot (h - 0,5)_{>0}^2} \quad (47)$$

2. za dobro vzdrževane proge in $V \leq 80 \text{ km/h}$

$$\Sigma'_i = k \sqrt{0,025^2 + \left[0,0133h + \frac{0,4}{1,5} \cdot 0,020 \cdot (h - 0,5)_{>0}\right]^2 + \left(\frac{0,4}{1,5}\right)^2 \cdot [0,007^2 + 0,05^2 + 0,015^2] \cdot (h - 0,5)_{>0}^2} \quad (48)$$

$$\Sigma'_a = k \sqrt{0,025^2 + \left[0,0133h + \frac{0,4}{1,5} \cdot 0,020 \cdot (h - 0,5)_{>0}\right]^2 + \left(\frac{0,4}{1,5}\right)^2 \cdot [0,039^2 + 0,05^2 + 0,015^2] \cdot (h - 0,5)_{>0}^2} \quad (49)$$

3. za slabše vzdrževane proge in neodvisno od hitrosti

$$\Sigma'_i = k \sqrt{0,025^2 + \left[0,0133h + \frac{0,4}{1,5} \cdot 0,020 \cdot (h - 0,5)_{>0}\right]^2 + \left(\frac{0,4}{1,5}\right)^2 \cdot [0,013^2 + 0,05^2 + 0,015^2] \cdot (h - 0,5)_{>0}^2} \quad (50)$$

$$\Sigma'_a = k \sqrt{0,025^2 + \left[0,0133h + \frac{0,4}{1,5} \cdot 0,020 \cdot (h - 0,5)_{>0}\right]^2 + \left(\frac{0,4}{1,5}\right)^2 \cdot [0,065^2 + 0,05^2 + 0,015^2] \cdot (h - 0,5)_{>0}^2} \quad (51)$$

Kjer je:

- $\Sigma'_{i,a}$ vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m];
- k varnostni faktor [brezdimenzijski];
- h višina opazovane točke nad GRT [m];

$()_{>0}$ pomeni, da je vrednost oklepaja upoštevana le, kadar je ta pozitivna, v nasprotnem primeru pa je enaka nič.

Kodeks UIC 505-4 OR hkrati določa, da seštevek dodatkov za zunanjo ali notranjo ne sme biti manjši od:

1. za dobro vzdrževane proge in $V > 80 \text{ km/h}$

$$\Sigma'' = k\sqrt{0,025^2 + (0,01 \cdot h)^2} \quad (52)$$

2. za dobro vzdrževane proge in $V \leq 80 \text{ km/h}$

$$\Sigma'' = k\sqrt{0,025^2 + (0,01 \cdot h)^2} \quad (53)$$

3. za slabše vzdrževane proge in neodvisno od hitrosti

$$\Sigma'' = k\sqrt{0,025^2 + (0,0133 \cdot h)^2} \quad (54)$$

Kjer je:

- Σ'' vsota prečnih premikov [m];
 k varnostni faktor [brezdimenzijski];
 h višina opazovane točke nad GRT [m].

7.1.3.2 Normalni svetli profil

Pri računanju normalnega svetlega profila kodeks UIC 505-4 OR uporablja enake razširitve, kot jih uporablja za določanje minimalnega svetlega profila, le da jih v tem primeru sešteje s pomočjo aritmetične vsote.

1. za dobro vzdrževane proge in $V > 80 \text{ km/h}$

$$\Sigma_i = 0,025 + 0,01 \cdot h + \frac{0,4}{1,5} \cdot [0,015 + 0,007 + 0,065] \cdot (h - 0,5)_{>0} \quad (55)$$

$$\Sigma_a = 0,025 + 0,01 \cdot h + \frac{0,4}{1,5} \cdot [0,015 + 0,039 + 0,065] \cdot (h - 0,5)_{>0} \quad (56)$$

2. za dobro vzdrževane proge in $V \leq 80 \text{ km/h}$

$$\Sigma_i = 0,025 + 0,0133 \cdot h + \frac{0,4}{1,5} \cdot [0,020 + 0,013 + 0,065] \cdot (h - 0,5)_{>0} \quad (57)$$

$$\Sigma_a = 0,025 + 0,0133 \cdot h + \frac{0,4}{1,5} \cdot [0,020 + 0,065 + 0,065] \cdot (h - 0,5)_{>0} \quad (58)$$

3. za slabše vzdrževane proge in neodvisno od hitrosti

$$\Sigma_a = 0,025 + 0,0133 \cdot h + \frac{0,4}{1,5} \cdot [0,020 + 0,065 + 0,065] \cdot (h - 0,5)_{>0} \quad (59)$$

7.1.3.3 Primerjava kodeksa s standardom

Iz poglavja 7.1.3.2 je razvidno, da kodeks UIC 505-4 OR glede na podane robne pogoje določa izbiro enačbe, v katere so vrednosti dodatkov že vstavljene. Standard na drugi strani podaja splošno enačbo, v katero je treba vstaviti parametre, ki izhajajo iz robnih pogojev.

Najprej primerjam razlike, ki se pri določanju svetlega profila proge, pri računu po kodeksu in standardu, pojavijo pri minimalnem svetlem profilu proge.

Za lažjo primerjavo kodeksa in standarda, enačbe, ki jih določa kodeks UIC 505-4 OR, prepisem v splošnejši obliki, v katere se vstavlja parametre, na enak način, kot jih določa standard. Pri tem za večjo preglednost in primerljivost uporabljam enake oznake za slučajnostne dodatke, kot jih uporablja standard.

$$\Sigma'_{i/a} = k \sqrt{T_{voie}^2 + \left[T_D \cdot \frac{h}{L} + \frac{s_0}{L} \cdot T_D \cdot (h - 0,5)_{>0} \right]^2 + \left(\frac{s_0}{L} \right)^2 \cdot [T_{osc}^2 + \text{dodatek}(T_{susp})^2 + \text{dodatek}(T_{charge})^2] \cdot (h - 0,5)_{>0}^2} \quad (60)$$

Vrednosti koeficientov so prikazane v preglednici 5.

Preglednica 5: Vrednosti parametrov za račun po UIC 505-4 OR

Parameter		Simbol	Notranja stran	Zunanja stran
Nihanje vozila	dobra	T_{osc}	0,007 m	0,039 m
	slaba		0,013 m	0,065 m
Premik tira		T_{voie}	0,025 m	0,025 m
Odklon nadvišanja	$V \leq 80$ km/h	T_D	0,020 m	0,020 m
	$V > 80$ km/h		0,015 m	0,015 m
Neenakomerna obremenitev		T_{charge}	0,050 m	0,050 m
Nastavitve podvozja		T_{susp}	0,015 m	0,015 m
Varnostni faktor		k	1,2	1,2
Koeficient fleksibilnosti		s_0	0,4	0,4
Razdalja med tirnicama		L	1,5 m	1,5 m

Enačbo 21, ki enake dodatke seštevata skladno z določili standarda, nekoliko preuredim:

$$\Sigma'_{2,i/a} = k \cdot \sqrt{T_{voie}^2 + \left\{ \frac{T_D}{L} \cdot h + s_0 \cdot \frac{T_D}{L} \cdot [h - h_{c0}]_{>0} \right\}^2 + \{ \text{dodatek}(T_{susp}) \cdot [h - h_{c0}]_{>0} \}^2 + \{ \text{dodatek}(T_{charge}) \cdot [h - h_{c0}]_{>0} \}^2 + \left\{ \frac{s_0}{L} \cdot T_{osc} \cdot [h - h_{c0}]_{>0} \right\}^2} \quad (61)$$

Vrednosti koeficientov so prikazane v preglednici 6.

Preglednica 6: Vrednosti parametrov za račun po SIST EN 15273-3:2013

Parameter		Simbol	Notranja stran	Zunanja stran
Nihanje vozila	dobra	T_{osc}	0,007 m	0,039 m
	slaba		0,013 m	0,065 m
Premik tira		T_{voie}	0,025 m	0,025 m
Odklon nadvišanja	$V \leq 80$ km/h	T_D	0,020 m	0,020 m
	$V > 80$ km/h		0,015 m	0,015 m
Neenakomerna obremenitev		T_{charge}	$\tan(0,77^\circ)$	$\tan(0,77^\circ)$
Nastavitve podvozja		T_{susp}	$\tan(0,23^\circ)$	$\tan(0,23^\circ)$
Varnostni faktor		k	1,2	1,2
Koeficient fleksibilnosti		s_0	0,4	0,4
Razdalja med tirnicama		L	1,5 m	1,5 m

Primerjava enačb 60 in 61 skupaj s pripadajočima preglednicama nam pokaže, da je razlika pri izračunu dodatkov po kodeksu UIC 505-4 OR in standardu SIST EN 15273-3:2013 pri drugačnem zapisu zajema vpliva zaradi asimetrije. Razlike so obarvane sivo. Po vstavitvi parametrov in izračunu dodatkov zaradi asimetrije, razberem, da je razlika med enim in drugim

zapisom za posamezni seštevanec manjša od 2%. Po seštevku vseh parametrov, ki v enačbi za razširitev minimalnega svetlega profila nastopajo, so vrednosti, izračunane po postopku, ki ga določa kodeks UIC 505-4 OR in standard SIST EN 15273-3:2013, še manjše. Zaradi tega lahko postavim trditev, da razliko pri zapisu asimetrije v enem in drugem primeru v okviru inženirske natančnosti lahko zanemarim.

Do enakega zaključka bi lahko prišel tudi s podobno izvedeno primerjavo normalnega svetlega profila proge, kot ga določata kodeks in standard.

7.1.4 Seštevki dodatkov in izračun profila

Kodeks UIC 505-4 OR svetli profil proge izračuna po enačbi:

$$b_{i/a} = b_{CR} + S_{i/a} + q_{si/a} + \max \left\{ \begin{array}{l} \Sigma'_{i/a} \\ \Sigma'' \end{array} \right. \quad (62)$$

Kjer je:

- $b_{i/a}$ širina odnosnice na notranji/zunanji strani krivine [m];
- b_{CR} polovična širina odnosnice [m];
- $S_{i/a}$ preves vozila na notranji/zunanji strani krivine [m];
- $q_{si/a}$ kvazistatični pomik vozila na notranji/zunanji strani krivine [m];
- $\Sigma'_{i/a}$ vsota prečnih premikov na notranji/zunanji strani krivine [m];
- Σ'' vsota prečnih premikov [m].

Če enačbo primerjam z enačbama 23 in 24, ki ju zaradi lažje preglednosti ponovno zapišem, lahko vidim, da je druga razlika pri izračunu svetlega profila proge med kodeksom UIC 505-4 OR in standardom SIST EN 15273-3:2013 poleg že prikazane razlike, ki nastopi zaradi asimetrije vozila (in ki je zanemarljivo majhna), še drugače upoštevana vrednost kvazistatičnega pomika.

$$b_{lim,i} = b_{CR} + S_i + \max \left\{ \begin{array}{l} \Sigma'_{2,i} + K \cdot (D - D_0) \\ \Sigma'' \\ \Sigma'_{2,a} - K \cdot I_0 \end{array} \right. \quad (23)$$

$$b_{lim,a} = b_{CR} + S_a + \max \left\{ \begin{array}{l} \Sigma'_{2,a} + K \cdot (I - I_0) \\ \Sigma'' \end{array} \right. \quad (24)$$

Razliko, ki pri računu svetlega profila nastopi v praksi, lahko razdelimo na dva dela, in sicer za nadvišanja, ki so manjša od D_0 , in primanjkljaje nadvišanj, manjše od I_0 na eni strani ter nadvišanja in primanjkljaje nadvišanj, ki so večji ali enaki robnim vrednostim.

7.1.4.1 Razlika pri $D < D_0$ ali $I < I_0$

Razlike pri majhnih nadvišanjih ali primanjkljajih nadvišanj so nekoliko večje, kot pri večjih vrednostih nadvišanj ali primanjkljajev nadvišanj.

