

UNIVERZA V MARIBORU  
FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

Bojan Lorbek

**TEHNOLOŠKI PARAMETRI VZDRŽEVANJA  
ZGORNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE**

diplomsko delo

Maribor, maj 2014



Univerza v Mariboru

**FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO**

Smetanova ulica 17

2000 Maribor, Slovenija

[www.fg.um.si](http://www.fg.um.si)

Diplomsko delo univerzitetnega študijskega programa

## **TEHNOLOŠKI PARAMETRI VZDRŽEVANJA ZGORNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE**

Študent: Bojan LORBEK

Študijski program: univerzitetni, Promet

Smer: Železniški promet

Mentor: izr. prof. dr. Tomislav Josip Mlinarič, univ. dipl. inž. prom.

Somentor: Mitja Klemenčič, univ. dipl. inž. prom.

Lektorica: Tadeja Ferk, prof.

Maribor, maj 2014



Univerza v Mariboru

Fakulteta za gradbeništvo

Smetanova ulica 17  
2000 Maribor, Slovenija

Številka: 93616950 - DD  
Maribor, 09.01.2014

Na osnovi 330. člena Statuta Univerze v Mariboru (Ur. l. RS, št. 46/2012) izdajam

#### SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

**Bojan Lorbek**, študent(ka) univerzitetnega študijskega programa PROMET, smer ŽELEZNIŠKI PROMET, lahko izdela diplomsko delo pri predmetu Železniška infrastruktura.

MENTOR(ICA): izr. prof. dr. Josip Mlinarič Tomislav  
SOMENTOR(ICA): asist. Mitja Klemenčič

#### Naslov diplomskega dela:

TEHNOLOŠKI PARAMETRI VZDRŽEVANJA ZGORNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE

#### Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku:

TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF MAINTENANCE OF RAILWAY SUPERSTRUCTURE

Diplomsko delo je potrebno izdelati skladno z "Navodili za izdelavo diplomskega dela" in ga oddati v treh izvodih ter en izvod elektronske verzije do 09.01.2015 v referatu za študentske zadeve.

Pravni pouk: Zoper ta sklep je možna pritožba na senat članice v roku 3 delovnih dni.



DEKAN  
red. prof. dr. Miroslav Premrov

#### Obvestiti:

- kandidata -ko,
- mentorja,
- somentorja,
- odložiti v arhiv



## ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju dr. Tomislavu Josipu Mlinariću in somentorju Mitji Klemenčiču za pomoč in koristne nasvete pri pisanju diplomskega dela.

Posebaj se zahvaljujem staršem in sestri Dariji za vso podporo in vzpodbudo.

## TEHNOLOŠKI PARAMETRI VZDRŽEVANJA ZGORNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE

**Ključne besede:** tehnologija vzdrževanja, zgornji ustroj železniške proge, RAMS, planiranje vzdrževanja železniške infrastrukture, LCC

**UDK:** 625.17:625.14(043.2)

### **Povzetek**

Odlike železniškega prometa so predvsem hitrost, varnost in zanesljivost. Te prednosti pa so v največji meri odvisne od stanja železniške infrastrukture. Med glavne naloge upravljanja infrastrukture nedvomno sodi njeno vzdrževanje, h kateremu pa je potrebno pristopiti sistematično, z jasno definiranimi zahtevami in potrebami. Diplomsko delo zajema širok spekter vzdrževalnih aktivnosti, tako v organizacijskem kot v tehničnem smislu. Iskanje novih tehnoloških in tehničnih rešitev v smislu racionalizacije in povečanja učinkovitosti vzdrževanja pa so dandanes glavne naloge upravljavca infrastrukture. Potrebe uporabnikov transportnih storitev bodo v prihodnosti vedno večje, zato je potrebno sistem vzdrževanja, če želi železnica uspešno konkurirati cestnemu prometu, nenehno izboljševati in nadgrajevati.

## TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF MAINTENANCE OF RAILWAY SUPERSTRUCTURE

**Key words:** *maintenance technology, track superstructure, RAMS, railway infrastructure maintenance planing, LCC*

**UDC:** 625.17:625.14(043.2)

### **Abstract**

*Main distinctions of railway transport are speed, safety and reliability. But these qualities largely depend on the state of railway infrastructure. Maintenance belongs among basic activities of infrastructure management and demands sistematical approach with clearly defined needs and demands. The thesis addresses wide range of maintenance avtivities from both, organisational and technical aspect. Development of new technical and technological solutions in terms of rationalization and effeciency is today infrastructure manager's main challange. Demands of the users will bi much higher in the future and If the railway want to be competitive, especially to the road transport, maintenance system should be constantly improved and upgraded.*

## VSEBINA

<b>1</b>	<b>UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1	OPIS PROBLEMA, PREDMET IN OBJEKT RAZISKAVE DIPLOMSKEGA DELA ..	1
1.2	NAMEN IN CILJI DIPLOMSKEGA DELA .....	1
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE DIPLOMSKEGA DELA.....	2
1.4	PREDVIDENE METODE RAZISKOVANJA DIPLOMSKEGA DELA .....	2
1.5	STRUKTURA DIPLOMSKEGA DELA.....	3
<b>2</b>	<b>OSNOVNE ZNAČILNOSTI ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE .....</b>	<b>4</b>
2.1	ŽELEZNIŠKA PROGA.....	4
2.2	ZGORNJI USTROJ .....	6
2.2.1	Tirnica .....	6
2.2.2	Pragovi.....	12
2.2.3	Tirna greda.....	15
2.3	EVROPSKA TRANSPORTNA POLITIKA .....	18
2.3.1	Reforma evropskih železniških sistemov .....	19
2.3.2	Evropski dokumenti in direktive .....	19
<b>3</b>	<b>TEHNOLOGIJA VZDRŽEVANJA ŽELEZNIŠKE PROGE.....</b>	<b>23</b>
3.1	KVALITETA PROGE .....	23
3.1.1	Degradacija proge .....	24
3.2	SILE NA PROGI .....	26
3.3	MERITVE IN DIAGNOSTIKA .....	27
3.3.1	Geometrija tira.....	28
3.4	VZDRŽEVANJE ZGORNJEGA USTROJA .....	32
3.4.1	Strategije vzdrževanja .....	34
3.4.2	Segmentacija in monitoring zgornjega ustroja .....	35
3.4.3	RAMS.....	36
3.4.4	Parametri RAMS .....	37
3.4.5	RAMS modeli in orodja.....	42
3.4.6	Outsourcing.....	43
3.4.7	Prednosti in slabosti outsourcinga .....	43
3.5	STROŠKI VZDRŽEVANJA ZGORNJEGA USTROJA .....	45
3.5.1	LCC analiza.....	46
<b>4</b>	<b>PLANIRANJE VZDRŽEVANJA .....</b>	<b>49</b>
4.1	VOZNI RED .....	50
4.1.1	Izdelava in dokumenti voznega reda .....	50
4.1.2	Urniki vzdrževanja.....	52
4.2	KAPACITETA ŽELEZNIŠKE PROGE .....	53
4.3	FAZE VZDRŽEVANJA.....	55
4.4	NIVOJI VZDRŽEVANJA .....	56
4.4.1	Strateški nivo.....	56
4.4.2	Taktični nivo .....	57
4.4.3	Operativni nivo .....	57
4.5	PROGRAMSKA ORODJA .....	58

4.5.1	RAMSYS .....	58
4.5.2	Optram .....	59
<b>5</b>	<b>SISTEM VZDRŽEVANJA ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE V REPUBLIKI SLOVENIJI.....</b>	<b>60</b>
5.1	USTROJ SLOVENSKEGA ŽELEZNIŠKEGA SISTEMA.....	60
5.1.1	Slovenske železnice .....	60
5.1.2	Javna agencija za železniški promet .....	61
5.2	ŽELEZNIŠKA INFRASTRUKTURA V REPUBLIKI SLOVENIJI .....	61
5.2.1	Stanje slovenske železniške infrastrukture .....	62
5.3	ZAKONODAJA.....	63
5.4	VZDRŽEVANJE ZGORNJEGA USTROJA .....	65
5.5	UPRAVLJANJE VZDRŽEVANJA.....	66
5.5.1	Delitev vzdrževalnih del na zgornjem ustroju.....	66
5.5.2	Opis in periodičnost meritev in pregledov stanja zgornjega ustroja.....	68
5.5.3	Zapora proge in uvedba počasnih voženj .....	70
5.6	STROŠKI VZDRŽEVANJA NA SLOVENSКИH ŽELEZNICAH .....	71
5.6.1	Primerjava stroškov remonta proge in uvedbe režima počasnih voženj.....	71
5.7	MOŽNOST IZBOLJŠAVE UPRAVLJANJA VZDRŽEVANJA ZGORNJEGA USTROJA.....	72
5.7.1	Izboljšave na strateškem nivoju vzdrževanja .....	73
5.7.2	Izboljšave na taktičnem nivoju vzdrževanja .....	74
5.7.3	Izboljšave v operativni fazi vzdrževanja .....	75
<b>6</b>	<b>SKLEP .....</b>	<b>76</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>78</b>
<b>8</b>	<b>PRILOGE .....</b>	<b>81</b>
8.1	CIKLIČNO BRUŠENJE TIRNIC .....	81
8.2	MODEL ZA OPTIMIZACIJO PLANIRANJA VZDRŽEVANJA V ŠVICI.....	82
8.3	OUTSOURCING VZDRŽEVANJA INFRASTRUKTURE NA NIZOZEMSKEM .....	89
8.4	SEZNAM SLIK.....	91
8.5	SEZNAM TABEL .....	91
8.6	NASLOV ŠTUDENTA.....	92
8.7	KRATEK ŽIVLJENJEPIS .....	92



## **1 UVOD**

### **1.1 OPIS PROBLEMA, PREDMET IN OBJEKT RAZISKAVE DIPLOMSKEGA DELA**

Predmet raziskave diplomskega dela je analiza in možnosti izboljšanja sistema upravljanja vzdrževanja zgornjega ustroja železniške infrastrukture v smislu razvoja tehnik in načrtovanja procesa dela skozi celoten življenjski cikel železniške infrastrukture.

Ker je celoten železniški sistem zelo kompleksen in stroškovno intenziven, življenjska doba infrastrukture pa dolga, je ključnega pomena integracija procesa vzdrževanja v samem načrtovanju in projektiranju železniške proge. Zanimala nas bosta razvoj in implementacija modernih metod vzdrževanja v razvitih evropskih državah ter kakšno je stanje na tem področju v Sloveniji. V diplomskem delu bo poudarek na planiranju in tehnologiji vzdrževanja zgornjega ustroja železniške proge ter razvoju in implementaciji RAMS-a v povezavi z LCC analizo, ki se počasi uveljavlja tudi v železniškem oziroma gradbenem sektorju.

### **1.2 NAMEN IN CILJI DIPLOMSKEGA DELA**

Namen diplomskega dela je predstaviti tehnike, orodja, razvoj ekspertnih sistemov in analiza tehnoloških parametrov in procesov dela v zvezi z vzdrževanjem zgornjega ustroja železniške proge ter predlagati možne izboljšave. Pri tem bomo skušali doseči naslednje:

- pojasniti pojme, povezane z železniško infrastrukturo, predvsem z zgornjim ustrojem železniške proge, in vzdrževanjem le-te,
- predstaviti obstoječe stanje na področju vzdrževanja železniške infrastrukture v Evropski uniji,
- predstaviti ključne probleme in omejitve trenutnega sistema vzdrževanja,
- analizirati ključne tehnološke parametre sistema vzdrževanja zgornjega ustroja,
- razložiti pomen RAMS-a in LCC analize in njun vpliv na celoten železniški sistem,
- analizirati obstoječe stanje vzdrževanja na Slovenskih železnicah in predlagati morebitne izboljšave.

Cilj diplomskega dela je analiza ekspertnih sistemov in tehnoloških parametrov v sistemu vzdrževanja zgornjega ustroja železniške proge ter pokazati in dokazati, da implementacija razvitih tehnologij in postopkov bistveno pripomore k izboljšanju železniškega prometa iz vidika kakovosti, varnosti, ekonomičnosti in dostopnosti.

### 1.3 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE DIPLOMSKEGA DELA

Pri pisanju diplomskega dela bomo postavili naslednje predpostavke:

- železniški sistem je po svoji strukturi in delovanju zelo kompleksen. Da bi železniški promet postal konkurenčen cestnemu prometu, je nujno potreben holističen in sistematičen pristop reševanja problemov v vseh železniških podsistemih,
- ključni element ekonomičnosti, varnosti in kakovosti železniškega sistema je ustrezno načrtovanje in izvajanje procesa vzdrževanja,
- razvoj in implementacija RAMS-a v povezavi z LCC analizo daje konkretne pozitivne rezultate in tako izboljšuje konkurenčnost železniškega sistema,
- Slovenija pri uvajanju naprednih sistemov vzdrževanja zaostaja za razvitimi evropskimi državami.

Vzdrževanje železniške infrastrukture je širok pojem, ki zajema številne specifične dejavnosti, tehnike in tehnologije. V diplomskem delu se bomo tako omejili samo na ključne tehnološke parametre, na podlagi katerih sistem vzdrževanja zgornjega ustroja železniške proge temelji, zaradi obsežnosti pojma železniška infrastruktura pa se bomo omejili samo na tri pomembne elemente zgornjega ustroja železniške proge; to so tirnica, pragovi in tirna greda.

Pri analizi stanja in možnih izboljšavah, tako v Sloveniji kot v evropskih državah, pa bo težavo verjetno predstavljala omejitev pri dostopu do poslovnih podatkov.

### 1.4 PREDVIDENE METODE RAZISKOVANJA DIPLOMSKEGA DELA

Predvidene so naslednje metode raziskovanja: analiza, sinteza, kompilacija, klasifikacija, deskripcija in metoda abstrakcije.

## 1.5 STRUKTURA DIPLOMSKEGA DELA

Diplomsko delo je sestavljeno iz šestih poglavij, ki so zaradi preglednosti razdeljena na več podpoglavij.

**UVOD** je naslov prvega poglavja. V njem so opredeljeni in opisani predmet raziskovanja, namen in cilji raziskave, metode raziskovanja, predpostavke in omejitve ter struktura diplomskega dela.

Drugo poglavje nosi naslov **OSNOVNE ZNAČILNOSTI ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE**, v njem so predstavljene sestava in funkcije železniške proge ter posameznih elementov zgornjega ustroja. Opisani so osnovni trije elementi zgornjega ustroja (tirnica, pragovi in tirna greda) ter načini njihovega vzdrževanja. Prav tako sta v tem poglavju predstavljeni evropska transportna politika in zakonodaja.

V tretjem poglavju z naslovom **TEHNOLOGIJA VZDRŽEVANJA ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE** so predstavljeni pojmi, povezani s kvaliteto proge, njeno degradacijo in monitoringom. Opisane so strategije vzdrževanja ter pomen RAMS analize ter vpliv outsourcinga na kvaliteto železniške proge.

**PLANIRANJE VZDRŽEVANJA** je naslov četrtega poglavja, v katerem je predstavljen vozni red, faze vzdrževanja ter je razloženo, kako naj se vzdrževanje zgornjega ustroja planira na strateškem, taktičnem in operativnem nivoju.

Naslednje, peto poglavje z naslovom **SISTEM VZDRŽEVANJA ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE V REPUBLIKI SLOVENIJI** pojasnjuje ustroj sistema Slovenskih železnic, pomen in stanje infrastrukture v Sloveniji ter ključno zakonodajo s področja vzdrževanja. Prav tako je opisan način odvijanja prometa pri uvedbi počasnih voženj ter je podan kratek prikaz stroškov vzdrževanja. Podani so tudi predlogi za izboljšanje kvalitete in učinkovitosti vzdrževanja na vseh treh nivojih.

Zadnje, šesto poglavje, je **SKLEP**. V tem poglavju so predstavljene ugotovitve in rezultati raziskave. Poglavje vsebuje kratek pregled diplomskega dela in zaključni komentar.

## 2 OSNOVNE ZNAČILNOSTI ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE

Javna železniška infrastruktura (JŽI) je po definiciji iz Zakona o železniškem prometu (Uradni list RS, št. 11/2011) grajeno javno dobro v lasti države in se uporablja pod pogoji, navedenimi v tem zakonu in drugimi predpisi, ki na tem zakonu temeljijo. Med sestavne dele železniške infrastrukture sodijo vsi objekti in naprave, potrebni za nemoteno odvijanje železniškega prometa ter tudi vsa pripadajoča zemljišča, ki funkcionalno služijo namenski rabi:

- zemljišča, na katerih je zgrajena železniška infrastruktura in zemljišča, ki so namenjena njeni funkcionalni rabi;
- tiri in progovno telo, kamor uvrščamo predvsem nasipe, useke, drenaže, odvodne jarke in kanale, obložene zidove, nasade za zaščito pobočji itd.;
- zgornji ustroj, zlasti tirnice, vodilne tirnice, pragovi, vezni in pritrdilni material, greda; vključno s tamponskim slojem, kretnice, križišča, okretnice in prenosnice;
- potniški peroni;
- tovarne klančine, dostopne poti, zidane ograje, žive meje, palisade, protipožarni pasovi, naprave za ogrevanje kretnic, snegolovi;
- grajeni objekti, zlasti mostovi, prepusti, nadhodi, predori, galerije, podporni in oporni zidovi ter objekti za zaščito pred plazovi, padanjem kamenja in alarmne naprave;
- nivojski prehodi, vključno z napravami za njihovo napajanje z električno energijo in prostori za te naprave, tirne zavore;
- električna razsvetljava;
- naprave za pretvorbo in prenos električne energije kot pogonske energije za vleko vlakov, zlasti elekronapajalne postaje, energetski vodi, vozna mreža in nosilna konstrukcija voznega omrežja;
- zgradbe, namenjene vodenju železniškega prometa in zgradbe, ki se uporabljajo za opravljanje gospodarske javne službe vzdrževanja JŽI;
- ranžirne postaje s pripadajočimi napravami.

### 2.1 ŽELEZNIŠKA PROGA

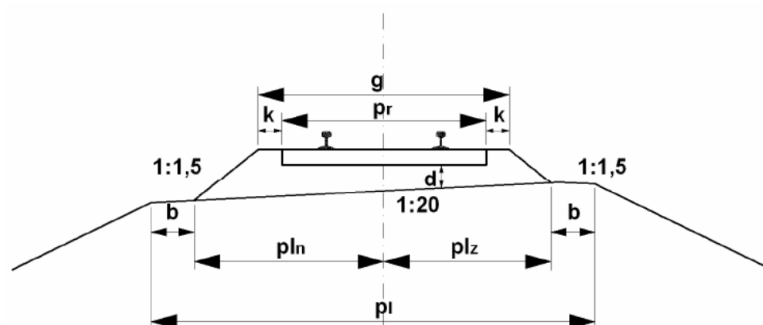
Železniška proga je sestavljena iz zgornjega ustroja, spodnjega ustroja, signalnovarnostnih in telekomunikacijskih naprav, h katerim spadajo še naprave za njihovo napajanje z električno energijo in prostori za te naprave. K elementom železniške proge uvrščamo še

stavbe in prostore za vodenje in urejanje prometa, stabilne naprave električne vleke in progovni pas.

Glede na različne tehnične in tehnološke karakteristike železniške proge v Sloveniji delimo na več vrst, in sicer:

- Vrste prog po obsegu prometa in pomenu delimo na glavne in regionalne.
- Vrste prog po prenosu vlečne sile; razlikujemo adhezijske, zobate in žične proge.
- Vrste prog po načinu vleke; poznamo parno, dizelsko in električno vleko.
- Vrste prog po širini tirov; delimo jih na enotirne, dvotirne in večtirne proge.
- Vrste prog po osni obremenitvi, ki jo merimo v tonah ali pa v kN na os.
- Vrste prog glede na tirno širino. Tirna širina je najmanjša razdalja med notranjima robovoma tirničnih glav. Normalna tirna širina je 1.435 mm in je v uporabi v večini evropskih držav (preko 70 %), tudi v Sloveniji. Poznamo še širokotirne proge (tirna širina > 1.435 mm) in ozkotirne proge (tirna širina < 1.435 mm).
- Vrste prog po Tehničnih specifikacijah za interoperabilnost (TSI); proge se po (TSI) v osnovi delijo na proge, ki so namenjene izključno potniškemu prometu, proge namenjene izključno tovornemu prometu ter proge, namenjene mešanemu prometu, torej kombinaciji tovornega in potniškega prometa. Te proge se kasneje delijo še na sedem podkategorij (TSI).
- Vrste prog po obsegu fiktivnega dnevnega prometa. Razlikujemo 6 vrst takšnih prog, ki predstavljajo osnovo za izračun stroškov obratovanja posamezne proge. Fiktivno obseg prometa merimo v brutotonah na dan [brt/dan].

Železniška proga pa ima lahko tudi različne prečne profile. Prečni profil je prerez proge z vertikalno ravnino pravokotno na njeno vzdolžno os, oblika in mere pa so odvisni od vrste proge, števila tirov, vrste pragov ter od vrste tira. Kakšne so mere in izvedba prog v Sloveniji, je predpisano v Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog (Zgonc, 2012).



**Slika 2.1: prečni profil enotirne proge v premii**  
Vir: <https://www.uradni-list.si/1/content?id=100807>

## 2.2 ZGORNJI USTROJ

V diplomskem delu bomo govorili o vzdrževanju zgornjega ustroja železniške proge, katerega funkcija je vodenje tirnih vozil in prenašanja obremenitev na spodnji ustroj. Projektiranje, gradnja in vzdrževanje zgornjega ustroja se morajo izvesti tako, da je zagotovljeno varno, nemoteno in zanesljivo izvajanje železniškega prometa in mora biti v skladu s Tehničnimi specifikacijami interoperabilnosti (TSI). Predpisi in tehnične zahteve, ki obravnavajo ta področja, so zajeti v Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog (Uradni list RS, št. 92/2010). Med sestavne dele zgornjega ustroja uvrščamo naslednje elemente:

- tirnice,
- pragove,
- tirno gredo,
- kretnice in tirna križišča,
- tirni pribor,
- dilatacijske naprave.

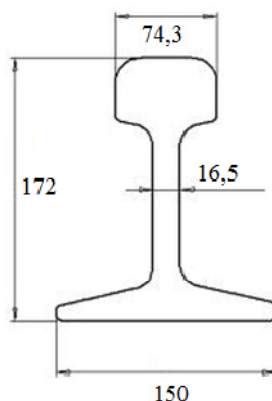
Oblika zgornjega ustroja se skozi zgodovino in celoten razvoj železnice praktično ni spreminjala. Izvedba v obliki tirne rešetke s prečnimi pragovi, položenimi v tirno gredo, omogoča enostavno regulacijo vertikalnih in horizontalnih deformacij in je v primerjavi z zgornjim ustrojem brez tirne grede na betonski plošči, ki se izvaja na progah za visoke hitrosti, ekonomsko bolj sprejemljiva. Zaradi širine obravnavanega področja bo v diplomskem delu poudarek na vzdrževanju zgornjega ustroja kot celote in treh najbolj izpostavljenih elementih zgornjega ustroja. To so tirnice, pragovi in tirna greda.

### 2.2.1 Tirnica

Tirnica je eden od glavnih elementov zgornjega ustroja, saj neposredno prenaša vse horizontalne in vertikalne obremenitve na spodnje elemente proge, hkrati pa vodi tirno vozilo po njegovi vozni poti. Tirnica je sestavljena iz glave tirnice, vratu in noge. Na tirnico delujejo statične sile, ko tirno vozilo miruje ter dinamične sile, ko je vozilo v gibanju, v vsakem primeru, tudi ko tir ni obremenjen z nobenim tirnim vozilom, se znotraj tirnice pojavljajo napetosti. Tirnica služi tudi kot povratni vodnik v tokokrogu pri oskrbi vlakov z električno energijo. Zaradi velikih kotalnih napetosti, ki nastajajo pri stiku kolesa vlaka in tirnice, predvsem v krivinah, kjer so sile največje, pogosto prihaja do obrabljanja in poškodb tirnic. Nivo obrabljenosti je torej odvisen od frekvence prometa, hitrosti proge, karakteristik geometrije trase, lastnosti tirnih vozil, pa tudi od kvalitete samih tirnic ter kvalitete in načina

njihovega vzdrževanja. Na podlagi teh parametrov poteka tudi izbira primerne tirnice za vgradnjo v omrežje.

Na odprti progi, glavnih postajnih tirih in glavnih prevoznih tirih se v Sloveniji vgrajujejo tirnice oblik 60 E1, 54 E1 in 49 E1. Tip 60 E1 se vgrajuje pri vseh rekonstrukcijah prog in jih je v tem trenutku na slovenskem omrežju okoli tretjina. Največ, okoli 60 %, je tirnic tipa 49 E1, ki pa se na novo vgrajujejo le še pri rekonstrukcijah regionalnih prog. Tirnice oblike 54 E1 predstavljajo le majhen delež, vgrajenih jih je na približno 2 % vseh prog v Sloveniji. Številka pred oznako pomeni maso tirnice na meter dolžine. Dolžinski meter tirnice 60 E1 ima tako maso 60,43 kg, dolžinski meter tirnice 49 E1 pa 49,43 kg (Zgonc, 2012).



**Slika 2.2: tirnica 60 E1**  
Vir: Bajželj 2011: str. 6

Mehanične lastnosti, kemijska sestava in oblika tirnic so določeni s standardom SIST EN 13674-1, ki določa trdoto vozne površine, minimalno natezno trdnost, minimalni raztezek, maso, dolžino, prerez in ostale parametre. Tirnice lahko po kvaliteti razvrstimo v sedem razredov, Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog (Uradni list RS, št. 92/2010) pa v Sloveniji dovoljuje vgradnjo tirnic naslednjih kakovostnih razredov:

- *Zmerno trde tirnice (R260 in R260Mn), katerih natezna trdnost znaša minimalno 880 N/mm<sup>2</sup>, trdota pa od 260–300 HB,*
- *specialno trde tirnice (R320Cr) iz legiranega jekla, katerih natezna trdnost je višja od 1.080 N/mm<sup>2</sup>, trdota pa 320–360 HB,*
- *»HSH« tirnice (R350HT), kjer je osnovni material jeklo (R260) z minimalno natezno trdnostjo 880 N/mm<sup>2</sup>, glava pa je toplotno obdelana in ima zato povečano trdoto, ki znaša 350–390 HB, natezna trdnost pa je večja od 1.175 N/mm<sup>2</sup>. Te tirnice se v Sloveniji v zadnjem času največ uporabljajo (Šavara, 2013, str. 11).*

Kontrola kvalitete proizvedenih tirnic vključuje pregled kemijske sestave, natezne čvrstosti, trdote, makrostrukture, geometrije, odpornosti na udarce in vizualni pregled.

Pri vgradnji se uporabljajo tirnice različnih dolžin, z modernim načinom varjenja (neprekinjeno varjen tir) pa so te lahko dolge tudi 120 m. Omejitev pri dolžini predstavlja dostava tirnic na mesto vgradnje in mehanizacija, s katero se sama namestitev izvede, po Lichtbergerju pa imajo daljše tirnice kar nekaj prednosti pred tirnicami krajših dolžin:

- hitrejša manipulacija in vgradnja,
- manjše potrebe po vzdrževanju,
- manj je zvarov, kar zmanjšuje število šibkih mest in posledično počasnih voženj,
- trajnost tirnic.

Tirnice so izdelane iz valjenega jekla, glavna sestavina je železo, ki se mu glede na potrebno žilavost in trdoto dodajajo številni elementi, kot so ogljik, silicij, žveplo, fosfor, krom, nikelj, baker in mangan. Za proizvodnjo se v največji meri uporablja Siemens-Martinov postopek. Ingoti iz jekla se pri visoki temperaturi (1.200 °C) v gladkih in profiliranih valjih oblikujejo v pravilno tirnično obliko. Ko se tirnica po posebnem postopku ohladi na 500 °C, sledi še naravno ohlajanje, po katerem je proizvodni proces zaključen in tirnica je pripravljena na vgradnjo.

#### 2.2.1.1 Napake v tirnicah

Pomembno je, da ločimo napake tirnic od napak geometrije tira. Slabšanje geometrije tira je izključno posledica prometnih obremenitev in je obvladljiva z rednim vzdrževanjem, medtem ko so napake v tirnici v veliki meri posledica nepravilnosti pri proizvodnji in jih je praktično nemogoče preprečiti in odpraviti.

Najpogostejše napake, ki nastajajo na tirnicah, so naslednje:

- **Kratki valovi;** Zaradi prometnih obremenitev nastajajo valovi z valovno dolžino med 3 in 8 cm. Zaradi kratkih valov nastajajo oscilacije, posledice pa so vidne tudi na drugih elementih zgornjega ustroja. Tovrstne napake se detektirajo s pomočjo merilnih vlakov, odpravljajo pa se z brušenjem tirnic.
- **Dolgi valovi;** Dolgi valovi so nekoliko redkejši pojav kot kratki valovi, pojavljajo pa se v premi, predvsem pa na notranjih tirnicah v krivinah, manjših od 600 m. Valovna dolžina znaša med 8 in 30 cm, povprečna globina pa je 0,7 mm. Dolgi valovi lahko predstavljajo varnostno tveganje na progah za visoke hitrosti, zato je te napake



potrebno čim prej sanirati. Te napake se tako kot kratke valove odpravlja z brušenjem tirnice.

