

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Geodezija,
smer Geodezija

Kandidat:

Gorazd Dolšek

Izdelava 3R-upodobitve predvidenega železniškega koridorja

Diplomska naloga št.: 805

Mentor:
doc. dr. Dušan Petrovič

Ljubljana, 25. 9. 2009

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **GORAZD DOLŠEK** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom
**»IZDELAVA 3R-UPODOBITVE PREDVIDENEGA ŽELEZNIŠKEGA
KORIDORJA«.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatorke FGG.

Ljubljana, 07.09.2009

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 528.71.9:625.1(043.2)
Avtor: Gorazd Dolšek
Mentor: doc. dr. Dušan Petrovič
Naslov: Izdelava 3R-upodobitve predvidenega železniškega koridorja
Obseg in oprema: 95 str., 49 sl., 2 en.
Ključne besede: 3R-upodobitev, 3R-model, železnica, AutoCAD Civil 3D, DMV

Izvleček

Diplomsko delo obravnava izdelavo 3R-modela predvidenega železniškega koridorja in njegove upodobitve. Osnovne podatke, ki jih uporabimo pri izdelavi modela še nezgrajenega objekta, je treba pridobiti od projektanta. V primeru železniškega koridorja so ti podatki situativni potek trase ter vzdolžni in karakteristični profil. Za prikaz izdelanega objekta v prostoru uporabimo podatke državne geodetske službe, pri katerih se moramo glede na kakovost, ažurnost in ceno odločiti za najbolj optimalne. Za potrebe združitve različnih vrst podatkov na začetku izdelave modela določimo matematično osnovo.

Upodobitev je izvedena na praktičnem primeru ene izmed mogočih železniških povezav med mestoma Beltinci in Lendava. Poleg železniškega koridorja so prikazani vsi ključni objekti železniške proge, ki so upodobljeni in locirani na podlagi veljavnih pravilnikov RS. Za izdelavo modela in upodobitve sem uporabil program AutoCAD Civil 3D, ki se je v množici sodobnih računalniških programov izkazal za najbolj vsestranskega.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALIC INFORMATION

UDC: 528.71.9:625.1(043.2)
Author: Gorazd Dolšek
Supervisor: Assist. Prof. Dh. Dušan Petrovič
Title: 3D imaging of the envisaged railway corridor
Notes: 95 p., 49 fig., 2 eq.
Key words: 3D imaging, 3D model, railway, AutoCAD Civil 3D, DMV

Abstract

This diploma dissertation deals with the elaboration of a 3D model of the envisaged railway corridor and its imaging. The basic data used in formulating the model of this as yet unbuilt structure must be obtained from the design engineers. In the case of a railway corridor, these data provide the locational course of the tracks and the longitudinal and characteristic profile. To show the built structure in its location we use data from the national geodetic service, where a decision must be made on the most optimal data in terms of quality, price and being up to date. For the requirements of merging various types of data at the start of modelling, a mathematical basis is determined.

The imaging is performed for a practical example of one of the possible railway links between the towns of Beltinci and Lendava. In addition to the railway corridor, we show all key structures for the railway line, depicted and located on the basis of the valid rules in Slovenia. For modelling and imaging I used the AutoCad Civil 3D programme, which has proved to be the most comprehensive one out of the mass of modern computer programmes.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorju doc. dr. Dušanu Petroviču.

Za uporabo programske opreme in strokovne pomoči glede vprašanj, povezanih z železnico, se zahvaljujem ekipi in podjetju Tiring, d. o. o.

Zahvaljujem se tudi svoji družini, ki me je podpirala vsa leta študija.

1 UVOD	13
2 ŽELEZNICA	15
2.1 Transport	15
2.2 Zgodovina železnice	15
2.3 Zgradba železniških prog	16
2.4 Razvrstitev železniških prog	17
3 ELEMENTI TRASE DOLŽINSKIH OBJEKTOV	20
3.1 Elementi trase železniške proge v tlorisu (situacijskem načrtu)	20
3.1.1 Prema	21
3.1.2 Krožni lok	21
3.1.3 Prehodnica	21
3.2 Vzдолžni profil	24
3.3 Prečni profil	26
4 IZDELAVA KARTOGRAFSKEGA MODELA	28
4.1 Izbira vsebine in vira kartografskega modela	29
4.2 Območje kartografskega modela	32
4.3 Definicija 3R-ploskve	33
4.4 Nanos ploskev oz. tematskih plasti na model	37
4.5 Trirazsežna predstavitev prostorskih objektov	38
4.6 Določitev atmosfere, neba, osvetlitve in senčenja	42
4.7 Animirani prikazi prostorskih podatkov	43
5 KARTOGRAFSKI MODEL PREDVIDENEGA ŽELEZNIŠKEGA KORIDORJA.. 46	46
5.1 Opredelitev namena kartografskega modela	46
5.2 Določitev območja	47
5.3 Opis poteka trase	49
6 MATEMATIČNA OSNOVA	51
6.1 Višinski državni koordinatni sistem	52
6.2 Horizontalni državni koordinatni sistem	53

7. PODATKI DRŽAVNE GEODETSKE SLUŽBE	56
7.1 Kataster stavb	56
7.2 Model zemeljskega površja	57
7.2.1 Razvoj DMR-ja v Sloveniji	58
7.2.2 DMV 5	59
7.3 Ortofoto	59
7.3.1 Izdelava ortofota	59
7.3.2 Zgodovina ortofota v Sloveniji	61
7.3.3 Zajemanje podatkov iz ortofota	62
8 OBDELAVA PODATKOV	63
8.1 DMV5	64
8.2 DOF050	64
8.3 Modeliranje železniškega koridorja	66
8.3.1 Pragovi	67
8.3.2 Tirnici	68
8.3.3 Vozno omrežje	69
8.3.4 Označbe in signali	70
8.4 Modeliranje nivojskih prehodov	72
8.5 Modeliranje postajališča	75
8.6 Modeliranje nadvoza	78
9.7 Izdelava 3R-modelov stavb	78
8.8 Izdelava cest	80
8.9 Izdelava vodotokov in mostov	81
8.10 Modeliranje gozda	82
8.11 Izdelava modela avtoceste	84
8.12 Dodatna vsebina	85
8.13 Nebo in osvetlitev	86
8.14 Izdelava animacije	86
9 ZAKLJUČEK	88
VIRI	91

KAZALO SLIK

Slika 1: Prečni profil železniške proge – prikaz zgornjega in spodnjega ustroja.....	17
Slika 2: Tirna širina.....	17
Slika 3: Os železnice v tlorisnem pogledu	23
Slika 4: Izsek iz vzdolžnega profila	26
Slika 5: Normalni svetli profil.....	27
Slika 6: Star prikaz zemeljskega površja.....	33
Slika 7: Prikaz reliefa na karti s plastnicami	34
Slika 8: Teren, prikazan z hipsometrično metodo	35
Slika 9: Vertikalni prerez trase kolesarske dirke.....	35
Slika 10: Dolžinski objekt, prikazan s prečnimi profili.....	36
Slika 11: Računalniško modulirane ploskve	37
Slika 13: Akumulativno modeliranje	39
Slika 14: Proizvodno modeliranje	40
Slika 15: Prikaz stavb v različnih nivojih razpoznavnosti	41
Slika 16: Različna izbira prikaza neba	43
Slika 17: Fotomontaža nove železniške postaje Ljubljana.....	47
Slika 18: Razdeljitev Slovenije na trigonometrične sekcije	47
Slika 19: Razdelitev sekcije na list merila 1 : 5000	48
Slika 20: Obravnavano območje s traso železniške proge	48
Slika 21: Prikaz položaja točk gravimetrične mreže	53
Slika 22: Mreža trikotnikov velikosti 25 x 25 m na območju mesta Lendava.....	64
Slika 23: DOF K2710.....	65
Slika 24: Perspektivni prikaz DMR-ja z definiranim materialom rastrske slike.....	65
Slika 25: Karakteristična profila.....	66
Slika 26: Koridor	67
Slika 27: Generalizacija tirnice	68
Slika 28: 3R-model vozne mreže	70
Slika 29: 3R-modeli signalov	71
Slika 30: Prikaz izdelanega 3R-železniškega koridoja z elementi vozne mreže, tirnicami in pragovi.....	72

Slika 31: Nivojski prehod	72
Slika 32: Svetlobni signal	73
Slika 33: Zapornica	74
Slika 34: Zaščitni višinski profil	75
Slika 35: Elementi postajališča	76
Slika 36: Postajališče	77
Slika 37: Karakteristični profil postajališča	77
Slika 38: Model nadvoza	78
Slika 39: Prikaz stavb mesta Lendava	80
Slika 40: Model reliefa, brez območja cest	81
Slika 41: Most	81
Slika 42: Slike drevesa	82
Slika 43: Drevo iz rastrske slike	82
Slika 44: Drevesi iz geometrijskih elementov	83
Slika 45: Realistično 3R-drevo	83
Slika 46: Blok štirih modelov dreves	84
Slika 47: Model avtoceste	85
Slika 48: 3R-modeli vozil	85
Slika 49: Nebo nad mestom Lendava	86

PRILOGE

Priloga A: Izseki iz animacije

Priloga B: Pregledna situacija Beltinci–Lendava M 1 : 25 000

PREGLED KRATIC IN OKRAJŠAV

2R: dvorazsežno

3R: trirazsežno

avi: podatkovni format za zapis avdio-video datotek (Audio – Video Interleaved)

ASCII: Ameriški standardni nabor znakov za izmenjavo informacij (American Standard Code for Information Interchange)

CAD: računalniško podprto oblikovanje (Computer Aided Design)

CAS: ciklično aerosnemanje Slovenije

DOF: digitalni ortofoto

DMR: digitalni model reliefa

DMV: digitalni model višin

fps: okvirjev na sekundo (frame per second)

GRT: gornji rob tirnice

GIS: geografski informacijski sistem (Geographic Information System)

GURS: Geodetska uprava Republike Slovenije

IUGG: mednarodna zveza za geodezijo in geofiziko (International Union of Geodesy and Geophysics).

LOD: stopnja podrobnosti (Level Of Detail)

NPr: nivojski prehod

ETRS: evropski prostorski referenčni sistem (European Spatial Reference System)

TIN: mreža nepravilnih trikotnikov (Triangular Irregular Network)

TM: transverzalna Mercatorjeva projekcija

TTN: temeljni topografski načrt

~ PRAZNA STRAN ~

1 UVOD

Človek že tisočletja upodablja Zemljo oziroma dele zemeljskega površja. Od preprostih slik, narisanih na tla, vklesanih na stene jam ali vžganih na glinene plošče, prek matematično pravilno definiranih kart, oblikovanih s posebnimi kartografskimi znaki, s katerimi se ločujejo prikazi posameznih pojavov in objektov, so se v današnjem času pojavili računalniško izdelani trirazsežni (3R) prikazi. Z razvojem računalniške tehnologije so se razvijale tudi 3R-upodobitve. Karte so lahko animirane, dodajajo se jim zvočni in drugi učinki, do njih lahko dostopamo prek interneta, trirazsežnim upodobitvam pa se lahko doda še četrta razsežnost – čas. Čeprav je kartografija večji del svojega razvoja težila k poenostavitvi prikaza realnosti, k abstrakciji, se zdaj znova usmerja k realističnemu prikazu.

Trirazsežne karte lahko razumemo kot upodobitev prostora, pri kateri lahko uporabnik poleg podatka o horizontalnem položaju pridobi tudi podatek o vertikalni legi. Podatke o tretji razsežnosti lahko uporabnik zazna na podlagi fizioloških ali psiholoških dejavnikov. Fiziološki dejavniki so prirojeni in so posledica zgradbe oči pri posameznem človeku. Na njih vpliva odnos med opazovalcem in opazovanim predmetom. Psihološki dejavniki so priučeni in pridobljeni na podlagi izkušenj. Z njihovo pomočjo uporabnik z opazovanjem 2R-slike zazna tri razsežnosti (Petrovič, 2007).

Računalniško prikazovanje ploskev in različne možnosti trirazsežnih prikazov se hitro razvijajo in uporabljajo. Privlačnost tovrstnega pristopa je očitna. Vizualne 3R-informacije ljudje hitreje prevzamejo oziroma jih človeški možgani bolje obdelujejo in učinkoviteje interpretirajo kot besedilo, numerične vrednosti, klasične karte ali diagrame (Šumrada, 2005).