Razlike v polovični širini svetlega minimalnega svetlega profila, ki jih izračunamo po kodeksu UIC 505-4 OR in standardu SIST EN 15273-3:2013 odvisno od izbranih parametrov znašajo do 20 mm na notranji strani krivine in do 25 mm na zunanji strani krivine za proge, ki so slabše vzdrževane. Za dobro vzdrževane proge so razlike manjše in jih lahko zanemarimo. Svetli profili, izračunani po standardu so ožji od svetlih profilov, izračunanih po kodeksu UIC.

Razlike se pojavijo tudi pri normalnem svetlem profilu proge. Odvisno od izbranih robnih pogojev lahko znašajo tudi več kot 50 mm. Ker normalni svetli profil določa upravljavec infrastrukture glede na specifične potrebe proge, razliko lahko kompenzira s specifičnimi dodatki, ki jih določa.

Preverim še, do kakšnih razlik bi lahko prišlo, če projektant ne bi upošteval korigiranega zajema kvazistatičnega pomika, ki ga določa standard. V tem primeru bi lahko prišlo do večjih odstopanj med širinami svetlih profilov, saj bi se dodatek razširitve zaradi kvazistatičnega pomika odštel od ostalih razširitev. Ob določenih parametrih bi bil minimalni svetli profil, ožji do 50 mm.

7.1.4.2 Razlika pri $D \geq D_0$ ali $I \geq I_0$

Do razlik prihaja tudi pri izračunih, kjer so vrednosti nadvišanj in primanjkljajev nadvišanj večje od mejnih vrednosti, vendar so te razlike manjše. Pri slabše vzdrževanih progah so za minimalni profil manjše od 15 mm na posamezni strani krivine, pri dobro vzdrževanih progah pa manjše od 1 mm. Standard je v primerjavi s kodeksom tudi v tem primeru malenkost varčnejši s prostorom, kar pomeni, da so profili, ki jih izračunamo skladno s standardom, ožji od profilov, izračunanih skladno s kodeksom.

Razlike so v tem primeru v primerjavi s celotno širino profila dovolj majhne, da jih v okviru inženirske natančnosti lahko zanemarimo.

Do razlik prihaja tudi pri primerjavi normalnega profila pri primerjavi izračuna po kodeksu UIC 505-4 OR in standardu SIST EN 15273-3:2013, v skrajnih mejah lahko tudi do 50 mm. Glede na to, da normalni svetli profil določa upravljavec infrastrukture glede na specifične potrebe proge, razliko lahko kompenzira s specifičnimi dodatki, ki jih določa.

7.2 Izračun medtirne razdalje

Kodeks UIC 505-4 OR medtirno razdaljo določa z naslednjima enačbama:

a) minimalna medtirna razdalja:

$$El = 2b_{CR} + S_a + S_i + q_{sa} + q_{si} + \sqrt{(\Sigma'_i)^2 + (\Sigma'_a)^2} \quad (63)$$

b) normalna medtirna razdalja:

$$EN = 2b_{CR} + S_a + S_i + q_{sa} + q_{si} + \Sigma_i + \Sigma_a \quad (64)$$

Razlika pri računu po kodeksu UIC 505-4 OR in standardu SIST EN 15273-3:2013 je ponovno pri zajemu vpliva asimetrije, ki izhaja iz slučajnostnih dodatkov in drugačnega opisa kvazistatičnega pomika.

Pri izračunih minimalne razdalje prihaja do razlik, ki so odvisne predvsem od nadvišanja oz. primanjkljaja nadvišanja. Pri ekstremnih vrednostih pri slabše vzdrževanih progah razlika v medtirni širini lahko znaša do 50 mm, ko pa ekstremne vrednosti zmanjšamo za 10%–20%, pa razlika pade pod 20 mm.

Do večjih razlik ponovno prihaja pri normalnih svetlih profilih, ki pa jih ima upravljavec možnost ustrezno korigirati.

8 Izračun profila proge

Izračunov svetlih profilov železniške proge se lotim na tri načine. V enem primeru so opravljeni po enačbah, kot jih določa standard SIST EN 15273-3:2013 (s tipkarsko napako), v drugem primeru upoštevam korigirane enačbe, tako kot jih standard določa v teoretičnih izhodiščih in v tretjem primeru po postopku, kot ga določa kodeks UIC 505-4 OR. Na ta način prikažem, kakšen vpliv lahko prinese tipkarska napaka in do kakšnih razlik prihaja pri določanju svetlih profilov za izračun po kodeksu in standardu.

Pri računanju svetlega profila železniške proge, moramo predhodno poznati geometrijo proge. Ta vključuje polmer krožnega loga (radij krivine), bočni pospešek in nadvišanje. Določiti je treba tudi vozno hitrost.

Relacije med njimi opisujejo spodnje enačbe.

$$b = \frac{V^2}{13 \cdot R} - \frac{h}{153} \quad (65)$$

$$\Delta h_{p/v} = \pm 153 \cdot b \quad (66)$$

$$h = 11,8 \frac{V^2}{R} \pm \Delta h_{p/v} \quad (67)$$

Kjer je:

- b bočni pospešek [m/s^2];
- V vozna hitrost [km/h];
- R polmer krožnega loka [m];
- h nadvišanje [mm];
- $\Delta h_{p/v}$ primanjkljaj oz. presežek nadvišanja [mm].

Bočni pospešek je posledica bočne sile, ki se pojavi kot manko ob vektorskem seštevanju horizontalne sredobežne sile, ki deluje na vozilo pri vožnji skozi krivino, in njene delne kompenzacije z nadvišanjem zunanje tirnice. Zgonc (2012) navaja, da ima bočni pospešek tri karakteristične vrednosti:

- a) bočni pospešek $b = 0$ imenujemo teoretično ali idealno nadvišanje. Možen je le v primeru, da bi vsi vlaki vozili z isto progovno hitrostjo.
- b) bočni pospešek $b > 0$ se pojavi, ko vozilo vozi hitreje od računske hitrosti. Vozilo ima takrat primanjkljaj nadvišanja. V tem primeru je zunanja tirnica bolj obremenjena od notranje.
- c) bočni pospešek $b < 0$ se pojavi, ko vozilo vozi počasneje od računske hitrosti. Vozilo ima takrat presežek nadvišanja. V tem primeru je notranja tirnica bolj obremenjena od zunanje.

Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog določa mejne dovoljene vrednosti bočnih pospeškov, ki so podane v preglednici 7.

Preglednica 7: Dovoljeni bočni pospeški

	Vlaki brez nagibne tehnike	Vlaki z nizkim koeficientom nagibanja	Vlaki z nagibno tehniko
Maks. na šibkih mestih	0,65 m/s ²	0,85 m/s ²	1,0 m/s ²
Maksimalno	0,75 m/s ²	1,0 m/s ²	1,8 m/s ²
Izjemno	0,85 m/s ²		

Z enačbo 66 so preračunani dovoljeni maksimalni primanjkljaji nadvišanj. Skladno z dogovorom, so primanjkljaji nadvišanj zaokroženi z natančnostjo ± 5 mm in so prikazani v preglednici 8.

Preglednica 8: Dovoljeni maksimalni primanjkljaji nadvišanj

	Vlaki brez nagibne tehnike	Vlaki z nizkim koeficientom nagibanja	Vlaki z nagibno tehniko
Maks. na šibkih mestih	100 mm	130 mm	150 mm
Maksimalno	115 mm	150 mm	270 mm
Izjemno	130 mm		

Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog dovoljuje tudi minimalne negativne bočne pospeške, ki jih prikazujem v preglednici 9.

Preglednica 9: Dovoljeni ekstremni negativni bočni pospeški

	Vlaki brez nagibne tehnike za hitrosti do vključno 120 km/h	... za hitrosti nad 120 km/h do vključno 160 km/h
Normalno	-0,33 m/s ²	-0,45 m/s ²
Maksimalno	-0,45 m/s ²	-0,59 m/s ²
Izjemno	-0,59 m/s ²	-0,72 m/s ²

Z enačbo (66) so preračunani maksimalni presežki nadvišanj, ki so ponovno zaokroženi z natančnostjo ± 5 mm in so prikazani v preglednici 10.

Preglednica 10: Dovoljeni ekstremni presežki nadvišanja

	Vlaki brez nagibne tehnike za hitrosti do vključno 120 km/h	... za hitrosti nad 120 km/h do vključno 160 km/h
Normalno	50 mm	70 mm
Maksimalno	70 mm	90 mm
Izjemno	90 mm	110 mm

Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog (2010) predpisuje tudi, da največje nadvišanje, ki se na progah s tirno gredo sme projektirati znaša 160 mm.

8.1 Robni pogoji in matrika računskih primerov

Glede na to, da standard predvideva ločeni račun za notranjo in zunanjo stran krivine, se zdi smiselno preveriti, v kakšni meri se širina profila na notranji in zunanji strani razlikuje v krivini.

Za lažjo medsebojno primerljivost podatkov, vse izračune opravi pri enaki računski hitrosti in sicer: $V = 80 \text{ km/h}$ in ob enaki izbrani odnosnici G2. Postopek računa svetlega profila proge za odnosnico G2 je enak kot za odnosnico G1, za katero so izpeljane enačbe v poglavju 6. Pri računu svetlega profila se za odnosnico G2 izbere višino opazovane točke $h = 3,530 \text{ m}$.

V nadaljevanju izberem idealno nadvišanje, tako da bočni pospešek znaša $b = 0 \text{ m/s}^2$ in skladno s pravilnikom maksimalni še dopusten bočni pospešek za vlake brez nagibne tehnike $b = 0,75 \text{ m/s}^2$.

Za vsak izbran bočni pospešek izračunam še po štiri različne svetle profile, in sicer za dobro in slabše vzdrževano progo s tirnima širinama $l = 1,435 \text{ m}$ in $l = 1,450 \text{ m}$.

Matrika izračunov je prikazana v preglednici 11.

Preglednica 11: Matrika računskih primerov

Kakovost proge Tirna širina	Dobra	Slaba
$l = 1,435 m$	$b = 0 m/s^2$ $b = 0,75 m/s^2$	$b = 0 m/s^2$ $b = 0,75 m/s^2$
$l = 1,450 m$	$b = 0 m/s^2$ $b = 0,75 m/s^2$	$b = 0 m/s^2$ $b = 0,75 m/s^2$

Širino svetlega profila primerjam še v odvisnosti od polmera krožnega loka. Za vsak primer iz zgornje preglednice izračunam širino svetlega profila za:

- $R_1 = 250 m$;
- $R_2 = 300 m$;
- $R_3 = 350 m$;
- $R_4 = 400 m$;
- $R_5 = 450 m$;
- $R_6 = 500 m$;
- $R_7 = 550 m$;
- $R_8 = 600 m$;
- $R_9 = 650 m$ in
- $R_{10} = 700 m$.

Za vsak izbran polmer krožnega loka in bočni pospešek skladno z enačbami 65, 66 in 67 izračunam primanjkljaj nadvišanja, ki ga prikažem v preglednicah 12 in 13.

Preglednica 12: Račun nadvišanj za robne pogoje pri bočnem pospešku $b = 0 \text{ m/s}^2$.

V [km/h]	80									
b [m/s ²]	0									
Δh [mm]	0									
R [m]	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
h [mm]	302	252	216	189	168	151	137	126	116	108

Preglednica 13: Račun nadvišanj za robne pogoje pri bočnem pospešku $b = 0 \text{ m/s}^2$.

V [km/h]	80									
b [m/s ²]	0,75									
Δh [mm]	115									
R [m]	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
h [mm]	188	137	101	74	53	36	23	11	2	-7

Kjer je:

- V hitrost [km/h];
 b bočni pospešek [m/s²];
 Δh primanjkljaj nadvišanja [mm];
 R polmer krožnega loka [m];
 h nadvišanje [mm].