- **Rebričenje tirnic;** Ta pojem opisuje napake površine glave tirnic v obliki kratkih valov, katerih dolžina se v povprečju giblje med 40 in 50 mm, povprečna globina pa znaša 0,1 mm. Kaj je vzrok te vrste napak, ni povsem znano, strokovnjaki pa ocenjujejo, da je posledica različnih faktorjev, kot so napake pri proizvodnji, vertikalna oscilacija tirnega vozila in temperaturne spremembe. Rebričenje tirnic se pojavlja tako v premi kot v krivinah z visokimi radiji in povzroča oscilacije pri prevozu vlakov, kar posledično pripelje do popuščanja pritrdilnega materiala in drobljenja tolčenca.
- **Kontaktna utrujenost materiala;** Te napake so površinske in so direktna posledica kontakta med kolesom in tirnico in lahko v najslabšem primeru privedejo do zloma tirnice. Kontaktne utrujenosti materiala se kaže v razpokah v obliki lasu na notranjem robu tirnične glave, običajno pod kotom med 30 in 60 stopinj glede na vzdolžno os proge. Nastajajo predvsem v krivinah z zavojnimi radiji do 1.500 m, in sicer na obeh tirnicah. Najdemo jih tudi na mestih, kjer so tirnice med seboj zvarjene, zaradi razlik v profilu med posameznima tirnicama. Napake se zaznavajo z ultrazvočnim pregledom in če globina zareze še ni prevelika, napake odpravljajo z brušenjem.
- **Luščenje tirnic;** To je pojav majhnih razpok, ki nastajajo nekaj milimetrov pod robom vozne površine tirnice. Luščenje ni izoliran pojav in se pojavlja na širšem območju, zaradi česar se razpoke med seboj začnejo povezovati, posledice pa so luščenje roba vozne površine. Napake so posledica tangencialnih napetosti v tiru, zaznamo pa jih s pomočjo ultrazvočnih naprav.

#### 2.2.1.2 Obraba tirnic

Obraba tirnic je stalen proces, ki nastaja pri kontaktu med kolesom in tirnico. Stalne obremenitve tirnice povzročajo tanjšanje vozne površine tirne glave in prečnega profila tirnice. Obraba tirnic je prisotna tako v premi kot v krivini, s tem, da se v premi obrablja višinsko, v krivini pa tudi bočno in je odvisna od številnih parametrov, kot so obseg in frekventnost prometa, najvišjih hitrosti vlakov, osnih obremenitev, krivinskih radijev, kvalitete tirnic in koles idr. Predpisana je največja dovoljena obraba tirnic, višinska obraba se meri v vertikalni smeri osi tira, bočna pa na voznem robu tirnične glave pod kotom 45 °. Meritve obrabe se izvajajo ročno ali s pomočjo merilnega vlaka.

### 2.2.1.3 Vzdrževanje tirnic

Dve najpomembnejša in najučinkovitejša načina vzdrževanja tirnic sta brušenje in mazanje. Z brušenjem odpravljamo površinske napake in obnovljamo prečni profil glave tirnice (Zaletelj, Flerin, 2006) in s tem zmanjšujemo dinamične obremenitve tira pri prevozu vlaka. Posledično bistveno podaljšamo življenjsko dobo tirnice, povečamo udobnost vožje ter podaljšujemo vzdrževalni cikel celotnega tira. Brušenje izvajamo s posebnimi brusilnimi vlaki, mazanje pa poteka ročno ali avtomatsko (Šavora, 2013).

- **Varjenje tirnic;** Metoda varjenja z nanašanjem novega materiala na poškodovano tirnico je stroškovno najbolj učinkovita metoda vzdrževanja tirnic in se uporablja povsod po svetu. Uporablja se za odpravo napak na vozni površini tirnične glave v njihovi zgodnji fazi in pri saniranju napak na kretnicah. Poznamo dve vrsti varjenja z nanašanjem novega materiala, in sicer elektroobločno in avtogeno varjenje. Pri obeh vrstah je po končanem postopku potrebno izvesti brušenje tirnic.

V današnjem času se vse bolj uveljavlja varjenje tirnic v t. i. neprekinjeno zavarjeni tir. Namesto stikovnega tira maksimalne dolžine 45 m se tirnice neprekinjeno varijo v poljubne dolžine, kar pomeni mirnejšo vožnjo, manjše obremenitve in boljšo vozno dinamiko ter bistveno nižje stroške vzdrževanja (Zgonc, 2010).

- **Brušenje tirnic;** Tega postopka se upravljavci infrastrukture poslužujejo predvsem zaradi nižanja stroškov vzdrževanja tirnic, podaljšanja njihove življenjske dobe, zmanjšanje vibracij in hrupa in povečanja udobja vožnje. Strokovnjaki ocenjujejo, da je brušenje tirnic deset do petnajstkrat ceneje od nakupa nove tirnice, pri tem pa niso všteti stroški zamenjave in pozitivni učinki brušenja na druge elemente zgornjega ustroja. Glede prometne obremenitve in starost tirnic ločimo različne strategije brušenja.

Po svetu je že uveljavljeno brušenje novih tirnic za približno 0,3 mm. S tem dosežemo odpravo morebitnih napak pri proizvodnji in varjenju, tirnica pa se očisti umazanije, ki je posledica valjenja in drugih nepravilnosti.

Preventivno brušenje se izvaja za preprečitev oziroma zmanjšanje napak na tirnici in vzpostavitev pravilnega profila tirnične glave. Ta strategija je tehnično in stroškovno bistveno primernejša od nesistematičnega brušenja že močno poškodovanih tirnic.

Brušenje se na SŽ izvaja z brusilnim vlakom Speno RR24M-14, ki je zaradi tehničnih karakteristik proge in samega vlaga ter zaradi malo časa, ki ga je v okviru voznega reda na voljo, pravzaprav edini kandidat za izvedbo tovrstnih del. Vlak ima nameščenih 24 brusnih kolutov (po 12 na vsaki strani) premera 250 mm, ki so vsi

računalniško krmiljeni. Številov hodov brušenja je v povprečju med 6 in 8, delovna hitrost pa znaša 4–6 km/h, končni rezultat je med 4.000–6.000 m pobrušenih tirov dnevno.

Brusilni vlak s pomočjo laserskega sistema med brušenjem izvaja še kontrolne meritve prečnega profila in valov različnih valovnih dolžin ( $\lambda = 0,03\text{--}1$  m) obeh tirnic s pomočjo kontaktnih piezoelektričnih senzorjev, možno pa je tudi merjenje globine površinskih zarez z ultrazvočnimi napravami (Flerin, 2012, Šavora, 2012).

- **Mazanje tirnic;** Mazanje tirnic je učinkovit ukrep za zmanjševanje obrabe notranjega dela tirnične glave, predvsem v krivinah, in bistveno pripomore k daljši življenjski dobi in znižanju stroškov življenjskega cikla tirnic. Namen mazanja je zmanjševanje trenja med tirnico in sledilnim vencem kolesa, ki preprečuje povečano obrabo in zmanjšuje nivo hrupa pri prevozu vlakov. Izvedba poteka na dva načina, in sicer z nameščanjem stacionarne mazalne naprave pred vstopom v krivino in z uporabo mazalnih sistemov, nameščenih na lokomotive.

Mazanje je na SŽ obvezno v krivinah s polmerom manjšim od 600 m, ob pogoju, da prometna obremenitev presega 1,5 MGT na leto. Na dvotirnih progah se brez dvosmernega prometa mazalna naprava namesti v prehodni krivini, na enotirnih progah pa v sredino krožnega loka.

V današnjem času se na SŽ zaradi ekonomičnosti in tehnološke naprednosti vse bolj uporabljajo mazalne naprave tipa CL-E1. Ekonomičnost se kaže v racionalni porabi maziva, nizkih, praktično zanemarljivih stroških vzdrževanja in tudi pri varčevanju z energijo, saj naprava električno energijo pridobiva z uporabo sončnih celic. Za najbolj obremenjene proge znaša prihranek po podatkih SŽ tudi do 500.000 evrov letno.

Naprava deluje tako, da preko senzorjev zazna prevoz vlaka in smer vožnje ter na interval 5 sekund enakomerno sproži nanašanje do 0,18 cm<sup>3</sup>/s maziva na tirnico. Pomemben je tudi okoljski vpliv, saj naprava omogoča uporabo okolju prijaznih fluidnih snovi, nižje pa so tudi emisije opilkov in to do 1.500 kg na eno oskrbovano krivino (Šavora, 2013).

- **Zamenjava tirnic;** To je skrajni ukrep, ki se uporabi, ko so poškodbe tirnic ali obraba tako velike, da se ustrezen profil tirnic ne da več doseči z uporabo drugih metod.

## 2.2.2 Pragovi

Železniški prag je element zgornjega ustroja proge, katerega glavna naloga je enakomerno prenašanje obremenitev s tirnice na tirno grede in ohranjanje pravilne tirne širine. Pragovi se vgrajujejo pravokotno na tirnice, in sicer v razmiku približno 60 centimetrov. To pomeni, da je na kilometer proge potrebnih 1.667 pragov (Zgonc, 2012). Glede na tehnične zahteve se vgrajujejo pragovi iz različnih materialov in kvalitete. Tako poznamo lesene, armirano-betonske, jeklene in pragove iz umetnih materialov.

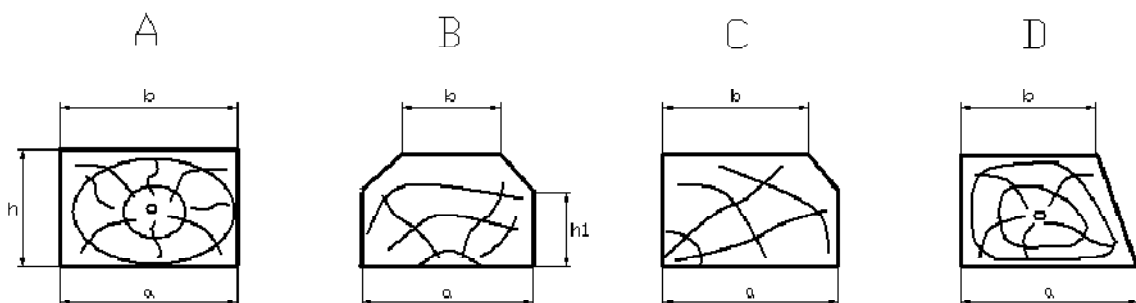
### 2.2.2.1 Leseni pragovi

Leseni pragovi so v današnjem času še vedno najpogosteje uporabljena vrsta pragov. V primerjavi z betonskimi imajo številne dobre lastnosti. So lahki, enostavni za vgradnjo in obdelavo, dovoljujejo uporabo različne vrste pritrdilnega pribora, lahko se podbijajo, bolje absorbirajo hrup in prenašajo obremenitve, vožnja pa je mirnejša. Pomebna lastnost je tudi elastičnost in enostavnejša izvedba tirne grede. V primerjavi z betonskimi pragovi pa so v Evropi tudi znatno dražji.

Vgradnja lesenih pragov je še danes obvezna na cestnih prehodih, v izoliranih odsekih, v krivinah z radijem manjšim od 250 metrov in v kretnicah (Milojković, 1986). Izdelani so praviloma iz trdega lesa (hrast, bukev), v manjšem obsegu pa tudi iz mehkega lesa (bor, macesen), ki pa hitreje propada.

Dimenzije lesenih pragov so naslednje (Zgonc, 2012):

- dolžina: na glavnih progah 260 cm, na regionalnih progah in postajnih tirih pa 250 cm,
- širina: med 24 in 26 cm,
- višina: med 14 in 16 cm.



**Slika 2.3: prečni profili progovnih pragov**

Vir: Bajželj 2011, str. 16

### **Propadanje, napake in vzdrževanje lesenih pragov**

Življenjska doba pragov iz mehkega lesa je do 20 let, iz trdega pa 30 let ali tudi več in je v veliki meri odvisna od vzdrževanja, vremenskih pogojev, prometnih obremenitev, pritrdilnega pribora in kvalitete pritrditve, odvodnjavanja in čistoče tirne grede. Propadanje lesenih pragov lahko pripišemo naslednjim bistvenim dejavnikom:

- **obrabi zaradi prometnih obremenitev;**
- **vremenski pogoji;** Predvsem spremembe vlažnosti povzročajo krčenje in širjenje pragov, zaradi česar nastajajo razpoke na zunanji površini. Kemični in mehanski razkroj pragov pa je posledica padavin in vročine.
- **insekti in drugi zajedavci;** Pragove je potrebno impregnirati z različnimi impregnacijskimi sredstvi. Poznamo več metod impregnacije, najbolj pogosto se uporablja Rippingova, ki za impregnacijsko sredstvo uporablja krezotno olje. Postopek impregnacije se izvede tako, da se naravno posušene pragove v posebnih komorah izpostavi visokemu pritisku. Pri tem se iz praga odstrani ves material, ki se ga nato zapolni z impregnacijskim sredstvom. Ves postopek lahko traja tudi štiri ure. Dobro impregnirani pragovi na manj obremenjenih progah lahko trajajo tudi do 50 let.

Napake na pragovih nastajajo zaradi različnih vzrokov. Najbolj pogoste pa so posledica popuščanja pritrditvenega materiala in širjenja lukenj vijakov, rjavenja ter posedanja podložne plošče.

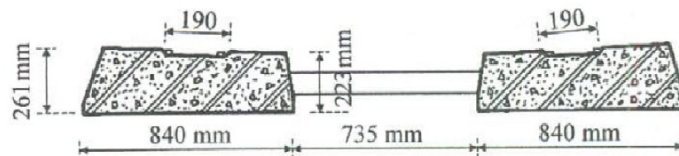
Vzdrževalne aktivnosti obsegajo sanacijo robnikov in zapolnitev lukenj za vijake s sintetičnim materialom in impregnacija. V Evropi se leseni pragovi menjavajo vsakih 20–25 let skupaj z zamenjavo tolčenca. Še uporabni pragovi se lahko reciklirajo in uporabijo na progah nižjih kategorij.

#### **2.2.2.2 Betonski pragovi**

Zaradi ekonomskih in ekoloških razlogov ter daljše življenjske dobe, ki v povprečju znaša od 30 do 50 let, se vse pogosteje vgrajujejo pragovi iz prednapetega betona visoke kakovosti. Po obliki betonske pragove delimo na enodelne, dvodelne, vzdolžne plošče s prečnim stikom in velike prednapete montažne plošče. So bistveno težji od lesenih pragov, kar je prednost in hkrati tudi slabost. Zamenjava in vgradnja poteka samo s pomočjo strojev, vendar pa je celoten zgornji ustroj zaradi velike teže stabilnejši. Za betonske pragove se lahko uporablja le elastični pritrdilni pribor, saj so tudi do 4-krat bolj togi kot leseni pragovi.

Enodelni pragovi so primerni za vgradnjo pri dolgih tirničnih trakovih. Zahtevajo namestitve v kvalitetno in čvrsto tirno gredo, pri tem pa je pomembno, da se betonskih pragov na sredini ne podbija, saj na tem delu prihaja do negativnih momentov podlage in betonski prag se začne krušiti (Milojković, 1986). Na Slovenskih železnicah se uporabljata dva tipa enodelnih betonskih pragov. To sta JŽ 70 dolžine 240 cm in B 70 MOD dolžine 260 cm, ki se vgrajuje pod tirnice tipa 60 E1 (Bajželj, 2011).

Dvodelni betonski pragovi so sestavljeni iz dveh med seboj povezanih blokov. Armatura v teh pragovih ni prednapeta, zato so od enodelnih cenejši, pa tudi bolj elastični ter dovoljujejo visoke hitrosti vlakov. Pri vgradnji morajo biti dvodelni pragovi dobro izolirani za potrebe signalnih naprav in električne vleke. Posebno pozornost je potrebno nameniti drogu, ki povezuje betonska bloka. Drog mora biti dobro nameščen, saj v nasprotnem primeru predstavlja varnostno tveganje za delavce, ki izvajajo vzdrževalna dela na progi. Poznamo različne izvedbe dvodelnih pragov, zanimiva je rešitev, ki se uporablja na Nizozemskem, t. i. cik-cak pragovi, ki so med seboj diagonalno povezani, kar progi daje veliko prečno čvrstost (Milojković, 1986).



**Slika 2.4: dvodelni betonski prag**

Vir: [http://www.acem-rail.eu/documents/ACEM-Rail\\_%20D1.1\\_State%20of%20practice\\_r0.pdf](http://www.acem-rail.eu/documents/ACEM-Rail_%20D1.1_State%20of%20practice_r0.pdf)

### **Napake na betonskih pragovih in vzdrževanje**

Napake na betonskih pragovih so redke in skoraj vedno posledica odpovedi kakšnega drugega elementa, npr. pritrditvenega materiala. Slabost betonskih pragov je njihova togost in krhkost, zaradi česar lahko pride do zloma. Pri vgradnji je potrebno med prag in tirnico namestiti absorpcijski material za zmanjšanje napetosti in preprečevanje obrabe praga.

Betonski pragovi ne potrebujejo nobenega posebnega vzdrževanja razen zamenjave. Življenjska doba kvalitetnega praga je okoli 50 let, kar sovpada z življenjsko dobo celotne železniške proge.

### 2.2.2.3 Jekleni pragovi

Jeklenih pragov na Slovenskih železnicah ni in tudi drugod po svetu se praktično več ne uporabljajo. Izdelani so iz valjanega jekla in so v preteklosti služili kot alternativa lesenim pragovom zaradi pomanjkanja kvalitetnega lesa. Prednost jeklenih pragov je v razmeroma enostavni proizvodnji, vgradnji in vzdrževanju, saj se lahko poškodovane dele odstrani z avtogenim aparatom in z varjenjem doda nov del. Dobro ohranjajo tirno širino, po drugi strani pa slabo prenašajo prečne sile, vožnja po njih je glasna, hitrosti pa nizke. Poznamo dva tipa jeklenih pragov. Starejši koritasti jekleni prag in novejši prag »U« profila z ojačanimi konci.

Podobno kot betonski pragovi tudi jekleni ne zahtvajo posebnega vzdrževanja. Po koncu življenjske dobe, ki znaša okoli 50 let, se jih zamenja. Napake se pojavljajo zaradi kemičnih vplivov, zato se jih redko vgrajuje v industrijskih in oblandih področjih, kjer življenjska doba lahko znaša le nekaj let.

S tehnološkim napredkom se v zadnjih letih pojavljajo tudi pragovi iz umetnih materialov, ki so zaradi dolge življenjske dobe in drugih lastnosti, kot so odpornost na zunanje vplive, nizka teža, sposobnosti dušenja vibracij, vgrajujejo predvsem na mesta, kjer ni mogoča izvedba tirne grede (jekleni mostovi). Pragovi, ki so izdelani, so iz poliuretana, se vstavijo v gumijasto oblogo ter zalijejo z betonom (Bajželj, 2011).

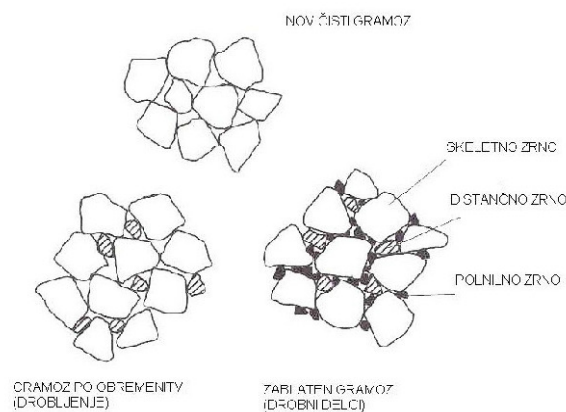
### 2.2.3 Tirna greda

Tirna greda je sloj tolčenca, v katerem leži tirna rešetka. Funkcija tirne grede je elastičen in enakomeren prenos obremenitev tirnih vozil s tirne rešetke na planum spodnjega ustroja proge, ohranjanje pravilne geometrije tira, preprečitev destabilizacije tira ter odvajanje meteornih voda. Za tirno gredo je pomembno, da pri gradnji oziroma vzdrževanju proge izberemo tolčenec, ki ima primerne mehanske lastnosti, struktura, zrnavost in kakovost pa morajo biti v skladu s standardom EN 13450. Tolčenec mora biti obstojen v raztopini natrijevega sulfata  $Na_2SO_4$ , odporen na obrabo, drobljenje, zmrzovanje in mora biti trden. Najprimernejši materiali za tirno gredo so tolčenci iz vulkanskih kamnin, kot so bazalt, granit in dolomit, v Sloveniji pa se za tirno gredo uporablja apnenec (Zgonc, 2012).

Tolčenec mora biti ostrorob in je glede na velikost zrn razdeljen v 6 kategorij (A-F). Na evropskih železnicah se uporablja tolčenec nazivne zrnavosi 31,5 do 50 mm. Velikost zrn tolčenca se ugotavlja s kvadratnimi siti različnih premerov.

### 2.2.3.1 Vzdrževanje tirne grede

Stanje tirne grede mora biti redno nadzorovano in vzdrževano na primernem nivoju. Največji težavi tirne grede sta posedanje in zablatenost. Pri velikih prometnih obremenitvah, zlasti v prvih fazah obratovanja, prihaja do drobljenja in loma robov tolčenca ter prerazporeditve posameznih zrn tirne grede. Nastala prazna mesta se zapolnijo z zdrobljenimi delci, umazanijo, zemljo in vegetacijo. Nastajajo težave z odvodnjavanjem, tirna greda pa izgubi togost in sposobnost blaženja vibracij. Slabša se stanje tirne geometrije in vertikalnega profila proge v smislu pojavljanja tirničnih valov valovnih dolžin daljših od 3 metrov. Debelina tirne grede mora v vsakem trenutku meriti vsaj 30 centimetrov, življenjska doba pa se giblje med 15 in 50 let, odvisno od kategorije proge, kvalitete tolčenca in stopnje zablatenosti (Zategelj, 2006).



**Slika 2.5: sestava tirne grede**

Vir: <http://www.drc.si/Portals/1/Referati/T7-Zaletelj.pdf>

Tirna greda se vzdržuje s preventivnimi vzdrževalnimi aktivnostmi, ki zajemajo naslednje:

- **Zbijanje tolčenca;** Zbijanje je proces, s katerim se odpravlja nepravilnosti v geometriji tira in spada med najpogostejše vzdrževalne aktivnosti. Zbijanje lahko opišemo kot postopek, s katerim se s pomočjo ustreznega tirnega vozila sloj tolčenca naredi bolj kompakten, s čimer povečamo nosilnost tirne grede ob in pod pragovi. Izvedba poteka tako, da se posebne klešče, ki so del tirnega vozila, spustijo v sloj tolčenca na vsaki strani praga in z vibriranjem povzročijo premik tolčenca, ki zapolni prazen prostor med posameznimi zrn pod pragom. Hkrati z zbijanjem pa poteka tudi niveliranje in učvrstitev tirnic. Na tirnem vozilu so nameščena merilna



kolesa in naprave za niveliranje, ki sledijo tirnici. Merilna kolesa med zbijanjem merijo parametre geometrije proge in preko merilnega sistema prenašajo informacije o nepravilnostih, nivelirne naprave pa potem z vlečenjem tirnic progo postavijo nazaj v pravilno horizontalno in vertikalno lego (Esvald, 2001). Zbijanje je del tako korektivnega kot preventivnega vzdrževanja. Kot del korektivnega vzdrževanja se izvaja za odpravo izoliranih napak, ki jih predhodno zazna marilni vlak in so lahko izvedena tudi z ročnimi napravami, medtem ko se zbijanje kot del preventivnega vzdrževanja izvaja v skladu z načrtom vzdrževanja v določenih časovnih intervalih, po navadi vsakih 4-5 let.

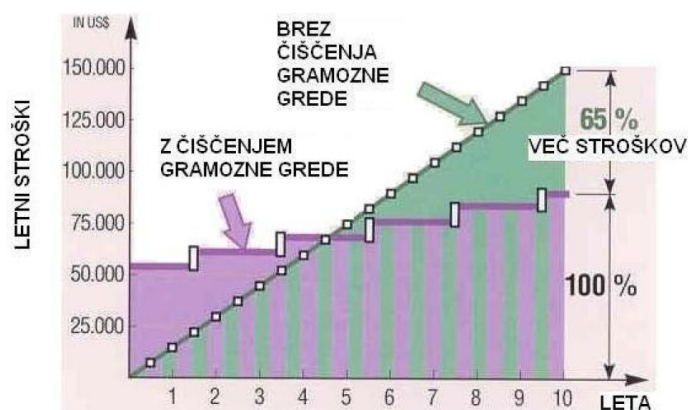
- **Dinamična stabilizacija tira (DTS);** Dinamična stabilizacija tira je postopek, s katerim dosežemo boljše umestitev tirne rešetke (tirnice in praga) v tirno gredo. Pri obnovi ali izgradnji nove proge je le-ta podvržena nenadnemu padcu kvalitete. To se dogaja v začetni fazi eksploatacije med 0,5 in 2 MGT prometne obremenitve, večinoma se tir stabilizira pri prevozu vlakov, torej ko je proga že bila predana v promet. Vendar pa so osne obremenitve različnih vlakov neenakomerne, kar pomeni, da se tir stabilizira nepravilno, nastajajo napake v tirni geometriji, to pa pomeni hitrejšo degradacijo in večje potrebe po vzdrževanju. Degradacija proge v tem začetnem obdobju poteka po eksponentni krivulji, ko pa se proga umesti, krivulja degradacije postane linearna.

Z dinamično stabilizacijo tira tik po izvedbi vzdrževalnih del ali izgradnji nove proge se ta nenadni padec kvalitete omili tudi to 50 %, hkrati pa se poveča najvišja progovna hitrost, zmanjša število počasnih voženj, podaljšujejo se vzdrževalni cikli in tako znižujejo stroški vzdrževanja in stroški zamud.

Dinamični stabilizator je stroj, ki ustvarja enakomerna horizontalna nihanja (30-35 Hz) in s tem povzroča premik zrn tolčenca, tirna rešetka pa se pravilno posede v tirno gredo in doseže stabilno lego. V tirni gredi se zaradi vibracij zapolnijo prazna mesta, poveča se stična površina med tolčencem in pragom. Čim večja stična površina med tolčencem in pragom pomeni boljše amortizacijo prometnih obremenitev, raziskave pa kažejo, da ta površina pri obnovljenih ali novih progah znaša le med 0,5 in 3 %, z ustrežno stabilizacijo tira pa se poveča tudi za 40 %. Ugotovljeno je bilo tudi, da dinamični stabilizator ne povzroča poškodb na pritrdilnem priboru ali drugih napravah, ki bi lahko nastale zaradi oscilacij.

- **Zablatenost in čiščenje tirne grede**

Zrnavost tolčenca je eden od večjih dejavnikov posedanja proge in slabšanja tirne geometrije. Praznine med večjimi zrni se s časom zapolnijo z manjšimi ter umazanijo, kar tirni gredi preprečuje amortizacijo dinamičnih prometnih obremenitev in negativno vpliva na kvaliteto proge in povečuje njeno togost. Pri zniževanju stroškov življenjskega cikla proge je zato tirno gredo potrebno redno čistiti. Analiza je pokazala, da so stroški vzdrževanja za obdobje 10 let na progi, kjer je bilo izvedeno čiščenje tudi do 65 % nižji od stroškov vzdrževanja, kjer čiščenja ni bilo (Flerin, Zaletelj, 2006).



**Slika 2.6: primerjava letnih stroškov na km proge brez čiščenja gramozne grede - enkratno čiščenje**

Vir: <http://www.drc.si/Portals/1/Referati/T7-Zaletelj.pdf>

## 2.3 EVROPSKA TRANSPORTNA POLITIKA

V drugi polovici 20. stoletja je železniški transport v Evropi začel izgubljati primat pri prevozu tovora in potnikov, statistike kažejo, da se tržni delež napram cestnemu prevozu, pa tudi nekaterim drugim nosilcem transporta, vse do današnjega dne zmanjšuje. V zadnjih štiridesetih letih se je prevoz blaga v cestnem transportu potrojil, železnica pa nazaduje tudi pri daljinskem transportu, kjer bi zaradi svojih karakteristik po vsaki logiki morala prevladovati. Razvite evropske države zato že kar nekaj časa veliko sredstev in časa namenjajo posodabljanju železniških sistemov. Sprejetih je bilo veliko uredb, direktiv, predpisov, smernic ter različnih strateških dokumentov na ravni Evropske unije (EU), s katerimi se je skušalo obrniti negativne trende ter železnicam ponovno zagotoviti pomembno vlogo na transportnem in ekonomskem področju.

### 2.3.1 Reforma evropskih železniških sistemov

Najbolj temeljit in zahteven med vsemi ukrepi je projekt deregulacije in liberalizacije železniškega transporta, ki po Ogorelcu (Ogorelc, 2006, str. 213-232) temelji na naslednjih ključnih postavkah in ukrepih:

- Razmejevanje odgovornosti za infrastrukturo in transport; to je najpomembnejši ukrep in pomeni računovodsko ločitev upravljanja železniške infrastrukture in izvajanja železniških storitev (prevoz tovora in potnikov). Sem spada tudi ločitev med prevozom tovora in prevozom potnikov.
- Zagotavljanje neodvisnosti upravljavca infrastrukture (Infrastructure manager) glede sprejemanja temeljnih elementov pri dodeljevanju voznih poti. Tu se misli predvsem na licenciranje, dodeljevanje vlakovnih poti, določanje uporabnine in sprejem varnostnih standardov.
- Neodvisnost upravljavca infrastrukture pri sprejemanju poslovnih odločitev povezanih z eksploatacijo in razvojem železniške infrastrukture.
- Zagotavljanje enakih konkurenčnih pogojev med ponudniki transportnimi storitev; Tukaj se pojavlja dvom o nediskriminatorni obravnavi železniških prevoznih podjetij pri dodeljevanju voznih poti in zaračunavanju uporabnine.
- Zagotavljanje prostega dostopa na železniško omrežje; To na začetku velja samo za nekatere proge transevropskega omrežja, kasneje pa tudi za celotno omrežje. Licenca, ki jo je železniško podjetje pridobilo v eni državi članici, je veljavna po celotni EU.
- Zagotavljanje učinkovitega upravljanja železnic. Železniški sistem mora delovati po tržnih načelih. Pomembno je, da železnice različnih držav med seboj sodelujejo kljub temu, da si v nekaterih segmentih delovanja konkurirajo.

Po tej ureditvi upravljavec železniške infrastrukture, ki je odgovoren za vzdrževanje in razvoj železniške infrastrukture, lahko deluje kot samostojno podjetje ali pa družba v sestavi holdinga. V vsakem primeru ga financira država, upravljavec pa sam sprejema načrt za razvoj infrastrukture v danih finančnih okvirjih.