Z vidika končnega uporabnika, opazovalca karte načrtovanega stanja v prostoru, je prav 3R-upodobitev še posebej zanimiva, saj omogoča kartografsko manj izkušenemu uporabniku preprostejše in bolj razumljivo zaznavanje stanja zemljišča, ki je bližje njegovi vsakodnevni vidni zaznavi (Petrovič, 2007).

Diplomska naloga opisuje izdelovanje in upodobitev 3R-kartografskega modela predvidene železniške proge med mestoma Beltinci in Lendava. Pri izdelavi 3R-kartografskega modela

sem uporabil podatke Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS) in podatke projektanta. Za opis prostora v treh razsežnostih so potrebne velike količine podatkov, zato je treba skrbno izbrati vsebino modela in vire, ki jih uporabimo pri izdelavi izdelka.

Pri izdelavi 3R-upodobitve sem še posebno pozornost posvetil modeliranju železniške proge, z vsemi ključnimi objekti, ki sem jih upodobil z visoko stopnjo podrobnosti. Druge objekte (stavbe, ceste, potoki, gozd), ki so namenjeni predvsem orientaciji v prostoru, pa sem upodobil z nižjo stopnjo realnosti.

V diplomski nalogi bom predstavil podatkovne zbirke, ki sem jih uporabil pri izdelavi modela (DMV, kataster stavb, ortofoto). Opisal bom železnico in njen razvoj, železniško progo, njeno sestavo, razvrstitev in podatke, ki nastanejo v fazi projektiranja nove ali rekonstrukcije obstoječe železniške povezave. Opisal bom postopke izdelave 3R-kartografskega modela, obdelavo podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije, obdelavo podatkov projektanta, izdelavo železniških 3R-objektov visoke stopnje podrobnosti in izdelavo 3R-upodobitve kartografskega modela.

Za izdelavo diplomske naloge z izbrano temo sem se odločil, ker je prodor tehnologije za izdelavo in prikaz 3R-modelov in objektov vse močnejši, prikaz okolja v treh razsežnostih pa privlačen in tržno vedno bolj zanimiv.

2 ŽELEZNICA

2.1 Transport

Za zagotovitev transporta morajo biti izpolnjeni določeni pogoji:

- transportni medij (zemlja, voda, zrak),
- transportno sredstvo (letalo, ladja, vlak, avto),
- organizator transporta (letalski prevoznik, rečni ali morski prevoznik, železnica, cestni prevoznik).

Pri zemeljskem transportnem mediju je treba prometno pot zgraditi, kar pri vodnem in zračnem ni potrebno. Prometna pot in prometno sredstvo sta v odvisnosti. Pri tem pa velja, da je pri cestnem transportu ta odvisnost manjša, saj po isti cesti vozijo različna vozila, ki jo z določenimi omejitvami lahko celo zapustijo. Odvisnost je največja pri cevovodih, pri katerih je pot hkrati tudi transportno sredstvo. Zelo velika soodvisnost je tudi pri železnici, med transportnim sredstvom (vlak, vagon) in potjo (tiri). Medtem ko je velika soodvisnost slaba stran tirnega vodenja, je dobra stran železnice majhen odpor kotaljenja, ki je od 5- do 15-krat manjši od odpora kotaljenja na cesti. Majhen odpor omogoča tvorbo velikih vlakovnih kompozicij, ki jih vleče eno pogonsko sredstvo, in velike osne obremenitve ter s tem velike teže naklada. Zaradi velikih osnih obremenitev morajo biti železniške proge veliko bolj kakovostno zgrajene, dovoljujejo manjše deformacije od cest (Zgonc, 1996).

Temeljna razlika med cestnim in železniškim prometom je v tem, da vozila po cesti peljejo prosto, kolesa vlakov pa po železniški progi vodita tirnici. Dobri lastnosti prisilnega vodenja sta večja varnost in manjša širina železniške proge v primerjavi z enakovredno cesto (Slokar, 2005).

2.2 Zgodovina železnice

Za rojstvo železnice štejemo 27. september 1825, ko sta George in Robert Stephenson v Angliji izvedla poizkusno vožnjo prvega vlaka med Stocktonom in Darlingtonom. Vlak je 12,3-kilometrsko razdaljo prevozil v 65 minutah, pri hitrosti 19 km/h. Leta 1830 pa je na progi Liverpool–Manchester stekel prvi javni železniški promet. Dela na slovenskem ozemlju so se začela le nekaj let pozneje, ko so v takratni Avstro-Ogrski leta 1838 začeli z gradnjo

proge Dunaj–Trst, ki so dokončali leta 1857. V Celje je prvi vlak pripeljal leta 1846, v Ljubljano pa 16. septembra 1849 (Zgonc, 1996).

Sprva je bila vleka po železniški progi parna, po 2. svetovni vojni pa se je začela elektrifikacija glavnih prog. S tem so povečali varnost in propustnost prog ter potovalno hitrost. Z uporabo raznovrstnih vagonov, ki so prirejeni tovoru, se pri tovornem prometu povečuje hitrost nakladanja in razkladanja (Slokar, 2005).

Razvoj cestnega prometa je železnico močno prizadel, vendar se je prometna politika v Evropi že začela spreminjati v njen prid¹. K temu so pripomogle težave cestnega prometa (zastoji, nesreče, onesnaževanje okolja itd.) in prednosti železniškega prometa (manjša poraba energije, manjše onesnaževanje okolja, večja prometna varnost, manjša poraba prostora itd.).

2.3 Zgradba železniških prog

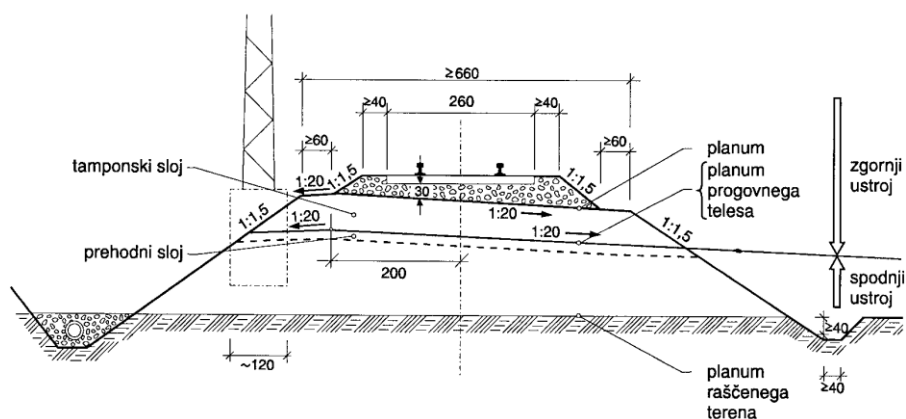
Železnica je sistem, ki omogoča prometno storitev, ki se lahko prodaja na trgu ali pa je zaradi družbenega pomena opredeljena z zakonom kot javna funkcija. Železniška infrastruktura obsega spodnji in zgornji ustroj proge s pripadajočim zemljiščem, električno vozno mrežo, opremo proge, telekomunikacijske in signalno-varnostne naprave. Z njo so povezana različna področja tehnike in tehnične znanosti, kot so gradbeništvo, geodezija, strojništvo, geologija, ekologija, elektronika itd. (Zgonc, 1996).

Zgornji ustroj je del železniške proge, po katerem vozijo tirna vozila. Sestavljajo ga tirnice, pragovi, greda, tamponski sloj, tirni pribor, kretnice in tirna križišča. Oblika in mere zgornjega ustroja so predpisane v Pravilniku o pogojih za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje zgornjega ustroja železniških prog, odvisne so predvsem od vrste in reda železniške proge, števila tirov, vrste pragov itd. (Zgonc, 1996).

Spodnji ustroj je med zgornjim ustrojem in raščnim terenom. Sestavljajo ga zemeljski in umetni objekti (nasipi, useki, oporni zidovi, mostovi, nadvozi, podvozi, predori, objekti za

¹ Žal tega trenda v Sloveniji še ni opaziti

zaščito proge itd.). Glavna naloga spodnjega ustroja je prenašanje obremenitve zgornjega ustroja na teren (Zgonc, 1996).



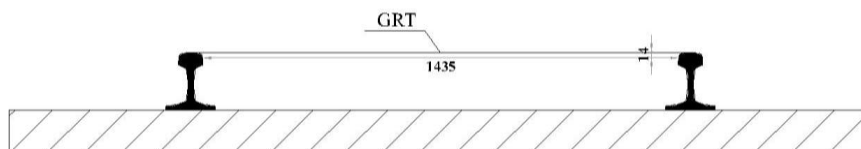
Slika 1: Prečni profil železniške proge – prikaz zgornjega in spodnjega ustroja
(Zgonc, 1996)

2.4 Razvrstitev železniških prog

Železniške proge se morajo projektirati, graditi in vzdrževati tako, da ustrezajo osnim obremenitvam, hitrosti vlakov, varnosti itd. V skladu s potrebami in zmožnostmi se odloča o tem, kakšno vrsto proge je treba zgraditi. Železniške proge lahko razvrstimo glede na več kriterijev. Avtor knjige *Železnice 1*, prof. dr. Bogdan Zgonc, jih je razvrstil glede na tirno širino, obseg prometa in pomen, namen, vrste vleke, število tirov itd.

Po tirni širini

Tirna širina je najmanjša razdalja med dvema notranjima robovoma tirničnih glav, v območju med 0 in 14 mm pod ravnino zgornjih robov tirnic.



Slika 2: Tirna širina

Glede na tirno širino ločimo:

- Normalno tirne proge (širina 1,435 mm):
 - 2/3 vseh železnic v Evropi
- Širokotirne proge (širina večja od 1,435 mm):
 - Rusija, Ukrajina, Finska – 1,524 mm
 - Španija, Portugalska, Indija – 1,674 mm
 - Irska, Brazilija – 1,600 mm
- Ozkotirne proge (širina manjša od 1,435 mm):
 - Južna Afrika, del Japonske – 1,067 mm

Za normalno tirno širino proge se je v mednarodnem merilu uveljavila širina 1,435 mm, kolikor je znašala širina prve železnice v Angliji.

Po obsegu prometa in pomenu

V tej razvrstitvi delimo železniške proge na glavne in regionalne proge ustreznega reda:

- Glavne proge so normalno tirne proge I. in II. reda, ki povezujejo pomembnejša gospodarska središča v notranjem prometu, in proge, namenjene mednarodnemu prometu.
- Regionalne proge so vse druge normalno tirne proge, katerih red je odvisen od fiktivnega dnevnega obsega prometa:
 - I. red > 25 000 brt/dan,
 - II. red od 6 000 do 25 000 brt/dan,
 - III. red < 6 000 brt/dan.

Po namenu

Po namenu železniške proge razvrščamo:

- za potniški promet,
- za tovorni promet,
- za mešani promet.

Po vrsti vleke

Po vrsti vleke jih delimo na:

- parna (v Sloveniji so stvar preteklosti, razen muzejskih vlakov),
- dizelska (na progah z manjšim obsegom prometa),
- elektro vleka.

Po številu tirov

- Enotirne proge – vlaki vozijo izmenično v obeh smereh, zmogljivost proge je povprečno od 70 do 80 vlakov na dan.
- Dvotirne proge – vsak tir je namenjen za vožnjo vlakov v določeni smeri, tako ločimo levi in desni tir, gledano po smeri iz določene točke, praviloma iz centra države. Zmogljivost dvotirne proge je v povprečju od 220 do 240 vlakov na dan.
- Večtirne proge – v poštev pridejo v bližini velikih prometnih središč.

3 ELEMENTI TRASE DOLŽINSKIH OBJEKTOV

Za potrebe projektiranja dolžinskih objektov (železnice, ceste) mora biti razviden prostorski potek trase, zato se izdelajo različne oblike grafičnih prikazov geodetskih načrtov, med katerimi so najpomembnejši:

- geodetski načrt v obliki tlorisnega prikaza objektov in terena,
- prikaz objektov in terena v obliki vzdolžnega profila,
- prikaz objektov in terena v obliki prečnih profilov.

V tlorisnem prikazu je razviden horizontalni položaj dolžinskega objekta. Vertikalni profil prikazuje potek trase (nivelete) in terena v vertikalnem smislu. Dobimo ga s presekom vertikalne ravnine vzdolž trase. Prečni profil pa je presek trase z vertikalno ravnino pravokotno glede na potek trase. Njegova oblika je odvisna od poteka trase v tlorisu in poteka trase v narisu. Potek trase predstavlja os objekta.