Opozarjam, da so vrednosti nadvišanj v preglednicah nad 160 mm večje, kot jih Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog (2010) dopušča in so uporabljene zgolj za primerjavo rezultatov.

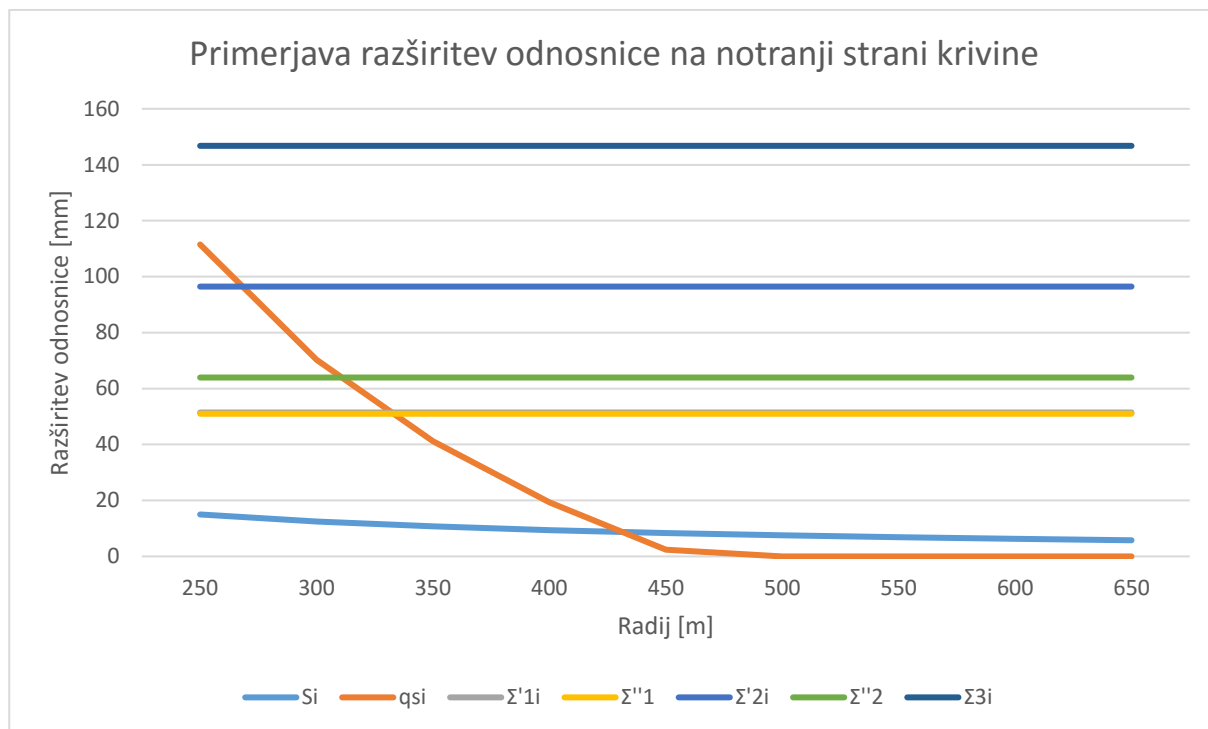
8.2 Prvi računski primer

Najprej primerjam, koliko se odnosnica razširi zaradi vsake posamične razširitve. Kot referenčni primer izberem naslednje robne pogoje:

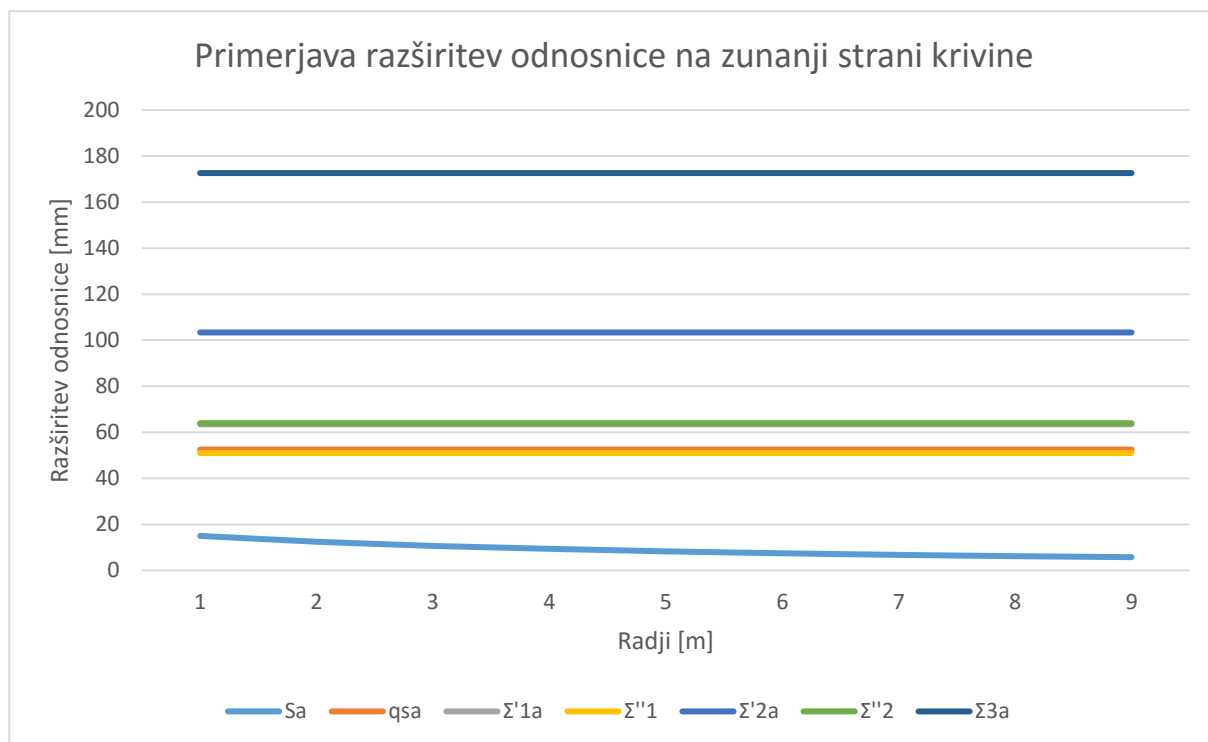
- $b = 0,75 \text{ m/s}^2$;
- $l = 1,435 \text{ mm}$;
- dobro vzdrževana proga.

Rezultati so prikazani na grafikonu 1 za notranjo stran krivine in grafikonu 2 za zunanjo stran krivine. Oznake imajo naslednji pomen:

- Si preves vozila na notranji strani krivine;
- qsi kvazistatični premik vozila na notranji strani krivine;
- $\Sigma'1i$ vsota prečnih premikov na notranji strani krivine za *structure verification limit gauge*;
- $\Sigma''1$ vsota prečnih premikov za *structure verification limit gauge*;
- $\Sigma'2i$ vsota prečnih premikov na notranji strani krivine za minimalni svetli profil;
- $\Sigma''2$ vsota prečnih premikov za minimalni svetli profil;
- $\Sigma 3i$ vsota prečnih premikov na notranji strani krivine za normalni svetli profil;
- Sa preves vozila na zunanji strani krivine;
- qsa kvazistatični premik vozila na zunanji strani krivine;
- $\Sigma'1a$ vsota prečnih premikov na zunanji strani krivine za *structure verification limit gauge*;
- $\Sigma''1$ vsota prečnih premikov za *structure verification limit gauge*;
- $\Sigma'2a$ vsota prečnih premikov na zunanji strani krivine za minimalni svetli profil;
- $\Sigma''2$ vsota prečnih premikov za minimalni svetli profil;
- $\Sigma 3a$ vsota prečnih premikov na zunanji strani krivine za normalni svetli profil.



Grafikon 1: Primerjava razširitev odnosnice na notranji strani krivine



Grafikon 2: Primerjava razširitev odnosnice na zunanji strani krivine

Ob primerjavi grafikonov 1 in 2 opazim, da so slučajnostni dodatki konstantni in so neodvisni od polmera krožnega loka krivine. Rezultat je glede na predstavljene enačbe in parametre, ki v njih nastopajo, pričakovan. Na grafikonu 1 se krivulji zaradi vsote prečnih premikov na notranji strani krivine za *structure verification limit gauge* in vsote prečnih premikov (kontrolna) za *structure verification limit gauge* prekrivata, na grafikonu 2 pa se prekrivata vsota prečnih premikov na zunanji strani krivine za *structure verification limit gauge* in vsota prečnih premikov za minimalni svetli profil. V prvem primeru bi bile vrednosti dodatkov v primerljivem velikostnem redu tudi pri drugače izbranih podatkih, v drugem primeru pa gre zgolj za naključje pri izboru robnih pogojev. Pri drugače izbranih robnih pogojih bi bila v tem primeru razlika večja.

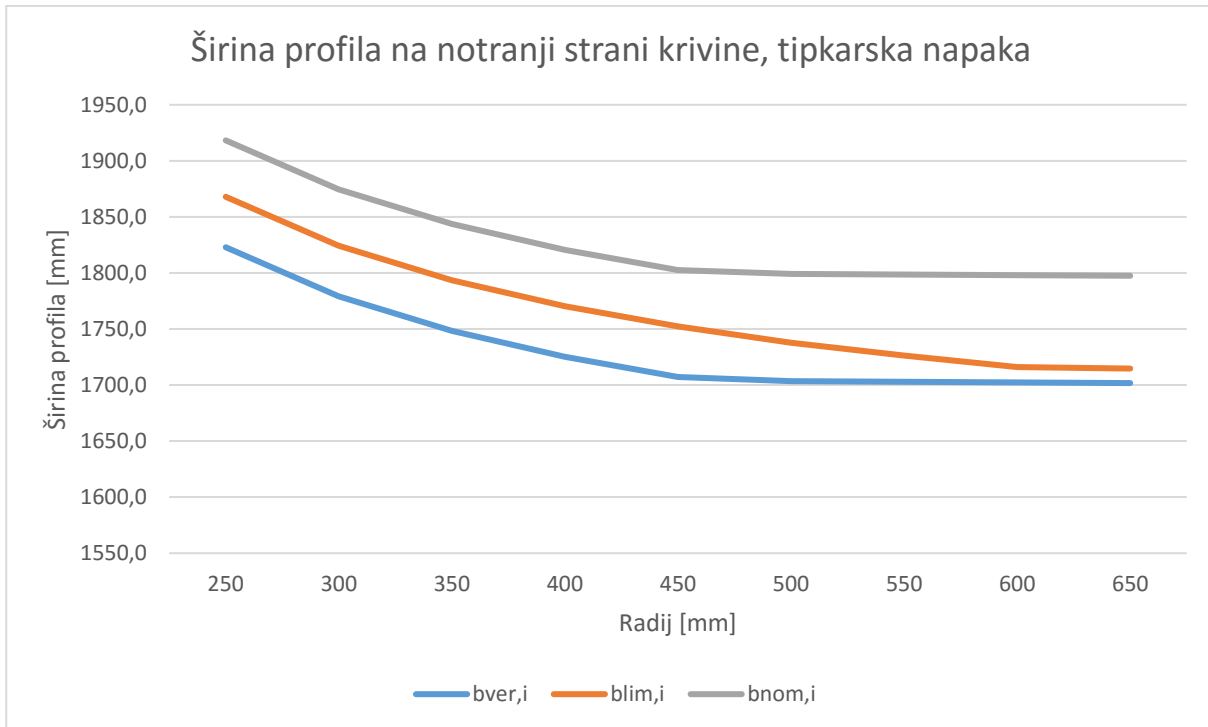
Na grafikonu 1 je opazna oblika krivulje zaradi kvazistatičnega premika. Do pojava pride zaradi dovoljenega velikega bočnega pospeška in izbrane relativno velike hitrosti za krivine z manjšim polmerom krožnega loka. Pri radijih nad 450 m nadvišanja zaradi kvazistatičnega pomika ne upoštevam, ker je manjši od 50 mm, pri manjših pa na vozila zaradi velike hitrosti glede na velikost zaokrožitve deluje velika bočna sila, ki jo prevzemam z nadvišanjem in dopustnim bočnim pospeškom.