### 2.3.2 Evropski dokumenti in direktive

Prvi pomembnejši dokument, Bela knjiga o izvajanju skupnega trga (Documents COM (85) 310 final White Paper on completing the Internal Market, 1985) iz leta 1985 predlaga in priporoča smernice skupne transportne politike ter prosto opravljanje storitev. Istega leta Svet Ministrov sprejme t. i. Master plan, ki pod drobnogled vzame kopenski, cestni in zračni

transport, v svojem bistvu pa teži k odpravi ozkih grl, zagotovitvi trajne mobilnosti znotraj EU ter spodbujanje preusmeritve blaga na železnico in na celinske vodne poti. Leta 1990 Evropska komisija sprejme načrt aktivnosti za vzpostavitev vseevropskega transportnega omrežja TEN-T, ki med drugim predvideva izgradnjo enotnega železniškega omrežja ter upravljalnega in informacijskega sistema za celotno EU. Naslednji uradni dokument, ki obravnava železniški transport, je Bela knjiga iz leta 1996 (White paper – A strategy for revitalising Community's railways). Cilj tega dokumenta je ločitev upravljanja infrastrukture in prevoza, vzpostavitev finančne politike, ki bi bila neodvisna od države ter zagotavljanje konkurenčnega, svobodnega dostopa na železniško omrežje. Zaradi nedoseganja zastavljenih ciljev je leta 2001 nastal do danes najpomembnejši dokument, ki zadeva transportno področje EU, in sicer Bela knjiga Evropska transportna politika za 2010: čas za odločitev (White Paper – European transport policy for 2010: a time to decide, 2001). Bela knjiga zajema vse vrste transporta, za železniški promet pa so najpomembnejši naslednji ukrepi (Pirš, 2005, str. 54-61): dostop prevoznih podjetij do železniške infrastrukture, tesnejše povezovanje železniškega in vodnega transporta in odprava ozkih grl z razvojem panevropskih prometnih omrežij. Sprejeti ukrepi, ki zadevajo liberalizacijo železnice in ki so predstavljeni v prejšnjem podpoglavju, so se izvedli v treh fazah oziroma t. i. paketih, prvi je vstopil v veljavo leta 2001, drugi leta 2004, zadnji pa leta 2010. Pomemben je tudi 222. člen rimske pogodbe iz leta 1957, ki odločitev o privatizaciji posameznih delov železniškega sistema prepušča posameznim državam.

Za ureditev področja železniške infrastrukture in upravljanje z njo so bile sprejete številne direktive, najrelevantnejše so predstavljene v naslednji tabeli.

<b>DIREKTIVE</b>	<b>VSEBINA</b>
<b>1991/440/ES, 2001/12/ES, 2004/14/ES, 2004/51/ES</b>	<b>- računovodska in upravljalna očitev infrastrukture in transportnih storitev</b>
<b>1995/18/ES (razveljavljena), 2001/13/ES</b>	<b>- določitev minimalnih pogojev prevoznikov za dostop do železniške infrastrukture - licenciranje</b>
<b>1995/19/ES, 14/2001/14/ES</b>	<b>- dodeljevanje infrastrukturnih zmogljivosti - določanje uporabnin za uporabo infrastrukture</b>
<b>2001/12/ES</b>	<b>- definicija nalog upravljavca</b>

	<b>infrastrukture za izogibanje diskriminaciji prevoznikov</b> - sprejetje pravil transparentnosti financiranja za izogibanje in omejitev državnih subvencij
2001/14/ES	- definicija pristojnosti in nalog regulativnega organa za nadzor nad upravljavcem

Tabela 2-1: evropske direktive

### 2.3.2.1 Evropski projekti

Evropske železniške uprave so se prisiljene povezovati in med seboj sodelovati, če želijo izboljšati svoje poslovanje in doseči zastavljene cilje skupne evropske transportne politike. Zaradi liberalizacije železniškega transporta je le-ta prej ali slej prisiljen delovati po tržnih načelih. Tudi zato so bili v zadnjih dveh desetletjih izpeljani številni projekti s področja upravljanja vzdrževanja železniške infrastrukture, razvoja inovativnih tehnologij in različnih pristopov k reševanju problemov povezanih z vzdrževanjem, katerih namen je ne samo poceniti in izboljšati nivo vzdrževanja, ampak izboljšati tudi železniški transport kot celoto. Veliko teh projektov je bilo izpeljanih in financiranih s strani EU, nekateri pa so rezultat dela posameznih držav ali privatnih podjetij, ki so kakorkoli povezana v sistem vzdrževanja.

PROJEKT	GLAVNI CILJI IN DOSEŽKI
<b>AUTOMAIN</b>	- Optimizacija vzdrževanja in planiranja vzdrževanja, - razvoj tehnologij monitoringa proge za zmanjšanje časa intervalov zasedenosti za 75 %, - zmanjšanje časa intervalov zasedenosti za vzdrževalna dela za 50 %, - povečanje prepustnosti proge in zmanjšanje časa intervalov zasedenosti skozi celoten življenjski cikel proge za vsaj 40 %.
<b>INNOTRACK</b>	- Razvoj stroškovno učinkovitega upravljanja infrastrukture in vzdrževanja za zmanjševanje stroškov življenjskega cikla proge za 30 % ob hkratnem izboljšanju RAMS, - tesnejše sodelovanje upravljavcev infrastrukture in industrije ter razumevanje ključnih problemov upravljanja železniških prog, - zmanjševanje časovnega razmika med razvojem in implementacijo inovativnih tehnologij upravljanja in vzdrževanja infrastrukture.

<b>ProMain</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Razvoj informacijskih in komunikacijskih tehnologij za povečanje učinkovitosti in kapacitet tovornega transporta,</li> <li>- analiza potreb optimizacije dejavnosti upravljavca infrastrukture,</li> <li>- razvoj ProM@in omrežja za: <ul style="list-style-type: none"> <li>- testiranje in uporaba novih CENELEC varnostnih rešitev,</li> <li>- uporaba rezultatov in tehnologij iz drugih evropskih in mednarodnih projektov,</li> <li>- povezava in sodelovanje med razvijalci tehnoloških rešitev in uporabniki.</li> </ul> </li> </ul>
<b>TRAINS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Izboljšanje varnosti in ekonomičnosti železniških aktivnosti,</li> <li>- definicija in razumevanje ključnih dejavnikov v razmerju tirno vozilo-proga,</li> <li>- razumevanje korelacije med kolesom in tirnico,</li> <li>- razvoj sistema za napovedovanje, nadzor in zmanjšanje tveganja za iztirjenje, zlomov tirnice in poškodb tirnih vozil,</li> <li>- zmanjšanje stroškov vseh operacij na progi in povečanje učinkovitosti.</li> </ul>
<b>RAIL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplikacija tehnik zanesljivostno orientiranega vzdrževanja (RCM),</li> <li>- razvoj orodja za analizo RCM, ki vključuje stroške in smernice za planiranje vzdrževanja,</li> <li>- razvoj LCC modela,</li> <li>- izdelava baze podatkov in RCM analiza vseh kritičnih varnostnih infrastrukturnih komponent,</li> <li>- implementacija RCM kot nadgradnja preventivnega vzdrževanja na nemških (DB) in španskih (RENFE) železnicah.</li> </ul>

Tabela 2-2: evropski projekti

### 3 TEHNOLOGIJA VZDRŽEVANJA ŽELEZNIŠKE PROGE

Železniški sistem je pomemben nosilec transportnih in gospodarskih dejavnosti posamezne države, zato mora biti njegovo brezhibno delovanje vselej prioriteta. Potrebe današnje družbe zahtevajo zanesljiv, dostopen, varen in hiter železniški transport, te zahteve pa lahko zadovoljimo samo skozi stalen napredek v tehnološkem in tehničnem smislu ter hkrati z racionalnim in učinkovitim upravljanjem vseh železniških podsistemov. Temeljni podsistem železniškega sistema je prav gotovo železniška infrastruktura, kvaliteta le-te pa je neposredno povezana s kvaliteto železniških storitev.

Zaradi naraščanja potreb po hitrejšem in pogostejšem prevozu potnikov in tovora, so proge vedno bolj obremenjene, osne obremenitve večje, povečujejo se sile pri stiku kolesa in tira. Vse to pomeni večjo stopnjo obrabe in posledično slabšanje kvalitete predvsem zgornjega ustroja železniške proge. Upravljalci železniške infrastrukture so tako soočeni z naraščanjem stroškov za vzdrževanje ter nižanjem državnih sredstev za obnovo, zato so prisiljeni v razvoj in optimizacijo metod upravljanja in vzdrževanja skozi celoten življenjski cikel železniške infrastrukture. Vzdrževanje mora biti sistematično in v celoti integrirano v podsistem železniške infrastrukture.

V tem poglavju bomo analizirali različne pristope k vzdrževanju zgornjega ustroja ter napredne metode, kot je LCC analiza v povezavi z RAMS, še pred tem pa moramo ugotoviti, kateri so ključni parametri kvalitete železniške proge ter vpliv različnih dejavnikov na degradacijo posameznih elementov zgornjega ustroja. Pokazali bomo tudi, da večja začetna investicija v kvaliteto proge na dolgi rok bistveno poceni vzdrževanje in celoten podsistem infrastrukture, posredno to pomeni varnejši in zanesljivejši železniški transport.

#### 3.1 KVALITETA PROGE

Zadovoljiva kvaliteta železniške proge je temeljni faktor kvalitetne prevozne storitve v železniškem transportu in je tesno povezana z začetnim vložkom v infrastrukturo ter vzdrževanjem. V splošnem lahko rečemo, da je proga kvalitetna, kadar njena geometrija zadovoljuje predpisane standarde in kadar so njeni posamezni elementi tehnično izpravni ter v obratovalni funkciji. Kvaliteta proge je v neposredni korelaciji s kapaciteto proge ter življenjsko dobo njenih posameznih elementov.

Velika kapaciteta neizogibno vodi k povečani degradaciji proge. To pomeni ne samo višje neposredne stroške zaradi vzdrževanja, ampak tudi večja zasedenost tirov zaradi vzdrževanih del ali pa uvedba počasnih voženj. Nastajajo veliki posredni stroški zaradi zamud ali celo odpovedi vlakov. V primeru nezadovoljivega vzdrževanja pa se bistveno zmanjša življenjska doba celotne proge in spet naraščanje stroškov zaradi večjih obnovitvenih del. Upravljalci infrastrukture so tako prišli do spoznanja, da je zelo pomembno, da je začetna kvaliteta proge visoka, kar dolgoročno pomeni nižje stroške življenjskega cikla, pa tudi večjo dostopnost in zanesljivost celotnega železniškega sistema. Zavedati pa se moramo, da višja investicija prinaša kvaliteto proge le na začetku življenjskega cikla, kvaliteta proge skozi čas pa je potem odvisna predvsem od vzdrževanja.

Da bi lahko kar najbolje ocenili degradacijo proge v določenem časovnem obdobju, potrebujemo znanje in izkušnje, s katerimi lahko v veliki meri napovemo, kako se bodo posamezni elementi obnašali pod različnimi pogoji. Kvaliteta proge oziroma stopnja degradacije je odvisna predvsem od treh faktorjev:

- **eksploatacija proge**; nenehna degradacija proge zaradi visokih osnih obremenitev, statičnih in dinamičnih sil, visokih prevoznih hitrosti vlakov. Večja kot je obremenitev proge, hitreje in bolj kvaliteta proge pada. Spreminja se geometrija proge, prav tako prihaja do napak v materialu in odpovedi posameznih elementov.
- **napake v materialu ali napake pri vgradnji** lahko privedejo do nenadne ali prehitre odpovedi posameznih elementov proge.
- **vremenski pogoji** (temperaturne razlike, vlaga, padavine ...).

### 3.1.1 Degradacija proge

Na kvaliteto pa nikoli ne vpliva samo posamezen faktor, ampak kombinacija različnih faktorjev. Nizka kvaliteta posameznih elementov proge povzroča slabšanje geometrije tira, to pa bistveno poveča dinamične sile pri prevozu vlaka, ki degradacijo proge samo še pospeši. Pomemben faktor je tudi stanje mehanizacije in tehnologije, uporabljene pri gradnji in vzdrževanju.



Obnašanje oziroma degradacijo proge lahko nazorno opišemo z naslednjo enačbo:

$$Q(t) = Q_0 \times e^{-bt}, \quad (3.1)$$

kjer je:

$Q(t)$  - trenutni nivo kvalitete proge,

$Q_0$  - začetni nivo kvalitete proge,

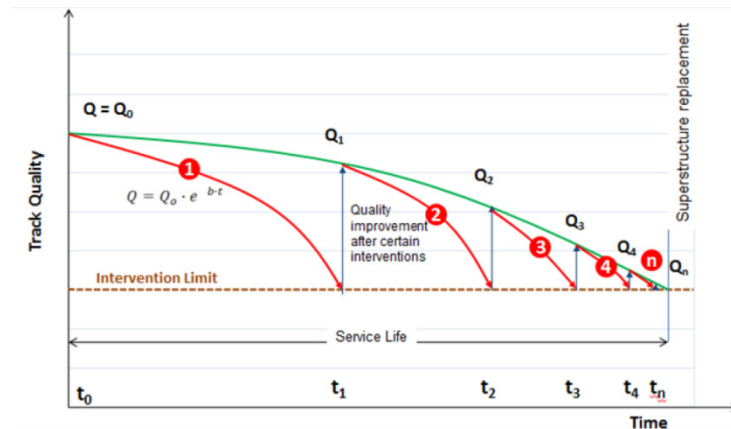
$b$  - parameter degradacije proge,

$t$  - čas.

Prvi člen na desni strani enačbe  $Q_0$  lahko predstavimo tudi kot začetno investicijo v infrastrukturo. Eksponentni člen  $e^{-bt}$  pa lahko razumemo kot vzdrževanje. Parameter  $b$  je izračunan na podlagi trenutnega stanja proge in njene zgodovine in predstavlja temelj za načrtovanje vzdrževanja za določen odsek proge.

Ob času  $t=0$  ima proga svojo izhodiščno kvaliteto  $Q_0$ . Hkrati je to tudi najvišji nivo kvalitete, ki je tudi kasneje z dobrim vzdrževanjem ni več moč doseči. Skozi čas se zaradi prometnih obremenitev in drugih faktorjev kvaliteta proge znižuje in ob nekem času  $t_1$  doseže t. i. intervencijski limit. Intervencijski limit je meja, ko proga zaradi neustreznega stanja nujno zahteva vzdrževalni poseg. Po posegu se kvaliteta proge spet poveča, vendar pa je nižja od začetne;  $Q_1 < Q_0$ . Ob času  $t_2$  je spet dosežen intervencijski limit, izvedeno je popravilo in kvaliteta proge je spet zadovoljiva, vendar pa nižja kot prej;  $Q_2 < Q_1 < Q_0$ . Proces teče naprej, časovni intervali med vzdrževalnimi deli pa so vse krajši. Na koncu pridemo do točke, ko je potrebno celotno progo zamenjati, saj so stroški vzdrževanja previsoki, nivo kvalitete, ki ga lahko dosežemo, pa ni več ustrezen (Mlinarić, 2002).

Kvaliteta proge je torej produkt začetnega stanja proge in načina ter obsega njenega vzdrževanja. Poudariti pa moramo, da je zgornja razlaga nekoliko poenostavljena. V resnici ima vsak posamezen element zgornjega ustroja drugačne lastnosti in se v različnih okoliščinah različno obnaša (Mlinarić, 2002).



Slika 3.1: degradacija proge

Vir: Tzanakis, 2013

### 3.2 SILE NA PROGI

Kot smo že ugotovili, imajo na kvaliteto zgornjega ustroja proge največji vpliv sile, ki se pojavljajo na stiku kolesa in tiru pri vožnji vlaka. Naloga upravljavca infrastrukture je, da ugotovi, katere so te sile ter kako delujejo in kakšen je njihov učinek na kvaliteto proge. Degradacija in obraba zgornjega ustroja je posledica dinamičnih sil, ki se pojavljajo predvsem zaradi slabe geometrije tira, prekinitvah tira na kretnicah, nepravilnosti na kolesu vlaka, velik vpliv pa imajo tudi osne obremenitve in neustrezni krivinski radiji, zaradi sprememb hitrosti, tj. zaviranja in pospeševanja, pa nastajajo znatni oscilirajoči dinamični učinki. V splošnem lahko sile, ki delujejo na železniški tir, smiselno razdelimo v tri skupine:

- **vertikalne sile** so direktna posledica osnih obremenitev. Te sile naprej delimo na statične in dinamične. Statične sile so sile, ko vozilo miruje, dinamične pa nastajajo pri vožnji vlaka in so od statičnih bistveno večje.
- **prečne sile**, ki jih povzročata vožnja po krivinah. Zaradi razlik med hitrostmi posameznih vlakov je težko najti optimalno nadvišanje tira v krivini, zato so prečne sile lahko velik faktor degradacije proge.
- **vzdolžne sile** nastajajo zaradi trenja med kolesom in tirnico pri zaviranju ali pospeševanju vlaka, pa tudi zaradi velikih temperaturnih sprememb.

Za izračun obrabe in degradacije zgornjega ustroja se je dolgo uporabljala Zimmermannova metoda, Eisenmann pa je prav na podlagi Zimmermannove razvil novo, ki v obzir jemlje tudi kvaliteto tira oziroma stanje tirne geometrije in hitrost vožnje. Formula za izračun dinamičnih obremenitev je naslednja (Bajželj, 2012):

$$Q_{max} = Q_{povp} (1 + t \times s), s = n \times \varrho \quad (3.2)$$

kjer je:

- $Q_{max}$  - maksimalna sila, ki deluje na tirnico,  
 $Q_{povp}$  - povprečna sila (npr. kvazi-statična sila),  
 $t$  - statistična verjetnost zajetja vseh dinamičnih vplivov, lahko ima vrednosti 1, 2 ali 3,  
 $s$  - vpliv stanja zgornjega ustroja proge in hitrosti,  
 $n$  - faktor kvalitete proge (lahko je med 0,15 in 0,25),  
 $\varrho$  - faktor hitrosti.

### 3.3 Meritve in diagnostika

Za ohranjanje kvalitete zgornjega ustroja proge je potrebno napake pravočasno odkriti in sanirati. V ta namen se vršijo redne kontrole in meritve stanja, ki jih za Slovenske železnice določa Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog. Meritve kvalitete tira lahko uvrstimo med redna vzdrževalna dela. Za doseganje predpisanih standardov varnosti in udobja vožnje se vizualno in s pomočjo merilnih vlakov izvajajo naslednje diagnostične meritve:

- **Geometrija tira;** z meritvami se preverjajo odstopanja od predpisanih vrednosti, predvsem petih standardnih parametrov tira: smer tira, višina tira po dolžini in stabilnost leve in desne tirnice, vegavost, nadvišanje, tirna širina. Meritve se opravijo z merilnimi drezinami, in sicer trikrat na leto na progah za hitrosti večje kot 120 km/h in po katerih vozijo vlaki z nagibno tehniko, dvakrat na leto na glavnih progah in enkrat letno na regionalnih progah. Slovenske železnice v zadnjem desetletju uporabljajo merilni vlak FMK 004 in merilno drezino UFM 120 (Zgonc, 2012).
- **Vozna dinamika;** merijo se bočne sile in pospeški ter izračunava se razmerje med vertikalnimi in horizontalnimi silami.
- **Diagnostika tira;** zajema preiskave geometrijskih lastnosti tirnic kot so meritve obrabe profila in valovitosti tirnic in ultrazvočne preiskave za odkrivanje napak v materialu.
- **Kontrolni pregled tira.**
- **Pragovi;** pri vizualnem pregledu se ugotavlja odstotek slabih, srednje dobrih in dobrih pragov.
- **Tirna greda;** vizualni pregled tirne grede služi za oceno deleža finih delcev in organskih snovi v gredi ter vodoprepustnosti grede.

### 3.3.1 Geometrija tira

Problem geometrije tira nosi velik del stroškov vzdrževanja proge in je velikokrat tudi pomemben faktor kot eden od povzročiteljev nesreč. Zato se izvajajo redne kontrole in meritve geometrije tira in na podlagi teh meritev se potem planirajo vzdrževalna dela. Današnja tehnologija na merilnem vlaku omogoča izpis rezultatov meritev v digitalni obliki že med merilno vožnjo, s statistično obdelavo podatkov pa se ustvari natančen plan vzdrževanja za določene odseke proge. Kvaliteto proge določajo t. i. kvalitativni indikatorji (Track Quality indicators – TQI), največkrat v obliki standardne deviacije. Standardno deviacijo lahko opišemo kot vsoto vseh izmerjenih vrednosti za posamezen geometrijski parameter za določeno dolžino proge. Služi nam predvsem za planiranje vzdrževalnih del, ne da pa nam informacij o obliki napak (Tomljanovič, 2012).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(a_1 - a)^2}{m}}, \quad (3.3)$$

kjer je:

$\sigma$  - standardna deviacija,

$a$  - srednja vrednost,

$a_1$  - posamezna vrednost,

$m$  - skupno število vrednosti.

Povzeto po Tomljanoviču (Tomljanovič, 2012) se lahko kvaliteta tira meri tudi z izračunom t. i. števila KT500. Število KT500 je kvalitativni parameter tira, ki ga dobimo na podlagi meritev vsakega posameznega parametra geometrije tira na 500-metrskem odseku proge. Izračuna se s pomočjo ploščin diagramov grafikona merilnih voženj posebej za smeri leve in desne tirnice ter vegavosti in stabilnosti tira, in sicer po naslednji formuli:

$$KT500 = \frac{Stab_L + Stab_d + Smer_L + Smer_D + Veg_{2,5} + Veg_6}{3}, \quad (3.4)$$

kjer je:

$Stab_L$  – parameter stabilnosti leve tirnice,

$Stab_D$  – parameter stabilnosti desne tirnice,

$Smer_L$  – parameter smeri leve tirnice,

$Smer_D$  – parameter smeri desne tirnice,

$Veg_{2,5}$  – parameter vegavosti tira na bazi 2,5 m,

$Veg_6$  – parameter vegavosti tira na bazi 6 m.

Tiri se, glede na dopustne vrednosti števila KT500 za različne kategorije prog, delijo v tri razrede:

- **Dober tir;** tiri so v skladu s standardi, vzdrževalne aktivnosti niso potrebne.
- **Zadovoljiv tir;** ti tiri še zadovoljujejo standardom, vendar pa je že potrebno planirati vzdrževanje.
- **Vzdrževalni ukrepi;** na tirih, ki padejo v ta razred, je potrebno izvesti vzdrževalna dela, saj ne zadovoljujejo več minimalnim standardom.

Kvaliteto geometrije tira pa lahko ugotovimo tudi s štetjem napak in vrednosti, ki presegajo mejne vrednosti. Na ta način identificiramo največje napake za vsak posamezen parameter geometrije proge posebej. Ta metoda je pomembna predvsem za sanacijo velikih lokalnih napak na progi.

Določitev standardov geometrijske kvalitete tira temelji na empiričnih metodah. V teh standardih so določene najvišje dopustne vrednosti za vsak parameter posebej in ga lahko definiramo kot oceno oddaljitve od srednje vrednosti geometrijskih karakteristik za posamezen parameter. Določena oddaljitev mora zagotavljati varno in udobno vožnjo (Tomljanovič, 2012).

Po standardu EN 13848-5 iz leta 2008 so definirani trije kvalitativni nivoji odstopanj od projektiranih geometrijskih parametrov tira:

- **Nivo takojšnjega ukrepanja** (Immediate action limit – IAL); ko upravljavec infrastrukture ugotovi, da so odstopanja presegla ta nivo, mora nemudoma izvesti ukrepe za zmanjšanje tveganja iztirjenja na sprejemljivo raven. To lahko doseže z zaporo proge, uvedbo počasnih voženj ali vzdrževalnim posegom. Ukrep je na tem nivoju nujen.
- **Intervencijski nivo** (Intervention limit – IL); če odstopanje preseže ta nivo, je potrebno izvesti korektivni vzdrževalni poseg, preden je dosežen nivo takojšnjega ukrepanja ozirom še pred naslednjo kontrolno meritvijo.
- **Opozorilni nivo** (Alert limit – AL); takojšen ukrep pri opozorilnem nivoju odstopanj ni potreben. Napake je potrebno analizirati in pozorno spremljati, odpraviti pa pri naslednjih rednih vzdrževalnih delih.

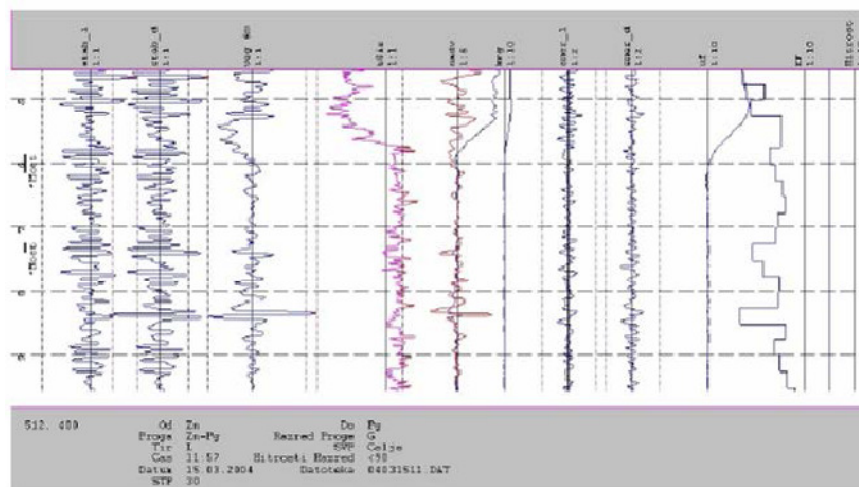
Meritve geometrije tira se na Slovenskih železnicah v zadnjih desetih letih izvajajo z merilno drezino FMK 004 in merilnim vlakom UFM 120.

### 3.3.1.1 Merilna drezina FMK 004

Merilna drezina FMK 004 je kontaktno merilno vozilo, kar pomeni, da mehansko meri geometrijo tira s tremi merilnimi kolesi, ki so nameščena med pogonska kolesa. Dolga je 15 m in ima maso 52 t. Dobra lastnost drezine je velika natančnost meritev (parametri proge se merijo na vsakih 25 cm proge) in možnost merjenja v obeh smereh vožnje do hitrosti 100 km/h. Drezina med merjenjem v digitalni obliki beleži lokalne napake na progi, na grafikonu merilne vožnje pa lahko spremljamo naslednje parametre:

- vegavost tira na bazi 2,5 in 6 metrov,
- tirno širino,
- nadvišanje tira,
- stabilnost in smer leve in desne tirnice.

Poleg meritev FMK 004 sproti izdeluje poročilo, ki mora vsebovati natančne vrednosti napak, ki presegajo določen limit, statistične podatke za vsak izmerjen kilometer ter indeks in ocenjene vrednosti za posamezne odseke.



**Slika 3.2: izpis geometrijskih parametrov tira**  
vir: Juvan, K. 2007 str. 42



**Slika 3.3: merilna drezina FMK 004**

vir: <http://www.panoramio.com/photo/54901218>

#### 3.3.1.2 Merilni vlak UFM 120

Merilni vlak UFM 120 so Slovenske železnice najele od nizozemskega podjetja Eurailscout. Meritve se opravijo brezkontaktno s pomočjo laserja in inertnega merilnega sistema z natančnostjo 25 cm. Poleg geometrije tira in vseh potrebnih parametrov pa UFM 120 beleži tudi strukturo tal s pomočjo georadarske naprave, in sicer meri globino, homogenost in čistost gramoza in v podlagi zazna pojav in širjenje vlage ter prepozna položene cevi in kable. Naprava je sposobna napraviti tudi plastičen prerez podlage do 34 m globine. S pomočjo video opreme se preverjata vidnost signalov in zaraščenost progovnega območja, vlak pa detektira tudi napake na tirnici (kratki valovi) in obrabo kontaktnih vodov na napravah električne vleke. UFM 120 je dolg 23 m, njegova masa znaša 70 t, najvišja hitrost merjenja je 120 km/h v obe smeri. Spodnji sliki prikazujeta merilni vlak in digitalni izpis meritev.

Track	Exception begin		Exception end		Length [m]	Parameter	Max. [mm]	Location of Max.		Speed class	
	[km]	[m]	[km]	[m]				[km]	[m]	Current	Save
L	525	819	525	830	11	tSir	-4	525	819	<100	<60
L	525	833	525	841	7	tSir	-4	525	838	<100	<60
L	525	843	525	879	35	tSir	-5	525	867	<100	<60
L	525	880	525	890	10	tSir	-5	525	886	<100	<60
L	525	892	525	894	2	tSir	-4	525	893	<100	<80
L	525	897	525	901	4	tSir	-3	525	899	<100	<80
L	526	891	526	892	1	stab_l	9	526	892	<100	<60
L	526	891	526	892	1	stab_d	9	526	892	<100	<60
L	526	896	526	898	2	stab_l	-10	526	897	<100	<60
L	526	896	526	899	2	stab_d	-10	526	897	<100	<60
L	526	902	526	905	2	tSir	-4	526	904	<100	<60
L	526	904	526	906	2	stab_d	-10	526	905	<100	<60
L	526	920	526	924	4	tSir	-4	526	921	<100	<80
L	526	926	526	929	2	tSir	-3	526	927	<100	<80
L	527	297	527	298	1	tSir	-3	527	297	<100	<80
L	527	303	527	305	2	tSir	-3	527	304	<100	<80
L	527	318	527	320	1	stab_d	-9	527	319	<100	<60
L	527	318	527	320	1	stab_d	-9	527	319	<100	<60
L	527	343	527	349	5	tSir	-6	527	346	<100	<60
L	527	350	527	351	1	stab_l	-9	527	350	<100	<60
L	527	364	527	365	1	tSir	-4	527	364	<100	<80
L	527	375	527	378	2	stab_d	-11	527	376	<100	<60
L	527	375	527	378	3	stab_l	-12	527	376	<100	<60
L	527	386	527	389	3	stab_l	13	527	387	<100	<60
L	527	386	527	389	3	stab_d	13	527	387	<100	<60

Slika 3.4: digitalni izpis z merilnega vlaka UFM 120

vir: Juvan, 2007 str. 37



Slika 3.5: merilni vlak UFM 120

Vir: <http://www.rail-pictures.com/name/zeitachse/jahr/2012/monat/august.html>

### 3.4 VZDRŽEVANJE ZGORNJEGA USTROJA

Ker je enkrat zgrajeno železniško infrastrukturo kasneje skoraj nemogoče spreminjati, je njen učinek na dolgi rok v največji meri odvisen od načina vzdrževanja. Vzdrževanje lahko razumemo kot tehnično izvedbo vzdrževalnih del in tudi kot tehnološko in organizacijsko dejavnost, ki od upravljavcev infrastrukture zahteva visok nivo tehničnega znanja in izkušenj, hkrati pa v povezavi z vse manjšimi denarnimi sredstvi in vse višjimi potrebami po varnosti, zanesljivosti in dostopnosti železniške infrastrukture zahteva ekonomičnost in



racionalnost. Definicijo vzdrževanja lahko po britanskem slovarju izrazov za standarde (british standard glossary of terms, BS 4778), ki ga je sprejela tudi slovenska standardizacija (SIST), povzamemo kot: *»Vzdrževanje je proces, ki ohranja naprave in sisteme v delovnem stanju s tem, da preprečuje prehod le-teh v stanje okvare oziroma vzpostavlja delovno stanje po stanju okvare.«* Po evropskem standardu (EN 13306) pa je vzdrževanje definirano z naslednjimi besedami: *»Vzdrževanje je kombinacija vseh tehničnih in organizacijskih aktivnosti v času uporabe strojev in naprav ter ima namen ohraniti ali vzpostaviti stanje, v katerem lahko stroj ali naprava izvaja zahtevano funkcijo.«* ([http://www.aig.si/13/clanki/avtomatizacije\\_vzdrzevanje/AV2\\_Vizintin.pdf](http://www.aig.si/13/clanki/avtomatizacije_vzdrzevanje/AV2_Vizintin.pdf) (1. 4. 2014).