Ker v diplomski nalogi opisujem traso železniške proge, se bom v nadaljevanju omejil na njene elemente.

3.1 Elementi trase železniške proge v tlorisu (situacijskem načrtu)

Traso v tlorisu lahko opišemo kot poligon, katerega spoji se zaokrožujejo z ustreznimi krivinami. Posamezne dele imenujemo elementi trase, ki jih predstavlja os železnice, ki poteka po osi proge. Ti elementi so prema, krožni lok in prehodnica. Prema je določena le s svojo smerjo in dolžino, krožni lok in prehodnica pa sta določena z več parametri. Točke na osi, ki označujejo začetek oziroma konec posameznega elementa, se imenujejo glavne točke. Vse točke na osi so določene s stacionažo, to je oddaljenostjo točke od nekega prej določenega izhodišča, merjeno po osi proge.

V naravi se stacionaža proge označi s kilometrskimi in hektometrskimi označbami. Glede na Pravilnik o pogojih za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje zgornjega ustroja železniških prog se kilometrske oznake na enotirnih progah postavljajo na desno stran proge, v smeri naraščanja stacionaže na vsakih 1000 metrov, merjeno po osi tira. Hektometrsk oznake so postavljene na vsakih 100 metrov v smeri naraščanja stacionaže, in sicer parne oznake na desni in neparne na levi strani proge.

3.1.1 Prema

Dolge preme so na železniški progi zelo zaželeni, saj sta v tem primeru tirnična traka vzporedna in na isti višini. Ta del proge je lažji za vzdrževanje kot v krivini. Dopustno odstopanje tirnic v višinski legi je glede na Pravilnik o pogojih za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje zgornjega ustroja železnic pri tehničnih prevzemih ter pri remontu obstoječih prog velikostnega reda ± 2 mm.

3.1.2 Krožni lok

Krožni lok je najpreprostejši geometrijski element, ki omogoča spremembo smeri. Je enolično določen s svojim polmerom R in velikostjo središčnega kota α . Iz teh dveh podatkov lahko določimo vse druge parametre, ki so potrebni za njegovo zakoličbo. Krožni lok je neposredno povezan z nadvišanjem, saj z njim kompenziramo sredobežne sile, ki v krožnem loku delujejo na vozilo. Nadvišanje je višinska razlika med lego notranje in zunanje tirnice v krivini. V Sloveniji je največje dovoljeno projektirano nadvišanje 150 mm. Velikost nadvišanja v posameznem krožnem loku se izračuna na podlagi njegovega polmera, dopustnega bočnega pospeška in projektirane hitrosti vozila.

3.1.3 Prehodnica

Prehodnica je prehodna krivulja, na kateri se spreminja radij. Vgraditi jo je treba med premo in krožnim lokom ali med krožna loka različnih polmerov. Z njo omogočimo miren prehod oziroma izničimo sunek, ki nastane pri nenadni spremembi ukrivljenosti. Če je krivina nadvišana, se na mestu prehodnice vgradi tudi prehodna klančina, ki omogoča prehod med različno nadvišanimi deli proge. Obstaja več vrst oblik prehodnic, v Sloveniji se največ uporabljajo kubična parabola, popravljena kubična parabola in klotoida (Zgonc, 1996).

Kubična parabola

Je prehodna krivulja s premočrtnim povečanjem ukrivljenosti. Zaradi svoje preprostosti in tradicije se ta oblika prehodnic na železnici največ uporablja. Enačba kubične parabole:

$$y = \frac{x^3}{6Rl}$$

x – abscisna dolžina

y – ordinatna dolžina

R – polmer krožnega loka

Zaradi poenostavitve pride pri daljših prehodnicah do napak, zato se ta oblika lahko uporablja le do dolžine:

$$L = \sqrt[4]{0.64R^3}$$

L – dolžina kubične parabole po loku

R – polmer krožnega loka

Popravljen kubična parabola:

Kjer zaradi dolžine prehodnice ni mogoča uporaba kubične parabole, se uporabi popravljen kubična parabola. Ta se vgradi na dolžinah, večjih od (enačba zgoraj $L = \sqrt[4]{0.64R^3}$). Njena enačba se glasi:

$$y = \frac{x^3}{6RI} \sqrt{\left[1 + \left(\frac{1}{2R}\right)^2\right]^3}$$

x – abscisna dolžina

y – ordinatna dolžina

R – polmer krožnega loka

Klotoida

Klotoida je prehodna krivulja z natančnim premočrtnim povečanjem ukrivljenosti.

Matematično je določena z enačbo:

$$A^2 = R_x L_x = RL$$

A – parameter klotoida, ki pove, kako hitro se klotoida ukrivlja

L – dolžina klotoida po loku

R – polmer krožnega loka v točki priključitve

Ta enačba je za praktično uporabo neprimerna. Za prakso je primernejša naslednja matematična oblika:

$$y = \frac{L_x^3}{6A^2} - \frac{L_x^7}{336A^6} + \frac{L_x^{11}}{42.240A^{10}} - \dots$$
$$x = L_x - \frac{L_x^5}{40A^4} + \frac{L_x^9}{3.456A^8} - \dots$$

A – parameter klotoide

L – dolžina klotoide po loku

x – abscisna dolžina

y – ordinatna dolžina

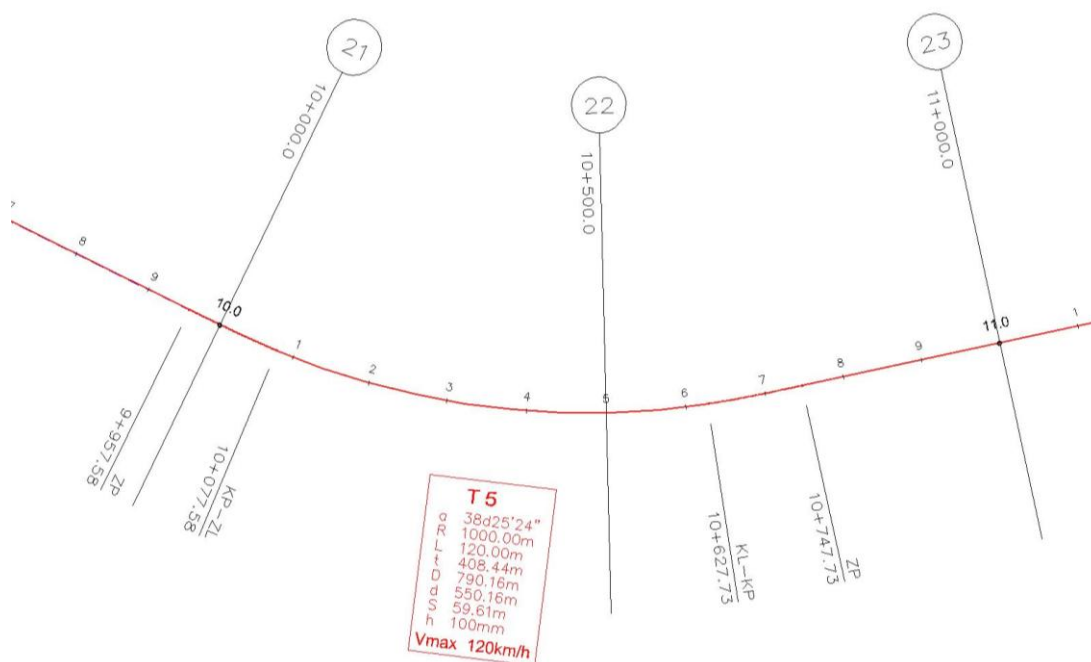
Slika 3 prikazuje potek železniške trase v tlorisu. Na njej so razviden položaj posameznega prečnega profila, elementi krožnega loga in glavne točke:

ZP – začetek prehodnice

KP – ZL – konec prehodnice, začetek loka

KL – KP – konec loka, začetek prehodnice

KP – konec prehodnice



Slika 3: Os železnice v tlorisnem pogledu

3.2 Vzdolžni profil

Vzdolžni profil je presek trase z vertikalno ravnino v njeni osi. Iz njega je razviden potek terenske linije, oblika in položaj projektirane trase (nivelete) z njenimi nagibi, lomi, zaokrožitvami, useki in nasipi, križanja prometnic in vodotokov, podana je stacionaža itd. (Slika 4). Niveleta se pri vzdolžnih profilih železniške proge običajno nanaša na koto gornjega roba tirnice (GRT). Položaj nivelete (nad ali pod linijo terena) nam pove, kje bodo useki in kje nasipi.

Niveleta je sestavljena iz horizontalnih in nagnjenih odsekov. Sečišče dveh različno nagnjenih odsekov se imenuje lom nivelete. Nagib nivelete (i) pa se izrazi s tangensom kota α med višinsko razliko skrajnih točk Δh in njuno horizontalno dolžino l .

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta h}{l}$$

$$i[\%] = 1000 \cdot \operatorname{tg} \alpha = 1000 \cdot \frac{\Delta h}{l}$$

$$i[\%] = 1000 \cdot \frac{\Delta h}{l}$$

Nagib nivelete se pri vzdolžnem profilu železniške proge običajno označuje z $[i]$ in se zaradi majhnih nagibov meri v promilih $[\%]$. Pozitivni nagibi so, če ordinate nivelete v smeri kilometraže naraščajo, negativni pa, če ordinate nivelete v smeri kilometraže padajo. Po veljavnem slovenskem Pravilniku o pogojih za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje zgornjega ustroja železniških prog je največji dopustni nagib nivelete na odprti regionalni progi 25 %, za novogradnje glavnih prog pa je največji vzdolžni nagib 12,5 %.

Pri projektiranju železniške proge v vertikalnem smislu je za mirno in udobno vožnjo zelo pomembna zaokrožitev loma nivelete ali vertikalna zaokrožitev. Lom nivelete lahko premostimo z več med seboj različnimi nagibi in horizontalo ali z vertikalnim krožnim lokom velikega polmera. Krožni lok velikega polmera je tudi najobičajnejša in tudi najpreprostejša zaokrožitev loma nivelete (Zgonc, 1996).

Zaokrožitev s krožnim lokom po 27. členu Pravilnika o pogojih za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje zgornjega ustroja železniških prog ni potrebna za lome nivelete, kadar je razlika med sosednjima dvema nagiboma (pri modernizaciji obstoječih prog) manjša od 2 ‰ in pri novogradnjah manjša od 1 ‰. V istem členu pravilnika je določen tudi izračun za polmer vertikalnega krožnega loka (R) na odprti progi:

- Normalni polmer vertikalnega krožnega loka:

$$\text{od } R_v = \frac{1}{2} v_{\max}^2 \text{ do } R_v = v_{\max}^2$$

- Minimalni polmer vertikalnega krožnega loga:

$$R_v = \frac{1}{4} v_{\max}^2$$

Pri tem je v_{\max} maksimalna dovoljena hitrost na odseku proge.

Pri projektiranju vzdolžnega profila je treba paziti, da lomi nivelete ne sovpadajo s kretnicami, prehodnicami, mostovi, križišči itd., ker lomi že sami po sebi pomenijo motnjo za mirno vožnjo, v sovpadanju s spremembo smeri trase pa lahko bistveno poslabšajo voznodinamične razmere obratovanja in pomenijo potencialno nevarno mesto na progi.

Merilo vzdolžnega profila je odvisno od zelene natančnosti projektiranja in je praviloma različno za dolžine in višine. Merilo dolžin je vedno enako merilu načrta, s prikazano traso v tlorisnem pogledu. Vzdolžni profil in tlorisna lega trase se morata medsebojno usklajevati.