Iz obeh grafikonov lahko razberem, da se dodatek zaradi prevesa vozila na notranji in zunanji strani krivine z večanjem radija manjša po linearni krivulji, kar se zdi tako z vidika predstavljenih enačb kot z razmislekom s pomočjo grafične predstave pravilno.

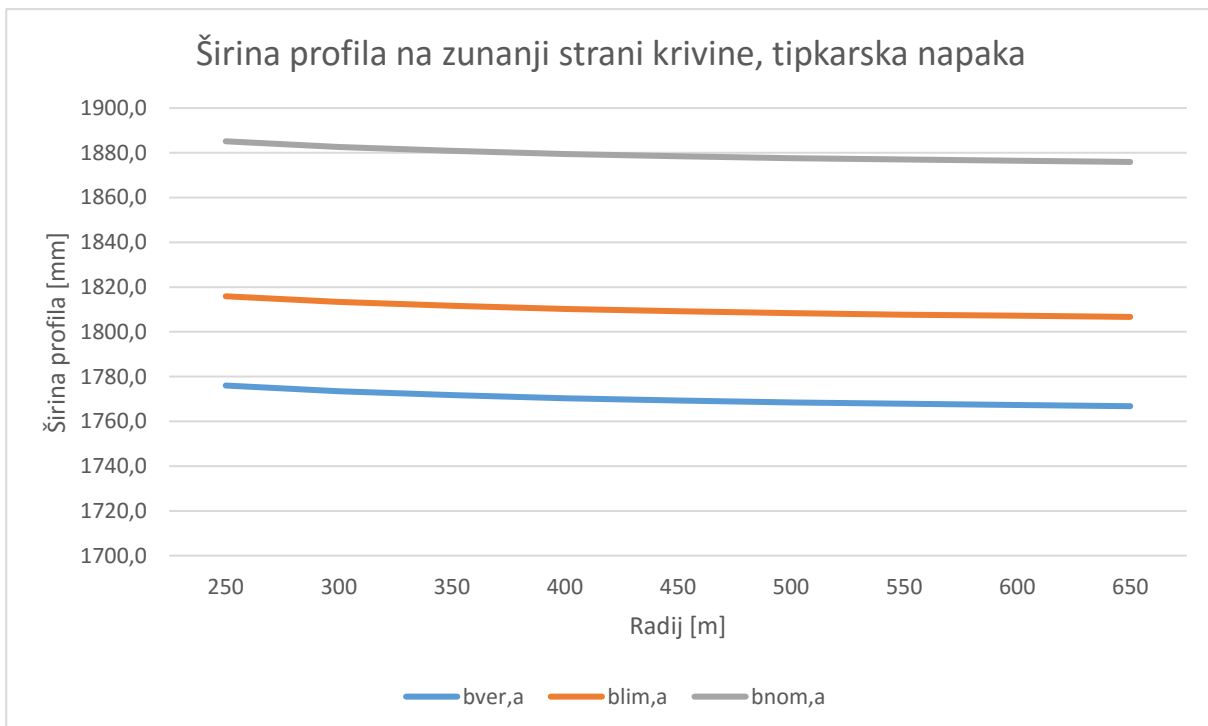
Da so dodatki za *structure verification limit gauge* manjši od dodatkov za minimalni svetli profil in da so ti manjši od dodatkov za normalni svetli profil, je tudi smiselno.

Na grafikonih 3 in 4 primerjam še skupno širino profila na notranji in zunanji strani krivine glede na vrsto profila. Širine najprej izračunam po enačbi, v kateri je prisotna tipkarska napaka. Pri tem oznake pomenijo:

- bver,a širina *structure verification limit gauge* na notranji strani krivine;
- blim,a širina minimalnega svetlega profila na notranji strani krivine;
- bnom,a širina normalnega svetlega profila na notranji strani krivine;
- bver,i širina *structure verification limit gauge* na notranji zunanji krivine;
- blim,i širina minimalnega svetlega profila na notranji zunanji krivine;
- bnom,i širina normalnega svetlega profila na notranji zunanji krivine.

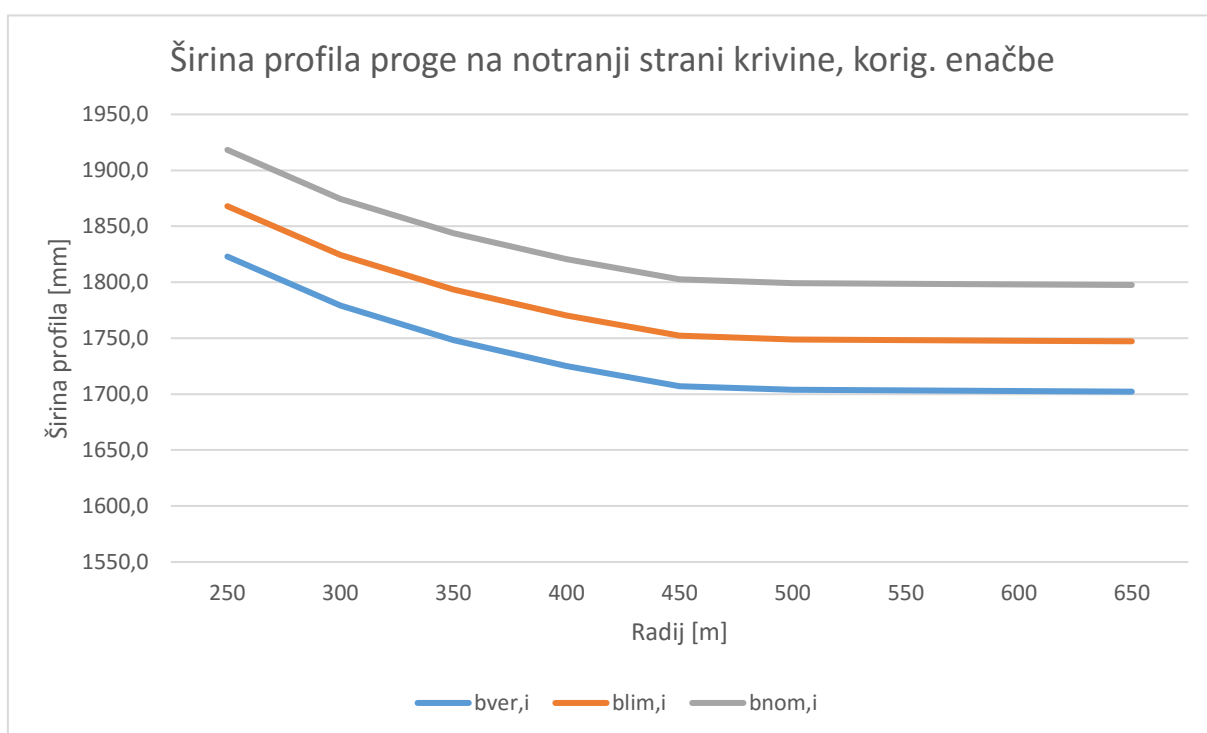


Grafikon 3: Primerjava širine svetlega profila na zunanji strani krivine



Grafikon 4: Primerjava širine svetlega profila na notranji strani krivine

Iz oblike grafikonov 3 in 4 se vidi, da izhajata iz razširitev, ki so prikazane na grafikonih 1 in 2. Gradient širinam na notranji strani krivine določa dodatek zaradi prevesa v krivini. Širine profila na zunanji strani krivine z naraščanjem polmera krivine v prvi polovici sledijo razširitvam zaradi kvazistatičnega pomika, kasneje pa se padec umiri. To ne velja za minimalni svetli profil. Predpostavljam, da razlog za napako izhaja iz tiskarske napake pri zapisu enačbe 7. Širine profilov na notranji strani krivine izračunam ponovno z upoštevanim popravkom, ki je prikazan z enačbo 7a in širine profilov prikažem z grafikonom 5. Oznake imajo enak pomen, kot na grafikonih 3 in 4.



Grafikon 5: Širina svetlega profila proge na notranji strani krivine s predlaganim popravkom enačbe.

Iz grafikona 5 širina vseh treh s standardom določenih profilov na notranji strani krivine sledi obliki razširitev, kjer obliko širine profila v odvisnosti od radija določa kvazistatični pomik. Na osnovi prikazanih rezultatov lahko zaključim, da mora projektant poleg enačb, ki so zapisane v standardu pri njegovi uporabi poznati celoten standard, skupaj s teoretičnim uvodom, na osnovi katerega mora upoštevati ustrezno korekcijo zapisanih enačb.

8.3 Drugi računski primer

Z drugim računskim primerom želim prikazati, kakšen vpliv na širino svetlega profila ima posamezni parameter iz v začetku določenih robnih pogojev. Ločeno za zunanjo in notranjo stran krivine primerjam širino svetlega profila po enačbah, kot jih določa standard z upoštevanim popravkom enačb.

Zaradi boljše preglednosti grafikonov za vsak profil naredim ločen grafikon za račun po standardu in za račun s korigiranimi enačbami.

Oznake krivulj na vseh grafikonih označim takole:

D5I	dobro vzdrževana proga, $l = 1,435 \text{ m}$, $b = 0 \text{ m/s}^2$;
D5M	dobro vzdrževana proga, $l = 1,435 \text{ m}$, $b = 0,75 \text{ m/s}^2$;
D0I	dobro vzdrževana proga, $l = 1,450 \text{ m}$, $b = 0 \text{ m/s}^2$;
D0M	dobro vzdrževana proga, $l = 1,450 \text{ m}$, $b = 0,75 \text{ m/s}^2$;
S5I	slabše vzdrževana proga, $l = 1,435 \text{ m}$, $b = 0 \text{ m/s}^2$;
S5M	slabše vzdrževana proga, $l = 1,435 \text{ m}$, $b = 0,75 \text{ m/s}^2$;
S0I	slabše vzdrževana proga, $l = 1,450 \text{ m}$, $b = 0 \text{ m/s}^2$;
S0M	slabše vzdrževana proga, $l = 1,450 \text{ m}$, $b = 0,75 \text{ m/s}^2$.

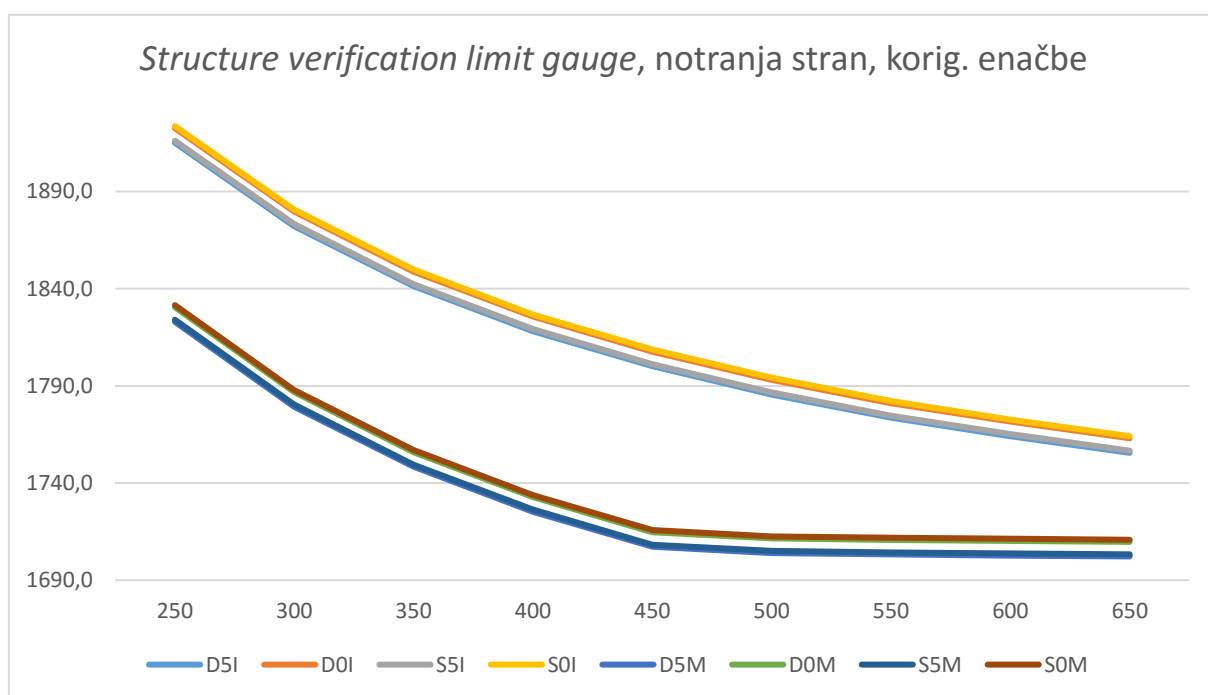
Da se bralcu ne bo potrebno vračati k tej legendi, pojasnim še ključ, ki je pri določanju oznak uporabljen.