V zadnjih nekaj desetletjih se je koncept vzdrževanja bistveno spremenil. Do leta 1945 je prevladoval sistem *»run to failure«*, kar je pomenilo odpravo napake in ponovna vzpostavitev minimalnega sprejemljivega stanja potem, ko se je napaka že zgodila. Po drugi svetovni vojni pa prihaja v ospredje varnost, zanesljivost in učinkovitost določenega sistema ali naprave ter razvoj prvih strategij preventivnega vzdrževanja. Zaradi vse večjega obsega prometa in vse višjih kvalitativnih standardov zahteva železniška infrastruktura vse več vzdrževanja, kar pomeni tudi večje stroške in večjo zasedenost tirov zaradi vzdrževalnih del.

Upravljalci infrastrukture so postavljeni pred težko nalogo najti pravo strategijo, ki bo dolgoročno prinesla ekonomsko racionalno upravljanje sistema vzdrževanja, kratkoročno pa zagotavljala učinkovit, zanesljiv, varen in dostopen železniški transport.

Kljub temu da ima upravljavec infrastrukture danes na voljo različne tehnologije in orodja, še vedno zelo težko natančno oceni, kakšen vpliv ima določen način vzdrževanja na obnašanje proge v primerjavi z drugimi tehnikami, še sploh, če vzamemo v obzir njeno dolgo življenjsko dobo. Tako je razvoj dolgoročne optimalne strategije vzdrževanja, ki bi bila tehnično in ekonomsko učinkovita, proces, ki zahteva sistematičen pristop in sodelovanje strokovnjakov različnih panog. Upravljavec infrastrukture mora jasno definirati cilje in zahteve za RAMS, pri tem pa mora v obzir vzeti družbene in ekonomske potrebe ter upoštevati določene smernice in pravila. Upravljanje vzdrževanja zajema naslednje bistvene aktivnosti (Zoeteman, 2006):

- Vzpostavitev baze podatkov, ki vsebuje vse informacije o infrastrukturi, njeni kvaliteti in zgodovini vzdrževanja ter te informacije povezuje z merodajnimi prometnimi pogoji in natančnimi lokacijami.
- Izdelavo in izbiro ustreznih konceptov in strategij vzdrževanja, ki temeljijo na degradacijskih modelih in RAMS parametrih.

- LCC analizo za iskanje ravnotežja med stroški investicij in vzdrževanjem.
- Informacije o materialih, ki jih bo uporabil pri obnovi in vzdrževanju.
- Mejne vrednosti za odločitev o obnovi ali vzdrževanju.
- Računalniški sistem oziroma orodje, ki omogoča izdelavo strategije vzdrževanja in asistira pri upravljanju s človeškimi viri in potrebnimi materialnimi sredstvi.

### 3.4.1 Strategije vzdrževanja

Upravljevec infrastrukture mora za učinkovito upravljanje sistema vzdrževanja razviti dolgoročno strategijo na podlagi razpoložljivih materialnih sredstev in splošnih transportnih, ekonomskih in družbenih zahtev in potreb. Strateške cilje pa mora znati prenesti na taktični nivo in operativni nivo, kjer mora biti vzdrževanje načrtovano v zvezi z zahtevami RAMS in potrebami po kapaciteti železniške infrastrukture.

V splošnem ločimo tri osnovne strategije vzdrževanja železniške infrastrukture:

- **Korektivno vzdrževanje;** To je strategija, ki temelji na odpravljanju napak in odpovedi, ko se le-te že zgodijo in ni rezultat sistematičnega pristopa. Stroški takšne strategije so po navadi visoki, saj so običajno povezani z velikimi zamudami ali celo odpovedmi načrtovanih voženj vlakov.
- **Preventivno vzdrževanje;** Pri preventivnem vzdrževanju je poudarek na zmanjševanju verjetnosti pojava napake ali odpovedi, cilj je napake preprečiti, še preden se zgodijo. Strategija vključuje vnaprej načrtovane vzdrževalne aktivnosti, zamenjave, obnove in tudi redno izvajanje monitoringa stanja proge ter vseh njenih elementov. Preventivno vzdrževanje lahko naprej razdelimo na dva naslednja dva tipa:
  - Sistematično preventivno vzdrževanje vključuje vnaprej načrtovane vzdrževalne aktivnosti na podlagi tehničnih specifikacij opreme, mehanizacije in infrastrukture.
  - Detektirano preventivno vzdrževanje lahko opišemo kot odprava napak, ki jih zaznamo pri izvajanju nekega drugega vzdrževalnega posega. Če je možno, se napaka odpravi takoj, znotraj trenutnega vzdrževalnega posega, ali pa se odpravi kasneje v okviru preventivnega ali korektivnega vzdrževanja.
- **Prediktivno vzdrževanje (Conditions-Based Maintenance (CBM))** je vnaprej načrtovano in s pomočjo diagnostične opreme izvajano vzdrževanje. Lahko se izvaja dnevno, tedensko, mesečno ali na kakšen drugi časovni interval. Z diagnostično opremo se izvaja fizični pregled proge, meri pa se parametre, ki lahko neposredno

pripeljejo do odpovedi posameznega elementa proge. Pridobljeni podatki se analizirajo in obdelajo s statističnimi metodami in drugimi tehnikami. Pomembna je implementacija orodij za napovedovanje obnašanja proge in njene degradacije.

Obstajajo tudi druge strategije vzdrževanja, kot je recimo zanesljivostno orientirano vzdrževanje, ki temelji na zagotavljanju predpisanega minimalnega nivoja varnosti in se uporablja za sisteme, pri katerih nikakor ne sme priti do napak in odpovedi, saj bi to lahko pomenilo veliko varnostno tveganje.

V praksi se za vzdrževanje železniških prog uporablja kombinacija vseh zgoraj naštetih strategij, odvisno od potreb, želenih učinkov in sredstev, ki so upravljavcem infrastrukture na voljo. Nekateri evropski železniški sistemi oziroma njihovi infrastrukturni upravljavci pa so razvili lastne inovativne modele in strategije, ki temeljijo na dobrem poznavanju zgornjega ustroja in železniške proge kot celote in vseh posameznih elementov, racionalnosti v smislu zagotavljanja dolge življenjske dobe železniške proge, zanesljivosti, stroškovne učinkovitosti in kvalitetnega izkoristka človeških potencialov in opreme. Za razvoj takšnega modela vzdrževanja se je nujno potrebno poslužiti različnih naprednih orodij, kot so različni modeli za napovedovanje degradacije kvalitete proge in njenega obnašanja in LCC analiza.

#### 3.4.2 Segmentacija in monitoring zgornjega ustroja

Za ohranjanje visokega nivoja kvalitete in planiranja vzdrževanja mora imeti upravljavec infrastrukture na razpolago zanesljive in razpoložljive podatke o stanju proge in posameznih elementih zgornjega ustroja. Evidenca takšnih podatkov se vodi v podatkovnih bazah, v katerih je zabeležena poljubna količina podatkov o celotni progi oziroma njenih odsekih in posameznih elementih.

Segmentacijo proge lahko opišemo kot linearno razdelitev infrastrukture na posamezne segmente s podobnimi lastnostmi, starostjo in zgodovino. Parametri, ki se uporabljajo pri segmentaciji, so naslednji (Tzanakis, 2013):

- vrsta in kvaliteta elementov zgornjega ustroja. Posamezne elemente nato še dodatno segmentiramo. Na primer različni profili tirnic, leseni pragovi, betonski pragovi, različne vrste pritrditvenega materiala, stanje tirne grede ...,
- operativne karakteristike kot so osne obremenitve, hitrosti vlakov, količina prometa,
- stanje spodnjega ustroja,
- profil proge; krivinski radiji, nadvišanja, niveleta proge,

- položaj odseka na progi; most, viadukt, postajno območje, krivina, kretnica ...,
- zgodovina; datum vgradnje, prejšnja izvedena vzdrževalna dela in njihova frekventnost.

Posamezni sorodni elementi s podobnimi lastnostmi in zgodovino se lahko na različnih mestih obnašajo popolnoma različno. Kljub dodelanim orodjem za monitoring stanja proge pa se vseeno ta različnost ne da zadovoljivo opisati in predvideti zaradi nezmožnosti temeljitega vpogleda v dogajanje v spodnjem ustroju proge. Dolžina posameznega segmenta je ponavadi 100 ali 200 metrov, lahko pa tudi več, recimo 1 kilometer. Pa tudi manj, 10-50 metrov.

Vse te zgoraj naštetе informacije o progi so del infrastrukturne podatkovne baze, ki upravljavcem infrastrukture zagotavlja ustrezno podlago za napovedovanje degradacije in planiranja vzdrževanja. Poleg tega pa podatkovna baza vsebuje še podatke o količini in vrsti prometa, geometriji proge, identifikacijsko številko vsakega elementa in informacije o drugih elementih infrastrukturnega sistema in njihovi lokaciji na progi. Na primer o signalih, predsignalih, cestnih prehodih, avtostop napravah, raznih objektih ob progi. Napredna programska oprema je opremljena tudi z opozorili za upravljavca infrastrukture glede prihodnjih vzdrževalnih ali obnovitvenih del.

Monitoring proge je pomemben faktor pri planiranju in izvajanju vzdrževanja. Izvaja se za kontrolo geometrije tira in drugih kvalitativnih indikatorjev zgornjega ustroja proge. S pomočjo merilnih vlakov in senzorjev upravljavec infrastrukture dobi informacije o tirni širini, vegavosti in rebričenju tirnic, obrabljenosti in gubanju v različnih valovnih dolžinah, stabilnosti in smeri tira ter drugih napakah na zgornjem ustroju.

### 3.4.3 RAMS

Metode RAMS, ki je kratica za (Reliability – zanesljivost, Availability – dostopnost, Maintainability – vzdrževanje in Safety – varnost), se že kar nekaj desetletij uspešno uporabljajo v različnih gospodarskih panogah, medtem ko je v gradbeništvu in natančneje v gradnji in vzdrževanju železniške infrastrukture to relativno nov pristop k reševanju problemov. Ta metoda se uporablja v povezavi z LCC analizo. Prvi evropski standard za železniški sistem in RAMS (EN 50126) je objavil CENELEC leta 2001, ki elemente RAMS-a definira kot:

- **Reliability – zanesljivost;** verjetnost, da lahko sistem (naprava) ali njen sestavni del pod določenimi pogoji v danem časovnem intervalu brez napak izvaja zahtevane

funkcije. Poenostavljeno: kako pogosto se pojavljajo napake. Zanesljivost je tesno povezana s kvaliteto proge.

- **Availability – dostopnost;** lastnost produkta, da je sposoben pod določenimi pogoji in v določenem trenutku oziroma v določenem časovnem intervalu izvesti zahtevane funkcije. Poenostavljeno: v kakšni meri je sistem dostopen za uporabo.
- **Maintainability – vzdrževalnost;** verjetnost, da je lahko za določen predmet (napravo) v določenem časovnem intervalu, pod določenimi pogoji in ob uporabi določenih procedur in virov izveden vzdrževalni poseg. Vzdrževalnost lahko tukaj enačimo s stroški.
- **Safety – varnost;** stanje tehničnega sistema, da je razbremenjeno nesprejemljivih poškodbenih tveganj.

RAMS lahko opišemo tudi kot dolgoročno lastnost sistema, da skozi implementacijo različnih inženirskih orodij, konceptov, tehnik in metod zagotavlja visoko raven obratovanja skozi celoten življenjski cikel. Za RAMS analizo se uporabljajo različne tehnike za analizo in napovedovanje napak in odpovedi, med najbolj uporabljenimi so fault tree analysis (FTA), failure mode and effect criticality analysis (FMECA) in analiza varnosti. Te tehnike so dobra podlaga za načrtovanje vzdrževanja in za izbiro ustrezne strategije (Klemenčič, 2010).

#### 3.4.4 Parametri RAMS

Za dobro izvedbo RAMS analize je potrebno dobro poznavanje karakteristik železniške proge. Železniško progo lahko obravnavamo kot celoto, lahko pa analiziramo vsak njen element posebej. Bistveno je, da razumemo medsebojno učinkovanje posameznih elementov in to razumevanje prenesemo na celoten sistem. Tako so recimo parametri zanesljivosti in vzdrževanja prisotni tako na nivoju celotne proge kot na nivoju posameznih elementov. Drugače je z dostopnostjo in varnostjo, ki ju ocenjujemo samo glede na stanje proge kot celote.

##### 3.4.4.1 Parametri zanesljivosti

Zanesljivost je funkcija časa, ki se ponavadi izrazi s količino tovora prepeljanega po progi v enem letu. Enota je milijon bruto ton. Zanesljivostne parametre lahko definiramo kot naslednje:

- povprečni čas do napake (Mean time to failure – MTTF),
- povprečna oddaljenost od napake (Mean distance to failure – MDTF),

- povprečni čas med dvema napakama (Mean time between failure – MTBF),
- povprečna oddaljenost med dvema napakama (Mean distance between failure MDBF).

#### 3.4.4.2 Parametri vzdrževanja

Za vzdrževanje se uporabljajo predvsem naslednji parametri:

- povprečni čas do popravila (Mean time to repair – MTTR); v obzir je vzet čas dostopa in čas izvedbe del,
- povprečni čas med dvema izvedbama vzdrževanja (Mean time between maintenance – MTBM),
- povprečna razdalja med dvema izvedbama vzdrževanja (Mean distance between maintenance – MDBM).

Drugi in tretji parameter vključujeta tako preventivno kot nenačrtovano, korektivno vzdrževanje (Patra, 2007).

#### 3.4.4.3 Parametri dostopnosti

Dostopnost sistema je pogojena z njegovo zanesljivostjo in vzdrževanjem in jo lahko merimo na tri različne načine. Prvi način je t. i. inherentna dostopnost in je postavljena v idealne pogoje, ki v praksi niso nikdar dosegljivi. Drugi način je dosežena dostopnost, ki je nekoliko realnejši model. Tretji način pa je operativna dostopnost, ki je postavljena v resnično operativno okolje in jo lahko zapišemo v obliki naslednje enačbe:

$$A = \frac{MDBM}{MDBM + MDT}, \quad (3.5)$$

kjer je:

A – dostopnost in

MDT – povprečni čas zaprtosti proge (Mean down time).

MDT je sestavljen iz povprečnega časa, ki je potreben za detekcijo napake, povprečnega časa potrebnega za sprejetje odločitve v primeru odpovedi, povprečnega časa za testiranje in zagon sistema in povprečnega časa za logistične operacije (Patra, 2007).

Iz enačbe je razvidno, da ima povečana frekventnost preventivnega vzdrževanja oziroma nižji MDBM negativen vpliv na dostopnost, hkrati pa se na ta račun poveča povprečen čas

med napakami ali odpovedmi (MTBF). Pomembno je najti pravo razmerje med preventivnim vzdrževanjem in dostopnostjo.

Dostopnost železniške infrastrukture je pomemben parameter pri doseganju zadovoljive kapacitete in točnosti. Potreben nivo dostopnosti v veliki meri določa stroške vzdrževanja in investicij in v veliki meri zahteva implementacijo stroškovno učinkovitih preventivnih vzdrževalnih strategij. Določanje ciljev glede dostopnosti pa je za upravljavca infrastrukture zahtevna naloga, saj poleg dobrega poznavanja celotnega infrastrukturnega omrežja in strukture prometa zahteva še razumevanje veliko drugih parametrov, kot sta kapaciteta in točnost.

#### 3.4.4.4 Parametri varnosti

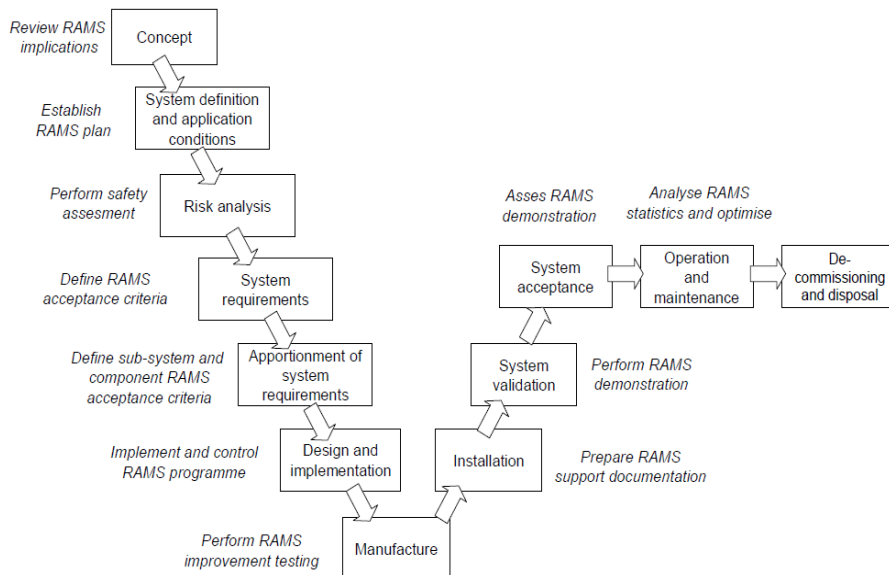
Varnostni parametri so posredni parametri, saj so v veliki meri odvisni od vzdrževanja in zanesljivosti sistema, hkrati pa tudi eden najpomembnejših pokazateljev kvalitete železniškega sistema. Cilj vsakega upravljavca infrastrukture je minimalizirati število dogodkov, ki predstavljajo varnostno tveganje in ki lahko pripeljejo do resnih nesreč. V nasprotnem primeru lahko nastanejo dolgoročne negativne posledice, kot so visoki stroški zaradi zamud vlakov ob nesrečah, škoda na infrastrukturi in vozni sredstvih ter v najslabšem primeru nepopravljiva družbena škoda zaradi poškodb in izgube življenj.

Varnost lahko ocenjujemo na podlagi resnosti in pogostosti dogodkov, ki varnost ogrožajo oziroma predstavljajo varnostno tveganje. Pogostost takšnih dogodkov lahko uvrstimo v šest kategorij: od zelo pogostih, redkih do neverjetnih, njihovo resnost in posledice pa lahko uvrstimo v štiri skupine: katastrofalne, kritične, majhne in nepomembne. Prevladujoči varnostni parametri so trije:

- povprečni čas med dvema napakama, ki predstavljata varnostno tveganje (Mean time between hazardous failure – MTBHF),
- povprečni čas med dvema odpovedma varnostnega sistema (Mean time between system failure – MTBSF),
- stopnja tveganja (Hazard rate –  $H(t)$ ).

Način in izvedba vzdrževanja železniške proge imata ključno vlogo pri zagotavljanju visoke stopnje varnosti železniškega prometa. Kot merilo varnosti železniške infrastrukture se uporabljajo različni indikatorji, ker pa vzroki za nesreče niso vedno enaki, je potrebno razlikovati med nesrečami, ki nastanejo zaradi napak na progi in nesrečami, ki so na primer posledica napak na signalih ali pri vodenju prometa. Napake na progi oziroma na zgornjem

ustroju povzročajo iztirjenje železniških vozil, zato se kot eden od indikatorjev ocene varnosti železniške proge uporablja število iztirjenj na milijon vlakovnih kilometrov. Tudi tukaj pa je potrebno biti previden, saj je indikator števila iztirjenj t. i. indikator z zamikom (lagging indicator) in ga lahko smatramo kot indikator trenutne stopnje varnosti proge. Kadar pa je namen izboljšanje stopnje varnosti, pa je potrebno uporabiti t. i. vodilni indikator (leading indicator), to pa je verjetnost iztirjenja. Verjetnost, da tirno vozilo iztiri, je pogojena z več faktorji. Patra (Patra, 2009) je za švedske železnice (Banverket) predstavil model za napovedovanje verjetnosti iztirjenja vlakov zaradi treh vzrokov: nezaznanih, skritih napak v tirnici, ki vodijo do zloma tirnice, slabe kvalitete proge in dinamičnih sil pri prevozu vlakov na podlagi Petri-Nets in Monte carlo simulacije. Prišel je do ugotovitve, da se verjetnost pojava nezaznanih zlomov tirnic, če se prometna obremenitev poveča z 250 na 300 MGT, poveča kar za petkrat. Analiziral je tudi učinek frekventnosti kontrolnih pregledov proge na pojav nezaznanih zlomov tirnic in ugotovil, da je možnost takšnega pojava manjša za 60 %, če se interval kontrolnih pregledov zmanjša iz 120 na 60 MGT na progi, ki je obremenjena z 250-300 MGT letno. Iz tega je razvidno, da frekventost inšpekcijskih pregledov lahko bistveno pripomore k dvigu nivoja varnosti, saj da upravljavcu infrastrukture vpogled v stanje in kvaliteto proge ter potrebna vzdrževalna dela.



**Slika 3.6: "V" model za RAMS LCC**

Vir: Advantages of implementing RAMS-LCC analysis in design phase or railway safety critical systems, 2010



Za kar najboljšo stroškovno in operativno učinkovitost sistema v smislu dostopnosti in zanesljivosti je potrebno RAMS analizo izvesti za vsako fazo posebej. Bistveno je, da se potrebe in zahteve sistema definirajo dovolj zgodaj v fazi dizajniranja, saj je na podlagi teh zahtev mogoče izvesti kontrolo nad dejanskim stanjem sistema po posameznih fazah. Za RAMS je najpomembnejša faza obratovanja in vzdrževanja sistema, saj se tukaj RAMS metoda z analizo dejanskih, empiričnih podatkov lahko optimizira in privede na nivo največje učinkovitosti. Prav pridobivanje kvalitetnih, ažurnih podatkov iz realnega okolja predstavlja sicer enega večjih problemov pri pravilnem napovedovanju napak in potreb po vzdrževanju v železniškem sistemu. Na podlagi teh podatkov in preteklih izkušenj in znanja se lahko faktorje, ki vplivajo na RAMS, v vsaki posamezni fazi identificira in ovrednoti ter poišče vzrok napak celotnega sistema železniške infrastrukture. Napake, ki se pojavljajo pri obratovanju in vzdrževanju, so posledica prav teh dveh dejavnosti, kar je neizogibno. Ko pa se vrednoti stanje celotnega sistema, pridemo do spoznanja, da se napake pojavljajo že v fazi dizajniranja in še prej, ko so napačno ocenjene zahteve in potrebe železniškega sistema po dostopnosti, varnosti in zanesljivosti.

Na parametre RAMS vplivajo številni dejavniki, ki jih je potrebno identificirati in jih pravilno obravnavati skozi celoten življenjski cikel infrastrukturnega sistema. Ti dejavniki so pogojeni s tremi glavnimi komponentami infrastrukturnega sistema:

- **stanje infrastrukture;** Tukaj gre za lastnosti elementov infrastrukturnega sistema. Napake se pojavljajo pri proizvodnji in vgradnji posameznih komponent proge.
- **operativni pogoji;** Vzroki napak in degradacije proge so obratovanje proge, vremenski in drugi pogoji.
- **režim vzdrževanja;** Izvedba vzdrževanja je pomemben izvor napak in degradacije proge. Pomemben je tudi način vzdrževanja voznega parka.

Vsaka železniška uprava si mora postaviti zahteve za RAMS, ki morajo biti v skladu z dolgoročnimi, strateškimi cilji in usmeritvami politike železniškega transporta. Prav tako pa se mora upravljavec infrastrukture zavedati, katere vrste napak povzročajo motnje v prometu in potencialno varnostno tveganje in katere napake za izpolnjevanje zahtev RAMS niso tako bistvene. Z vidika obratovanja železniškega prometa in dostopnosti se napake na infrastrukturi uvrščajo v tri kategorije:

KATEGORIJA NAPAKE	DEFINICIJA
Pomembna napaka (imobilizacija sistema)	Napaka, ki onemogoča vožnjo vlakov in povzroča zamude, ki so večje od specifikiranih ter stroške, ki so nad določenim nivojem za tovrstne napake.
Velika napaka	Napaka, ki se mora odpraviti, da bi sistem dosegel zahtevano učinkovitost. Zamude vlakov in stroški niso nad določenim nivojem za napake te vrste.
Manjša napaka	Napaka, ki ne povzroča zamud in povečanih stroškov obratovanja. Sistem dosega zahtevano stopnjo učinkovitosti.

Tabela 3-1: kategorije napak na infrastrukturi

#### 3.4.5 RAMS modeli in orodja

Za simulacijo različnih situacij in prognozo dostopnosti se upravljavci infrastrukture poslužujejo različnih orodij in modelov. Najbolj uveljavljeni so prikazani v spodnji tabeli.

ORODJE	FUNKCIJE
TRAIL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simulacija dogodkov na podlagi podatkov o zanesljivosti posamezne komponente infrastrukture,</li> <li>- modeliranje ocene in distribucije odpovedi z uporabo standardnih funkcij (Weibull ...),</li> <li>- ocena časa zaprtosti proge in izgube storitev in učinkovitosti skozi dva elementa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• izguba storitev v času med pojavom odpovedi in pričetkom popravila,</li> <li>• celotna izguba storitev med popravilom.</li> </ul> </li> </ul>
Optimizer+	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Korelacija stroškov vzdrževanja in učinkovitostjo sistema v fokusu zanesljivosti, dostopnosti in varnosti,</li> <li>- izdelava baze podatkov z informacijami o odpovedih in drugih parametrih RAMS za vsako komponento posebej,</li> <li>- analiza tveganja,</li> <li>- optimizacija plana vzdrževanja na podlagi analize tveganja, določanje prioritet in frekventnost preventivnega vzdrževanja za kritične sisteme,</li> <li>- simulacija dogodkov in kvantitativna korelacija med odpovedmi in stroški za doseganje zanesljivosti, dostopnosti in varnosti.</li> </ul>

<b>Railsys</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Izračun zamud za načrtovane in nenačrtovane dogodke,</li> <li>- izračun stroškov nedostopnosti zaradi zasedbe tirov za vzdrževanje,</li> <li>- izdelava voznega reda za nove in obstoječe linije,</li> <li>- ocenitev potreb po kapaciteti in dimenzioniranje infrastrukture,</li> <li>- simulacija motenega in nemotenega izvajanja prevoza za ocenitev stabilnosti voznega reda.</li> </ul>
----------------	--

Tabela 3-2: RAMS modeli in orodja

### 3.4.6 Outsourcing

Outsourcing je dolgoročna strategija za doseganje finančno in operativno učinkovitega upravljanja in vzdrževanja železniške infrastrukture, moramo ga obravnavati kot sredstvo za doseganje boljših rezultatov in ne kot končni cilj. Današnji trend upravljanja v razvitih državah teži k sklepanju pogodb z zunanjim izvajalcem o vzdrževanju celotne proge za obdobje dvajset, trideset ali pa tudi več let. Takšen pristop ima dolgoročno veliko prednosti, pa tudi slabosti, kar se je v preteklosti že izkazalo na primeru Velike Britanije. Outsourcing je praviloma organiziran tako, da pogodbeni izvajalec nase prevzame vso odgovornost v zvezi z varnostjo, zanesljivostjo in dostopnostjo železniške proge, nacionalni upravljavec infrastrukture, od katerega pogodbenik prejme infrastrukturo v upravljanje, pa določi potrebne pogoje glede zgoraj naštetih parametrov in izvaja kontrolo. Doseganje predpisanega nivoja kvalitete je tako popolnoma v domeni zunanjega izvajalca, njemu je prepuščen način in implementacija vzdrževalnih del, prav tako pa nosi tudi vse stroške vzdrževanja in stroške pogodbenih kazni zaradi nedoseganja postavljenih zahtev.

### 3.4.7 Prednosti in slabosti outsourcinga

Upravljavec infrastrukture se odloči za outsourcing zaradi dolgoročnih koristnih učinkov na kvaliteto celotne železniške usluge. Te prednosti so naslednje:

- **Izboljšanje nivoja kvalitete in storitev;** Če upravljavec infrastrukture nima izkušenj in potrebnega znanja, potem outsourcing lahko pomeni učinkovito rešitev za izboljšanje kvalitete. Zunanji izvajalec ima po navadi na voljo modernejšo tehnično opremo in tehnologijo ter bolj motivirano in izkušeno delovno silo, ki poseduje tudi več kompetenc.
- **Znižanje stroškov vzdrževanja;** Stroški vzdrževanja se znižujejo, med drugim tudi zaradi konkurence med zunanjimi izvajalci. Vendar pa na splošno na tržišču še ne

obstaja veliko kvalificiranih železniških podjetij te vrste. Nižji stroški so ključni razlog, zaradi katerega se upravljavec odloči za outsourcing, pri tem pa je pomembno, da upravljavec zelo dobro oceni vse stroške, ki jih ima zaradi vzdrževanja in se šele nato odloči za outsourcing.