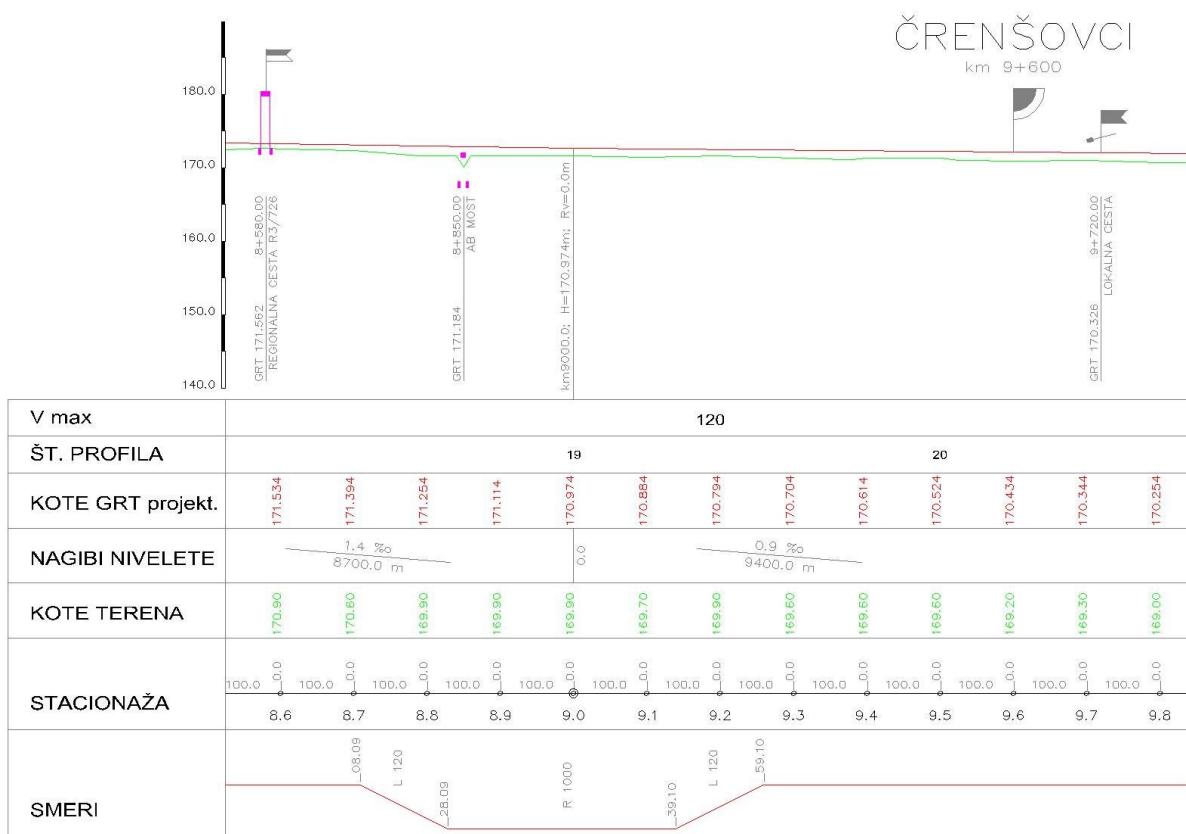
Vzdolžni profil je sestavljen iz dveh delov, in sicer zgornjega in spodnjega.

Zgornji del vzdolžnega profila vsebuje (Zgonc, 1996):

- lomljeno terensko črto s kotami na vseh hektometrskih in drugih karakterističnih točkah, ki se vpisujejo v spodnji del vzdolžnega profila,
- projektirano niveleto,
- nazive in stacionaže osi postaj,
- križanje trase z drugimi prometnimi in vodnimi potmi, vrste objektov za izvedbo zunajnivojskih križanj, druge umetne objekte (propusti, mostovi, predori),
- delavne višine,
- odvodne jarke.

Spodnji del vzdolžnega profila vsebuje (Zgonc, 1996):

- numerične podatke o kotah nivelete,
- prikaz in vrednosti nagibov nivelete ter dolžin posameznega nagiba oziroma elementa med dvema lomoma,
- numerične podatke o kotah terenske linije,
- grafični prikaz smeri trase z vsemi karakterističnimi numeričnimi podatki o horizontalnih elementih trase,
- stacionažo trase.



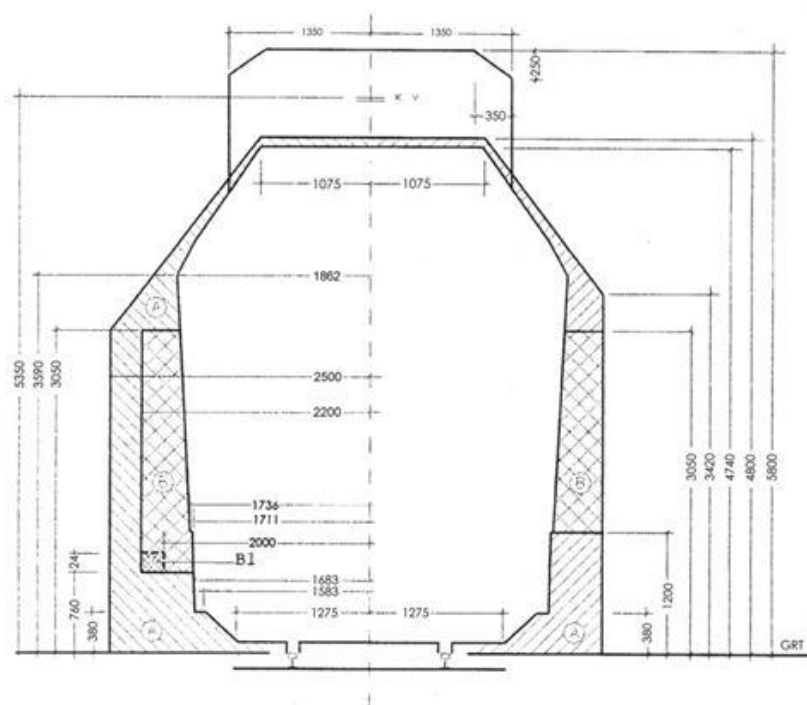
Slika 4: Izsek iz vzdolžnega profila

3.3 Prečni profil

Prečni profil predstavlja presek tira s pravokotno ravnino. Določen je z lego osi v tlorisu in lego nivelete v vzdolžnem profilu. V prečnih profilih se prikazujejo tirnice, pragovi, greda, tamponski sloj, potek terena, odvodni jarki, podporni in oporni zidovi itd. Prečni profili se izrisujejo na določeno razdaljo, odvisno od potrebe in želja naročnika. Osnovni parametri se

določijo v karakterističnih profilih, ki prikazujejo progo v nasipu, vkopu, na postajališčih, mostovih, predorih itd. Slika 25 prikazuje karakteristični profil železniške proge v nasipu in ukopu, slika 37 pa prikazuje karakteristični profil na postajališču.

Karakterističnemu profilu se doda nakladalni profil (profil vozila) ali svetli profil proge. Prvi določa dopustne dimenzije vozil in naklada, drugi pa razdalje, ki jih je treba spoštovati pri gradnji objektov in vzdrževanju proge (Zgonc, 1996, 161). Profila se medsebojno razlikujeta predvsem v višini. Odvisna sta od tega, ali se računata na statični ali dinamični podlagi, ter od tega, ali je proga v premi ali v krivini.



Slika 5: Normalni svetli profil

4 IZDELAVA KARTOGRAFSKEGA MODELA

Model je splošen pojem za predstavitev pojavov ali objektov na razumljiv način. Upodobitev modela, ki bi zajemal vse vidike stvarnosti, zaradi kompleksne sestave realnega sveta ni uresničljiva. Različne stroke poudarjajo in povzemajo različne vidike stvarnosti, ki so za njih pomembne, in v modelu prikazujejo zgolj te. Tako je lahko model, ki prikazuje in opisuje določen pojav, povsem neprimeren za opisovanje drugega pojava (Gnilšek, 2004).

Prostor, v katerem živimo, ima tri razsežnosti, očesna mrežnica pa le dve. Možgani združijo sliki iz obeh oči, tako da zaznamo prostor v treh razsežnostih. Po tej razlagi z enim očesom ni mogoče zaznati prostora v treh razsežnostih. Vendar pa ga kljub temu lahko, na podlagi globinskih znakov. Globinski znaki so psihološki (pridobljeni) ali fiziološki (prirojeni).

Psihološki globinski znaki so odvisni od kognitivne zmogljivosti možganov, ki jo dobimo na podlagi pridobljenih izkušenj in znanj. Mednje spadajo (Rojc, B., 1986, cit. po Domanjko M., 2008, 15):

- velikost slike, ki je v obratnem sorazmerju z oddaljenostjo predmeta,
- interpozicija: predmet v ozadju ni viden v celoti, saj ga delno prekriva predmet iz ospredja,
- linearna perspektiva: z oddaljenostjo se zmanjšuje navidezna razdalja med predmeti,
- jasnost premetov: čim bližje so nam predmeti, tem jasnejši so njihovi obrisi,
- sprememba barve: predmeti z oddaljenostjo navidezno spreminjajo barvo,
- sence: predmeti mečejo senco v nasprotno stran od vira svetlobe, tudi na druge predmete, s čimer nakazujejo globino,
- gradient teksture: gostota teksture se spreminja z razdaljo,
- gibanje: slika na mrežnici se premika, če se premika predmet ali opazovalec, premikanje oddaljenih predmetov se nam zdi počasnejše,
- gibalna paralaksa: če se premikamo, se slike različno oddaljenih predmetov gibljejo v različne smeri.

Fiziološki globinski znaki so odvisni od sposobnosti očesnih mišic. Ti znaki so (Rojc, B., 1986, cit. po Domanjko M., 2008, 15):

- akomodacija očesne leče, ki vpliva na zaznavanje samo do razdalje 1 m–1,5 m,
- konvergenca oči: smer obeh očesnih osi se spreminja glede na razdaljo premetov in pripomore h globinskemu zaznavanju do razdalje 7 m,
- retinalna disparativnost: na vsaki mrežnici je slika predmeta nekoliko drugačna; pojav izkoriščamo za izdelavo slik za globinsko opazovanje s stereoskopom,
- dvojna slika: če opazujemo bližnji in daljni predmet, pade slika enega na neustrezne predele mrežnic, zaradi česar nastane dvojna slika.

Izdelavo 3R-kartografskega modela in njegove upodobitve lahko opišemo v nekaj korakih:

- izbira vsebine in vira kartografskega modela,
- določitev območja,
- določitev 3R-ploskve,
- nanos ploskev oz. tematskih plasti² na model – ortofoto, hidrografija, prometnice, rastje,
- izdelava in določitev lokacije posameznim 3R-objektom,
- določitev atmosfere, neba, osvetlitve in senčenja,
- izdelava animacije.

4.1 Izbira vsebine in vira kartografskega modela

Omejitev količine prikazanih podatkov v vseh kartografskih modelih je nujna, ker človek ne zmore predelati vseh vidnih informacij (Petrovič, 2001). Tako z bolj podrobnim in realističnim prikazom dosežemo, da je predstavljen 3R-model prenasičen z nepotrebni informacijami in tako izgubi osnoven namen, za katerega je bil ustvarjen. Druga in morda še večja omejitev pri izbiri količine podatkov predstavlja tehnološka zmožnost računalniške opreme. Ta je omejena in obdelava množice informacij, ki opisujejo 3R-model, velikokrat predstavljajo velik problem. Ob čedalje večji izbiri računalniških programov za izdelavo 3R-modelov so ti še vedno odvisni od računalniških komponent, ki jih poganjajo. Te so mnogo

² Tematska plast predstavlja niz grafičnih, atributnih in geografskih podatkov, ki opisujejo prostorsko variacijo ene značilnosti na obravnavanem geografskem območju.

boljše, njihova obdelava in prikazovanje podatkov je precej hitrejša kot pred nekaj leti, vendar imajo tudi te še vedno svoje omejitve.

Pri izbiri računalniškega programa za obdelavo in izdelavo 3R-modela je treba upoštevati več kriterijev. Ti kriteriji so (Gnilšek, 2004):

- omogočena stopnja realizma,
- stopnja interaktivnosti,
- omogočena zahtevana oblika predstavitve,
- možnost uvoza/izvoza podatkov,
- prenosnost na različnih platformah in operacijskih sistemih,
- uporabniška prijaznost modela,
- dostop do knjižnic podob, palete tekstur,
- povezave do modelov in zbirke podatkov,
- hitrost in pomnilniške zahteve,
- zanesljivost tehnične podpore,
- merilo objektov in območji, ki jih lahko rendiramo.

Izbira vsebine kartografskega modela je odvisna od več dejavnikov, predvsem od namena uporabe 3R-modela, ciljne skupine ljudi, ki jim bo ta model namenjen, sposobnosti računalniške opreme, razpoložljivih podatkov itd. Smiselna je uporaba vektorske strukture podatkov, saj je v primerjavi z rastrsko za njihov opis potrebna manjša količina podatkov. Prav tako je dobrodošla uporaba sistema z nivoji podrobnosti (Levels Of Detail – LOD), kar pomeni, da je vsak element 3R-modela predstavljen z ustreznimi grafičnimi spremenljivkami, ki so v odvisnosti od lokalnega merila. Bližje kot je opazovalec posameznemu elementu, bolj podrobno je element predstavljen. Pri uporabi LOD je potreben kompromis, več kot imamo nivojev, lepši je prehod med njimi, vendar imamo posledično večjo količino podatkov.