Oznake so sestavljene iz treh delov in sicer:

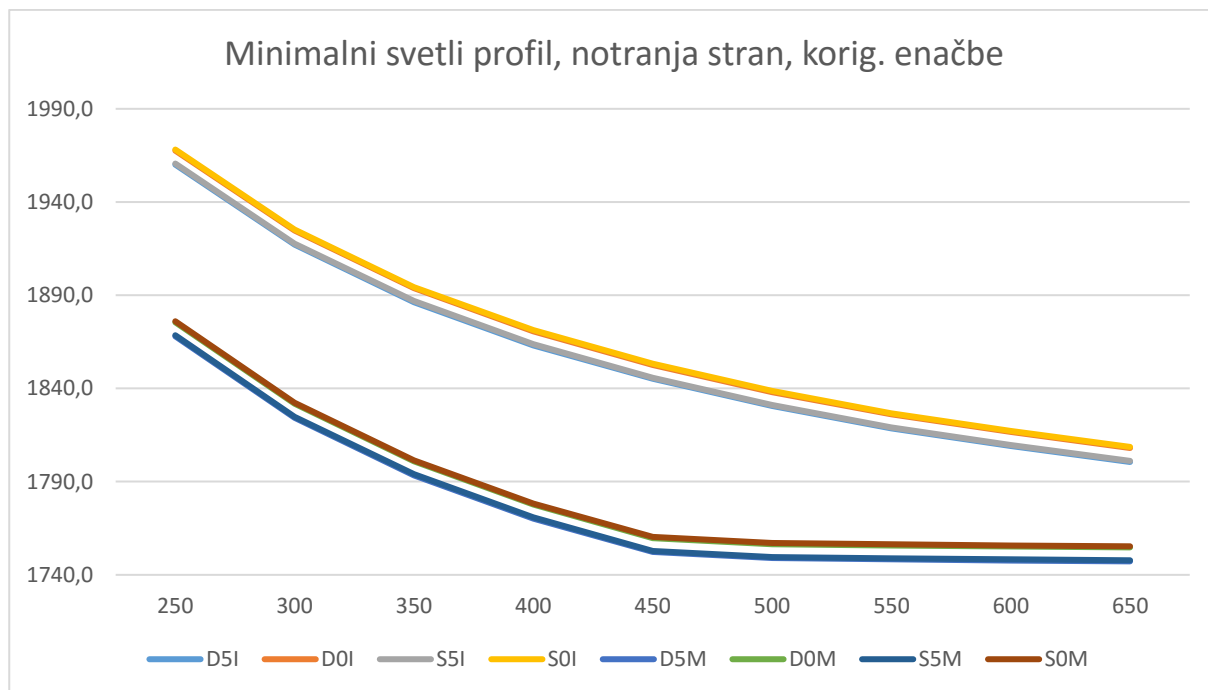
- prvi indikator opisuje stanje proge:
 - D: dobro vzdrževana;
 - S: slabše vzdrževana;
- drugi indikator označuje medtirno razdaljo:
 - 5: tirna širina $l = 1,435 \text{ m}$ – v oznaki je uporabljena zadnja številka;
 - 0: tirna širina $l = 1,450 \text{ m}$ – v oznaki je uporabljena zadnja številka;
- tretji indikator označuje bočni pospešek:
 - I: idealni bočni pospešek $b = 0 \text{ m/s}^2$ in
 - M: maksimalni dopustni bočni pospešek $b = 0,75 \text{ m/s}^2$.

Na grafikonih 6–8 prikazujem širine za notranje polovice profilov, na grafikonih 9–11 pa za zunanje strani po metodah, kot jih določa standard SIST EN 15273-3:2013. Pri tem upoštevam popravek tipkarske napake pri zapisu enačb.

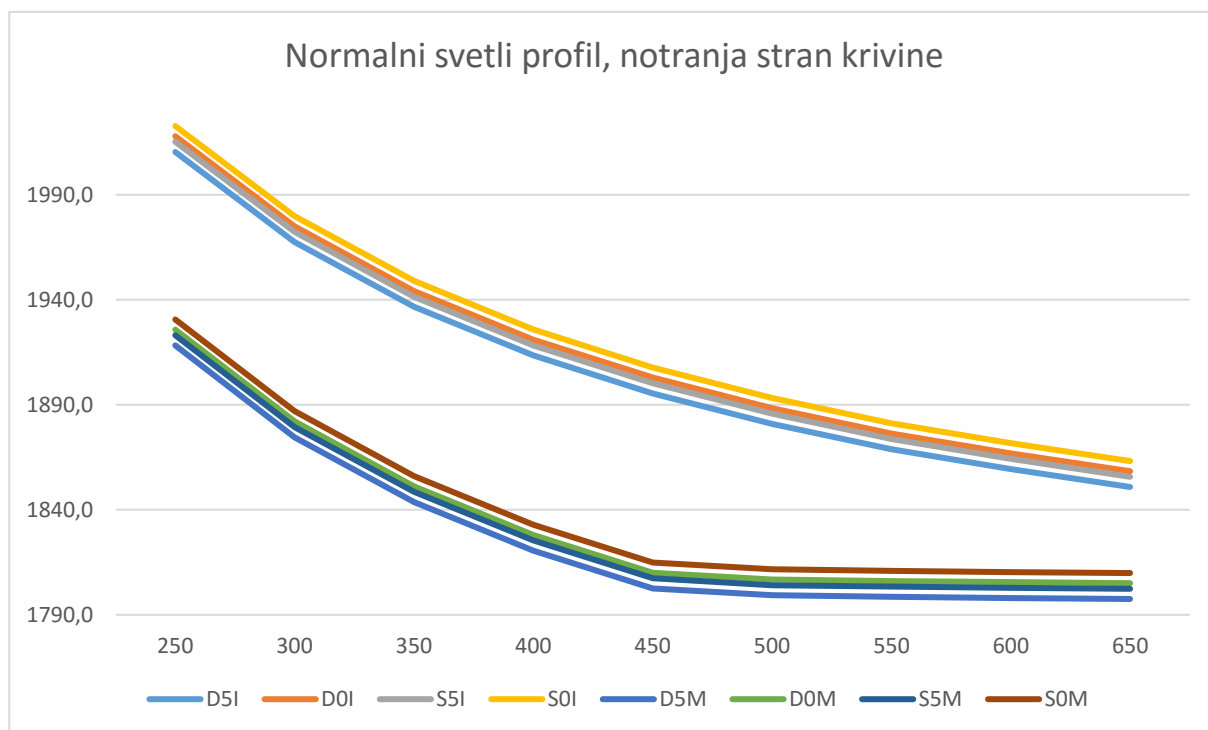
Zaradi boljše preglednosti grafikonov osi niso označene. Na vseh grafikonih 6–11 so na abscisi označeni radiji krivine z enoto v [m], na ordinati pa širina profila z enoto v [mm]. Bralca opozarjam, da so skale na ordinatni osi prilagojene čim boljšemu prikazu rezultatov in da začetna točka in korak nista enotna za vse prikazane grafikone.



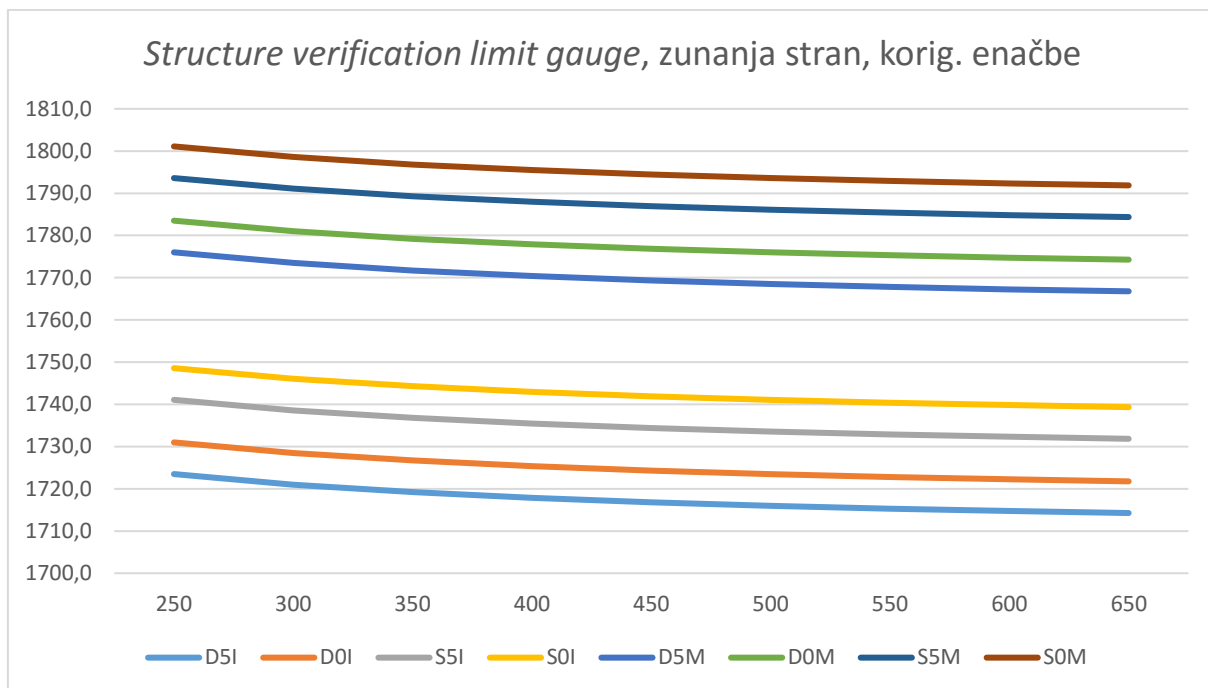
Grafikon 6: Notranja polovica svetlega profila za structure verification limit gauge, upoštevane popravljene enačbe