- **Delitev odgovornosti** med upravljavcem in pogodbenim izvajalcem vzdrževalnih del. Za aktivnosti, ki jih po pogodbi izvaja zunanji izvajalec, ta tudi prevzame popolno odgovornost. Za upravljavca je to koristno predvsem v primerih varnostnih tveganj. Poudariti je potrebno, da večletne, dolgoročne pogodbe pomenijo več tveganja za zunanjega izvajalca, medtem ko so kratkoročne pogodbe (pogodbe, ki so bistveno krajše kot je življenjska doba železniške proge) za lastnika infrastrukture dvorezen meč.
- **Razvoj inovativnih tehnologij vzdrževanja.**

Kljub vsem prednostim, ki jih prinaša outsourcing, pa ne smemo spregledati tudi dolgoročnih negativnih posledic:

- **Izguba kompetenc;** Upravljavec infrastrukture z odločitvijo o outsourcingu neizogibno izgublja znanje in izkušnje o obnašanju proge, ki so ga železniške uprave pridobivale z leti. Kontrola nad zunanjim izvajalcem je zaradi tega bistveno otežena, tukaj pomaga uporaba moderne merilne tehnike. Upravljavec s časom izgubi tudi občutek za stroške vzdrževanja.
- **Negotovost;** Zaradi morebitne nekompetentnosti zunanjega izvajalca je porušeno dožemanje in zaupanje v upravljavca in zunanjega izvajalca.
- **Stroški tranzicije in povrnitve k »in-house« vzdrževanju;** Administrativni stroški prenosa vzdrževanja na zunanjega izvajalca so relativno visoki. Veliko zaposlenih, tehnične opreme in mehanizacije pa tudi infrastrukturnih objektov je potrebno prenesti v popolnoma novo okolje. Če pa se outsourcing izkaže kot neuspešen, je prehod nazaj na sistem »in house« vzdrževanja zelo težaven in spet povzroča visoke tranzicijske stroške. Ta opcija je za upravljavca infrastrukture izhod v sili.
- **Izguba sinergijskih učinkov** med različnimi tehnično-tehnološkimi dejavniki.
- **Visoki stroški zaradi zapore proge;** Zapora proge in zamude lahko bistveno presežejo stroške celotnega vzdrževanja, odvisno od količine prometa in zasedenosti tira zaradi vzdrževanja. Načrtovanje vzdrževanja in usklajevanje z voznim redom je pri outsourcingu bistveno bolj zahtevno.

Odločitev za outsourcing je za upravljavca infrastrukture oziroma lastnika torej vse prej kot lahka. Da je prehod lažji, se železniško podjetje lahko odloči za delni outsourcing. To pomeni, da se zunanjemu izvajalcu preda le določene vzdrževalnostne aktivnosti. Na primer meritve in diagnostika ali pa samo tehnična izvedba vzdrževalnih del. V tem primeru je podjetje, ki opravi vzdrževalna dela, zadolženo samo za to specifično nalogo, medtem ko lastnik infrastrukture nosi odgovornost za dolgoročno ekonomsko in tehnično upravljanje in optimizacijo vzdrževanja. Na upravljavcu infrastrukture je tudi, da identificira potrebe po vzdrževanju, ga planira in po končanih vzdrževalnih delih progo pregleda in jo preda v obratovanje.

### 3.5 STROŠKI VZDRŽEVANJA ZGORNJEGA USTROJA

Skupni stroški namenjeni vzdrževanju železniške proge naraščajo zaradi višjih infrastrukturnih kvalitativnih standardov, naraščanja stroškov dela in upravljanja vzdrževanja ter povečanega obsega prometa, ki povzroča hitrejšo degradacijo železniške proge. Vzdrževalni posegi postajajo frekventnejši in obsežnejši, čas zasedenosti tirov zaradi vzdrževanja pa se povečuje, kar pomeni manjšo kapaciteto in možnost dodelitve vlakovnih poti prevozniku.

Glavni povzročitelji stroškov vzdrževanja so naslednji:

- **Obraba in utrujenost materiala;** Ta dva faktorja najbolj vplivata na stanje tirne geometrije in predstavljata kar 50 % vseh stroškov vzdrževanja.
- **Zasedenost tirov in dostop do delovišča;** Povprečna zasedenost tira za vzdrževalna dela traja 4 ure, polovica od tega je porabljeno za prihod in odhod z delovišča.
- **Zamenjava komponent** zaradi napak v materialu ali nepravilne vgradnje.
- **Odlaganje vzdrževanja** zaradi pomanjkanja sredstev na dolgi rok pomeni več korektivnega vzdrževanja, kar bistveno poveča skupne stroške.

Na stroške vzdrževanja pa vplivajo še stroški nadzora in monitoringa proge ter stroški mehanizacije, stroški potrebnega materiala, organizacijski in administrativni stroški, posredni stroški priprave in usposabljanja osebja idr.

Za izračun skupnih stroškov se uporabljajo različni modeli, ki za osnovo jemljejo različne parametre, kot so degradacija proge, prometne obremenitve in starost posameznih komponent zgornjega ustroja. Pri izdelavi dobrega modela pa je potrebno najprej definirati specifične vzdrževalne aktivnosti, kot so na primer brušenje tirnic, zbijanje ali čiščenje tirne

grede in na podlagi ocene stroškov za te posamezne aktivnosti nato razviti primeren model stroškov celotnega življenjskega cikla (LCC) posameznih elementov in celotne proge ter izdelati in implementirati pravilno strategijo vzdrževanja.

Modele za izračun stroškov lahko v splošnem razdelimo v dve kategoriji. V prvo kategorijo spadajo modeli, ki temeljijo na empiričnih podatkih s proge in ekonometričnih formulacijah. Natančnost takšnega modela v največji meri sloni na kvaliteti baze podatkov z informacijami o vseh elementih proge, pridobljenih s preteklimi vzdrževalnimi aktivnostmi.

Drugo kategorijo predstavljajo modeli, ki temeljijo na zanesljivosti posameznih elementov infrastrukture in za uspešno delovanje ne potrebujejo baze podatkov. Takšni modeli so razviti na teoretičnih izračunih zanesljivosti, degradacijskih modelih in FMECA analizah, ki pa so rezultat tako teoretičnih modelov kot empiričnih podatkov. Pomembno je dobro poznavanje obnašanja proge pri interakciji med tirnico in kolesom.

### 3.5.1 LCC analiza

Življenjski cikel železniške proge oziroma zgornjega ustroja se torej lahko razdeli v dvanajst med seboj povezanih faz, ki vsebujejo razvoj, izgradnjo, obratovanje in vzdrževanje sistema. Z LCC analizo želimo že v najzgodnejših fazah zagotoviti čim nižje stroške, ki so dolgoročno najbolj povezani z vzdrževalnimi aktivnostmi. V bistvu upravljavec infrastrukture išče najbolj ugodno razmerje med ekonomičnostjo, učinkovitostjo in vzdrževanjem glede na zahteve RAMS. Znano je, da višja začetna investicija pomeni nižje stroške vzdrževanja in tako dolgoročno cenejši celotni sistem. Prav tako na stroške vplivata strategija vzdrževanja in obseg vzdrževalnih del, saj zaradi zapore proge ali zamud nastajajo veliki eksterni stroški. Na realnem primeru je dokazano, da stroški oviranja prometa lahko znašajo tudi eno tretjino stroškov celotnega življenjskega cikla železniške proge. LCC analiza daje možnost izdelave in izbire različnih alternativ kot pomoč pri sprejemanju odločitev v zvezi z vzdrževanjem in ohranjanjem visokega nivoja zanesljivosti in dostopnosti (Zaletelj, Flerin, 2006).

Za ovrednotenje različnih strategij vzdrževanja z vidika optimiziranja stroškov in drugih ugodnosti se uporabljajo različni stroškovni modeli. Zoeteman je v svoji študiji predstavil tri načine za izračun stroškov življenjskega cikla železniške proge:

- Total present value (TPV) je vsota vseh diskontiranih denarnih tokov

$$TPV = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{(1+r)^i}, \quad (3.6)$$

kjer je :

i – leto analize,  
c – vsota vseh stroškov v letu,  
r – diskontna stopnja.

Višji kot je TPV, manj atraktivna je investicija v primerjavi z drugimi stroški ali vzdrževanjem.

- Net present value (NPV) nam poda razliko med učinkom diskontiranja in stroški skozi obdobje analize. Če je NPV pozitiven, pomeni, da je investicija ob določeni diskontni stopnji upravičena.

$$NPV = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{b_i c_i}{(1+r)^i}, \quad (3.7)$$

kjer je:

b – vsota vseh pozitivnih učinkov v letu.

- Annual equivalent of annuity (ANN) oziroma metoda enakih letnih anuitet je vsota povpraševanja in amortizacije, ki jo je potrebno letno plačevati za financiranje investicij in vzdrževanja. Ta model določa stroške celotnega letnega vzdrževanja sistema.

$$ANN = \frac{(1+i)^{n*i}}{(1+i)^n - 1} * TPV, \quad (3.8)$$

Najpomembnejša faza življenjskega cikla železniške proge je faza obratovanja in vzdrževanja, kjer ti dve aktivnosti postaneta dominantni nosilec vseh stroškov. Stroški življenjskega cikla se takrat po navadi spremenijo zaradi spremenjenih okoliščin ter nepopolnih vstopnih podatkov v LCC analizi v fazi razvoja. Težko je natančno predvideti dolgoročni obseg vzdrževanja, na primer trideset let vnaprej, saj se okoliščine lahko v tem času bistveno spremenijo. Obseg in stroški vzdrževanja so namreč v največji meri odvisni od količine prometa, ta pa lahko varira zaradi gospodarskih ali družbenih sprememb.

Za izračun LCC v fazi obratovanja in vzdrževanja moramo definirati vrsto vhodnih podatkov, začenši s tehničnimi karakteristikami odseka proge in prometnih pogojev. Naslednji korak je definicija dolžinske enote odseka proge in vpeljava degradacijskih modelov za napovedovanje verjetnosti napak in odpovedi v sistemu. Z vnosom podatkov o voznem redu, ceni mehanizacije, materiala, stroških dela in modela za analizo in napovedovanje napak dobimo stroške preventivnega vzdrževanja in obnov ter stroške, ki nastajajo zaradi omejitev hitrosti vlakov in zamud. Variabilne stroške izračunamo s simulacijo različnih RAMS spremenljivk in za končno vrednost LCC prištejemo še stroške razvoja in izgradnje železniške proge.



## 4 PLANIRANJE VZDRŽEVANJA

Stanje železniške infrastrukture je potrebno v vsakem trenutku ohranjati na visokem obratovalnem nivoju, to pa pomeni, da mora upravljavec infrastrukture ves čas imeti nadzor nad zanesljivostjo, varnostjo in dostopnostjo. Bistveno je, da najde pravo ravnovesje med varnostjo, ekonomičnostjo vzdrževanja in dostopnostjo, za doseganje optimalne zasedenosti tirov in režima počasnih voženj ter zapor proge. Da bi dosegel visok nivo kvalitete, upravljavec izdelava plan vzdrževanja na strateškem, taktičnem in operativnem nivoju. Planiranje vzdrževanja lahko poenostavljeno razumemo kot seznam vseh vzdrževalnih aktivnosti, ki ohranjajo infrastrukturni sistem varen, zanesljiv in dostopen, prav tako pa plan vsebuje vse potrebno glede materiala, delovne sile, umestitve in uskladitve vzdrževalnih aktivnosti z voznim redom, finančnih zmožnosti in drugih administrativnih zahtev. Ključno za izdelavo dobrega plana vzdrževanja pa so modeli degradacije železniške proge, meritve kvalitete in konstanten nadzor nad železniško infrastrukturo. Pri tem se mora upoštevati tudi prometne karakteristike, tj. hitrosti vlakov, osne obremenitve, heterogenost prometa, obseg prometa idr. Pomembno je tudi časovno načrtovanje vzdrževalnih del za določitev intervalov zasedenosti tirov in uskladitev različnih vzdrževalnih aktivnosti, ki se lahko ali pa morajo izvesti istočasno.

Za izdelavo plana vzdrževanja se je potrebno držati določenih pravil in upoštevati naslednji postopek:

- **Kontrola in nadzor** posameznih elementov zgornjega ustroja. Nadzor je lahko vizualen ali avtomatski s pomočjo merilnih vlakov in drugih naprav. Pridobljeni podatki o karakteristikah in stanju posameznih elementov so nato obdelani in kvantificirani. Kontrolirajo se tudi drugi parametri proge, kot so tirna širina, vozna dinamika, zablitenost tirne grede.
- **Analiza podatkov** in primerjava rezultatov s prejšnji meritvami in trenutnim stanjem elementov in zgornjega ustroja kot celote. Merilni vlaki so sposobni izvesti analizo in prikazati rezultate v realnem času, potrebna oprema je že nameščena na vozilu.
- **Diagnostika** posameznih elementov in celotnega zgornjega ustroja glede na analizo in bazo podatkov s postavljenimi mejnimi vrednostmi in zahtevami RAMS. Na podlagi postavljene diagnoze se določijo potrebna vzdrževalna dela, ki se jih časovno uskladi in umesti znotraj predvidenih intervalov zasedenosti.

Železniška proga in elementi zgornjega ustroja proge imajo načeloma zelo dolgo življenjsko dobo, zato je vzdrževalne aktivnosti potrebno načrtovati strateško na dolgi rok, operativna raven pa zahteva skrbno usklajevanje z voznim redom.

## 4.1 VOZNI RED

Vozni red je osnova tehnološkega procesa prevoza potnikov in blaga v železniškem prometu, s katerim se usklajujejo potrebe po prevozu, kadrovske in materialne zmogljivosti ter tehnične zmogljivosti železniške infrastrukture. Vozni red lahko opišemo kot temeljni tehnološki dokument in proizvodni načrt, ki temelji na poslovni politiki prevoznika in upravljavca infrastrukture, pri tem pa mora zadovoljevati potrebe po prevozu potnikov in blaga, racionalno izkoriščati dane infrastrukturne kapacitete in imeti pozitivne ekonomske učinke na železniški sistem.

Za izdelavo voznega reda se uporabljajo različni parametri, ki so lahko stalni ali spremenljivi. Stalni parametri so določeni z zgrajeno železniško infrastrukturo in jih je zato zelo težko spreminjati. Karakteristike infrastrukture in njeno stanje sta pomembna faktorja pri načrtovanju voznega reda, zato je za njegovo stabilno izvrševanje potrebno upoštevati parametre, kot so najvišje dovoljene hitrosti, dovoljene osne obremenitve, število tirov proge, zavojni radiji, upor proge, stanje signalnovarnostnih in telekomunikacijskih naprav, še zlasti pa je potrebno pri izdelavi voznega reda upoštevati planirane vzdrževalne aktivnosti ter zapore proge in uvedbe počasnih voženj zaradi vzdrževalnih del.

Spremenljivi parametri so tisti, ki se ponavadi spreminjajo s spremembo voznega reda in hitro prilagajajo drugačnim potrebam. To so na primer sestava vlakov, spremembe pri vodenju vlakov, vrsta vleke idr. Pomemben dejavnik je tudi stanje na transportnem trgu in predvideni blagovni in potniški tokovi ter njihova dinamika. Osnovni element voznega reda je tako plan prevoza. Pri izdelavi plana prevoza potnikov se upošteva predvideno število potnikov, povprečna dolžina prevozne poti in število potniških kilometrov. Plan prevoza tovora pa vsebuje informacije o količini neto ton blaga za transport, povprečna dolžina prevoza ene tone blaga in število ustvarjenih neto tonskih kilometrov.

Vozni red pa mora biti tudi v skladu z zmogljivostmi voznega parka. Konstruktor voznega reda mora imeti natančne podatke o vrsti, številu in stanju tirnih vozil, njihovo opremljenostjo ter eksploatacijskim potencialom celotnega delovnega in voznega parka.

### 4.1.1 Izdelava in dokumenti voznega reda

Vozni red se izdelava za obdobje enega leta, novi vozni red pa zamenja trenutno veljavnega, in sicer ob polnoči drugo soboto v decembru. Če se vozni red deli na zimsko in letno obdobje, se spremembe uvedejo tudi ob polnoči drugo soboto v juniju. Pri izdelavi mora konstruktor voznega reda pridobiti podatke o voznih časih, postajnih intervalih in intervalih zaporedne odprave vlakov, o postankih vlakov za tehnološko-tehnične in komercialne

namene, in druge potrebne informacije, na podlagi katerih se nato izdelata optimalna trasa vlaka s kar najmanj postanki (Zgonc, 2003).

Usklajevanje glede voznega reda in naročanje vlakovnih poti v mednarodnem prometu poteka na mednarodnih konferencah, za dodelitev vlakovnih poti v notranjem prometu pa je v Sloveniji zadolžena Javna agencija za železniški promet, ob sodelovanju z upravljavcem infrastrukture in drugimi zainteresiranimi subjekti. Po prejemu naročil za dodelitev posameznih vlakovnih poti se izdelata osnutek voznega reda v grafični obliki, ki mora biti usklajen na mednarodni in lokalni ravni ter potrjen s strani prevoznikov in upravljavcev infrastrukture. Naslednji korak je izdelava projekta vlakovnih poti in po potrditvi izdelava novega voznega reda, ki mora biti javno objavljen vsaj 15 dni pred uveljavitvijo (Mandić, 1989, Zgonc, 2003).

Za izdelavo in izvajanje voznega reda pa so potrebni še naslednji voznoredni dokumenti (Zgonc, 2003):

DOKUMENT	VSEBINA
Grafikon prometa vlakov	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grafični prikaz vlakovnih poti in osnovnih podatkov o progi (enotirna proga, dvotirna proga, položaj prostorskih odsekov, prometna mesta idr.),</li> <li>- trase vlakov so vrisane v mrežo grafikona, ob njih pa so informacije o času vožnje vlaka, prihoda in odhoda s postaj in številka vlaka, nagib trase pa podaja informacije o hitrosti vlaka.</li> </ul>
Prometna določila	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informacije o prometnih mestih, karakteristikah proge (odpori, merodajni nagibi, dovoljene osne obremenitve),</li> <li>- nivojskih prehodih in njihovem zavarovanju,</li> <li>- vrsti uvoznih in izvoznih signalov na postajah,</li> <li>- druge specifične informacije, potrebne za varno vodenje prometa.</li> </ul>
Voznoredna knjižica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Podatki o voznem redu posameznih vlakov, vključno s podatki iz grafikona prometa vlakov,</li> <li>- podatki o osnovnih značilnostih proge (število tirov, zavorne razdalje, opremljenost s signalnovarnostnimi napravami), osnovnih podatki o posameznih vlakih (številka vlaka, hitrost, masa, relacija) in njihovem voznem redu (koledar vožnje, sestava, časi vožnje, rang),</li> <li>- zapore tirov za vzdrževanje proge, časovnih podatkih o zaporah</li> </ul>

	<p>ter podatkih o vlakih, med katerimi se zapora izvede,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- informacije o križanju, srečevanju, dohitevanju in prehitevanju vlakov ter</li> <li>- informacije o napravah za kontrolo vožnje (signali z avtostop napravami, balize).</li> </ul>
Program omrežja	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zmogljivost in splošni podatki o karakteristikah proge,</li> <li>- načela, kriteriji in pogoji za dostop do omrežja in dodeljevanje vlakovnih poti,</li> <li>- informacije o zaračunavanju uporabnine in višini pristojbin.</li> </ul>

Tabela 4-1: dokumentni voznega reda

#### 4.1.2 Urnik vzdrževanja

Za upravljavca infrastrukture predstavlja usklajevanje voznega reda z vzdrževalnimi aktivnostmi resen problem, saj je cilj železniških uprav dodeliti čim več vlakovnih poti prevoznikom, čas zasedenosti tirov za vzdrževanje pa je zato zelo omejen. Intervali zasedenosti tirov se razlikujejo glede na obremenjenost proge, možnost alternativnih načinov prevoza, varnostnih standardov idr. V splošnem lahko intervale zasedenosti tirov razdelimo v tri skupine:

- **Nočni interval zasedenosti;** Vzdrževalne aktivnosti na določenem odseku se ponoči lahko izvajajo le nekaj ur, kolikor traja časovni razmik med zadnjim nočnim in prvim vlakom naslednjega dne. Učinkovitost takšnega vzdrževanja je relativno nizka, saj je za dokončanje vzdrževanja potrebnih več intervalov zasedenosti.
- **Interval zasedenosti ob koncu tedna;** Vzdrževanje ob koncu tedna ali ob nedeljah je veliko bolj učinkovito kot ponoči, saj delo lahko neprekinjeno poteka več ur skupaj, pa tudi frekventnost vlakov je nižja kot ob delavnikih. Težava je v tem, da so zaradi motenj v prometu potrebne spremembe v voznem redu, saj nastajajo zamude in tudi odpovedi posameznih vlakov. Če obstaja možnost, se vlak lahko preusmeri na obvozno pot, v nasprotnem primeru pa so železniške uprave dolžne zagotoviti nadomestni prevoz (na primer z avtobusi).
- **Interval zasedenosti podnevi;** Vzdrževalne aktivnosti podnevi pomenijo velike motnje v odvijanju železniškega prometa, v nekaterih državah zato sploh niso dovoljene. Upravljavci infrastrukture se jih izogibajo, saj pomenijo velike stroške zaradi zamud in odpovedi ter varnostno tveganje za vzdrževalne delavce.

Upravljalci infrastrukture problemom urnika vzdrževanja, usklajevanja z voznim redom in zagotavljanja visoke stopnje dostopnosti in zanesljivosti železniške infrastrukture posvečajo vedno več pozornosti. Tako je nastal izraz Problem načrtovanja preventivnega vzdrževanja (ang. Preventive Maintenance Scheduling problem), ki se ukvarja z optimizacijo preventivnega vzdrževanja v smislu dostopnosti in zanesljivosti železniške proge ter minimaliziranjem stroškov zasedenosti tirov in vzdrževalnih del.

## 4.2 KAPACITETA ŽELEZNIŠKE PROGE

Kapaciteto železniške proge in celotnega infrastrukturnega omrežja lahko opišemo kot največje število dodeljenih vlakovnih poti, ki jih obstoječa proga lahko prenese v določenem časovnem obdobju, v praktičnem smislu to pomeni število vlakov v časovnem intervalu, ki je ponavadi en dan, lahko pa je omejen, recimo samo na konično uro. V izračun kapacitete so zajeti tudi parametri, ki vplivajo na samo kapaciteto. To so heterogenost prometa, časovni interval med zaporednimi vlaki, povprečna hitrost vlakov, dolžine odsekov in vozni red.

Za obstoječe proge se tako prepustnost proge računa glede na graf prometa vlakov, pri projektiranju novih prog pa se prepustnost določi analitično, glede na kritični medkolodvorski razmik. Graf prometa vlakov je lahko paralelen ali neparalelen. Pri paralelnem grafu se vsi vlaki gibljejo z isto hitrostjo, pri neparalelnem pa gre za vlake različnih kategorij, ki se gibljejo z različnimi hitrostmi. Po Mlinariću (Mlinarić, 2009 str. 28) se prepustnost proge za neparalelne grafe računa za prevladujoče vlake (ponavadi za tovarne) po naslednji formuli:

$$n_t = \frac{n_{max}}{1+p} - \delta * n_p, \quad (4.1)$$

kjer je:

$n_t$  – maksimalna prepustnost,

$n_{max}$  – maksimalna prepustnost po paralelnem grafu,

$p$  – koeficient rezerve za vzdrževanje,

$\delta$  – koeficient padanja,

$n_p$  – število potniških vlakov dnevno.

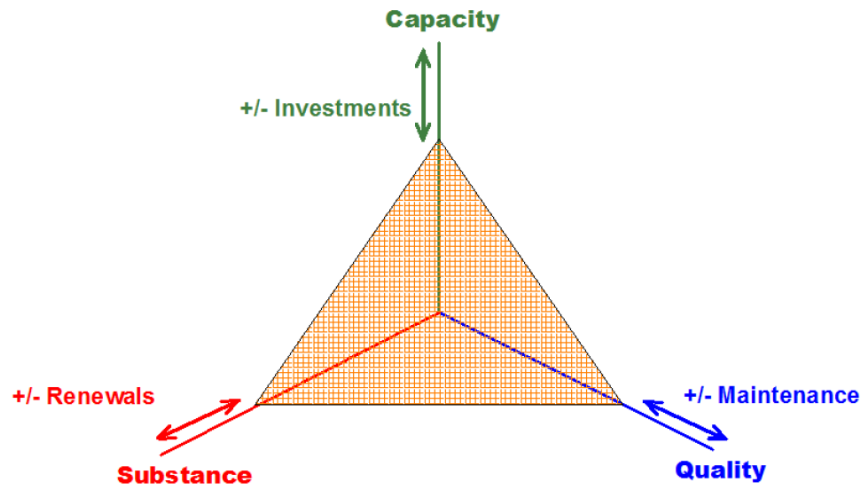
V formuli je v obzir vzet tudi čas, ki je rezerviran za redno vzdrževanje in remont proge. Najnovejše raziskave so pokazale, da koeficient  $p$  ni konstanten, temveč je funkcija, ki se s časom spreminja, tako kot se s časom tudi povečujejo potrebe po vzdrževanju.

Vendar pa nam podatek o kapaciteti proge ne pove, v kolikšni meri je proga dejansko tudi izkoriščena. Izkoriščenost proge je določena kot delež intervala, ko je infrastruktura zasedena zaradi vlakovnih poti (Lavrič, 2012 str. 13) in po mnenju strokovnjakov naj ne presega 75 % kapacitete v konični uri za hitre proge, na progah za mešani promet pa je primerna dnevna izkoriščenost kapacitete ocenjena na 60 %.

Ker je potreb po transportu vse več, lahko pride do t. i. zasičenja proge, kar se pozna v kvaliteti vlakovnih poti, ki se meri skozi potovalne čase in stabilnostjo voznega reda. Zaradi zasičenosti in preobremenjenosti proge prihaja do zamud, uvedb počasnih voženj ali celo odpovedi vlakov, saj se poveča zasedenost tirov zaradi naraščanja vzdrževalnih aktivnosti. Upravljalci infrastrukture imajo v tem primeru na voljo dve rešitvi: ali kapaciteto povečati z gradnjo nove proge ali pa zmanjšati prometno obremenitev in s tem tudi stroške vzdrževanja.

Načrtovanje aktivnosti v zvezi s povečanjem kapacitete mora biti del strateškega dolgoročnega načrta razvoja železniške infrastrukture, ki je usmerjeno v obdobje 20 in več let vnaprej in vključuje štiri korake: ocena potreb po vlakovnih poteh, dodeljevanje voznih poti, analiza kapacitete in analiza stroškov različnih načrtov investicij v kapaciteto.

Kapaciteta proge je torej odvisna od številnih dejavnikov, neposredno pa je povezana s kvaliteto proge in njeno življenjsko dobo. Kvaliteta proge je v veliki meri odvisna od vzdrževanja, povprečna življenjska doba proge oziroma njenih posameznih elementov pa se ob pravilnem ravnanju povečuje. V določenem trenutku pa postane vzdrževanje ekonomsko neupravičeno, vse težje pa je zadostiti varnostnim in drugim standardom. Proga je v tem trenutku dosegla svojo življenjsko dobo in potrebna je prenova.



**Slika 4.1: povezava kapaciteta, kvaliteta, življenjska doba**

Vir: Tzanakis, K. The Railway Track and Its Long Term Behaviour, 2013

Povezavo med kapaciteto, kvaliteto proge in življenjsko dobo lahko ponazorimo na teoretičnem primeru, ki pa ga velikokrat srečamo tudi v realnem okolju in ima dolgoročne posledice tako v ekonomskem kot tehničnem smislu. Upravljavec infrastrukture zaradi vedno večjih potreb poveča število vlakovnih poti na določeni progi ali kar na celotnem omrežju in da bi ohranil ustrezen nivo kvalitete, bistveno poveča obseg vzdrževalnih del. Vendar pa vzdrževalna dela ne morejo slediti povečanim prometnim obremenitvam, zato življenjska doba infrastrukture znatno pade. Ker pa za obnovo celotne proge naenkrat upravljavec nima na voljo dovolj sredstev, prihaja do uvedb počasnih voženj, velikih zamud in v najslabšem primeru odpovedi vlakov zaradi povečane zasedenosti tirov. Kapaciteta proge tako pade in krog je sklenjen. Jasen je konflikt med kapaciteto in vzdrževanjem oziroma obnovo. Več je podeljenih vlakovnih poti, več je potreb po vzdrževanju in obnovah, več je intervalov zasedenosti tirov, manj vlakovnih poti je na voljo prevoznikom.

### 4.3 FAZE VZDRŽEVANJA

Celotno vzdrževanje je največkrat sistematično razdeljeno na več različnih faz, ki se v praksi med seboj prepletajo in ponavljajo. V bistvu predstavljajo okvir, ki si ga upravljavci infrastrukture postavijo za lažje sprejemanje odločitev v zvezi z vzdrževanjem. Po Budai-Balke (Budai-Balke, 2009) planiranje vzdrževanja zajema naslednjih sedem faz:

1. **Dodeljevanje finančnih sredstev** je prvi korak planiranja vzdrževanja. Letni obseg predvidenih sredstev za vzdrževanje se določi na podlagi vzdrževalnih aktivnosti v preteklosti. Upoštevanani so tudi inflacija in drugi potrebni ekonomski parametri.