Vsebina kartografskega modela je v veliki meri odvisna od namena uporabe. 3R-modeli se uporabljajo predvsem v urbanističnem načrtovanju, arhitekturi, trgovini, izobraževanju, prikazovanju obstoječega stanja, prikazovanju bodočega stanja itd. V veliki meri je vsebina 3R-upodobitev enaka vsebini dosedanjih 2R-kart. Ločimo splošno geografsko in pa posebno tematsko vsebino.

Splošno geografsko vsebino tvorita dve skupini elementov, naravni in zgrajeni (antropogeni). Med naravne elemente štejemo objekte in pojave na ali pod površjem, ki so nastali brez vpliva človeka. Ti elementi so predvsem relief z vsemi vzpetinami, kotlinami in ravninami, pokritost tal (vegetacija, poplavljenosti in močvirnata območja, ledeniki ...) ter hidrografija, ki je skupni izraz za vse objekte in pojave, ki vsebujejo vodo in so vezani nanjo. Med njih štejemo tekočo in stoječo vodo ter objekte, ki so namenjeni shranjevanju ali prenosu vode za potrebe vodooskrbe. Med antropogene elemente pa štejemo pojave in objekte, ki jih je ustvaril človek, to so komunikacije, naselja, meje in ločnice. Med komunikacijo štejemo prometnice, telekomunikacije in vode za prenos energije in produktov (Petrovič, 2004).

Upodobitve, ki prikazujejo tematsko vsebino, so ponavadi namenjene le določeni skupini ljudi, ali pa prikazujejo le točno določen pojav, stanje, objekte ali temo. Pri tem pa so ostali pojavi in objekti namenjeni le kot geografska osnova za orientacijo v prostoru. V vsakdanjem življenju je teh prikazov in upodobitev največ. Tematsko vsebino 3R upodobitev lahko razčlenimo in prevzamemo kot pri tematiki 2R kart. Te pa so (Petrovič 2004):

- Fizično-geografske karte (karta višinskih pasov, atmosferskih pojavov, vegetacije, hidroloških, geofizične karte, itd.),
- Socialno ekonomske upodobitve (karta prometnic, narodnega bogastva, naseljenosti, turistična karta, planinska karta, karte za orientacijski tek, itd.),
- Tehnične karte (karte in načrti raznih raziskav, poljedeljske, gozdarske rudarske karte, katastrski načrti, navigacijske karte, itd.).

Celotno vsebino, ki je prikazana v upodobitvi, lahko v grobem razdelimo na glavno, sekundarno in dodatno vsebino (Petrovič, 2001, 60). Glavna vsebina je tista, ki je za uporabnika bistvena. V prvi vrsti, kot osnova 3R-modela, jo predstavlja uporabljena 3R-ploskev. Glavna vsebina so tudi tisti pojavi in objekti, zaradi kateri je bil model ustvarjen. Sekundarna vsebina da modelu vtis celovitosti prikaza. V to skupino uvrščamo pokritost tal, prometnice, vodovje. Za dodatno vsebino pa lahko štejemo objekte in pojave, ki niso bistveni za upodobitev, vendar jo z njimi dopolnimo oziroma ji dodamo vrednost.

Glede časovnega prikaza razlikujemo med modeli, ki prikazujejo realno, dejansko stanje v naravi, modeli, namenjenimi prikazovanju stanja in pojavov v preteklosti, in modeli, ki

prikazujejo bodoče stanje. Časovna tematika se velikokrat med seboj tudi prepleta, zelo aktualni so prikazi bodočih stanovanjskih naselij, prikazanih na modelu dejanskega stanja.

Kartografski viri so vsi podatki v grafični, numerični, digitalni ali pisni obliki, ki jih uporabljamo pri izdelavi karte oziroma modela. Pri izbiri virov moramo biti še posej pozorni, saj je od njihove izbire odvisna kakovost, hkrati pa so z njimi povezani tudi stroški izdelave. Posamezni vir je treba podrobno analizirati ter glede na njegovo vsebino, položajno natančnost, pomensko pravilnost, celovitost ter vsebino izbrati najprimernejšega. Glede na vsebino in obliko podatkov kartografske vire delimo na (Petrovič, 2004, povzeto po Peterca et al, 1974):

- astronomsko-geodetske vire (seznamih koordinat geodetskih točk),
- topografsko-kartografske vire (karte, aeroposnetki, satelitski posnetki),
- geografsko-statistične vire (študije, opisni podatki, slovarji).

Glede na način in uporabo pa jih delimo na (Petrovič, 2004):

- osnovne vire, katerih podatke uporabimo kot neposredno osnovo za generalizacijo pri izdelavi karte, iz njih privzamemo večino vsebine nove karte,
- dopolnilne vire, ti so namenjeni dopolnitvi vsebine, ki jih na osnovnih virih ni oziroma so neustrezni,
- pomožne vire, kamor prištevamo vse tiste zbirke podatkov, ki jih ne uporabimo neposredno za dopolnitev vsebine, nam pa koristijo za to, da bolje spoznamo upodobljeno področje z geografskega, zgodovinskega, demografskega in podobnega vidika.

4.2 Območje kartografskega modela

S 3R-modelom je mogoče predstaviti vsako razsežnost geografskega prostora. Večje kot je območje predstavitve, manjše je povprečno merilo, s tem pa potrebujemo bolj generalizirane in razredčene topografske informacije. Pri 3R-modelih tako govorimo o velikih in majhnih območjih prikaza, in ne merila (Domanjko, 2008).

V večini primerov se izdelovalci 3R-upodobitev odločijo za prikaz nekega zaključenega območja. Mejo območja običajno predstavljajo naravni oziroma antropogeni elementi, ali pa nam mejo narekujejo pridobljeni podatki. Tako je na primer Dunja Vrenko (2004) v

diplomski nalogi Izdelava trirazsežnostnega modela mesta Slovenske Konjice kartografski model omejila na:

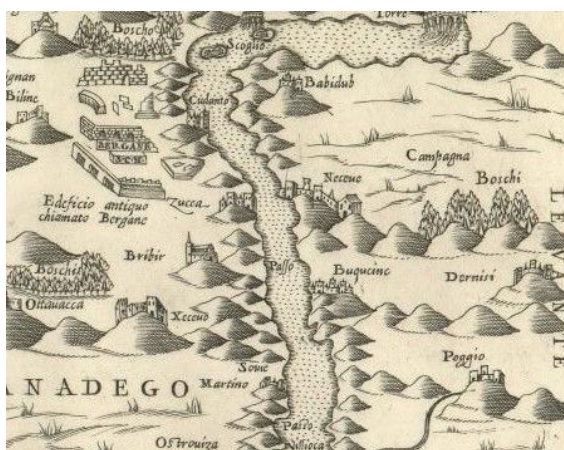
- severu – gričevje Škalce,
- jugu – Konjiška gora,
- vzhodu – obvoznica proti Konjiški vasi,
- zahodu – zahodno od Starega grada.

Domajnko M., (2008) pa je v diplomski nalogi Oblikovanje znakovnega in foto-realističnega trirazsežnega kartografskega prikaza območja prikaza omejil na velikost štirih listov temeljnega topografskega načrta merila 1 : 5000.

Območje prikaza nam narekuje tudi uporabljena računalniška, tako programska kot strojna oprema, pri kateri smo omejeni na njene zmožnosti obdelave in prikazovanja.

4.3 Definicija 3R-ploskve

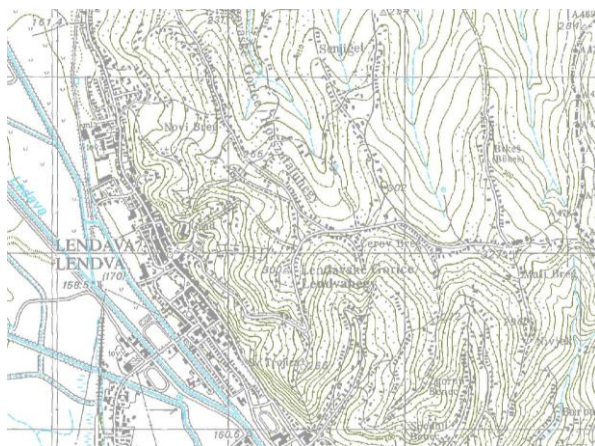
Predstavitev treh razsežnosti na 2R-kartah je v preteklosti predstavljal problem, ki so ga kartografi reševali na več načinov. Pri najstarejšem prikazu zemeljskega reliefa so uporabljali t. i. »prikaz hribčkov«, ki so ga uporabljali pri panoramskih pogledih. Pri tem načinu so bila kartirana področja bolj rezultat kartografove fantazije kot prikaz realnega stanja (Petrovič, 2001).



Slika 6: Star prikaz zemeljskega površja
(<http://www.nsk.hr/HeritageUnits.aspx?id=198>)

V 17. stoletju se je uveljavila metoda višinskih šraf ali črtk. Ta metoda je primerna zgolj za prikaz oblikovanosti površja, ne da pa se iz njih razbrati dejanskih višin. Prav tako je s poltonskim senčenjem, s katerim dosežemo dobro plastičnost 2R-prikaza, ne omogoča pa pridobitve informacije o višini terena.

Najbolj se je uveljavil in tudi najpogosteje se uporablja (odvisno tudi od namena karte) prikaz višin in oblikovanosti reliefa s plastnicami. Plastnica je praviloma sklenjena 2R-krivulja, ki povezuje točke z enako višino. Razdaljo med dvema plastnicama imenujemo ekvidistanca in je odvisna od merila prikaza in nagiba zemljišča. Velja dogovor, da imajo plastnice zaokroženo absolutno višino in da je tudi ekvidistanca okroglo število (Petrovič, 2001, 24). Horizontalno oddaljenost med dvema plastnicama imenujemo interval. Njegova velikost je odvisna od ekvidistance in od nagiba. Tako lahko na karti, pri kateri je višina prikazana s plastnicami, že na hitro, na podlagi velikosti intervala med plastnicami, ocenimo, ali je teren strm ali položen. Usposobljeni uporabniki iz plastnic na kartah izvedo veliko informacij, hkrati pa nekaterim drugim ne omogočajo zadostne predstave o razgibanosti terena. To se lahko reši s kombinacijo plastnic in poltonskega senčenja.



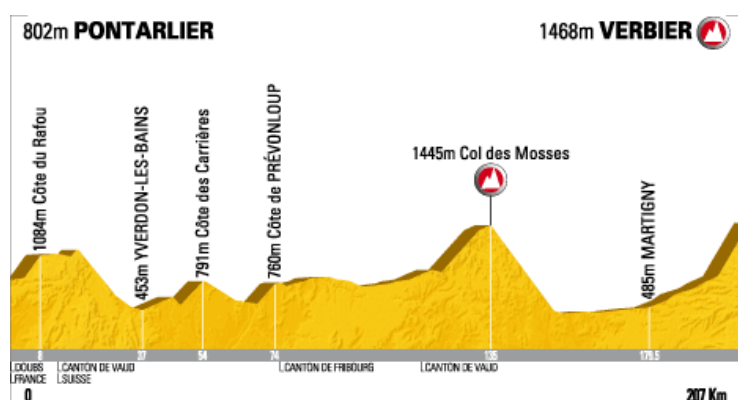
Slika 7: Prikaz reliefa na karti s plastnicami

Metoda, podobna prikazu višin s plastnicami, je hipsometrična metoda. Pri njej se višina prikazuje na podlagi barvnih pasov. Z njo dosežemo lažjo višinsko predstavo manj usposobljenim uporabnikom. Primerna je za prikaze na kartah manjših meril.



Slika 8: Teren, prikazan z hipsometrično metodo

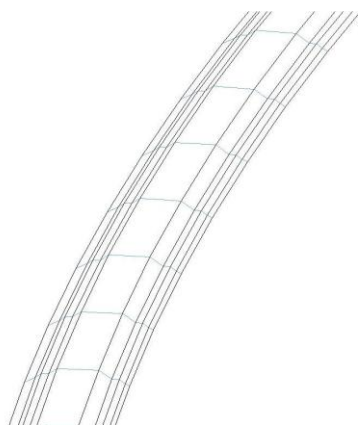
Razgibanost terena se prikazuje tudi s profili. Vzdolžni profil nastane s presekom vertikalne ravnine vzdolž trase, prečni profil pa s presekom vertikalne ravnine pravokotno na traso. Profile, ki nastanejo v fazi projektiranja železnic, sem opisal že v poglavju 3.2 Vzdolžni profil in v poglavju 3.3 Prečni profil. Vzdolžni profil se velikokrat uporablja le za informativni prikaz višinskih razlik na določeni poti, na primer na kolesarski dirki (Slika 9) ali na planinski poti.