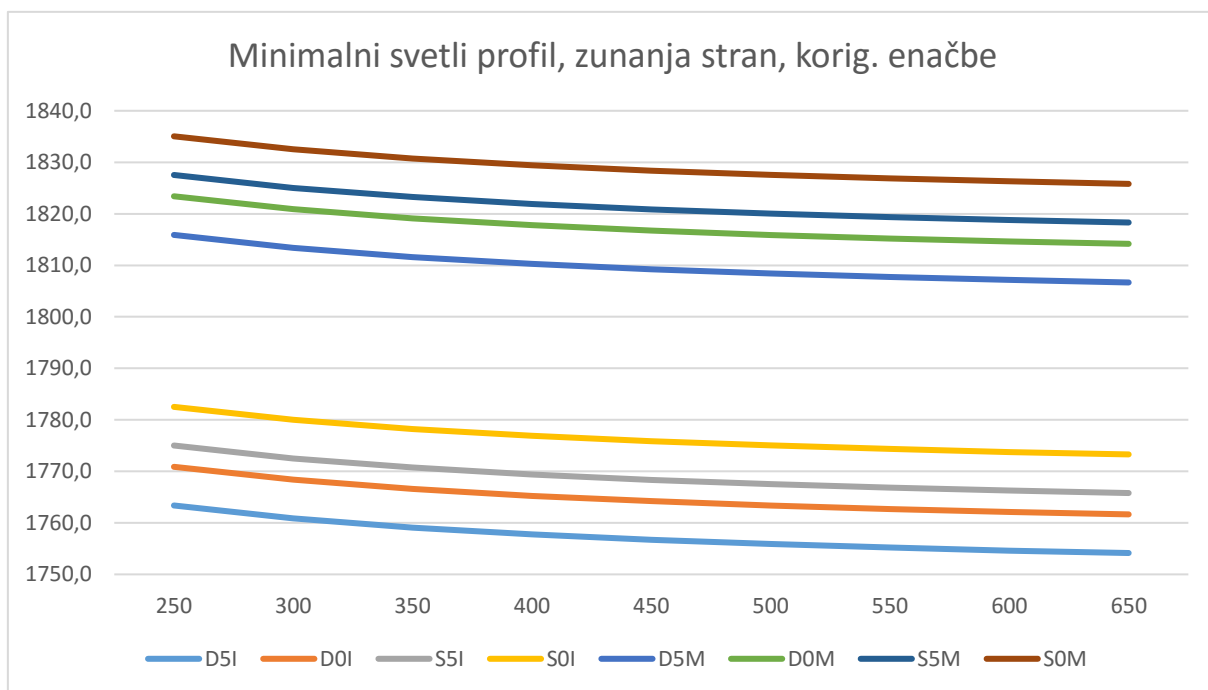
Grafikon 7: Notranja polovica svetlega profila za minimalni svetli profil, upoštevane so popravljene enačbe



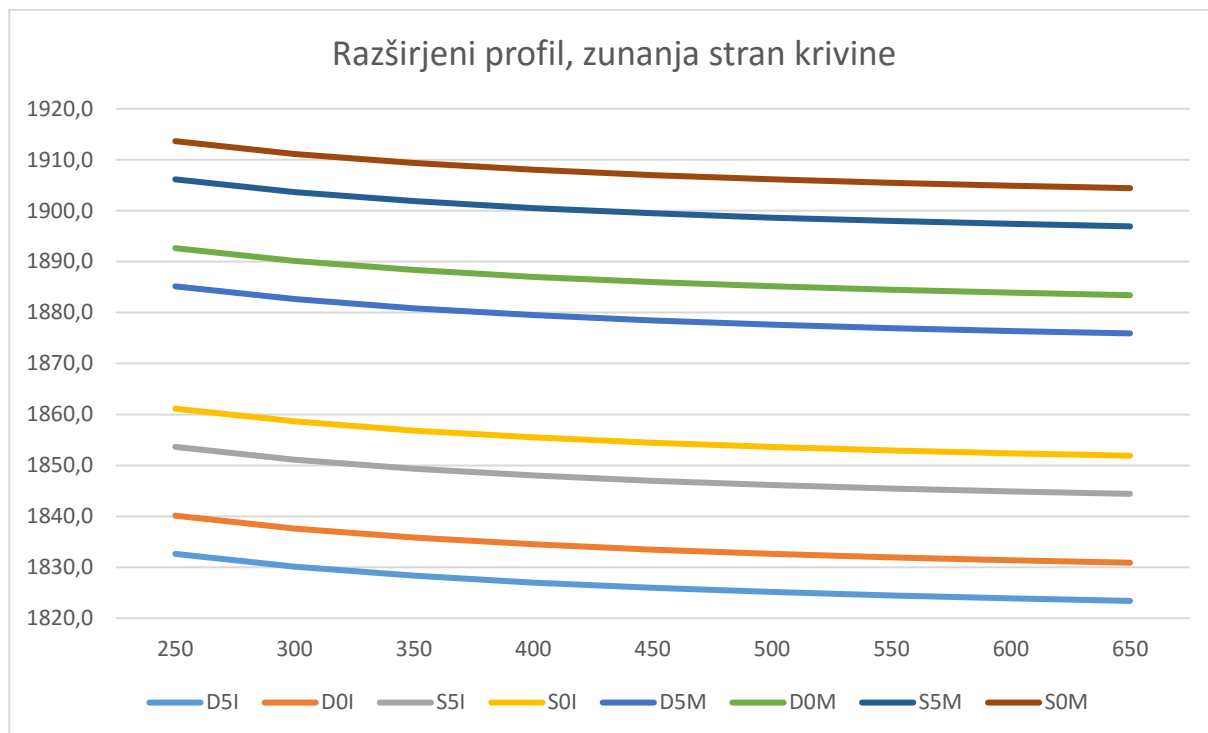
Grafikon 8: Notranja polovica svetlega profila za normalni svetli profil



Grafikon 9: Zunanja polovica svetlega profila za structure verification limit gauge, upoštevane popravljene enačbe



Grafikon 10 Zunanja polovica svetlega profila za minimalni svetli profil, upoštevane so popravljene enačbe



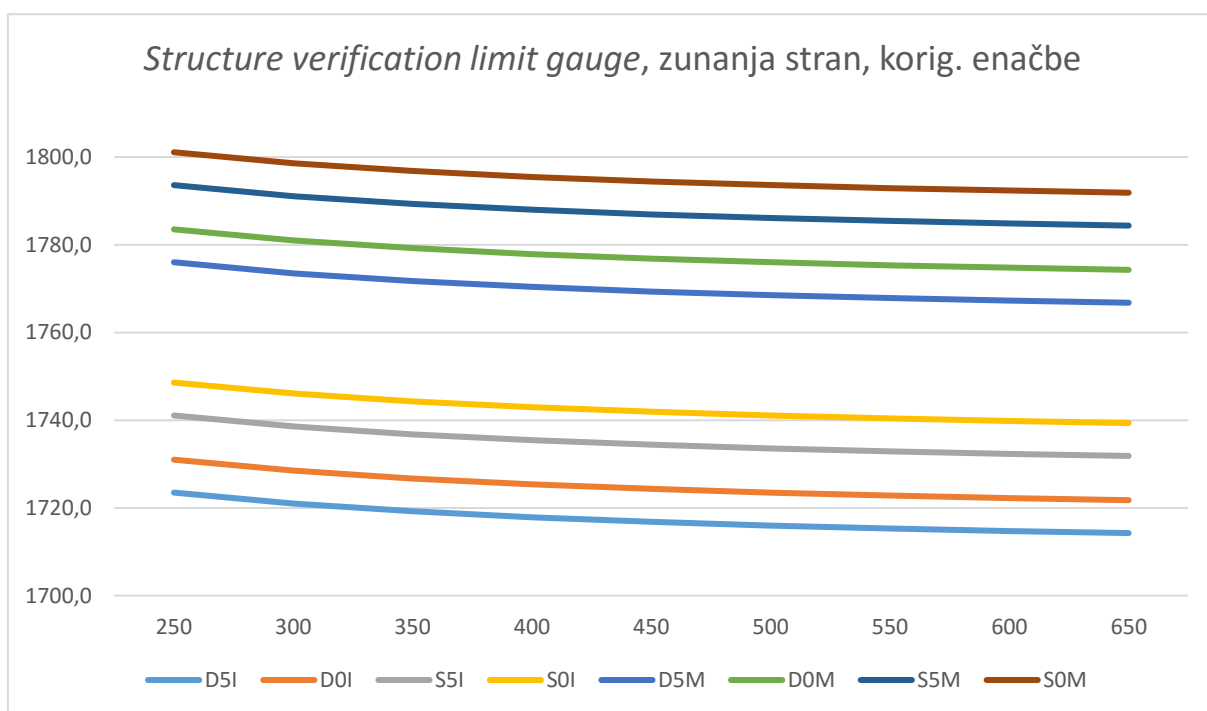
Grafikon 11: Zunanja polovica svetlega profila za razširjeni svetli profil

Iz primerjave grafikonov 6–8 lahko razberem, da ima pri določanju svetle širine profila na notranji strani krivine daleč največji vpliv nadvišanje tira. Za vse izračunane svetle profile, pri katerih je bočni pospešek $b = 0 \text{ m/s}^2$ (za vse tri vrste profilov), namreč velja, da so lahko pri istem radiju tudi preko 100 mm širši od profilov, pri katerih je bočni pospešek $b = 0,75 \text{ m/s}^2$. Vpliv preostalih parametrov, tirne širine in kakovosti vzdrževanja tira je v primerjavi z nadvišanjem zelo majhen. Pri *structure verification limit gauge*, kateremu je potrebno zaradi njegove definicije nameniti največ pozornosti (je namreč najožji izmed vseh opisanih), znaša največja razlika pri slabše vzdrževani progah in pri največji dopustni vrednosti primanjkljaja nadvišanja med progama s tirnima širinama $l = 1435 \text{ mm}$ in $l = 1450 \text{ mm}$ manj kot 8 mm.

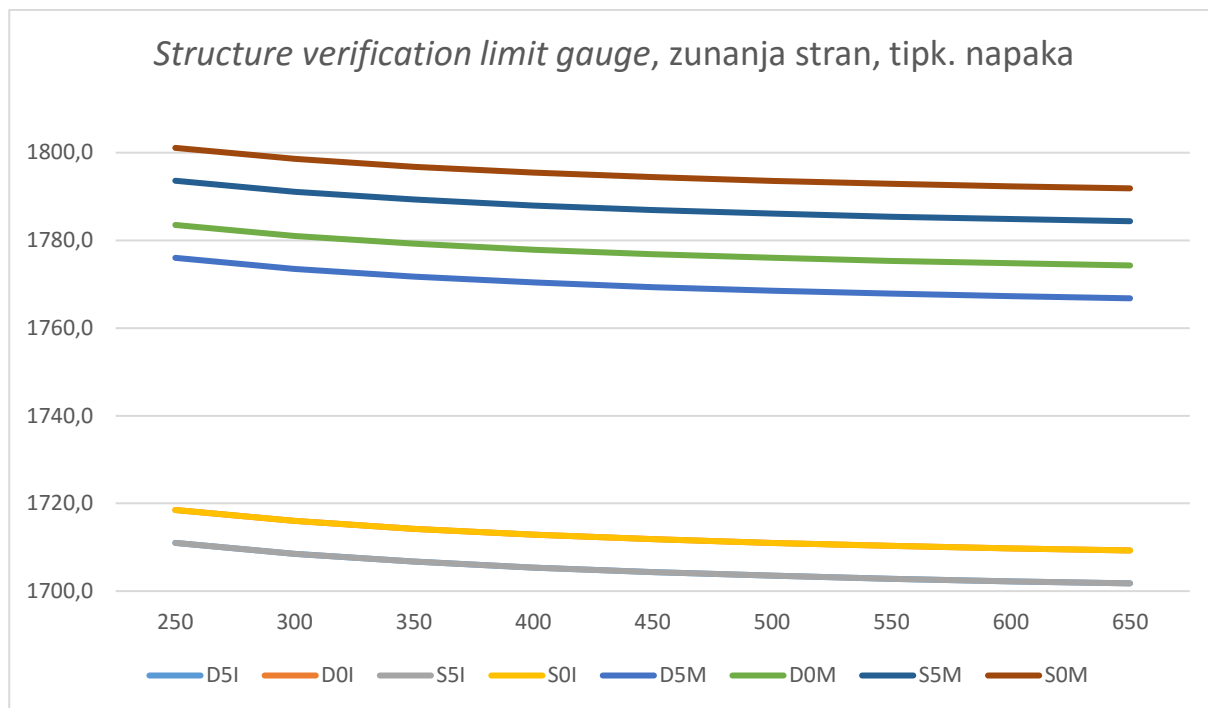
Iz primerjave grafikonov 9–11 pridem do podobne ugotovitve, da ima tudi na zunanji strani krivine največji vpliv izbira nadvišanja tira, s to razliko, da je v tem primeru širina profila večja pri maksimalnem dopustnem bočnem pospešku $b = 0,75 \text{ m/s}^2$ in manjša pri idealnem bočnem pospešku $b = 0 \text{ m/s}^2$. Razlika med največjo in najmanjšo v odvisnosti od bočnega pospeška pri enakem radiju razširitvijo lahko znaša do 80 mm. Imajo pa na zunanji strani krivine nekoliko večji vpliv tudi ostali parametri. Naslednji vpliv po velikosti je kakovost vzdrževanja proge, kjer

profil v absolutnem smislu z dobrim vzdrževanjem lahko zmanjšamo za dobrih 25 mm. Na do slabih 8 mm razlike v širini profila vpliva tirna širina.