2. **Dolgoročna napoved obnašanja proge in kvalitete** se dobi preko modelov degradacije in kontrolnih pregledov proge. V to fazo so vključeni tudi modeli za napovedovanje potreb po kapaciteti proge.
3. V tej fazi se **definira in identificira projekt vzdrževanja**. To pomeni, da se na podlagi finančnih sredstev in degradacijskih modelov določijo potrebne vzdrževalne aktivnosti in intervali zasedenosti tirov.
4. **Določitev prioriternih projektov** je naslednja faza. Prioritetni seznam vzdrževalnih opravil vsebuje projekte, ki se bodo izvedli v naslednjih nekaj letih s poudarkom na tistih, ki so najbolj nujni. V tem koraku se razmišlja tudi o zmogljivostih morebitnih zunanjih izvajalcev in njihovem usklajevanju.
5. **Izdelava časovnega načrta zasedenosti tirov in njihova razporeditev**. Ta korak je zelo pomemben z vidika obratovanja, saj določa, koliko časa bo promet zaradi vzdrževalnih del oviran. Zapora proge se po navadi izvede ponoči ali ob koncu tedna, nekateri večji posegi pa lahko trajajo tudi dlje.
6. **Kombiniranje projektov** oziroma različnih vzdrževalnih aktivnosti je zaželeno zaradi krajšanja intervalov zasedenosti, kar močno zniža stroške vzdrževanja in posredne stroške zaradi motenj in zamud v prometu. Ta faza je v veliki meri povezana s 4. in 5. korakom in se jo običajno izpelje simultano.
7. **Kratkoročno planiranje vzdrževanja** je zadnji korak v procesu planiranja in zajema podroben časovni okvir izvedbe sprejetih vzdrževalnih projektov glede na razpoložljive intervale zasedenosti. Določi se količina potrebnega materiala, opreme in delovne sile. Cilj je čim manj motenj in zamud v prometu.

## 4.4 NIVOJI VZDRŽEVANJA

### 4.4.1 Strateški nivo

Upravljevec infrastrukture na strateškem nivoju definira dolgoročne cilje in potrebe glede vzdrževanja, varnosti, kvalitete in kapacitete železniške proge, v obzir pa jemlje gospodarske, politične, družbene, okoljske in številne druge okoliščine. Strateški nivo je organizacijski nivo, ki vzdrževanje obravnava v širšem kontekstu železniške infrastrukture in celotnega železniškega sistema in ne zahteva striktnega matematičnega modela optimizacije vzdrževanja. Dolgoročni plan se izdelava za obdobje 20-30 in več let, projekti vzdrževanja, obnov in zamenjav pa so zasnovani s pomočjo degradacijskih modelov. Za upravljavca je cilj zagotovitev nivoja in kvalitete proge za zahtevano količino prometne obremenitve oziroma dodeljenih vlakovnih poti skozi celoten življenjski cikel železniške



proge. Pri izdelavi in izbiri pravilne dolgoročne strategije vzdrževanja so pomembni dolgoročna dostopnost oziroma kapaciteta ter skupni stroški, ki zajemajo tako izvedbo vzdrževalnih del kot tudi vse posredne stroške zaradi zasedbe tirov, zamud itd.

Eno od meril učinkovitosti dolgoročne strategije vzdrževanja so stroški in dostopnost. Z LCC analizo je vzdrževanje skozi celotno življenjsko obdobje mogoče bistveno poceniti, zato jo je potrebno pri dolgoročnem planiranju izvesti in upoštevati. Stroškovna učinkovitost vzdrževanja se lahko izrazi kot

$$Učinkovitost = \frac{dostopnost}{LCC}. \quad (4.2)$$

#### 4.4.2 Taktični nivo

Taktični nivo planiranja vzdrževanja je usmerjen v karseda učinkovito obratovanje infrastrukture s čimvečjo dostopnostjo oziroma čimveč dodeljenih vlakovnih poti, nizko stopnjo vzdrževanja in hkratnem izpolnjevanju zahtev RAMS glede na obstoječ vozni red. Gre torej za izpolnjevanje srednjeročnih ciljev, največ za obdobje šestih let, ponavadi pa so ti cilji omejeni samo na tekoče leto. Prioriteto pri vzdrževanju imajo preventivna rutinska opravila, večji vzdrževalni projekti pa se skušajo čim bolj kombinirati s prednostnimi preventivnimi nalogami. Vse izvedene vzdrževalne aktivnosti upravljavca infrastrukture oskrbujejo s povratnimi informacijami, ki jih uporabi pri izdelavi in optimizaciji dolgoročnega plana.

#### 4.4.3 Operativni nivo

Na operativnem nivoju gre za dejansko izvedbo načrtovanih, preventivnih in nenačrtovanih, korektivnih vzdrževalnih del, kjer je potrebno kratkoročno načrtovanje razporejanja opreme in delovne sile glede na vozni red vlakov in predvidene intervale zasedenosti tirov. Za optimizacijo izvajanja operativnega nivoja vzdrževanja se uporabljajo različni matematični modeli, ki zajemajo stroške dela, uporabe delovnih sredstev, stroške zamud idr. Načrtuje se tudi potreben čas za dokončanje vzdrževalnih del, ki vključuje hitrosti mehanizacije, potrebno število voženj, oddaljenost opreme od lokacije gradbišča, čas priprave gradbišča idr.

## 4.5 PROGRAMSKA ORODJA

Pomemben aspekt planiranja vzdrževanja so računalniški sistemi, brez katerih se modernega vzdrževanja zaradi svoje kompleksnosti dandanes ne da več predstavljati. Načrtovanje vzdrževalnih aktivnosti, njihovo usklajevanje z voznim redom in intervali zasedenosti, zbiranje in analiza podatkov o progi in drugih elementih infrastrukture, optimizacija vzdrževalnega procesa itn. poteka preko računalniškega sistema upravljanja vzdrževanja (ang. Computerized maintenance management system – CMMS), ki upravljavcu infrastrukture nudi številna uporabna orodja za:

- optimalno upravljanje človeških virov in materiala,
- vzpostavitev, vzdrževanje in nadgrajevanje baze podatkov z informacijami o stanju proge in elementov zgornjega ustroja,
- napovedovanje preventivnih vzdrževalnih aktivnosti s pomočjo degradacijskih modelov in pridobljenih empiričnih podatkov s proge,
- načrtovanje in oskrba s potrebnimi materiali in opremo,
- izdelava načrta za primere nenadnih napak na progi in korektivno vzdrževanje.

### 4.5.1 RAMSYS

RAMSYS je programsko orodje za učinkovito planiranje in upravljanje vzdrževanja železniške infrastrukture, ki upravljavcu infrastrukture nudi podporo pri sprejemanju ključnih odločitev v zvezi s planiranjem in optimizacijo vzdrževalnih aktivnosti. Glavne funkcije RAMSYS-a so:

- zmožnost linearnega modeliranja železniške proge z uporabo linij in vozlišč z vsemi pripadajočimi infrastrukturnimi objekti,
- obvladovanje vsakega posameznega elementa proge, tudi najmanjših, kot so na primer zvari,
- kompatibilnost s sistemom GIS,
- simulacije različnih vzdrževalnih aktivnosti,
- optimizacija planiranja vzdrževanja in upravljanja z viri in materialom.

Programsko orodje ponuja oblikovanje enovite baze podatkov o progi, ki vključuje informacije o meritvah in kontrolnih pregledih, zgodovini vzdrževanja, obratovalnih pogojih in stroških. Na podlagi teh informacij program opravi t. i. odločitveno analizo (what-if analysis), izdelava prioriteten seznam vzdrževalnih aktivnosti, prognozo stanja in poda izračun stroškov.

Samo orodje je sestavljeno iz različnih samostojnih funkcijskih enot oziroma modulov, ki jih je možno poljubno sestavljati v celoto glede na potrebe posameznega upravljavca. Osnovna modula RAMSYS-a sta:

- **modul Infrastruktura**, ki je namenjen upravljanju infrastrukture in njenih posameznih elementov,
- **modul vzdrževanja**, ki upravlja ključne procese vzdrževanja, kot so zbiranje in analiza podatkov, planiranje vzdrževalnih aktivnosti in kontrola.

#### 4.5.2 Optram

Podjetje Bentley Systems je razvilo orodje za upravljanje infrastrukture Optram, ki podobno kot RAMSYS upravljavcu ponuja pomoč pri planiranju in optimizaciji vzdrževanja na vseh nivojih; strateškem, taktičnem in operativnem. Sestavljajo ga naslednji pomembnejši moduli:

- **modul stanja** je namenjen obvladovanju podatkov, pridobljenih s kontrolnimi pregledi geometrije tira, meritvami profila tirnic in odkritih napakah.
- **GIS vmesnik** upravljavcu infrastrukture omogoča shranjevanje in prikaz vseh informacij o infrastrukturi in povezavi s podatki o preteklih vzdrževalnih aktivnostih.
- **Enterprise suite** nudi podporo pri planiranju vzdrževanja posameznega železniškega odseka in optimizacijo stroškov vzdrževanja.
- **Optram Video** daje upravljavcu dostop do vizualnega gradiva kontrolnih meritev proge.

## **5 SISTEM VZDRŽEVANJA ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE V REPUBLIKI SLOVENIJI**

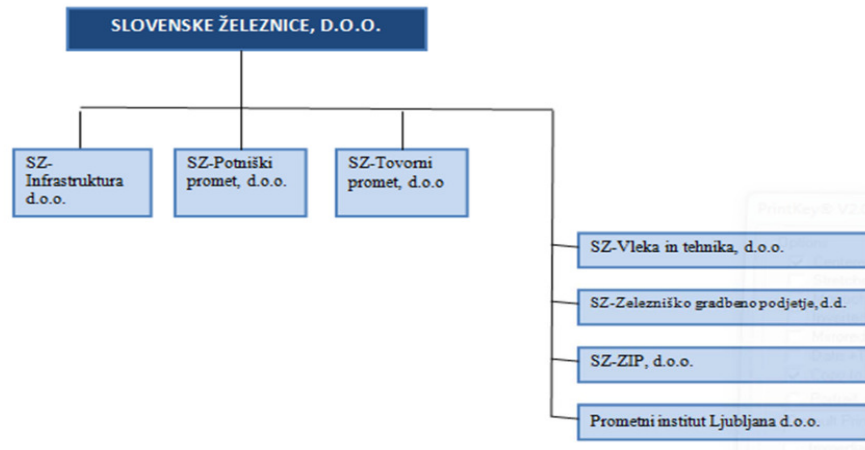
### **5.1 USTROJ SLOVENSKEGA ŽELEZNIŠKEGA SISTEMA**

Začetki železnice na Slovenskem segajo v leto 1846, ko je bila zgrajena proga Graz-Celje kot del Južne železnice Dunaj-Trst. Razvoj slovenskega železniškega sistema skozi nekaj več kot 150-letno zgodovino, najprej v okviru Avstrije in kasneje Jugoslavije, je pripeljal do današnjega dne, ko je Slovenija, kot samostojna država in članica EU, del vseevropskega železniškega sistema ter tako dolžna spoštovati sprejete predpise in zakone, ki predpisujejo moderni ustroj in delovanje železniškega sistema.

#### **5.1.1 Slovenske železnice**

Po zadnji reorganizaciji železniškega sistema je družba Slovenske železnice d.o.o. (SŽ), ki jo je ustanovila Republika Slovenija, odgovorna za varno in učinkovito izvajanje železniških storitev. V ta namen je SŽ v skladu z zakonodajo in smernicami glede liberalizacije železniškega transporta, za izvajanje dejavnosti prevoza potnikov in blaga, upravljanja in vzdrževanja infrastrukture, vodenje prometa ter druge povezane dejavnosti ustanovil naslednje družbe:

- SŽ – Infrastruktura, d.o.o.; družba izvaja gospodarsko javno službo vodenja prometa ter upravljanja in vzdrževanja JŽI. Prav tako opravlja funkcije gospodarjenja z železniškimi postajnimi poslopji in druge naloge, ki jih družbi kot upravljavcu JŽI nalaga zakon. Podjetje je razdeljeno na več organizacijskih enot, za vzdrževanje železniške proge pa je zadolžena Enota za gradbeno dejavnost. Vsi posegi v železniško infrastrukturo morajo biti skladni z varnostnimi predpisi in Tehničnimi specifikacijami interoperabilnosti.
- SŽ – Potniški promet, d.o.o.; podjetje opravlja storitve prevoza potnikov v notranjem in mednarodnem potniškem prometu.
- SŽ – Tovorni promet, d.o.o.; podjetje skrbi za prevoz blaga v Sloveniji in tujini ter opravlja logistične dejavnosti v klasičnem in tudi v kombiniranem transportu.



**Slika 5.1: ustroj Slovenskih železnic**

Vir: Zemljič, F. Infrastruktura za trajnostni promet v ljubljanski urbani regiji, 2013

### 5.1.2 Javna agencija za železniški promet

Javna agencija za železniški promet (AŽP) je ena izmed štirih javnih agencij v sestavi Ministrstva za infrastrukturo in prostor. Agencija izvaja širok nabor dejavnosti, njene temeljne naloge pa so naslednje:

- dodeljevanje vlakovnih poti ter zagotavljanje prevoznikom nediskriminiran pristop na železniško omrežje,
- izdelava voznega reda,
- določanje in zaračunavanje uporabnine,
- vodenje formalnih postopkov v zvezi z zagotavljanjem varnosti v železniškem prometu, kamor spada izdaja licenc in varnostnih spričeval, izdaja uporabnih in obratovalnih dovoljenj,
- priprava programa omrežja javne železniške infrastrukture.

## 5.2 ŽELEZNIŠKA INFRASTRUKTURA V REPUBLIKI SLOVENIJI

Slovenske železnice razpolagajo z vsega skupaj 1.228,10 km železniških prog, od katerih je 330,4 km dvotirnih, ostalih 897,7 km pa enotirnih, vse pa imajo normalno tirno širino 1.435 mm. Z enosmerno napetostjo 3 kV je elektrificiranih slaba polovica prog, in sicer 502,8 km, med njimi so vse proge V. in X. TEN-T koridorja, razen proge Pragersko-Hodoš. Predorov in galerij je 93 v skupni izmeri 37,4 km ter 3.348 viaduktov in prepustov v dolžini 17 km.

Prehodov ceste preko železniške proge je na slovenskem omrežju 1.693, od tega jih je kar 986 oziroma 58 % nivojskih. V progah je položenih 3.273.464 železniških pragov vseh vrst.

Slovenija ima glede na nekatere druge države v soseščini kar nekaj strateških prednosti, ki pa jih nikakor ne izkorišča v svoj prid. Železniško omrežje je del dveh panevropskih koridorjev, in sicer V. in X.

- V. transportni koridor poteka v smeri zahod-vzhod:
  - Lyon-Trst/Koper-Ljubljana-Maribor-Budimpešta-Uzgorod-Lvov/Kijev. V. transportni koridor z navezavo na Luko Koper zagotavlja stalen blagovni tok proti notranjosti države. Za izboljšanje kapacitete in dviga kakovosti prevoza poteka projekt izgradnje drugega tira proge Divača-Koper, ki predstavlja ozko grlo pri prevozu tovora v notranjost proti državam srednje in vzhodne Evrope. Poteka tudi nadgradnja proge Pragersko-Hodoš, ki ga s kohezijskimi sredstvi delno financira tudi EU.
  
- X. transportni koridor poteka v smeri sever-jug:
  - Salzburg-Ljubljana-Zagreb-Beograd-Niš-Skopje-Solun. V Sloveniji ta koridor povezuje Beljak v Avstriji in Dobovo na meji s Hrvaško. Del X. koridorja je tudi veja Gradec-Maribor, ki se v Zidanem Mostu združi s prvotnim koridorjem. Zaradi političnih in gospodarskih težav na Balkanu je ta koridor bil dolgo časa zapostavljen, sedaj pa počasi pridobiva na veljavi.

Vse proge v Sloveniji so namenjene mešanemu prometu, potniškemu in tovornemu, hitrih prog namenjenih izključno potniškemu prometu, ki bi omogočale hitrosti vlakov 200 km/h in več, v Sloveniji ni.

### 5.2.1 Stanje slovenske železniške infrastrukture

Slovenija se že dalj časa sooča z vidnimi težavami, kar zadeva stanje železniške infrastrukture. Železniške proge so tehnološko zastarele, nekatere so stare tudi več kot 150 let. Z rednim vzdrževanjem se sicer ohranja prevoznost, vendar pa so hitrosti nizke, več je tudi odsekov počasnih voženj. Po statističnih podatkih iz leta 2013 je bilo na omrežju uvedenih 35 počasnih voženj v skupni dolžini 42 km, kar povzroča zamude vlakov in rast stroškov. Zamude vlakov v povprečju znašajo 2 minuti na 100 km prepeljane poti, proge pa so zasičene, še posebej v prometnih konicah.

Pomanjkljivo investiranje v železniško infrastrukturo in le počasno doseganje standardov TSI pomeni za Slovenijo izgubo prednosti, ki jo ima zaradi svoje ugodne geografske lege. Posledice so izguba deleža prevoznih storitev, saj se transportni tokovi počasi že usmerjajo iz luke Trst preko Avstrije na sever in iz reške luke preko Hrvaške na vzhod.

Kvaliteta infrastrukture in učinkovitost vzdrževanja se na Slovenskih železnicah med drugim ocenjuje z uporabo t. i. infrastrukturnih kazalnikov. Na podlagi teh kazalnikov je razviden trend izboljšanja stanja v prihodnosti na podlagi strateškega načrta upravljanja in vzdrževanja infrastrukture.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Št. počasnih voženj</b>	<b>68</b>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>35</b>	<b>30</b>	<b>25</b>
<b>Število napak v vegavosti tira nad 24 mm na 100 km tira</b>	<b>0,98</b>	<b>0,92</b>	<b>0,86</b>	<b>0,81</b>	<b>0,77</b>	<b>0,74</b>	<b>0,71</b>
<b>Povprečni indeks kakovosti tira KT500</b>	<b>165,96</b>	<b>165,45</b>	<b>165,00</b>	<b>164,55</b>	<b>164,15</b>	<b>163,75</b>	<b>163,40</b>
<b>Stroški rednega vzdrževanja JŽI/vlakovni km v EUR</b>	<b>3,17</b>	<b>3,16</b>	<b>3,14</b>	<b>3,13</b>	<b>3,11</b>	<b>3,09</b>	<b>3,08</b>

**Tabela 5-1: infrastrukturni kazalniki**  
Vir: <http://slo-zeleznice.si/dsg/flash/sz.swf>

Velike težave predstavljajo tudi dovoljene obremenitve na glavnih progah, saj nekateri odseki ne dosegajo standardov proge D3, ki je slovenska nacionalna kategorija in dovoljuje maksimalne osne obremenitve, 22,5 t/os in 7,2 t na tekoči meter. Težavni odseki, na katerih je dovoljena osna obremenitev 20 t/os, so naslednji:

- Zidani Most-Šentilj,
- Pragersko-Središče,
- Ormož-Murska Sobota in
- Pivka-Ilirska Bistrica.

### 5.3 ZAKONODAJA

Vzdrževanje železniške infrastrukture, vodenje prometa, varnostni predpisi ter drugi postopki, ki so potrebni za nemoteno odvijanje železniškega transporta, so zajeti v zakonih, pravilnikih, predpisih ter drugih dokumentih. Slovenija je kot članica EU dolžna v nacionalno zakonodajo sprejeti evropske direktive in ostale predpise, ki urejajo delovanje železniškega

sistema. Pogosto se dogaja, da je zakonodaja v neskladju in celo v konfliktu z evropskimi direktivami, ki se morajo v celoti in smiselno implementirati v nacionalni pravni red.

Postopki, organiziranost in zahteve glede vzdrževanja zgornjega ustroja železniške proge ter tehnične standarde, ki jih zgornji ustroj mora dosegati za varno in brezhibno delovanje, pogojujejo naslednji nacionalni predpisi:

- **Zakon o železniškem prometu** je krovni zakon, ki je bil sprejet leta 1999 in se je do danes veliko spreminjal. V zakonu so opredeljena vsa bistvena določila glede organizacije, financiranja in strukture SŽ in pogoji opravljanja prometnih storitev. Zakon določa tudi, da je javna železniška infrastruktura grajena javno dobro v lasti države, določeni so pogoji uporabe in dostopa do nje. Vsi predpisi, pravilniki in drugi zakoni, ki urejajo področje infrastrukture, morajo biti v skladu z Zakonom o železniškem prometu. Zakon predpisuje tudi delovanje AŽP kot varnostni organ ter določa, da je upravljavec infrastrukture odvisno podjetje SŽ – Infrastruktura, d.o.o. Zakon v slovenski pravni red prenaša nekatere evropske direktive, med drugim Direktivo 2001/14/ES o dodeljevanju železniških infrastrukturnih zmogljivostih, uporabnin za železniško infrastrukturo in podeljevanju varnostnih spričeval.
- **Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog**, ki predpisuje tehnične zahteve in pogoje za izvajanje nadgradnje, obnove, vzdrževanja in nadzora zgornjega ustroja za proge normalne tirne širine z največjo progovno hitrost 160 km/h. Za že obstoječe proge velja, da morajo upoštevati tehnične zahteve pravilnika ob naslednji nadgradnji ali obnovi.
- **Uredba o načinu opravljanja obvezne gospodarske službe vzdrževanja javne železniške infrastrukture in vodenja železniškega prometa**, ki določa, da obvezno gospodarsko službo opravlja upravljavec infrastrukture, ki z državo sklene pogodbo, ki pravno ureja vsa razmerja. Pogodb poleg drugih obveznosti in pravic upravljavca določa tudi parametre posameznih meril vzdrževanja javne železniške infrastrukture in vodenja prometa.

Pri vzdrževanju zgornjega ustroja in upravljanja z infrastrukturo mora upravljavec upoštevati še naslednje: Zakon o varnosti v železniškem prometu, prometni pravilnik, pravilnik o pogojih in postopku za začetek, izvajanje in dokončanje tekočega in investicijskega vzdrževanja ter vzdrževalnih del v javno korist na področju železniške infrastrukture ter številne druge uredbe, pravilnike in predpise.

V Sloveniji je bil leta 1995 sprejet Nacionalni program razvoja slovenske železniške infrastrukture, ki pa je bil do leta 2005 le delno realiziran. Leta 2006 je bil sprejet nov



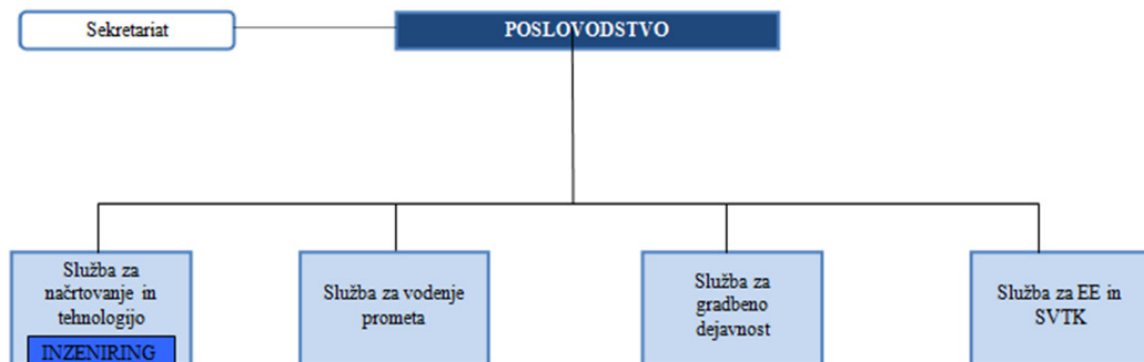
Nacionalni program razvoja železniške infrastrukture (Nacionalni program razvoja slovenske železniške infrastrukture (Modra knjiga, MzP, 2006)), v pripravi pa je tudi Strateški program za razvoj železniškega sistema.

Izdelan je bil tudi Strateški načrt skupine Slovenske železnice do leta 2015 Skupaj na tirih, v katerem so analizirani stanje in potrebe infrastrukturnega podsistema in nakazane smeri razvoja sistema upravljanja in vzdrževanja infrastrukture.

#### 5.4 VZDRŽEVANJE ZGORNJEGA USTROJA

Vzdrževanje železniške infrastrukture, katere sestavni del je tudi zgornji ustroj proge, se izvaja v skladu z Zakonom o železniškem prometu in Uredbo o načinu opravljanja obvezne gospodarske službe vzdrževanja javne železniške infrastrukture in vodenja železniškega prometa.

Upravljevec infrastrukture je družba SŽ - Infrastruktura, d.o.o., ki ima nalogo predlagati in izvajati letni načrt vzdrževanja ter pripravo podlage za razvoj železniške infrastrukture. Poleg vzdrževanja pa upravljevec infrastrukture izvaja naloge vodenja prometa v skladu z voznim redom omrežja.



**Slika 5.2: ustroj SŽ – Infrastruktura, d.o.o.**

Vir: Zemljič, F. Infrastruktura za trajnostni promet v ljubljanski urbani regiji, 2013

Med naloge vzdrževanja železniške infrastrukture sodijo naslednje aktivnosti:

- vzdrževanje spodnjega in zgornjega ustroja železniških prog in pripadajočih objektov ter opreme,
- vzdrževanje potniških postaj in postajališč,
- vzdrževanje in zagotavljanje brezhibnega stanja telekomunikacijskih in signalnovarnostnih naprav,

- vzdrževanje elektroenergetskih naprav in zagotavljanje oskrbe z električno energijo za potrebe električne vleke in drugih potreb,
- vzdrževanje objektov in drugih naprav železniške infrastrukture.

## 5.5 UPRAVLJANJE VZDRŽEVANJA

Strategija vzdrževanja infrastrukture in njeni cilji so določeni v nacionalnem programu razvoja železniške infrastrukture za obdobje najmanj 5 let, medtem ko izvajalec vzdrževanja izdelava letni plan za tekoča in investicijska vzdrževalna dela. V letnem planu vzdrževanja morajo biti za posamezne elemente natančno opredeljeni obseg vzdrževanja, potrebni material ter predvideni skupni stroški. Vzdrževanje mora biti planirano v skladu z voznim redom in predvidenimi zaporami prog, usklajeno mora biti kombiniranje različnih vzdrževalnih aktivnosti. Če je možno, se v izogib motnjam v prometu vzdrževanje planira s čim manj zaporami, in sicer med zaporednimi vožnjami vlakov ali v času manjših prometnih obremenitev (ponoči, med koncem tedna, prazniki ipd.). Letni plan vzdrževanja mora izvajalec vzdrževanja predložiti izdelovalcu voznega reda za naslednje voznoredno obdobje, lahko pa je izvajalec tudi prosilec za vlakovne poti, kadar to zahteva narava vzdrževalnih del. Letni plan vzdrževanja mora potrditi upravljavec infrastrukture, vse aktivnosti pa se beležijo v evidenco vzdrževalnih del.

### 5.5.1 Delitev vzdrževalnih del na zgornjem ustroju

Vzdrževanje zgornjega ustroja je ohranjanje normalne obratovalne sposobnosti proge na tehničnem nivoju, ki ustreza potrebam rednega in varnega železniškega prometa. Glede na pomen in obseg se vzdrževalna dela na zgornjem ustroju delijo na redno vzdrževanje, investicijsko vzdrževanje in remont proge.

#### 5.5.1.1 Redno vzdrževanje

Z rednim ali tekočim vzdrževanjem se odpravljajo posamezne napake na zgornjem ustroju z namenom ohranjanja normalne obratovalne sposobnosti in varnosti železniške proge. Med redno vzdrževanje sodijo pregledi proge, monitoring in kontrola stanja, meritve kvalitete zgornjega ustroja in geometrije tira, dela v zvezi z organiziranjem in planiranjem vzdrževanja, vodenje evidenc, podatkovnih baz in drugo. Pregledi stanja so lahko vizualni preko video nadzora ali s hojo ob progi ali pa se izvajajo s pomočjo mehanizacije. Frekventnost pregledov je odvisna od prometne obremenitve, in sicer večkrat tedensko za najbolj obremenjene proge do le enkrat mesečno za manj obremenjene regionalne proge.

Redno vzdrževanje se izvaja interventno ali sistematično. Za interventna vzdrževalna dela zapora proge ni potrebna, vanje pa uvrščamo:

- odprava napak, ki so potencialna grožnja za varnost in jih je potrebno sanirati takoj. To so lokalna popravila tirne širine, zamenjava in mazanje tirnic, podbijanje, zamenjava pritrdilnih in veznih elementov, urejanje spodnjega ustroja itn.,
- dela zimske službe, ki skrbi za čiščenje snega, pluženje proge in postajnega območja itn.

Sistematično vzdrževanje pa je na podlagi izvajanih meritev in splošnega stanja zgornjega ustroja planirano vzdrževanje, ki obsega naslednje aktivnosti:

- korekcije višine in smeri tira s podbijanjem,
- stabilizacija, profiliranje in sejanje tirne grede ter odstranjevanje vegetacije in
- brušenje tirnic.

Namen rednega vzdrževanja je izpolnjevanje projektiranih parametrov proge. Če so ti standardi doseženi, se na progi lahko odvija promet s projektirano hitrostjo. V nasprotnem primeru se odredijo omejitve glede na stanje po končanju del. Pri opravljanju del je potrebno ugotoviti, če je nastal kakršenkoli vpliv izvajanih del na druge elemente proge in vse spremembe zabeležiti v ustrezno dokumentacijo.

#### 5.5.1.2 Investicijsko vzdrževanje

Investicijsko vzdrževanje se izvaja na daljši časovni rok in zajema zamenjavo posameznih delov ali pa celo posameznih odsekov proge, kadar se napake na posameznih elementih ponavljajo in jih z rednim vzdrževanjem ni več mogoče odpraviti. Investicijsko vzdrževanje lahko hitro zamenjamo z rednim sistematičnim vzdrževanjem, saj gre praktično za dela, ki so po načinu izvedbe skorajda enaka. Razlika je v tem, da je pri investicijskem vzdrževanju potrebno vzdrževanje izvesti tako, da so tehnični parametri proge po obnovi v skladu s TSI.

Tudi pri investicijskem vzdrževanju je potrebno preveriti vpliv vzdrževalnih del na druge elemente proge. Če je takšen vpliv nastal, se mora pred vključitvijo posameznega elementa v obratovanje opraviti pregled strokovnega osebja in sestaviti zapisnik. Dela investicijskega vzdrževanja se smatrajo kot zaključena, kadar se po pregledu ugotovi normalno stanje vseh elementov. Za investicijsko vzdrževanje se upravljavec odloči na podlagi strateškega plana vzdrževanja, pri tem pa upošteva predvsem ekonomski vidik.