Slika 9: Vertikalni prerez trase kolesarske dirke

(http://www.letour.fr/2009/TDF/COURSE/us/1500/etape_par_etape.html)

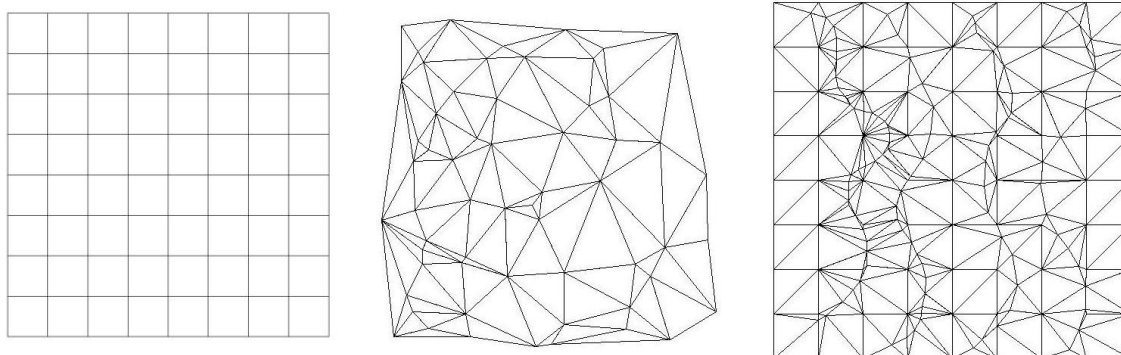
Za 3R-prikaz dolžinskih objektov se uporabi množico prečnih profilov, povezanih v karakterističnih točkah (Slika 10).



Slika 10: Dolžinski objekt, prikazan s prečnimi profili

Kot osnovo za trirazsežni prikaz je treba izbrati ustrezno prostorsko ploskev, ki podaja podlago za celotno 3R-upodobitev. Klasične metode prikaza višin (senčenje, črtkanje, hipsometrija) za računalniško tehnologijo niso primerne, ker otežujejo poizvedovanja in analize ter zahtevajo veliko pomnilniškega prostora (Petrovič, 2001, 60). Zato se je uveljavila računalniško modelirana ploskev, ki vključuje točke in karakteristične linije z določeno višino. Za ploskev se največkrat uporabljajo:

- pravokotna mreža – je najpreprostejša predstavitev, pogosto je rezultat digitalnih modelov reliefa, avtomatično generiranih z digitalnimi fotogrametričnimi postajami. Predstavljena je z majhno količino podatkov, ker je mreža kvadratov pravilna in so stranice enako dolge. Z določitvijo geografske lege ene točke in razdalje med vozlišči je določeno vsako vozlišče v mreži. Slabost te mreže je, da ni prilagodljiva terenskim značilnostim, s tem pa je povezana izguba informacij o terenu.
- nepravilna trikotniška mreža – predstavlja večjo količino podatkov kot pri pravokotni mreži, vključuje neenakomerno razporejene točke. Njena glavna prednost je v dobri prilagodljivosti terenskim karakteristikam.
- hibridna struktura – pravokotna mreža z dodatnimi informacijami o lomnicah in tvornicah.



Slika 11: Računalniško modulirane ploskve

(1.) pravokotna mreža; (2) nepravilna trikotniška mreža; (3) hibridna struktura

Oblika ploskve je odvisna od vhodnih podatkov, želenega prikaza 3R-ploskve in od računalniškega sistema. Za splošen prikaz se običajno uporabi pravokotna mreža, ki ne zahteva veliko pomnilniškega prostora. Za detajlne prikaze pa je bolje uporabiti nepravilno mrežo trikotnikov ali hibridno strukturo, saj z njima lažje poudarimo določene pojave v naravi (potoki, reke, prometnice, lokalni ekstremi).

Pri uporabljeni 3R-ploskvi je pomembna gostota točk, saj se z večanjem gostote bližamo realnemu stanju. Gostota točk je zelo odvisna od terena, ki ga model prikazuje, in od zelene stopnje podrobnosti. Za prikaz hribovitega območja je smiselno uporabiti gostejši model, za prikaz ravninskih območij pa nam zadostuje redkejši. Pri gostoti točk modela je treba narediti kompromis med količino podatkov in podrobnostjo.

Za prikazovanje in poudarjanje določenih pojavov in objektov je mogoča, za razliko od horizontalnih koordinat, uporaba drugačnega razmerja višin. Namerno nadvišanje ali sploščanje višin oziroma sprememba višinskega razmerja pripomore k prikazu značilnosti terena.

4.4 Nanos ploskev oz. tematskih plasti na model

Za nanos na ploskev potrebujemo ustrezen niz rastrskih ali vektorskih podatkovnih slojev, ki jih pojmuje kot dodatno vsebino ali tematsko plast. Ploskovno ploskev lahko prikazujemo bodisi v skeletnem (žičnem) načinu, ki je procesno manj zahteven, ali pa v polni sestavi in

teksturni upodobitvi. Žični 3R-prikaz ploskve (mrežna ali TIN-upodobitev) je primernejši za prvotne obdelave in razvoj predstavitev, ker je tudi za manj sposobne računalniške sisteme sorazmerno nezahteven. Nasprotno pa celovit prikaz ploskve z mnogimi podatkovnimi sloji kot nanosi zahteva močno procesorsko podporo, zato tovrstni prikaz uporabljamo večinoma za pregledovanje doseženega videza prostorskega modela in za njegovo končno predstavitev (Šumrada, 2005).

Z nanosom ploskev na model dobimo uporabnejšo in vizualno privlačnejšo upodobitev. Za osnovni nanos se običajno uporabljajo rastrske podlage, to so ortofotokarte, satelitske slike ali klasične 2R-karte. Glavna težava nanosa rastrskih slik je v omejenosti z razponom pomanjšave in povečave. Pri velikih povečavah rastrskih slik se nam hitro zgodi, da slike niso prepoznavne in se na njih vidijo osnovni elementi, pixli. V teh primerih potrebujemo slike večjih ločljivosti, kar pa posledično daljša čas obdelave in hitrost prikazovanja. Tako mora tudi pri izbiri rastrskih slik vsak izdelovalec 3R-modela narediti kompromis med kakovostjo in količino podatkov. Lažja je izbira podlage pri upodobitvah s fiksno višino prikaza, kjer nimamo težav s povečavo, optimalno rastrsko sliko pa izberemo glede na višino prikaza.

Na osnovno 3R-ploskev nanašamo tudi vektorske podatke. Med njih spadajo točkovni, linijski ploskovni in volumski objekti. Količina teh podatkov je manjša, zato je tudi bolj primerna za dodajanje ter poznejšo obdelavo in prikazovanje.

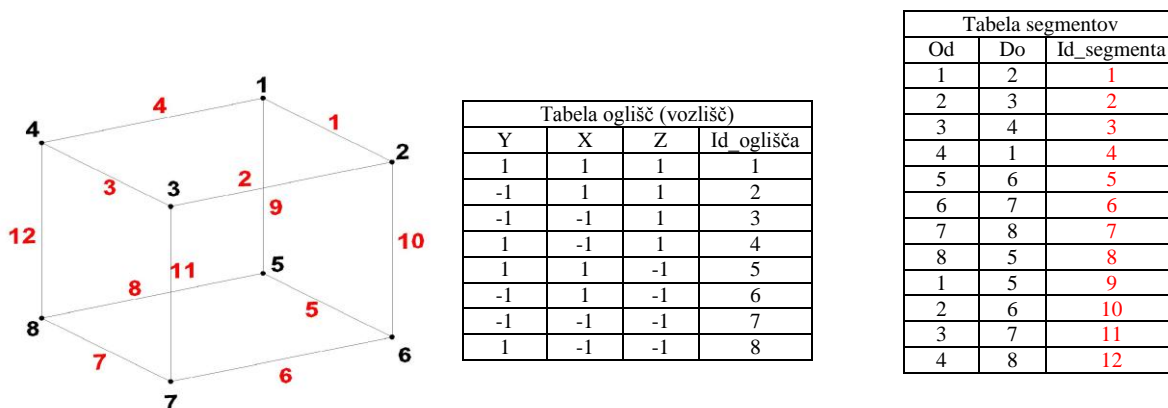
4.5 Trirazsežna predstavitev prostorskih objektov

Proces izdelave modela se imenuje modeliranje. Med poznanimi pristopi za modeliranje 3R-geometrije teles so se na področju CAD in GIS uveljavili naslednji trije:

- skeletni ali žično-okvirni pristop,
- akumulativno modeliranje,
- proizvodno modeliranje.

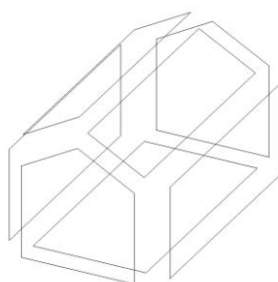
Skeletni ali žično-okvirni model je najstarejši pristop za modeliranje trdnih teles. Tvorita ga dve osnovni tabeli, tabela oglišč oziroma vozlišč in tabela segmentov. V tabeli oglišč imamo poleg identifikatorja oglišča še njegov niz koordinat. V tabeli segmentov poleg identifikatorja določenega roba zajema tudi njegovo topologijo, ki je podana kot usmerjena razvrstitev od

oglišča do oglišča. Skeletna ponazoritev prostorskih objektov izrecno ne podaja značilnosti robnih ploskev, ki so lahko podane zgolj kot robni poligon razvrščenih segmentov. Skeletni pristop temelji na preprosti geometrični in topološki podatkovni sestavi, vendar so ponazoritve prostorskih objektov lahko nejasne, njihova dejanska uporaba pa omejena (Šumrada, 2005).



Slika 12: Skeletni ali žično-okvirni pristop

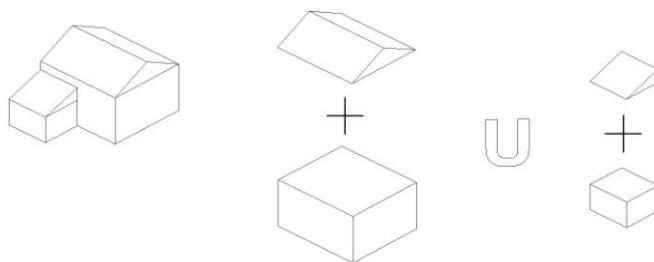
Akumulativno modeliranje je nadgradnja skeletnega pristopa. Temelji na opredelitvi trdnih teles s pomočjo stikajočih se robnih ploskev prostorskega objekta. S tem pristopom rešimo problem robnih površin, kar pomeni, da ima objekt sklenjen zunanji izgled in zaprto notranjost. Pri tem načinu modeliranja je za sestavo oboda trdnega telesa izjemno pomembna orientacija vsake njegove robne ploskve. Navadno takšno ploskev določa niz oglišč in v zanko razvrščenih segmentov, ki kot sklenjeni poligoni tvorijo njene robove (Šumrada, 2005).



Slika 13: Akumulativno modeliranje

Pri proizvodnem modeliranju je geometrija prostorskega objekta sestavljena iz parametrično opredeljenih 3R-gradnikov. Gradniki se volumsko kombinirajo s pomočjo operatorjev iz teorije množic, kot so unija, presek in diferenca. Takšen pristop je predvsem primeren za

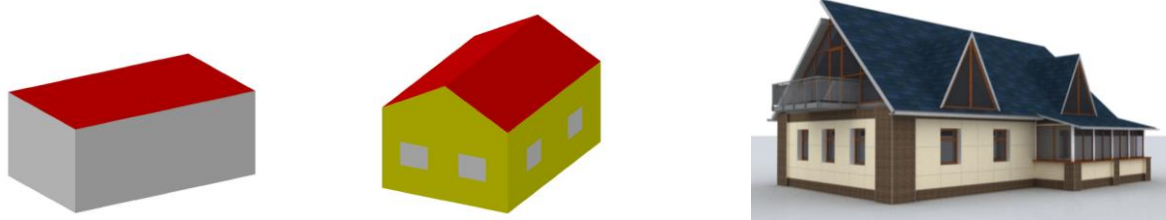
modeliranje objektov z orodji CAD, katerih večina poleg tega pristopa podpira tudi druge kombinirane in hibridne postopke. Večina orodij GIS podpira le akumulativno modeliranje 3R-objektov, kar pa posledično zmanjšuje možnosti za izmenjavo med orodji CAD in GIS (Šumrada, 2005).