Primerjavo standarda SIST EN 15273-3:2013 s popravkom enačb in z enačbami s tipkarsko napako prikazujem na grafikonih 11 in 12 za zunanjo stran *structure verification limit gauge*. Skali na ordinatni osi sta tokrat zaradi lažje primerljivosti poenoteni.



Grafikon 12: Zunanja polovica svetlega profila za structure verification limit gauge, upoštevane popravljene enačbe



Grafikon 13: Zunanja polovica svetlega profila za structure verification limit gauge, upoštevane enačbe s prisotno tipkarsko napako

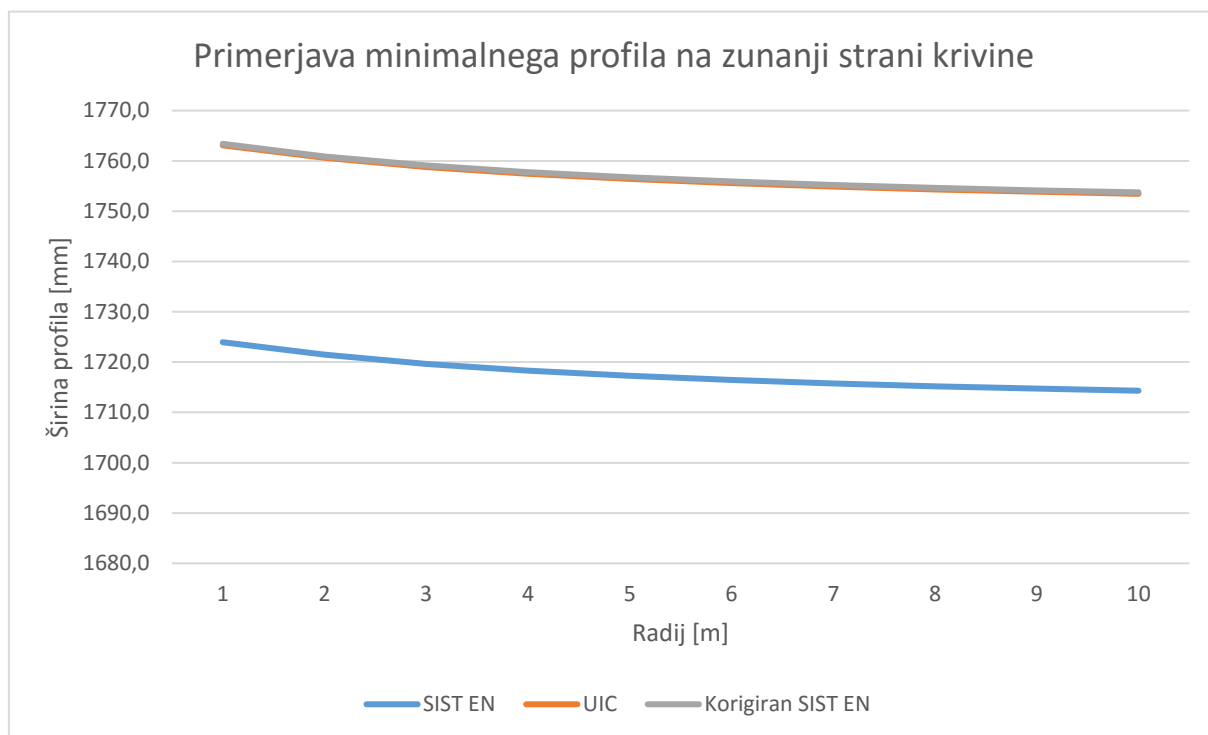
Iz primerjave grafikonov 12 in 13 je opazno, da so širine svetlega profila drugačne, če upoštevam popravek standarda ali enačbe brez upoštevanega popravka. Pri primerih, kjer je bočni pospešek največji dopusten, so rezultati enaki kot pri izračunu skladno s standardom. Pri idealnem bočnem pospešku pa so širine vseh izračunanih profilov manjše, kot bi glede na teoretična izhodišča morale biti. Če upravljavec infrastrukture ne bi poznal teoretičnega ozadja za opisane enačbe, bi pri računu svetlega profila naredil napako, s katero ne bi bil na varni strani.

8.4 Primerjava računa svetlega profila po standardu, kodeksu UIC in popravku standarda

V enem primeru naredim še primerjavo računa svetlega profila po standardu SIST EN 15273-3:2013, po kodeksu UIC 505-4 OR in po standardu s korigiranimi enačbami ter primerjavo prikažem na grafikonu 14. Račun opravi za minimalni svetli profil proge za zunanjo stran krivine.

Oznake krivulj imajo naslednji pomen:

SIST EN	račun svetlega profila po standardu SIST EN 15272:3-2013 z upoštevanom tipkarsko napako;
UIC	račun svetlega profila po kodeksu UIC 505-4 OR in
Korigiran SIST EN	račun svetlega profila po standardu SIST EN 15272:3-2013 z upoštevanim popravkom.



Grafikon 14: Primerjava standarda z upoštevanom tipkarsko napako, kodeksa in popravka standarda

Iz grafikona je razvidno, da so širine svetlih profilov pri računu po kodeksu UIC in popravljenem standardu skoraj enake. Razlika med njima znaša 0,3 mm, kar lahko zanemarimo. Račun profila po enačbi, kot je s tipkarsko napako zapisana v standardu, pa po drugi strani svetli profil proge v primerjavi s kodeksom UIC zmanjša za 39 mm.

8.5 Tretji računski primer

Pri tretjem računskem primeru primerjam razliko velikosti svetlih profilov GA, GB in GC. Profili so določeni za progo v premi. Podatki so v tem primeru pridobljeni grafično in sicer iz slike 16, ki je risana v merilu. V preglednici 14 so zapisane površine prečnih prerezov posameznih profilov.

Preglednica 14: Površine prečnih prerezov svetlih profilov GA, GB in GC.

Oznaka profila	Površina profila
Profil GA	12,4 m ²
Profil GB	12,6 m ²
Profil GC	14,0 m ²

Iz primerjave podatkov v preglednici 14 vidim, da je površina prečnega preseka svetlih profilov GA in GB podobna. Razlika med njima znaša manj, kot 2%. Rezultat je pričakovan, saj so osnovne dimenzije profilov enake, z izjemo pri zaokrožitvi zgornjega dela profila.

Prečni prerez profila GC je od profilov GA in GB večji, od prvega za dobrih 11%, od drugega pa za slabih 13%. Zaradi dobrih 30 cm nižje višine profilov GA in GB je smiselno, da pri nadgradnjah prog, na katerih so predori z obstoječim majhnim prečnim profilom, dopustimo tudi uporabo profilov GA ali GB, saj s tem olajšamo in pocenimo izvedbo nadgradnje.

9 Določanje medtirne razdalje

Izračun medtirne razdalje za dvotirno progo v krivini sledi v nadaljevanju.

Iz splošne geometrije izhaja trditev, da ima notranji tir nekoliko manjši polmer krožnega loka, kot ga ima zunanji. Čeprav standard ne predvideva iteracijskega postopka za določanje medtirne razdalje in korekcije enega izmed radijev, najprej preverim, kakšen vpliv ima medtirna razdalja na en ali drug radij.

Izbrani začetni robni pogoji veljajo za oba tira:

- vozna hitrost $V = 80 \text{ km/h}$;
- polmer krožnega loka $R = 500 \text{ m}$;
- bočni pospešek $b = 0 \text{ m/s}^2$;
- tirna širina $l = 1435 \text{ mm}$;
- odnosnica G2;
- dobro vzdrževana proga na tirni gredi.

Z enačbama 66 in 67 izračunam primanjkljaj nadvišanja, ki znaša $\Delta h_p = 0 \text{ mm}$ in nadvišanje, ki znaša $h = 150 \text{ mm}$.

Robni pogoji naj v začetku veljajo za oba tira, v nadaljevanju pa polmer notranjega tira zmanjšam za izračunano medtirno razdaljo in postopek ponavljam toliko časa, da se medtirna razdalja ne bo spreminjala za več kot 1 mm. Račun opravi za vse tri predstavljene vrste medtirnih razdalj, kot merodajno pa izberem minimalno medtirno razdaljo.

Izračuni medtirnih razdalj, ki izhajajo iz izbranih začetnih robnih pogojev so prikazani v preglednici 15.

Preglednica 15: Izračun medtirnih razdalj pri izbranih robnih pogojih

Vrsta medtirne razdalje	Medtirna razdalja
Medtirna razdalja pri <i>structure verification limit gauge</i>	3427,1 mm
Minimalna medtirna razdalja	3486,8 mm
Normalna medtirna razdalja	3705,2 mm

Iz preglednice 15 razberem, da minimalna medtirna razdalja znaša 3486,8 mm.

V prvi iteraciji za to vrednost zmanjšam polmer krivine, ki tako znaša $R_2 = 496,513 \text{ m}$, in po enačbi 67 preračunam novo vrednost nadvišanja, ki znaša $h = 151,7 \text{ mm}$. V preglednici 16 predstavim nove medtirne razdalje, ki izhajajo iz prve iteracije.

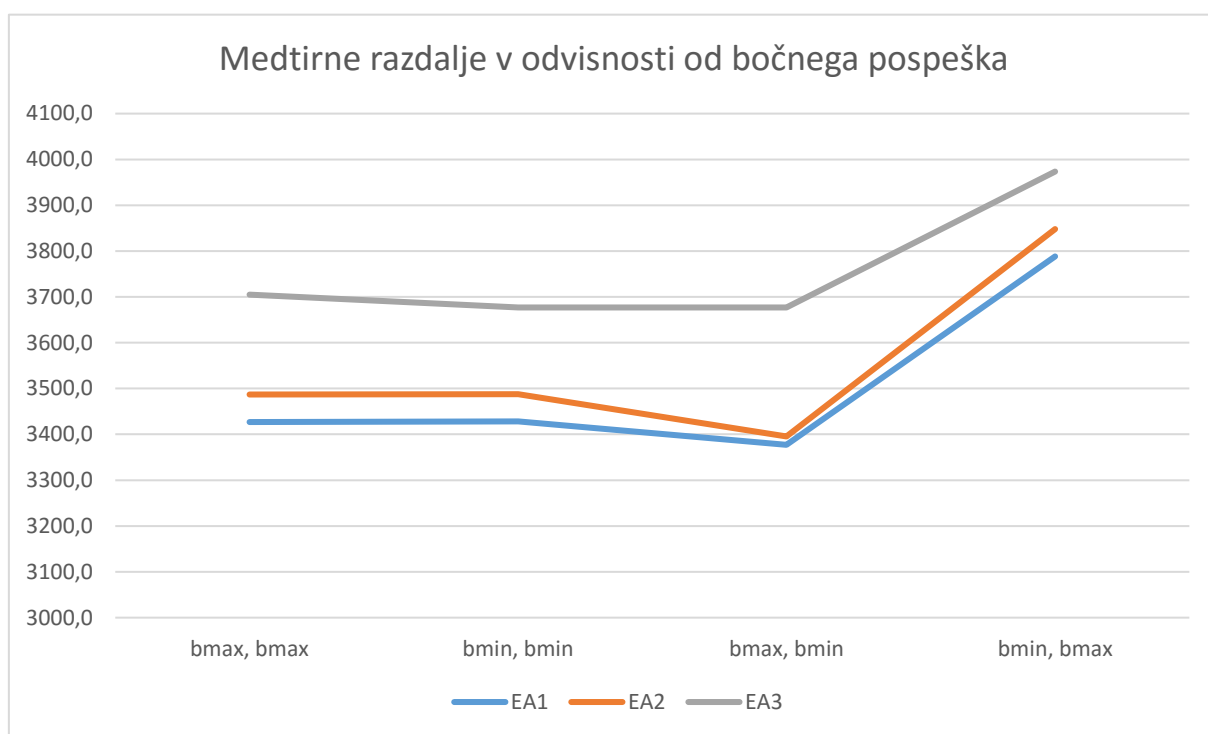
Preglednica 16: Prva iteracija medtirnih razdalj

Vrsta medtirne razdalje	Medtirna razdalja
Medtirna razdalja pri <i>structure verification limit gauge</i>	3427,2 mm
Minimalna medtirna razdalja	3486,8 mm
Normalna medtirna razdalja	3705,2 mm

Iz primerjave preglednic 15 in 16 sledi, da je iteracijski postopek nepotreben, saj že pri prvem izračunu dobimo vrednosti, ki so do desetinke milimetra enake vrednostim v prvi iteraciji. Če bi iteracijski postopek ponavljali, bi bile razlike še manjše, vendar nimajo uporabne inženirske vrednosti.