### 5.5.1.3 Remont proge

Remont ali obnova proge je zamenjava zgornjega ustroja z novim ali obnovljenim rabljenim materialom in ga uvrščamo med vzdrževalna dela v javno korist. Za remont je potrebna zapora proge ob uporabi tehnoloških postopkov, kot sta remont s portalnimi dvigali ali s posebnimi strojnimi vlaki. Odločitev za remont pomeni, da redno in investicijsko vzdrževanje zaradi dotrajanosti materiala ni več ekonomsko upravičeno ali pa to sploh ni več izvedljivo s tehničnega in varnostnega vidika. Upravljalavec infrastrukture zbira in tudi sam predlaga, katera vzdrževalna dela v javno korist naj bodo izvedena, na podlagi podanih predlogov pa nato naredi prioritetni seznam aktivnosti. Prednost imajo projekti, ki izboljšujejo karakteristike proge, povečujejo prepustnost ali izpolnjujejo zahteve TSI. Ker gre za večje posege v zgornji ustroj proge in druge elemente proge, je potrebno izdelati projektno in investicijsko dokumentacijo, vzdrževalne aktivnosti pa morajo biti predvidene v letnem vzdrževalnem planu, za večja dela pa tudi za več let vnaprej.

Remont proge zajema naslednja vzdrževalna dela:

- zamenjavo tirnic in pragov,
- zamenjavo tirnega pribora,
- zamenjavo kretnic,
- sejanje tirne grede z novim tolčencem,
- varjenje tira v NZT,
- regulacijo tira v višino in smer.

Po potrebi se na podlagi geološko-geomehanskega poročila sanirajo tudi tamponski sloj, zaščitni sloj in spodnji ustroj proge. Z remontom pa se tudi izboljša tehnično stanje proge, na primer s povečanjem dovoljenih osnih obremenitev ali dvigom najvišje dovoljene hitrosti, in ob progi gradijo objekti, ki služijo opravljanju gospodarske javne službe (Zgonc, 2012). Posamezne elemente ali zaključene celote je možno po fazah postopoma vključevati v promet. To je možno ob pogoju, da vsak element prestane fazni tehnični pregled, ki ga opravi posebna komisija. Po koncu vzdrževalnih del v javno korist je potrebno narediti celoten tehnični pregled in pridobiti uporabno dovoljenje od pristojnega ministrstva, ki s tem potrdi, da so dela izvedena skladno s TSI in varnostnimi zahtevami.

### 5.5.2 Opis in periodičnost meritev in pregledov stanja zgornjega ustroja

Izvedba vzdrževalnih del zajema širok nabor aktivnosti, med katere sodijo tudi meritve različnih parametrov in pregledi elementov zgornjega ustroja. Preglede in nadzor izvaja pooblaščen upravljavec ali drugo usposobljeno osebje in so predstavljeni v naslednji tabeli.

AKTIVNOSTI	PERIODICNOST
Pregled in meritev tira - merilne vožnje	2 x letno za hitrosti večje kot 120 km/h, na glavnih progah 2 x letno, 1 x letno na regionalnih progah, 1 x letno ročno, 1 x letno meritve dinamičnih sil na progah, kjer vozi EMG 310
Meritev vzdolžnega in prečnega premika tira	2 x letno pri ekstremnih temperaturah
Meritev tirničnih stikov in pregled urejenosti	1 x letno pooblaščen osebni upravljavca
Meritev obrabe tirnic	1 x letno pooblaščen osebni upravljavca
Pregled in meritev kretnic in križišč	Vizualni pregled - na 14 dni, 1 mesec, 3 mesece, redni pregled - 4 mesece, 6 mesece, 12 mesecev, glavni pregled – 1 x letno, 1 x na 2 leti
Meritev smernega in niveletnega položaja tira	1 x v petih letih - geodeti
Popis stanja pragov	1 x letno
Pregled tirne grede	1 x letno
Pregled pritrdilnega in veznega pribora	1 x letno
Pregled in kontrola zvarov, kontrola napak na tirnicah - defektoskopija	min. 1 x letno
Pregled neprekinjeno zvarjenega tira	vsake 3 mesece in ob ekstremnih temperaturah
Pregled in evidenca stabilnih naprav za mazanje tirnic	Po navodilu proizvajalca mazalne naprave
Evidenca napak na/v tirnicah - defektoskopija	Min. 1 x letno na vseh progah
Evidenca obrabe tirnic - zbirnik	1 x letno
Evidenca pragov in DTM	1 x letno pooblaščen osebni upravljavca ali nadrejen pooblaščen osebni upravljavca
Evidenca geometrijskih elementov tira/proge	Stalna naloga in ob vsaki spremembi
Prijava zloma tirnice	Za vsak zlom
Prijava deformacije in izbočenja tira	Za vsako deformacijo ali izbočenje
Plan pregledov objektov in naprav zg. ustroja	1 x letno

Tabela 5-2: vzdrževalne aktivnosti

Vir: Slovenske železnice - Infrastruktura, d.o.o.

### 5.5.3 Zapora proge in uvedba počasnih voženj

Za odvijanje železniškega prometa so bistveni obratovalni pogoji in režim vožnje ob zapori proge. Kakršnekoli motnje v prometu lahko povzročijo bistveno povečanje stroškov zaradi počasnih voženj in zamud, zato mora biti zapora proge izvedena premišljeno in v skladu z vnaprej določenim planom vzdrževanja. Lahko pa se zgodi, da je zapora uvedena izven planiranega urnika vzdrževanja, bodisi zaradi izrednega dogodka bodisi zaradi drugih razlogov. Zapore prog lahko tako razdelimo na pričakovane in nepričakovane.

Pri uvedbi nepričakovane zapore se mora izvajalec vzdrževalnih del uskladiti z izvajalcem vodenja prometa o režimu odvijanja prometa, izvajalec vodenja prometa pa mora takšno zaporo predhodno odobriti.

Pričakovana zapora proge je torej vnaprej načrtovana v skladu z letnim oziroma mesečnim planom vzdrževanja. Režim vožnje v času zapor z odredbo poda izvajalec vodenja prometa in je odvisen od vrste in obsega vzdrževalnih del ter od tehničnih karakteristik proge. Na dvotirnih progah, kjer poteka zapora enega tira in je medtirna razdalja vsaj 3.800 mm, uvedba počasne vožnje ni potrebna. Kadar pa je medtirna razdalja nižja kot 3.800 mm, pa je uvedba počasne vožnje obvezna, hitrost pa se omeji na 30 do 50 km/h, odvisno od vrste vzdrževalnih del. Počasna vožnja je obvezna tudi takrat, kadar se izvajajo vzdrževalna dela, ki lahko kakorkoli pomenijo varnostno tveganje. To so na primer polaganje tirov s portalnimi dvigali, sejanje tira, delo s težko mehanizacijo kot so buldožerji, avtodvigala ipd. Počasna vožnja se ukine takrat, ko prenehajo razlogi za njeno uvedbo, tj. ko so vzdrževalna dela zaključena ali pa njihovo izvajanje več ne vpliva na varnost izvajanja prometa in delavcev.

Poseben režim počasnih voženj velja pri obnovi tirov. Po obnovi tirov do konca I. regulacije je hitrost vožnje omejena do 30 km/h, najdaljši odsek vožnje pa je največ 2.000 m. Nato je do konca izvedbe III. regulacije hitrost omejena na 50 km/h, režim počasne vožnje pa lahko traja največ deset dni. Po končani III. regulaciji se počasna vožnja ukine, vlaki lahko vozijo z največjo dovoljeno progovno hitrostjo.

Nekatera vzdrževalna dela ne zahtevajo zapore proge, kljub temu pa je zaradi zagotavljanja varnosti železniškega prometa in delavcev ob progi potrebna vpeljava počasnih voženj. Ta dela sicer povečini ne spadajo med vzdrževanje zgornjega ustroja, kljub temu pa vplivajo na režim vožnje, ki povzroča motnje v normalnem odvijanju prometa. To so predvsem dela na objektih ob progi, signalnovarnostnih, telekomunikacijskih in elektroenergetskih napravah, na spodnjem ustroju ipd.

## 5.6 STROŠKI VZDRŽEVANJA NA SLOVENSКИH ŽELEZNICAH

Za vzdrževanje železniške infrastrukture je odgovoren upravljavec železniške infrastrukture, to je družba SŽ – Infrastruktura, d.o.o., izvajalec vzdrževalnih del pa je služba za gradbeno dejavnost. Družba SŽ – Infrastruktura, d.o.o., je s skoraj 83 % vseh sredstev financirana s strani države, in sicer na način, da družba vsako leto z vlado RS sklene pogodbo, ki natančno opredeljuje finančno strukturo in namen denarnih sredstev. Iz letnega poročila SŽ za leto 2012 je razvidno, da so se sredstva, namenjena vzdrževanju železniških prog v letu 2012, v primerjavi z letom prej bistveno zmanjšala, nekaj let prej pa povečevala. Kakšen bo trend v prihodnje, je odvisno predvsem od ekonomskega položaja države ter prometne politike.

(v tisoč evrih)	2012	2011	2010	2009
Vzdrževanje prog	51.336	77.241	67.388	63.881
Vzdrževanje celotne JŽI in objektov	87.998	116.659	102.661	102.313

**Tabela 5-3: sredstva za vzdrževanje**

Vir: Letno poročilo SŽ, 2012

Pri izračunu skupnih stroškov je potrebno upoštevati stroške dela, materiala in storitev za vsak posamezen element oziroma vzdrževalno aktivnost posebej. Pri tem pa niso upoštevani stroški zamud zaradi uvedbe počasnih voženj in zapor prog.

### 5.6.1 Primerjava stroškov remonta proge in uvedbe režima počasnih voženj

V okviru 10. Slovenskega kongresa o cestah in prometu, ki je potekal v Portorožu leta 2010, je skupina avtorjev, in sicer dr. Andreas Schobel, Darja Šemrov in Aleš Pavšek, izdelala študijo upravičenosti remonta proge na odsekih, kjer je bil uveden režim počasne vožnje. Študija je pokazala, da so stroški remonta proge bistveno nižji od vzdrževanja stanja omejitve hitrosti. V obzir so bili vzeti naslednji stroški uvedbe počasnih voženj:

- **Stroški zaradi povečanega rednega letnega vzdrževanja;** upošteva se dejstvo, da je za vzdrževanje vsako leto potrebnih 1,5 % več sredstev kot prejšnje leto.
- **stroški zamud;** zamude nastajajo od začetka zaviranja na omejeno hitrost konca pospeševanja po koncu odseka počasne vožnje. Potniški vlak za zaviranje z

voznoredne hitrosti na hitrost 30 km/h potebuje v povprečju 585 m in za pospeševanje nazaj na voznoredno hitrost približno 350 m.

- **dodatni stroški za energijo zaradi zaviranja in pospeševanja vlaka.**

Izračun je upošteval tri tipe vlakov in njihov delež (tovorni 40 %, potniški 50% in IC 10 %), tri različne hitrosti (10 km/h, 30 km/h in 50 km/h) in dve dolžini odsekov počasne vožnje (500 m in 3000 m). Stroški investicije v remont proge so ocenjeni na 800.000 €/km proge, za primerjavo z varianto uvedbe počasnih voženj je bila uporabljena metoda stroškov in koristi. Pri remontu odpadejo stroški povezani s porabo energije in zamudami, ostanejo pa stroški vzdrževanja proge, ki pa so tudi nižji kot v primeru ohranjanja stanja počasnih voženj.

Izkaže se, da je investicija v remont proge ekonomsko upravičena, saj že na odseku dolžine 500 m in z omejitvijo hitrosti 50 km/h strošek v korist remonta znaša več kot 3,5 milijona evrov. Na splošno bi morale takšne investicije biti visoko na prioritetni listi vzdrževalnih del. Z uvedbo počasnih voženj se obnova proge samo prelaga v prihodnost, medtem pa nastaja znatna gospodarska škoda. Celoten prispevek je dostopen na: <http://www.drc.si/portals/6/prispevki/ii/349-354.pdf>

## 5.7 MOŽNOST IZBOLJŠAVE UPRAVLJANJA VZDRŽEVANJA ZGORNJEGA USTROJA

Evropska unija si prizadeva ponovno oživiti železniški transport, dolgoročna strategija pa zajema tudi izgradnjo vseevropskega prometnega omrežja in implementacijo evropskih direktiv in drugih predpisov, ki urejajo področje železniškega transporta. Del vseevropskega prometnega omrežja je tudi Slovenija, ki bo morala, če želi izkoristiti ugodno geografsko lego in druge prednosti, več pozornosti nameniti uvajanju naprednih načinov upravljanja in vzdrževanja železniške infrastrukture.

V zadnjih dvajsetih letih se je bistveno premalo pozornosti in sredstev namenjal posodabljanju železniškega omrežja. Stanje infrastrukture ja tako iz leta v leto slabše, konkurenčnost železniškega transporta pada, s tem pa tudi kakovost transportnih storitev. Da bi se negativni trend obrnil, je potreben sprejem in realizacija številnih ukrepov glede upravljanja vzdrževanja na vseh nivojih; strateškem, taktičnem in operativnem.



## 5.7.1 Izboljšave na strateškem nivoju vzdrževanja

Strateški nivo zajema širšo sliko položaja celotnega prometnega, okoljskega, gospodarskega, političnega in družbenega položaja države. Slovenija mora definirati jasne cilje glede železniškega transporta v oziru na dolgoročne zahteve in potrebe prebivalstva in gospodarstva. Celotna transportna politika mora biti usmerjena v dvig kakovosti železniškega transporta kot nosilca gospodarske dejavnosti, transport po železnici pa mora biti na dolgi rok varen, zanesljiv, dostopen in učinkovit. Dolgoročni cilji upravljanja in vzdrževanja infrastrukture morajo biti fokusirani na dostopnost (razpoložljivost), varnost in stroškovno učinkovitost vzdrževanja skozi celoten življenjski cikel. Na tem področju se stanje v zadnjih letih počasi izboljšuje. Sprejeti so nekateri strateški dokumenti, ki definirajo prihodnji razvoj infrastrukture in nakazujejo izboljšanje v sistemu vzdrževanja. Nekateri cilji in ukrepi so naštet v spodnji tabeli.

CILJ	UKREP
Postavitev jasnih ciljev in usmeritev upravljanja in vzdrževanja infrastrukture za obdobje 20 do 30 let vnaprej	<ul style="list-style-type: none"> <li>- realizacija že sprejetih strategij za plansko obdobje,</li> <li>- implementacija evropskih direktiv in zagotavljanje skladnosti infrastrukture s TSI.</li> </ul>
Stabilnost finančnega okvira in zagotavljanje potrebnih sredstev za vzdrževanje za celotno življenjsko obdobje železniških prog	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Izdelava LCC analize za celotno infrastrukturo in posamezne elemente proge,</li> <li>- dolgoročne pogodbe z državo o načinu in financiranju vzdrževanja in obnov.</li> </ul>
Zagotavljanje visoke stopnje razpoložljivosti in dostopnosti železniške infrastrukture	<ul style="list-style-type: none"> <li>- analiza potreb po vzdrževanju,</li> <li>- izgradnja nove infrastrukture,</li> <li>- obnova in nadgradnja obstoječe infrastrukture.</li> </ul>
Učinkovito odkrivanje napak in napovedovanja slabšanja kvalitete proge zaradi povečanja prometnih obremenitev	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementacija modelov degradacije,</li> <li>- analiza potreb po kapaciteti na podlagi gospodarskih in družbenih kazalnikov,</li> <li>- uvajanje modernih tehnik in tehnologij monitoringa stanja proge.</li> </ul>
Optimizacija organizacijske strukture in	<ul style="list-style-type: none"> <li>- analiza notranje organiziranosti</li> </ul>

učinkovito upravljanje s človeškimi in materialnimi viri	celotnega sistema in podsistemov, - analiza možnosti za outsourcing posameznih ali vseh vzdrževalnih aktivnosti.
Izboljšanje varnosti železniškega transporta	- analiza faktorjev, ki vplivajo na varnost ter odpravljanje vzrokov železniških nesreč.
Uvajanje naprednih tehnik in tehnologij vzdrževanja	- prehod od korektivnega k preventivnemu vzdrževanju.
Zvišanje konkurenčnosti pri prevozu tovora	- nadgradnja prog V. in X. prometnega koridorja na kategorijo D3 (22,5 kN na os).

Tabela 5-4: možnost izboljšav - strateški nivo

#### 5.7.2 Izboljšave na taktičnem nivoju vzdrževanja

Taktični nivo vzdrževanja zajema kratko- do srednjeročno planiranje vzdrževanja. Cilji so izpolnitev zahtev za RAMS in ohranjanje ustreznega nivoja prevoznosti železniških prog ob čim manjšem obsegu vzdrževanja. Možnosti za izboljšave so tako v tehničnem kot organizacijskem smislu.

CILJ	UKREP
Čim manjša zasedenost tirov zaradi vzdrževalnih aktivnosti in čim večja prepustnost proge	- Identifikacija prioriternih preventivnih vzdrževalnih del, - implementacija optimizacijskega modela za izračun intervalov zasedenosti, - uporaba ustreznega programskega orodja za izdelavo voznega reda, vključeno z intervali zasedenosti tirov za vzdrževanje.
Znižanje stroškov za vzdrževanje	- kombiniranje vzdrževalnih aktivnosti, - uporaba tehnološko razvite mehanizacije, ki omogoča istočasno izvajanje več vzdrževalnih posegov, - uporaba mehanizacije, ki omogoča visoke delovne hitrosti in brezkontakten

	način monitoringa in diagnostike.
Izboljšanje točnosti in zmanjšanje števila odsekov počasnih voženj ter dvig konkurenčnosti prevoza potnikov	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prioriteto vzdrževanje na odsekih počasnih voženj,</li> <li>- izgradnja prog za največje dovoljene hitrosti do 160 km/h,</li> <li>- rekonstrukcija obstoječih prog za povečanje najvišjih dopustnih hitrosti.</li> </ul>
Izboljšanje varnosti	- skrajšanje intervala kontrolnih pregledov tirnic.

Tabela 5-5: možnost izboljšav - taktični nivo

### 5.7.3 Izboljšave v operativni fazi vzdrževanja

Na operativnem nivoju je glavni cilj opraviti vzdrževalna dela kvalitetno in v čim krajšem času, torej s čim manj motnjami prometa. Tudi na operativnem nivoju so ukrepi za izboljšanje stanja tehnični in organizacijski.

Potrebna je dobra razporeditev materialnih sredstev za čim hitrejši dostop do mesta vzdrževanja. To pomeni, da je potrebno na infrastrukturnem omrežju poiskati optimalne lokacije, kjer bo stacionirano ustrezno usposobljeno vzdrževalno osebje z vsemi potrebnimi tehničnimi sredstvi in potrebnim materialom. Razpoložljivost osebja mora biti načrtovana v skladu z mesečnim planom vzdrževanja. Izvedba večjih vzdrževalnih del je logistično izjemno zahtevna naloga, zato je potrebna tudi dobra komunikacija med izvajalcem vzdrževanja na terenu ter odgovorno osebo za vodenje prometa.

## 6 SKLEP

Železniški promet je skozi drugo polovico dvajsetega stoletja počasi izgubljal na veljavi, v primerjavi s cestnim prometom se je zmanjšal delež prepeljanih potnikov in tovora. Evropska unija pa želi z liberalizacijo in drugimi ukrepi ta trend obrniti nazaj v prid železnice. Prost dostop do železniške infrastrukture in nova transportna politika pomenita vse večje obremenitve železniškega sistema, zaradi česar so železniške uprave prisiljene v razvoj in implementacijo tehnološko naprednih in stroškovno vedno bolj učinkovitih metod upravljanja infrastrukture.

Med ključne dejavnosti upravljavca infrastrukture sodi tudi vzdrževanje prog in drugih infrastrukturnih objektov in naprav. Diplomsko delo govori o pomembnosti in kompleksnosti vzdrževanja zgornjega ustroja proge in vplivu na kvaliteto, varnost in zanesljivost transportnih storitev. Prav zaradi svoje kompleksnosti je potreben sistematičen in celovit pristop k upravljanju in vzdrževanju infrastrukture. Predpostavke te raziskave so v tem smislu potrjene, saj je iz konkretnih primerov razvidno, da ima implementacija različnih orodij, kot so RAMS in LCC analiza ter uporaba naprednih programskih orodij in dolgoročna strategija upravljanja, pozitivne učinke na zanesljivost in učinkovitost železniškega transporta.

Vendar pa je pomembno poudariti, da tudi najrazvitejše države čaka še ogromno dela na tem področju. Potrebe po prevozu blaga in potnikov bodo vse večje, denarnih sredstev vse manj, uporabniki pa bodo vse bolj zahtevni glede hitrosti, točnosti in zanesljivosti transporta. Čas, namenjen vzdrževanju, je že zdaj zelo omejen in mora biti dobro usklajen z voznim redom, kar je vse prej kot enostavno. Delo se opravlja ponoči, ob koncih tedna in praznikih. Optimizacija procesov dela s pomočjo (simulacijskih) programskih orodij je eden od načinov, kako izboljšati sistem vzdrževanja. Programska orodja nudijo vedno bolj zanesljivo pomoč pri sprejemanju ključnih odločitev, zato si danes učinkovitega vzdrževanja brez njihove uporabe več ni moč zamisliti.

Monitoring stanja proge in uporaba degradacijskih modelov proge so naslednji segment vzdrževalnega procesa, ki lahko bistveno pripomore h kvaliteti vzdrževanja. Dolgoročne napovedi obnašanja proge temeljijo na matematičnih modelih in dobrem poznavanju karakteristik proge ter ključnih elementih zgornjega ustroja. Izvajanje kontrolnih meritev s pomočjo najnovejše, brezkontaktne tehnologije, kot so ultrazvok in laserska tehnika, omogoča zgodnje odkrivanje napak v tirnicah in globinski vpogled v stanje tirne grede, učinkovito pa je tudi spremljanje in odpravljanje napak geometrije tira in drugih nepravilnosti

na zgornjem ustroju s pomočjo večnamenskih vlakov, ki omogočajo hkratno izvajanje različnih vzdrževalnih aktivnosti.

Razvidno je torej, da je za učinkovito vzdrževanje potreben sistematičen pristop. V diplomskem delu je tako pokazano, da je vzdrževanje zgornjega ustroja proces, ki zahteva tako organizacijske kot tehnične sposobnosti ter implementacijo različnih tehnoloških rešitev za izboljšanje upravljanja sistema vzdrževanja.

Premik na tem področju je težaven, saj je železniški sistem tog in stroškovno zelo intenziven. Tudi glede razvoja in implementacije novih tehnologij in pristopov k reševanju problemov železniške uprave in upravljavci infrastrukture pogosto naletijo na ovire, ki jih je težko odstraniti. Slovenija bistveno zaostaja pri uvajanju novih metodologij, zaradi majhnosti pa je napredek še toliko bolj težaven. Dandanes morajo evropske železnice med seboj sodelovati, zato bi bilo dobro, da se Slovenija na področju vzdrževanja poveže s sosednjimi državami, na primer z državami bivše Jugoslavije. To bi pomenilo pocenitev in poenostavitev nekaterih postopkov vzdrževanja, kot je recimo skupen nakup merilnih ali brusilnih vlakov, ki so za Slovenijo predragi. Možnosti in rešitev je veliko, nobena med njimi pa ni enostavna in tudi ne kratkoročna. Vendar pa je premik nujen, če želi železnica v prihodnje odigrati vlogo, ki ji je v osnovi tudi namenjena.

## 7 LITERATURA

- [1] Zgonc, B. 2003, *Železniški promet*, Fakulteta za pomorstvo in promet, Portorož.
- [2] Zgonc, B. 2012, *Železniška infrastruktura*, Fakulteta za pomorstvo in promet, Portorož.
- [3] Ogorelc, A. 2004, *Mednarodni transport in logistika*, Ekonomsko-poslovna fakulteta, Maribor.
- [4] Milojković, T. 1986, *Gornji stroj železnica*, Zavod za novinsko – izdavačku i propagandnu delatnost na JŽ, Beograd.
- [5] Bogović, B. 1987, *Organizacija željezničkog prometa*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb.
- [6] Tzanakis, K. 2013, *The Railway Track and Its Long Term Behaviour*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [7] Mlinarić, T. J. 2002, *Dugoročna procjena kvalitete kolosiječne geometrije s ciljem identificiranja zahtjeva održavanja*, doktorska disertacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb.
- [8] Patra, A. P. 2009, *Maintenance Decision Support Models for Railway Infrastructure using RAMS & LCC Analyses*, doktorska disertacija, Lulea University of Technology, Lulea.
- [9] Budai-Balke, G. 2009, *Operations Research Models for Scheduling Railway Infrastructure Maintenance*, doktorska disertacija, Erasmus University, Rotterdam.
- [10] Patra, A. P. 2007, *RAMS and LCC in Rail Track Maintenance*, doktorska disertacija, Lulea University of Technology, Lulea.
- [11] Tomljanovič, S. 2012, *Analiza meritev glavnih geometrijskih parametrov na železniških progah*, diplomska naloga, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.
- [12] Bajželj, A. 2011, *Elementi železniške proge ter izračun sil in napetosti v zgornjem ustroju*, diplomska naloga, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.
- [13] Juvan, K. 2007, *Merjenje geometrije tira z mehansko in lasersko merilno drezino*, diplomska naloga, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.
- [14] Šavora, U. 2013, *Tirnica, ključni element zgornjega ustroja železniških prog*, diplomska naloga, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.
- [15] Mlinarić, T. J. 2012, *Osnove tehnologije željezničkog prometa*, skripta, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb.
- [16] Slovenske železnice, d.o.o., Letno poročilo 2012.
- [17] Slovenske železnice, d.o.o., Letno poročilo 2011.

- [18] Slovenske železnice, d.o.o., Letno poročilo 2009.
- [19] Pravilnik o zgornjem ustroju železniških proge, Uradni list RS, št. 92/2010.
- [20] Zakon o železniškem prometu, Uradni list RS, št. 11/2011.
- [21] Pravilnik o pogojih in postopku za začetek, izvajanje in dokončanje tekočega in investicijskega vzdrževanja ter vzdrževalnih del v javno korist na področju železniške infrastrukture, Uradni list RS, št. 82/2016.
- [22] Flerin, G. 2011, *Brušenje tirnic »SPENO«*, poročilo, Slovenske Železnice - Infrastruktura, d.o.o., Ljubljana.
- [23] Flerin, G., Zaletelj, M. 2006, *Sodobni trendi pri posodabljanju in vzdrževanju železniške infrastrukture z uporabo »LCC« metode, 8 slovenski kongres o cestah in prometu*. Dostopno na: <http://www.drc.si/Portals/1/Referati/T7-Zaletelj.pdf> [22.2.20114]
- [24] *Automated and Cost Effective Maintenance for Railway*, Report on the state of practice of railway infrastructure maintenance, 2011. Dostopno na: [http://www.acem-rail.eu/documents/ACEM-Rail %20D1.1 State%20of%20practice r0.pdf](http://www.acem-rail.eu/documents/ACEM-Rail%20D1.1%20State%20of%20practice%20r0.pdf) [15. 2. 2014]
- [25] Wenty, R. 2006, *High-capacity, precision and reliability in track maintenance*, Plasser & Theurer. Dostopno na: [http://www.plassertheurer.com/pdf/publications/rtr\\_0603.pdf](http://www.plassertheurer.com/pdf/publications/rtr_0603.pdf) [17. 2. 2014]
- [26] Swier, J. 2011, *The institutional set-up of ProRail and outsourcing of maintenance*, Workshop 14th EI conference, Delft University of Technology, Delft. Dostopno na: [http://www.tbm.tudelft.nl/fileadmin/Faculteit/TBM/Over de Faculteit/Afdelingen/Afdeling Infrastructure Systems and Services/Secctie Economie van Infrastructuuren/Conferences/Annual Conference/2011/presentations 27 mei/JanSwier-May 27th.v06.pdf](http://www.tbm.tudelft.nl/fileadmin/Faculteit/TBM/Over%20de%20Faculteit/Afdelingen/Afdeling%20Infrastructure%20Systems%20and%20Services/Secctie%20Economie%20van%20Infrastructuuren/Conferences/Annual%20Conference/2011/presentations%2027%20mei/JanSwier-May%2027th.v06.pdf) [15. 1. 2014]
- [27] Veit, P. 2013, *Sustainable Track*, Technische Universität Graz. Dostopno na: [https://online.tugraz.at/tug\\_online/voe\\_main2.getVollText?pDocumentNr=371375&pCurrPk=71915](https://online.tugraz.at/tug_online/voe_main2.getVollText?pDocumentNr=371375&pCurrPk=71915) [4. 1. 2014]
- [28] Lichtberger, B. W. 2007, *Railway track optimisation by efficient track maintenance machinery and strategies*, Rail Engineering International Edition, Plasser & Theurer. Dostopno na: [http://www.plassertheurer.com/pdf/publications/rei\\_0704.pdf](http://www.plassertheurer.com/pdf/publications/rei_0704.pdf) [17. 4. 2014]
- [29] Famurewa, S. M., Juntti, U., Kumar, U. 2011, *Performance Based Railway Infrastructure Maintenance: Towards Achieving Maintenance Objectives*, članek, Lulea University of Technology, Lulea. Dostopno na: <http://pure.ltu.se/portal/en/> [13. 1. 2014]
- [30] Hempe, T., Siefer, T. 2007, *Rail grinding as an integral part technically and economically efficient track maintenance*, Rail engineering International. Dostopno na:

<http://www.speno.ch/pdf/1107.pdf> [13. 1. 2014]

- [31] Putallaz, Y., Rivier, R. 2003, *Strategic maintenance and renewal policy of a railway corridor, taking into account the value of capacity*, IMPROVERAIL project. Dostopno na: [http://infoscience.epfl.ch/record/126092/files/WCRR03\\_Y\\_PUTALLAZ\\_120ko.pdf](http://infoscience.epfl.ch/record/126092/files/WCRR03_Y_PUTALLAZ_120ko.pdf) [18. 2. 2014]
- [32] Zoeteman, A. 2001, *Life cycle cost analysis for managing rail infrastructure*, Delft University of Technology, Delft. Dostopno na: [http://www.ejir.tbm.tudelft.nl/ISSUES/2001\\_04/pdf/2001\\_04\\_04.pdf](http://www.ejir.tbm.tudelft.nl/ISSUES/2001_04/pdf/2001_04_04.pdf) [18. 2. 2014]
- [33] Schobel, A., Šemrov, D., Pavšek, A. 2010, *Upravičenost remonta na železniških odsekih z omejitvami hitrosti*, 10. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož. Dostopno na: <http://www.drc.si/portals/6/prispevki/ii/349-354.pdf> [27.5.2014]
- [34] [http://www.izp.de/cms/?page\\_id=711](http://www.izp.de/cms/?page_id=711) [18. 3. 2014]
- [35] <http://www.europeanrailwayreview.com/> [19. 3. 2014]
- [36] <http://www.slo-zeleznice.si/sl/podjetje/infrastruktura> [4. 1. 2014]
- [37] <http://www.automain.eu/spip.php?article1> [18. 3. 2014]



## 8 PRILOGE

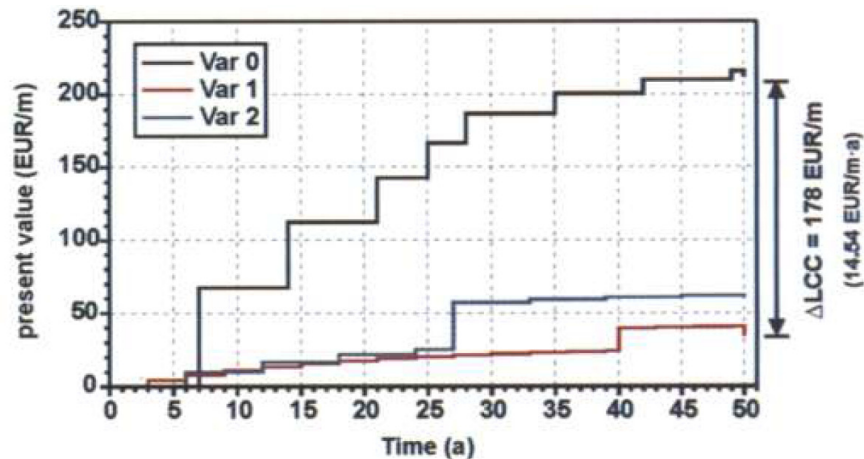
### 8.1 CIKLIČNO BRUŠENJE TIRNIC

Upravljalci infrastrukture načrtujejo ciklično brušenje tirnic glede na količino prometa, na primer vsakih 60 ali 120 MGT, s ciljem preprečitve nastajanja vibracij in kontaktne utrujenosti materiala (rolling contact fatigue), ki povzroča nastajanje površinskih zarez (head check). Brušenje je priporočljivo tudi za ohranjanje metalurške strukture tirnic. Za ocenjevanje pozitivnih učinkov na stroške vzdrževanja s cikličnim brušenjem so na nemških železnicah izvedli raziskavo na primeru krivinske tirnice z radijem 1.500 m, predvideni obrabi 1,0 mm/100MGT, predvideno letno prometno obremenitvijo 20 MGT in še dovoljeno globino poškodb 14 mm, kar ustreza limitu za tirnico tipa UIC 60 za hitrosti do 160 km/h. Z LCC analizo za obdobje 50 let so primerjali stroške brušenja s stroški obnove proge. Izdelali so tri variante, in sicer:

- varianta 0; brez cikličnega brušenja,
- varianta 1; ciklično brušenje na vsakih 60 MGT, kar ustreza časovnemu obdobju treh let. Stroški brušenja so 5,05 €/m,
- varianta 2; ciklično brušenje na vsakih 120 MGT, kar ustreza časovnemu obdobju šestih let. Stroški brušenja so 13,82 €/m.