Slika 14: Proizvodno modeliranje

V naravi je vsak objekt 3R-predmet, zato je primerno in naravno vsakega v modelu prikazati kot 3R-predmet. Poznanih je več vrst 3R-objektov, točkovni, linijski, ploskovni in volumski. Objekti so lahko preprosti, sestavljeni iz več geometrijskih teles ali pa je njihova sestava kompleksna. Njihova kompleksna sestava je odvisna od želene stopnje podrobnosti ali razpoznavnosti prikaza in merila oziroma oddaljenosti objekta od opazovalca. V splošnem lahko, denimo na upodobitvah stavb, razlikujemo tri izrazite nivoje razpoznavnosti objektov:

- prvi nivo razpoznavnosti predstavljajo preproste stavbe, podane s tlorisom in višino, ravnimi strehami in brez detajlov,
- drugi nivo razpoznavnosti tvorijo modeli stavb z oblikovano streho in razpoznavnimi fasadami,
- tretji nivo razpoznavnosti vsebuje poljubno podrobne modele stavb, ki vsebujejo tudi manjše detajle kot sestavne podobjekte (dimniki, zunanja stopnišča, balkoni, funkcionalna zemljišča itd.).



Slika 15: Prikaz stavb v različnih nivojih razpoznavnosti

(1.) prvi nivo; (2.) drugi nivo; (3) tretji nivo

(http://www.connorsdesign.co.uk/images/3DArt/3DArt_6.jpg)

Objekte, oddaljene od opazovalca, ni smiselno prikazovati v velikih podrobnostih, ker se te izgubijo in tako postanejo objekti neprepoznalni, hkrati pa povečajo čas obdelave. Tudi objektov, katerih upodobitev v prvi vrsti ni namenjena, ni smiselno prikazovati v veliki podrobnosti, saj se na tak način preusmeri pogled z bolj pomembne tematike na manj pomembno.

K večji prepoznavnosti objektov pripomorejo naneseni materiali. Njihov nanos na upodobljene 3R-modele je pomembna naloga, s katero dosežemo izboljššan in bolj realističen izgled. Sodobna programska oprema omogoča, da se kar najbolje približamo realnemu stanju, kar pa nas ne sme zanesti. Stopnja realizma materialov mora biti usklajena s stopnjo podrobnosti kartografskega prikaza in vsebine. Material naj bo, glede na stopnjo podrobnosti, čim bolj preprost, saj večja kompleksnost materiala pomeni daljši čas obdelave v realnem času, poleg tega pa mora omogočati jasnost in preglednost.

Točkovnim objektom je treba določiti le horizontalni položaj težišča oziroma nožišča ter orientacijo (orientacija se običajno določi nesimetričnim objektom), medtem ko vertikalno komponento točkovnih objektov že določa položaj na 3R-ploskvi. Linijski 3R-objekti imajo prevladujočo eno razsežnost. Ločimo dve skupini linijskih 3R-objektov. Tiste, pri katerih je vertikalni položaj določen s položajem na 3R-ploskvi, in tiste, pri katerih linijski objekt poteka nad ali pod površjem osnovne ploskve. Ploskovni 3R-objekti se uporabljajo za objekte in pojave z nespremenljivo le eno razsežnostjo, ponavadi višino. Primer teh objektov so vse vrste pokritosti tal, ki se raztezajo na različnih površinah (rastje, snežna površina). Pri volumskih 3R-objekti je treba za vsak objekt posebej določiti njegovo celotno razsežnost v

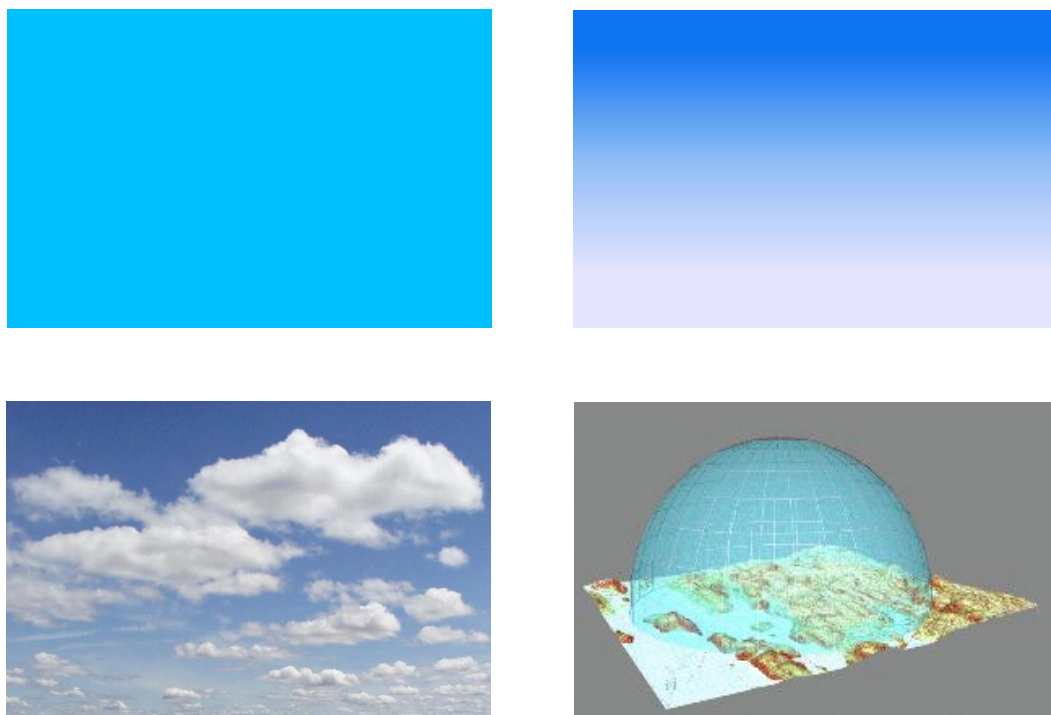
vseh teh smereh koordinatnih osi. Ti objekti so vsi tisti, ki jih zaradi velikosti oziroma pomembnosti ne moremo določiti kot točkovni objekt (Petrovič 2001).

4.6 Določitev atmosfere, neba, osvetlitve in senčenja

V stvarnosti je svetloba, ki jo zaznavamo, sestavljena iz neposredno izsevane in odbite svetlobe. Njene lastnosti so odvisne od ure dneva, geografske širine in letnega časa. Ob jasnem vremenu je barva sončne svetlobe blede rumena. Oblačno vreme lahko obarva svetlobo modro, nevihta ima temno sive odtenke. Delci v zraku, kot so prah in plini, lahko obarvajo sončno svetlobo oranžno ali rjavkasto. Ob sončnem zahodu ali vzhodu je barva svetlobe oranžna ali rdeča. Sončna svetloba je simulirana z lučjo, ki meče vzporedne žarke iz ene smeri na površino (Gnilšek, 2004, 57).

Programi za 3R-modeliranje omogočajo nastavitve parametrov, s katerimi dosežemo zelen izgled osvetlitve in senčenja. Omogočena nam je simulacija dnevne ali nočne svetlobe, poleg teh pa lahko dodamo tudi umetne vire svetlobe, kot so na primer ulične svetilke, semaforji, avtomobilski žarometi itd.

Za bolj realistični prikaz 3R-modela je treba izbrati tudi njegovo ozadje oziroma nebo. Tradicionalno je bila podlaga pri 2R-kartah praviloma bela, kar omogoča zelo dobre kontraste med ozadjem in kartografskimi znaki. Pri izdelavi 3R-upodobitev pa je smiselna uporaba barve neba, ki omogoča čim boljši kontrast glede na drugo vsebino. (Petrovič, 2001, 92). Izbira prikaza neba je mogoča na več načinov. Najpreprostejši je prikaz z 2R-sliko, kamor spadajo slika neba z oblaki, kombinacija več različnih odtenkov barv ali pa prikaz neba v eni barvi (modra). Prikaz neba z uporabo 2R-slike ni primeren za dinamične prikaze, ker se nebo definira glede na smer pogleda. Pri spreminjanju smeri pogleda bi se moral spremeniti tudi pogled na sliko, vendar se ne, zato je pri dinamičnih prikazih ozadje (nebo) statično. Uporaba te metode iz tega razloga ni priporočljiva. Nekateri programi pa omogočajo animacijo materiala, ki reši problem statičnega neba. Dinamično nebo dosežemo tudi z uporabo kupole nad modelom, ki ji določimo asociativni material. Podoba neba se na tak način spreminja glede na zorni kot opazovalca.



Slika 16: Različna izbira prikaza neba

- (1.) modra barva; (2.) kombinacija treh odtenkov modre barve;
(3.) slika neba z oblaki; (4.) nebo kot kupola nad modelom

4.7 Animirani prikazi prostorskih podatkov

Programi za 3R-modeliranje običajno omogočajo tudi izdelavo animacije. Animacija je množica statičnih slik, pri katerih se pri vsaki sliki spremeni položaj in pogled kamere. Človeški možgani množico slik, združeno v animacijo oziroma film, zaznajo kot premikanje. Pri tem mora biti zaporedje slik dovolj gosto, da uporabnik prehod med slikami zazna kot zvezni. V filmski tehniki je ponavadi nad 30 slik na sekundo, pri izdelavi animacije pa takšna količina ni smiselna, saj znatno poveča čas izdelave. Tako je dovolj že od 13 slik na sekundo navzgor.

Animirani 3R-perspektivni prikazi se tvorijo na podlagi 3R-ploskve, ene ali več tematskih plasti in izbrane poti po, skozi ali prek modela. Opredelimo lahko poljubno sestavljene nanose na obravnavano 3R-ploskev, kot so rastrske podobe, CAD-objekti ali vektorske plasti. 3R-simulacijo si lahko ogledamo v skeletnem (žičnem) prikazu, kot 3R-animacijo ploskve v

dejanskem času ali pa tvorimo datoteke v zapisih vrl, mov, mpeg ali avi za poznejši prikaz in distribucijo. Izdelava filma je za poznejši prikaz primernejša in tudi večkrat uporabljena. Sprotna izdelava pogledov je problematična in v večini primerov zelo zamudna, saj se morajo slike izdelati v realnem času.

Trirazsežna animacija je zelo privlačna in prepričljiva upodobitev, ki omogoča izdelavo izbranih preletov prek katere koli 3R-ploskve. Simulacija lahko poteka po izbrani premi liniji ali krivulji, lahko krožimo okoli izbrane točke ali pa se samo dvigamo na izbrano višino nad modelom in se nato panoramsko vrtimo okoli. Izbrana pot je bistvena pri izdelavi animacije, saj je izdelava še tako dobrega modela ničelna, če ga ne prikažemo dovolj dobro. Animacije lahko posnemajo človeku naravno gibanje (sprehod, vožnja, prelet), lahko pa prikazujemo tudi povsem nestvarne prizore ali simulirano gibanje, ki ga v naravi ne bi mogli izvesti na tak način (Gnilšek, 2004, 57).

Potek izdelave animacije obsega naslednje osnovne faze:

- izbira oziroma določitev ustrezne 3R-ploskve,
- opredelitev gledišča in žarišča,
- opredelitev poti leta (prema linija ali krivulja),
- dodajanje tematskih plasti,
- snemanje zaporedja posnetkov in izbira hitrosti prikaza,
- dodelava in dodatne izboljšave prikaza.

Animacijo popolnega modela v dejanskem času zadovoljivo prikažejo samo zmogljivi računalniki, zato navadno sestavimo potek animacije v skeletnem modelu in nato sprožimo zapis animacije v denimo format mpeg ali avi, kar pozneje omogoča njeno lokalno predvajanje.