Za zgornje robne pogoje izračunam še medtirno razdaljo v odvisnosti od bočnega pospeška in rezultate prikažem na grafikonu 15. Pri tem oznake na grafikonu pomenijo:

- bmax, bmax bočni pospešek $b = 0,75 \text{ m/s}^2$ za oba tira;
- bmin, bmin bočni pospešek $b = 0 \text{ m/s}^2$ za oba tira;
- bmax, bmin bočni pospešek $b = 0,75 \text{ m/s}^2$ za zunanji tir in $b = 0 \text{ m/s}^2$ za notranji tir;
- bmin, bmax bočni pospešek $b = 0 \text{ m/s}^2$ za zunanji tir in $b = 0,75 \text{ m/s}^2$ za notranji tir;
- EA1 medtirna razdalja pri *structure verification limit gauge*;
- EA2 minimalna medtirna razdalja;
- EA3 normalna medtirna razdalja.



Grafikon 15: Primerjava medtirnih razdalj v odvisnosti od bočnega pospeška

Iz grafikona 15 razberem, da ima bočni pospešek za normalno medtirno razdaljo relativno majhen vpliv na skupno vrednost medtirne razdalje.

Medtirna razdalja pri *structure verification limit gauge* in minimalni medtirni razdalji se razlikujeta za enako vrednost, če sta bočna pospeška enega in drugega tira enaka. Če sta bočna pospeška enega in drugega tira različna, pa so razlike v medtirni razdalji manjše.

Najširša medtirna razdalja je določena v primeru, ko je na zunanjem tiru večje nadvišanje od notranjega tira, kar je tudi glede na razmislek s pomočjo grafičnega vrednotenja pričakovano.

10 Zaključek

Na osnovi preučevanja standardov in kodeksa ugotavljam, da je v standardih SIST EN 15273-1:2013 in SIST EN 15273-3:2013 prisotna tipkarska napaka pri enačbah, ki zajemajo vpliv kvazistatičnega pomika. V teoretičnem opisu in v osnovnih enačbah pred izpeljavo, standarda navajata pravilno formulacijo, zato opozarjam, da mora projektant poznati teoretično ozadje enačb, ki so v standardu zapisane. Standardizacijski organizaciji priporočam, da v standardih zapisane enačbe ponovno preveri in jih ob reviziji standarda ustrezno popravi. Ob reviziji avtorjem standarda priporočam še, naj hkrati odpravijo še nekatere formalne nedoslednosti, saj standard neko isto spremenljivko enkrat označi npr. s h_{c0} , drugič pa s h_{C0} , kar povzroča povsem nepotrebno zmedo.

Vzporedno s pripravo te diplomske naloge je standardizacijska organizacija že pripravljala popravke standardov. V Sloveniji je javna razprava že zaključena, dodatki k standardom, ki vsebujejo spremembe, pa imajo od oddaji diplomske naloge status neobjavljeno. Glede na dostopne podatke predvidevam, da bodo v dodatkih k standardom bistvene napake, na katere opozarjam, odpravljene.

Standard določa tri različne postopke za računanje svetlega profila železniške proge. V Sloveniji Pravilnik o zgornjem ustroju železniške proge temelji na širših dveh, najožjega pa (še) ne uporabljamo. Na ta način imamo na voljo dodatno rezervo za primer, če bi v prihodnosti zaradi kakršnega koli razloga želeli svetli profil prog zožiti in ob progah postaviti dodatno opremo.

V Sloveniji imamo po trenutno veljavnem Pravilniku o zgornjem ustroju železniške proge določene enotne svetle profile za železniške proge. Podoben sistem uporablja tudi več drugih evropskih držav. V Sloveniji imamo določena dva svetla profila, in sicer za progo v premi in za progo v krivini, za katero veljajo najbolj neugodni parametri proge. Enotni svetli profil je lahko večji, kot bi bil, če bi ga določali neposredno. To dejstvo lahko uporabimo kot prednost. V primeru, ko bi ob fiksni oviri imeli na voljo premalo prostora, lahko svetli profil v tej točki še vedno preverimo neposredno po enačbah, kot jih določa standard in s tem zagotovimo, da je proga na celotni trasi še vedno interopreabilna z evropskim železniškim sistemom, hkrati pa se izognemo rušenju ovire ob progji.

Trenutno veljavne metode za določanje svetlih profilov železniških prog nudijo sistematičen in pregleden način računanja profila proge. Glede na vse opisane razširitve težko izpostavim eno, ki ima bistveni vpliv na širino profila, saj je le-ta odvisna od izbranih robnih pogojev.

Praviloma sta svetli profil proge in medtirna razdalja ožja pri progah, pri katerih je tir čim manj obrabljen in so dobro vzdrževane. V primeru, da bi progo gradili na območju, kjer smo s prostorom fizično zelo močno omejeni ali pa je odkupna cena zemljišč nesorazmerno draga, je smiselno določiti strožje zahteve za vzdrževanje proge (ki je zaradi teh pogojev dražje, kot bi bilo sicer) in tako privarčevati nekaj centimetrov pri širini svetlega profila.

Pri določanju medtirne razdalje ni potrebno opraviti iteracijskega postopka, s katerim bi korigirali polmer krivine notranjega ali zunanjega tira, saj so spremembe medtirne širine že po prvi iteraciji zanemarljivo majhne. Podatek je pomemben pri projektiranju prog, saj le-to posledično poteka hitreje.

Smiselno bi bilo, da bi zakonodajalec v Sloveniji pri nadgradnjah železniških prog za področja predorov z obstoječim majhnim prečnim prerezom dopustil uporabo svetlih profilov, ki temeljijo na odnosnicah GA ali GB, saj bi bila izvedba na ta način enostavnejša in cenejša, hkrati pa bi bil na progi še vedno zagotovljen mednarodni transportni svetli profil.

Če so se v viktorijanski Angliji pred odprtjem prve železniške proge med Liverpoolom in Manchestrom bali, da potniki zaradi visoke hitrosti (prva lokomotiva Roberta Stephensona je dosegala hitrosti okoli 40 km/h) (BBC, 2016) ne bodo mogli dihati in se jim bodo zaradi prehitrega gibanja poškodovale oči, potem danes vemo, da je ob upoštevanju tehničnih zmožnosti in razvoja mejo možno premikati vedno dlje. Trdno verjamem, da bomo mejo prog za visoke hitrosti, tudi z dimenzioniranjem ustreznih svetlih profilov prog in medtirnih razdalj, v razumnem času prestavili, če že ne do skrajnega roba Evrope, pa vsaj na vzhodne meje Slovenije.

VIRI

Monografije

Čertalič, B. 2011. Analiza kinematičnega profila s posebnim ozirom na potniške perone. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba B. Čertalič): 69 str.

Golob, T. 2014. Tir na togi podlagi. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (Samozaložba T. Čuden): 74 str.

Stehlik V., Petrović D. A. 1951. Gornji stroj železnica. Beograd, Subotica, Štamparsko preduzeće Jugoslovenskih železnica: 574,132 str.

Volker, Matthews. 2003. Bahnbau. 6. izdaja. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden, Teubner: 247 str.

Zgonc, B. 2012. Železniška infrastruktura. Portorož, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za pomorstvo in promet: XVI, 222 str.

Spletni viri

BBC, 2016. http://www.bbc.co.uk/history/british/victorians/launch_ani_rocket.shtml
(Pridobljeno 31. 7. 2016.)

Deutsches Museum, 2016.
<http://www.deutsches-museum.de/fileadmin/Content/data/Insel/Information/KT/heftarchiv/1985/9-4-238.pdf>
(Pridobljeno 28. 7. 2016.)

ERA, 2016.
<http://www.era.europa.eu/CoreActivities/Interoperability/Pages/TechnicalSpecifications.aspx>
(Pridobljeno 8. 7. 2016.)

EP, 2016.
http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/sl/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.6.6.html
(Pridobljeno 8. 7. 2016.)

CEN, 2016.

<https://standards.cen.eu/index.html> (Pridobljeno 8. 7. 2016.)

<http://www.uic.org/> (Pridobljeno 1. 7. 2016.)

Simpack, 2016.

http://www.simpack.com/fileadmin/simpack/doc/usermeeting04/um04_bombardier_win.pdf
(Pridobljeno 12. 6. 2016.)

Süddeutsche Zeitung, 2016.

<http://sz-magazin.sueddeutsche.de/texte/anzeigen/38695/Zug-um-Zug> (Pridobljeno 28. 7. 2016.)

Wikimedia, 2016.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4e/Railway>Loading_gauge_UIC_and_containers_profile_-ISO.png (Pridobljeno 9. 6. 2015.)

ZonaForo, 2016.

<http://zonaforo.meristation.com/topic/1194075/> (Pridobljeno 28. 7. 2016.)

Tehnični dokumenti

Program omrežja 2016. Priloga 3D Svetli in nakladalni profil. 2016. Ljubljana, Slovenske železnice – Infrastruktura d.o.o.: 7 strani

http://www.slo-zeleznice.si/images/infrastruktura/Program_omrezja_2016/PO_2016_1_Priloga_3D_Svetli_in_nakladalni_profil.pdf (Pridobljeno 15. 6. 2016.)

SIST EN 15273-1:2013. Železniške naprave – Profili – 1. del: Splošno – Skupna pravila, ki se nanašajo na infrastrukturo in železniška vozila.

SIST EN15273-3:2013. Železniške naprave – Profili – 3. del: Svetli profili.

UIC Code 505-4 OR. 2007. Effects of the application of the kinematic gauges defined in the 505 series of leaflets on the positioning of structures in relation to the tracks and of the tracks in relation to each other. Paris, UIC: 34 str.

UIC Code Catalogue of UIC Leaflets and Reports. 2015. Paris, UIC

<http://old.uic.org/etf/codex/codex.pdf> (Pridobljeno 20. 7. 2016)

Zakonodaja

Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog. Uradni list RS št. 92-4867/2010: 13350.

Uredba Komisije (EU) o tehničnih specifikacijah za interoperabilnost v zvezi s podsistemom infrastruktura železniškega sistema v Evropski uniji. Uradni list EU št. L356/421-1299/2014