Stroški brušenja so odvisni od debeline odstranjenega materiala s tirnice, v zgornje cene pa so že vključeni stroški načrtovanja in nadzorovanja gradbišča, stroški mehanizacije in stroški dela. Cena obnove 1 km dolgega odseka znaša 149,26 €/m.

Rezultati LCC izračuna kažejo na ekonomsko učinkovitost krajših časovnih intervalov brušenja. Če brušenje vsakih šest let podaljša življenjsko dobo tirnice na 27 let in zmanjša LCC za 12,25 €/(m·a), če pa se tirnice brusijo v triletnih intervalih, se življenjska doba podaljša na 40 let, LCC pa zreducira še za dodatnih 2,29 €/(m·a). 40-letna življenjska doba krivinskih tirnic sovпада z življenjsko dobo betonskih pragov, kar pomeni zamenjavo celotne proge po 40 letih obratovanja, kar dodatno zmanjša stroške oviranja prometa in zapore proge zaradi obnove. Iz spodnje slike je razvidno, da je med Varianto 0 (brez brušenja) in Varianto 2 (ciklično brušenje na tri leta) razlika v LCC kar 178 €/m ali 14,54 €/(m·a). Vidimo tudi, da se stroški med Variantama 1 in 2 v prvih nekaj letih ne razlikujejo bistveno, da pa se razlika pozna šele dolgoročno.



**Slika 8.1: stroški variant brušenja**

Vir: <http://www.speno.ch/pdf/1107.pdf>

## 8.2 MODEL ZA OPTIMIZACIJO PLANIRANJA VZDRŽEVANJA V ŠVICI

V Švici je bil v okviru evropskega projekta IMPROVERAIL razvit model optimizacije upravljanja vzdrževanja, v katerega so vključeni kapaciteta in stroški zasedenosti tirov zaradi vzdrževanja. Kot podlaga temu modelu služijo že razviti modeli za prognoziranje rasti prometnih obremenitev in dolgoročnih potreb po vlakovnih poteh.

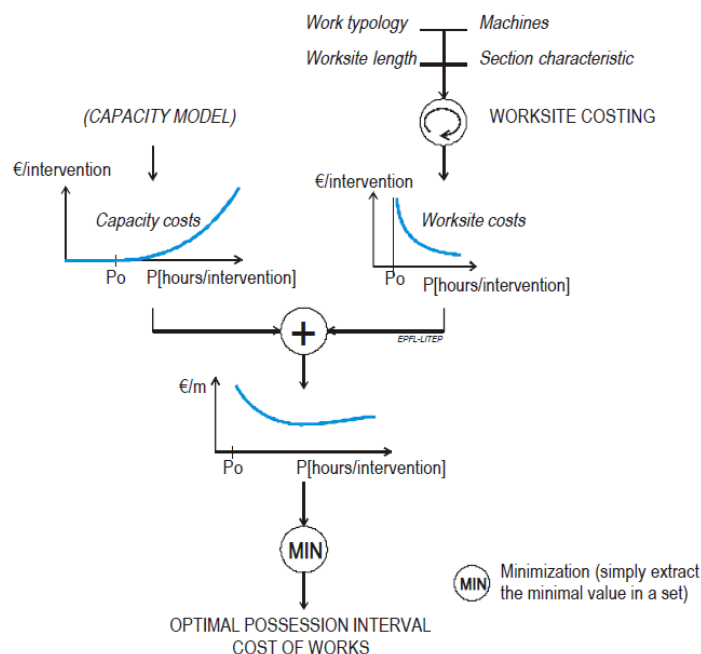
Izdelava modela je sestavljena iz dveh korakov, zaradi širine obravnavane teme pa je poudarek na treh ključnih elementih zgornjega ustroja, so to tirnica, pragovi in tirna greda, ki so tudi glavni vir stroškov vzdrževanja in večine potreb po zasedbi tirov, kar negativno vpliva na dodeljevanje prostih vozni poti (slotov) železniškim prevoznikom. Upravljavcu infrastrukture ta model služi kot orodje za sprejemanje odločitev v zvezi z upravljanjem infrastrukture in implementacijo dolgoročne strategije vzdrževanja v operativno izvršitev vzdrževalnih del. Različne železniške uprave so za proces vzdrževanja razvile lastne tehnologije in procese dela v kombinaciji z različnimi tipi tehničnih sredstev in mehanizacije. Razvojna koraka modela sta naslednja:

- **Izračun zasedenosti tirov;** Prvi korak je izdelava strategije za določanje optimalnih intervalov zasedenosti tira pri obnovah in vzdrževanju, ki se oblikujejo na podlagi stroškov zasedenosti, značilnosti infrastrukturnega omrežja in modelov za dodelitev kapacitete.
- Drugi korak obsega **vrednotenje dolgoročnega načrta** vzdrževanja s simulacijo različnih vzdrževalnih aktivnosti v odvisnosti od različnih prometnih obremenitev.

### Izračun optimalne zasedenosti tirov

Izračun optimalne zasedenosti tira v smislu minimiziranja stroškov predstavlja osnovo celotnega modela. Ti stroški so sestavljeni iz stroškov dela, zamud in odpovedi vlakov, eksploatacije tehničnih sredstev in stroškov materiala. Upoštevati moramo, da gre za izdelavo nekoliko poenostavljene dolgoročne strategije vzdrževanja, ki v takšni obliki ni primerna za izvedbo na operativnem nivoju vzdrževanja, povsem pa zadostuje za potrebe strateškega načrtovanja.

Izračun zasedenosti v prvi fazi upošteva predvidene potrebe po kapaciteti za določeno železniško povezavo, tj. število vlakov, povprečne hitrosti, dolžine odsekov, heterogenost prometnega toka, zasičenost in druge potrebne parametre. V drugi fazi poteka ponavljajoče dodeljevanje intervalov zasedbe tira za določeno povezavo. Končni rezultat tega procesa so skupni stroški in izračun optimalnega intervala zasedenosti tira, upravljavcu infrastrukture pa posredujejo informacije o t. i. vrednosti kapacitete (value of capacity).



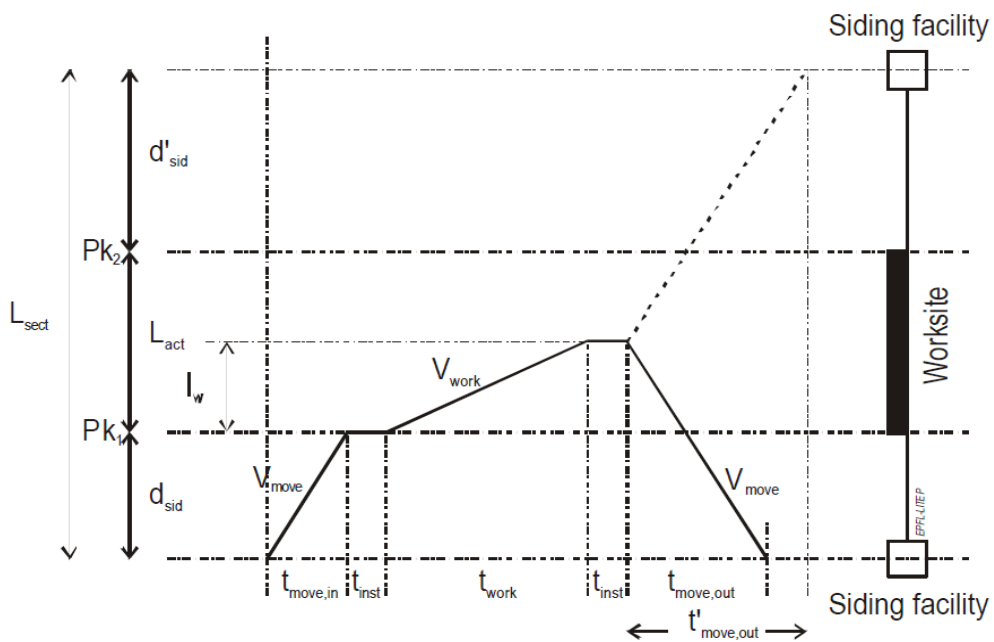
**Slika 8.2: koncept modela za izračun optimalnega intervala zasedenosti**

Vir: Puttalaz, Y., Rivier, R. Strategic maintenance and renewal policy of a railway corridor, taking into account the value of capacity, 2003

Na višino skupnih stroškov zasedenosti tira pri vzdrževanju imajo velik vpliv naslednje tehnične postavke:

- **Vrsta in obseg vzdrževalnih del.**
- **Uporabljena tehnologija, razpoložljiva tehnična sredstva in organiziranost gradbišča;** Ocena teh stroškov je lahko problematična, saj je težko oceniti, kako bo delo organizirano v prihodnje. Nepredvidljivi so tudi stroški delovne sile.
- **Lokacija gradbišča;** Strošek predstavlja dostavo strojev in tehnične opreme na lokacijo izvedbe vzdrževalnih del. Ključni sta oddaljenost gradbišča in hitrost tehničnih sredstev.

Organiziranost gradbišča je pomemben faktor pri vzdrževanju železniške proge in je odvisna od uporabljenih tehnologij in tehničnih sredstev in načina dela, ki pa se lahko od države do države bistveno razlikuje. V tem modelu so razviti trije generični tipi izvedbe gradbišča, predstavljen pa bo samo primer gradbišča z enim vzdrževalnim posegom in uporabo enega tehničnega sredstva.



**Slika 8.3: generično delovišče: en stroj, en obhod**

Vir: Puttalaz, Y., Rivier, R. Strategic maintenance and renewal policy of a railway corridor, taking into account the value of capacity, 2003

Pri izvedbi vzdrževalnih del in pri kalkulaciji skupnih stroškov pa je potrebno upoštevati tudi naslednje tehnične parametre:

Stroški:

$C_{tot}$  [€] : skupni stroški izvedbe vzdrževanja ali obnove, vključno s stroški zasedbe tira,

$C_{vo}$  [€] : stroški vzdrževalnih ali obnovitvenih del,

$C_{delo}$  [€/poseg] : stroški delovnega posega,

$C_{int}$  [€/poseg] : stroški intervala zasedbe tira,

$C_{lin}$  [€/m] : linearni stroški enega vzdrževalnega posega.

Čas:

$T_{int}$  [h] : interval zasedenosti tira med posegom,

$T_{delo}$  [h] : dejanski razpoložljiv čas dela,

$T_{premik}$  [h] : čas premika tehničnih sredstev in mehanizacije do gradbišča,

$T_p$  [h] : čas priprave tehničnih sredstev in mehanizacije.

Dolžine:

$L_{vo}$  [km] : dolžina proge, kjer so potrebna vzdrževalna ali obnovitvena dela,

$L_{delo}$  [km] : dolžina proge, ki se lahko obdela znotraj enega intervala.

Drugo:

$n_{int}$  : število delovnih posegov oziroma število potrebnih intervalov zasedbe tira za izvedbo vseh vzdrževalnih ali obnovitvenih del,

$V_{delo}$  [km/h] : delovna hitrost tehnične naprave,

$V_{premik}$  [km/h] : hitrost tehnične naprave pri premiku/prihodu na gradbišče,

$d_{lok}$  [km] : razdalja med lokacijo tehnične naprave in gradbiščem,

$L_{odsek}$  [km] : dolžina odseka med dvema lokacijama tehnične naprave.

Sledi še matematični model za izračun optimalnega intervala zasedenosti tira in stroškov vzdrževanja za zgornji primer gradbišča z enim vzdrževalnim posegom in uporabo enega tehničnega sredstva.

Časovni interval zasedenosti je vsota časov premika, potrebnih tehničnih sredstev na gradbišče ter po končanih vzdrževalnih delih z gradbišča, njihova priprava za delo in dejanskega časa vzdrževalnih del. Če te čase izrazimo s hitrostmi in potrebnimi razdaljami, dobimo formulo za skupni čas enega intervala zasedenosti tira:

$$T_{int} = 2 \times T_p + 2 \times \frac{d_{lok}}{v_{premik}} + L_{delo} \times \left( \frac{1}{v_{delo}} + \frac{1}{v_{premik}} \right). \quad (8.1)$$

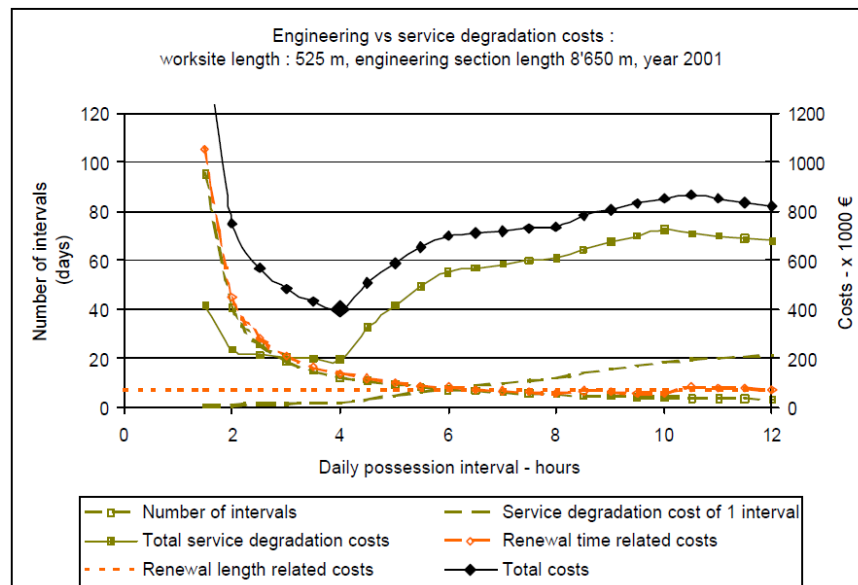
Preden naredimo izračun stroškov, moramo še ugotoviti število potrebnih intervalov zasedenosti tira:

$$n_{int} = L_{vo} \times \left( \frac{\frac{1}{v_{premik}} + \frac{1}{v_{delo}}}{T_{int} - 2 \times T_p - \frac{2 \times d_{lok}}{v_{premik}}} \right). \quad (8.3)$$

Ostane še kalkulacija stroškov. Po daljšem izračunu in upoštevanju časa intervala zasedenosti in drugih parametrov se skupni stroški izračunajo po naslednji formuli:

$$C_{tot} = L_{vo} \times \left[ (C_{delo} + C_{int}) \times \left( \frac{\frac{1}{v_{premik}} + \frac{1}{v_{delo}}}{T_{int} - 2 \times T_p - \frac{2 \times d_{lok}}{v_{premik}}} \right) + c_{lin} \right]. \quad (8.4)$$

Rezultat uporabe modela je prikazan na primeru izračuna stroškov presajanja tirne grede na odseku dolžine 525 m, glede na različne čase intervalov zasedenosti tira. Ugotovljeno je, da je optimalni čas intervala zasedenosti tira 4 ure skozi 12-dnevno obdobje. Vendar pa je ta model omejen, saj predvideva le omejitve prometa, ki so krajši od 12 ur in vsak vzdrževalni poseg, ki presega to omejitev, se po tem modelu mora razdeliti na krajše večdnevne intervale, ali pa se takšnim okoliščinam prilagodi sam model s podaljševanjem intervalov.



**Slika 8.4: stroški glede na različne intervale zasedenosti**

Vir: Puttalaz, Y., Rivier, R. Strategic maintenance and renewal policy of a railway corridor, taking into account the value of capacity, 2003

### Simulacija dolgoročne strategije vzdrževanja in obnove proge

Drugi korak razvoja modela je simulacija vzdrževanja in obnove na podlagi različnih prometnih situacij. Za izdelavo optimalne strategije je potrebno proces simulacije večkrat ponavljati in dopolnjevati z realnimi podatki, dokler ne dosežemo nivoja minimalnih stroškov ob hkratnem doseganju nivoja kvalitete proge v skladu z zahtevami RAMS. Pomembno je, da model izračunava stroške in načrtuje vzdrževalne posege simultano in ne ločeno za vsakega od treh zajetih elementov zgornjega ustroja (tirnice, pragovi in tirna greda) posebej. Eden od ciljev modela je skozi simulacijo najti kompromis med stroški obnov in vzdrževanja. Upravljavcu infrastrukture so v pomoč pri iskanju tega kompromisa kvalitetni vhodni podatki o prometnih obremenitvah, starosti posameznih elementov proge, definirani pa morajo biti tolerančni limiti glede tirne geometrije. Te informacije služijo optimizaciji upravljanja vzdrževanja skozi simulacijski proces, ki je sestavljen iz devetih korakov:

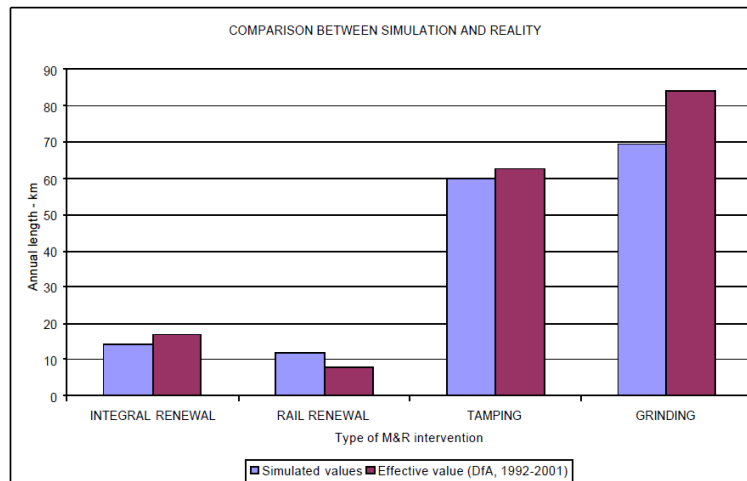
- Prvi korak je **določanje praga maksimalne starosti posameznih komponent proge**. Starost komponent je izražena v milijonih bruto ton fiktivne prometne obremenitve in se konstantno primerja z določenim pragom starosti. Če je prag dosežen, program aktivira obnovo proge.
- Drugi korak je **časovna koherentnost**. Program preverja, če so tudi druge komponente dosegle časovni limit, ali so mu blizu. Namen drugega koraka je

časovno usklajevanje obnove različnih komponent proge, če je to tehnično in ekonomsko upravičeno.

- **Prostorska koherentnost** je tretji simulacijski korak, v katerem se izračunava dolžina gradbišča in je iz ekonomskega vidika zelo pomemben, saj so stroški gradbišča v veliki meri odvisni od njegove dolžine. Proces simulacije ponavlja prva dva koraka, dokler ne pride do konca obravnavanega sektorja proge in nato znotraj sektorja sešteje vse dolžine odsekov, ki jih je potrebno obnoviti. Glede na postavljen limit maksimalne dolžine gradbišča se lahko program le-tega po potrebi razbije na več manjših.
- V četrtem koraku poteka **izračun stroškov** glede na ustvarjena gradbišča.
- Peti korak preverja, ali so kakšne denarne omejitve pri izvedbi obnovitvenih del. Če takšne omejitve so in jih predviden obseg obnov presega, je obnova odpovedana.
- V primeru, da omejitev glede obnove ni, se sproži program obnove, določita se količina in vrsta potrebnega materiala.
- Kadar zaradi omejitev ne pride do obnove proge, se začne izračun potrebnih parametrov za vzdrževalni poseg. Določita se dolžina vsakega homogenega odseka in skupna dolžina gradbišča po enakem principu kot pri obnovi.
- V osmem koraku poteka kalkulacija stroškov vzdrževalnih del.
- Po obdelavi celotnega sektorja se izračunane vrednosti shranijo v bazo podatkov, kjer so kasneje uporabljene pri izdelavi strategije.

Izkazalo se je, da je model sposoben kar natančno simulirati realno stanje, kljub temu da je šele v zgodnji fazi razvoja in ga je potrebno še precej adaptirati in izboljšati z dodatnimi parametri. Spodnji graf kaže primerjavo podatkov obnov in vzdrževanja, pridobljenih s pomočjo simulacije modela in resničnimi podatki švicarskih železnic.





**Slika 8.5: primerjava med simulacijo in resničnimi vrednostmi za leto 2001**

Vir: Puttalaz, Y., Rivier, R. Startegic maintenance and renewal policy of a railway corridor, taking into account the value of capacity, 2003

### 8.3 OUTSOURCING VZDRŽEVANJA INFRASTRUKTURE NA NIZOZEMSKEM

V Evropi je zgleden primer outsourcinga Nizozemska, ki je uspešno, a ne brez težav, izpeljala prenos vseh vzdrževalnih del na svojem železniškem omrežju na zunanje izvajalce. Upravljavca infrastrukture in premoženja železniškega omrežja je podjetje ProRail, ki je v 100 % državni lasti in zaposluje približno 3.800 ljudi.

Začetki outsourcinga v tej državi segajo v devetdeseta leta, najprej z outsourcingom inženiringa in kasneje z administrativno ločitvijo infrastrukture in transporta. Leta 1998 so vsa manjša vzdrževalna dela (process maintenance) bila predana zunanjemu izvajalcu, vendar pa to ni pomenilo, da je proces s tem dokončno zaključen, saj so izkušnje pokazale, da je outsourcing proces, ki zahteva stalno medsebojno komunikacijo različnih subjektov med upravljavcem infrastrukture, zunanjim izvajalcem vzdrževanja in prevoznikom.

V začetku je 39 različnih pogodbenikov izvajalo storitve, ki jih je ProRail izposloval na pogajanjih z vsakim pogodbenikom posebej. Od leta 2007 naprej pa se ponudnik izbira na javnem razpisu na podlagi razpisnih pogojev. Danes ProRail vsa vzdrževalna dela, tako manjša kot zahtevnejša, pa tudi večino obnovitvenih del zgornjega in spodnjega ustroja ter tudi aktivnosti s področja načrtovanja infrastrukture, predaja zunanjim izvajalcem. Primer Velike Britanije je nizozemskemu upravljavcu infrastrukture dal vedeti, da je ključno za

uspeh nadzor nad opravljenim delom. ProRail je tudi to predal zunanjemu izvajalcu, in sicer podjetju Eurailscout, ki redno izvaja meritve kvalitete proge, pridobljene podatke pa ProRail deli z izvajalcem vzdrževalnih del. Na Nizozemskem so prišli v celotnem projektu outsourcinga do naslednjih spoznanj:

- Outsourcing za večje projekte, kot je obnova proge, ni tvegan, saj je rezultat viden in lahko merljiv, ima jasen začetek in konec. Na tržišču je več konkurenčnih podjetij z dovolj velikim znanjem in izkušnjami za izvedbo takšnih projektov.
- Outsourcing vzdrževanja prinaša za upravljavca določena tveganja in težave, saj rezultat vzdrževanja ni tako otipljiv, težje ga je izmeriti in ovrednotiti. V bistvu gre za stalen proces, ki zahteva tudi stalen nadzor in zaupanje med upravljavcem in izvajalcem. Dodatno težavo predstavlja dejstvo, da v Evropi primanjkuje izkušenih podjetij s tega področja.
- Tudi ko vzdrževanje prevzame zunanje podjetje, je potrebno ohraniti kontrolo nad infrastrukturo. Upravljavec mora znati oceniti stroške vzdrževanja (LCC), napraviti analizo tveganj (FMECA) in ažurirati bazo podatkov z vsemi potrebnimi informacijami. Obvladovanje pravnih razmerij s pogodbeniki je ključno.

V petnajstih letih od svojega začetka je outsourcing prinesel naslednje rezultate:

- 20 % nižji stroški vzdrževanja,
- 99 % dostopnost,
- 20 % več potniških vlakov,
- 50 % več tovornih vlakov,
- izboljšanje točnosti iz 84 na 88 %,
- izboljšano stanje postajnih poslopij in drugih infrastrukturnih objektov.

## 8.4 SEZNAM SLIK

Slika 2.1: prečni profil enotirne proge v premi .....	5
Slika 2.2: tirnica 60 E1 .....	7
Slika 2.3: prečni profili progovnih pragov .....	12
Slika 2.4: dvodelni betonski prag .....	14
Slika 2.5: sestava tirne grede.....	16
Slika 2.6: primerjava letnih stroškov na km proge brez čiščenja gramozne grede-enkratno čiščenje .....	18
Slika 3.1: degradacija proge .....	26
Slika 3.2: izpis geometrijskih parametrov tira .....	30
Slika 3.3: merilna drezina FMK 004 .....	31
Slika 3.4: digitalni izpis z merilnega vlaka UFM 120.....	32
Slika 3.5: merilni vlak UFM 120 .....	32
Slika 3.6: "V" model za RAMS LCC .....	40
Slika 4.1: povezava kapaciteta, kvaliteta, življenjska doba.....	55
Slika 5.1: ustroj Slovenskih železnic .....	61
Slika 5.2: ustroj SŽ - Infrastruktura .....	65
Slika 8.1: stroški variant brušenja .....	82
Slika 8.2: koncept modela za izračun optimalnega intervala zasedenosti .....	83
Slika 8.3: generično delovišče: en stroj, en obhod .....	84
Slika 8.4: stroški glede na različne intervale zasedenosti.....	87
Slika 8.5: primerjava med simulacijo in resničnimi vrednostmi za leto 2001 .....	89

## 8.5 SEZNAM TABEL

Tabela 2-1: evropske direktive .....	21
Tabela 2-3: evropski projekti.....	22
Tabela 3-1: kategorije napak na infrastrukturi .....	42
Tabela 3-2: RAMS modeli in orodja .....	43
Tabela 4-1: dokumentni voznega reda.....	52
Tabela 5-1: infrastrukturni kazalniki .....	63
Tabela 5-2: vzdrževalne aktivnosti.....	69
Tabela 5-3: sredstva za vzdrževanje .....	71
Tabela 5-4: možnost izboljšav - strateški nivo.....	74
Tabela 5-5: možnost izboljšav - taktični nivo.....	75

## 8.6 NASLOV ŠTUDENTA

Bojan Lorbek

Kardeljeva cesta 77

2000 Maribor

e-mail: [bojan.lorbek@gmail.com](mailto:bojan.lorbek@gmail.com)

## 8.7 KRATEK ŽIVLJENJEPIS

Rojen: 28. 8. 1985 na Ptuju

Šolanje: 1992–2000 OŠ Tabor I, Maribor

2000–2004 Srednja elektro-računalniška šola Maribor

2006–2014 Fakulteta za gradbeništvo, Maribor