Če računalnik ni dovolj zmogljiv, to pomeni, da je glede na minimalno hitrost predvajanja animacije, ki je potrebna za njen tekoč potek, treba rešitev iskati v poenostavitvi prikaza. To se doseže s spuščanjem posnetkov, kar lahko povzroči trzajoče prehode in v skrajnosti, da vidimo sam prvi in zadnji kader animacije. Za sprostitev procesne moči računalnika in zagotovitev tekočega poteka animacije je mogočih več ukrepov (Šumrada, 2005):

- Zmanjšanje ločljivosti oziroma vidnega okna animacije; čim manjši sta ločljivost in velikost prikaza, tem manjša procesna moč je potrebna za izvedbo in prikazovanje.
- Izključitev učinkov glajenja ploskve v ospredju; glajenje prostorske ploskve in drugi postopki (vidnosti, senčenje itd.) med prikazom zahtevajo dodatno obdelavo prikaza v dejanskem času. Če lahko izključimo tovrstne dodelave predvsem v ospredju prikaza, ki se najbolj dinamično spreminja, se lahko izboljša potek animacije.
- Uporaba stalne oziroma konstante višine pogleda; uporaba enotnega višinskega pogleda na prikazano animacijo modela namesto spreminjanja višine lahko pospeši potek in izboljša izgled animacije.
- Zmanjšanje števila podatkovnih slojev; izbira in zlasti vrstni red tematskih plasti na osnovno ploskev sta zelo pomembna zaradi njihove vidnosti in hkrati neposrednega vpliva na potek in izvedbo aplikacije.
- Zmanjšanje zapletenosti osnovne ploskve in števila posnetkov; z opuščanjem posnetkov v poteku animacije se tudi pridobi hitrost animacije, vendar pa lahko takšne poenostavitve hkrati privedejo do zmanjšane kakovosti (gladkost poteka, ločljivost itd.).

5 KARTOGRAFSKI MODEL PREDVIDENEGA ŽELEZNIŠKEGA KORIDORJA

5.1 Opredelitev namena kartografskega modela

Opredelitev namena in ciljev 3R-kartografskega modela vplivajo na izbiro vsebine ter potek izdelave in realizacije modela. Model mora biti za uporabnike zanimiv, ker pa se ne da ustreči vsem naenkrat, je treba definirati ciljne skupine ljudi, ki jim bo namenjen.

Ker izdelujem model predvidenega (projektiranega) železniškega koridorja, bom še posebej posvetil pozornost železnici ter njenim objektom. Upodobil jih bom z visoko stopnjo podrobnosti in v pravilni geometriji, skladno s projektom in veljavnimi pravilniki Republike Slovenije. Druga vsebina, objekti, ceste, potoki ter gozdovi, so sekundarnega pomena in služijo predvsem orientaciji v prostoru. Moj namen je izdelati kartografski model v programskem okolju, ki bo omogočal preprosto dodajanje in spreminjanje poljubne vsebine. Tako bi bila ob morebitni spremembi elementov ali poteka celotne trase mogoča tudi sprememba njene upodobitve.

3R-upodobitev projektiranega objekta, tako kot upodobitev, izdelana v sklopu te diplomske naloge, služi kot pomoč pri umestitvi in predstavitvi objekta v prostoru. Upodobitev projektiranega objekta je zato v prvi vrsti namenjena investitorju, ljudem, ki odločajo o izgraditvi objekta, ter za predstavitev projekta širši javnosti.

Izdelan kartografski model je, poleg predstavitve objekta v prostoru, v nadaljevanju uporaben tudi pri prostorskem načrtovanju, urbanizmu, promociji mesta, arhitekturi, gradbeništvu itd.

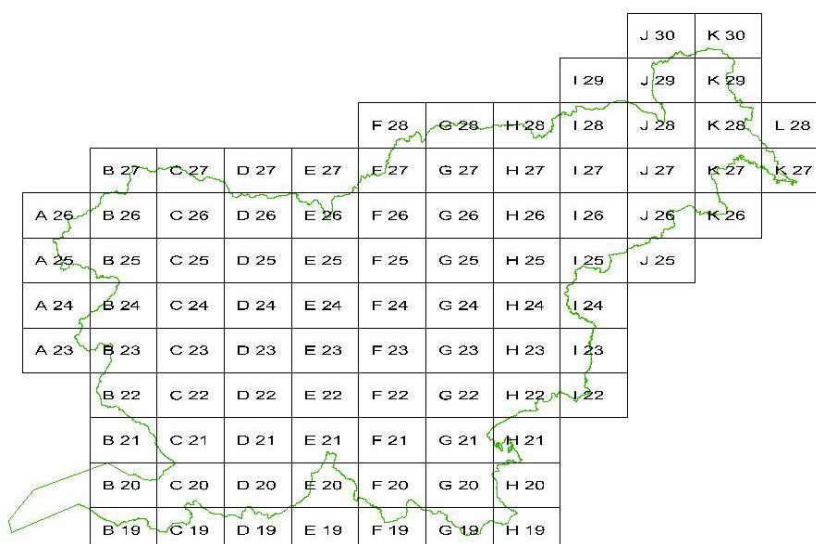
Izdelani 3R-model projektiranega objekta lahko uporabimo v fotomontaži, kot je prikazano na sliki 17, ki prikazuje novo železniško postajo v Ljubljani, in tako še nazorneje upodobimo objekt na prizadetem območju. Mogoča je tudi izdelava modela s 3D-tiskalnikom.



Slika 17: Fotomontaža nove železniške postaje Ljubljana
(<http://www.ljubljana.si/file/800611/emonika.jpg>)

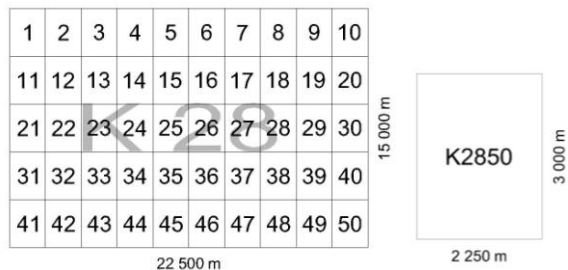
5.2 Določitev območja

Ozemlje Slovenije je razdeljeno na trigonometrične sekcije velikosti 22 500 m x 15 000 m.
Razdelitev na trigonometrične sekcije je naslednja:



Slika 18: Razdeljitev Slovenije na trigonometrične sekcije

Trigonometrična sekcija se na liste merila 1 : 5000 razdeli:

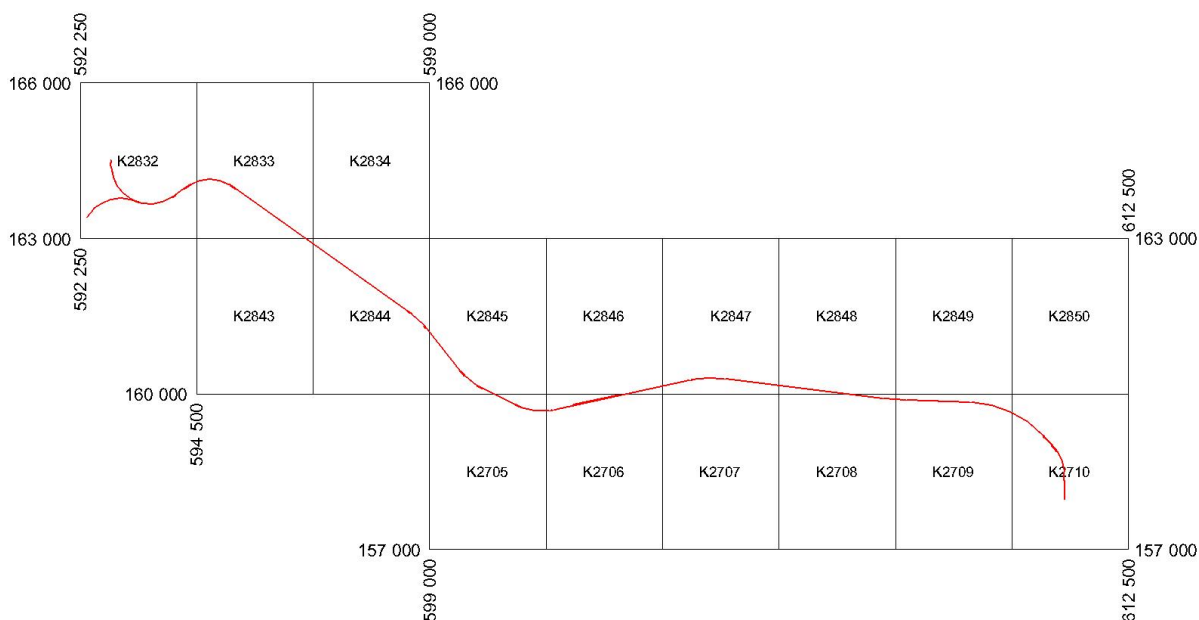


Slika 19: Razdelitev sekcije na list merila 1 : 5000

Slovenijo pokriva 3258 listov TTN5, velikosti 2250 m x 3000 m.

Izbrano območje obdelave oziroma izdelave 3R-modela je povezano s traso nove železniške proge in velikosti listov temeljnega topografskega načrta merila 1 : 5000 (TTN5). Uporabil sem liste, ki jih trasa železniške proge seka, in dodatno liste K2834, K2849 in K2850.

Obravnavano območje tako obsega 17 listov: K2832, K2833, K2834, K2843, K2844, K2845, K2846, K2847, K2848, K2849, K2850, K2705, K2706, K2707, K2708, K2709, K2710. Površina celotnega območja znaša 114,75 km².



Slika 20: Obravnavano območje s traso železniške proge

Trasa poteka prek petih občin:

- Beltinci,
- Odranci,
- Črenšovci,
- Polana,
- Lendava.

Obravnvano območje zajema mesti Beltinci in Lendava, vasi Bratonci, Lipovci, Odranci, Trnje, Črenšovci, Velika Polana, Mala Polana, Brezovica, Dolga vas, Kapca ter dele vasi Grančani, Lipa in Gomilica (Pregledna situacija – Priloga 2).

5.3 Opis poteka trase

Namen nove proge je predvsem povezati Lendavo z matičnim železniškim omrežjem, saj je trenutno povezana z notranjostjo Slovenije oziroma slovenskim železniškim omrežjem samo prek Hrvaške. Lendava je dobila železniško progo leta 1890. V letih 1945/46 je bila na odseku Lendava–Redič železniška proga opuščena, odstranjeni so bili vsi elementi zgornjega ustroja, zato je danes z železniško progo povezana le prek Hrvaške (proga Čakovec–Lendava). Dolžina proge do slovensko-hrvaške meje znaša 5216 m. Edina postaja na slovenskem delu proge je postaja Lendava. Na tej progi danes poteka samo tovorni promet za potrebe industrije.

V okviru študije tehnične izvedljivosti železniške povezave mesta Lendava z obstoječo progo Ormož–Murska Sobota so bile zasnovane in obdelane tri osnovne smeri (koridorji) mogoče povezave, in sicer:

- Ljutomer–Lendava (koridor A),
- Beltinci–Lendava (koridor B),
- Murska Sobota–Lendava (koridor C).

Kot najugodnejši je bil izbran koridor B, Beltinci–Lendava. Poglavitne prednosti tega koridorja pred preostalima so: najkrajša dolžina lendavske proge, tehnično in finančno najmanj zahteven koridor ter z vidika varstva okolja relativno majhni posegi v prostor.

Za koridor B je bilo izdelanih več variant in podvariant poteka nove proge. Diplomaska naloga obravnava eno izmed obdelanih variant, varianta B, ki je cenovno, glede na oceno stroškov

izgradnje, najprimernejša. Najprimernejša je tudi glede nekaterih drugih kriterijev, kot na primer: najkrajša dolžina nove proge, gostota oziroma število prebivalcev ob novi trasi itd.

Dolžina proge je 21,7 km. Izhodiščna točka stacionaže (km 0 + 000) je navezana na cepno kretnico proge Ormož–Murska Sobota–Hodoš–državna meja. Trasa v začetnem delu poteka med naseljema Bratonci in Beltinci. V km 1 + 650 je predvideno nivojsko križanje z lokalno cesto, v km 1 + 750 prečka potok Črnec, v km 2 + 060 pa obstoječo glavno cesto G1/3 (cestni nadvoz). V km 3 + 070 je predvidena gradnja cestnega nadvoza (regionalna cesta R2/439), v km 3 + 150 pa postajališče Beltinci. Od tu dalje poteka trasa severno od naselij Beltinci, Odranci in Črenšovci. V km 4 + 260 je predvideno nivojsko križanje z regionalno cesto R3/729, v km 7 + 060 pa z lokalno cesto. Gradnja postajališča Odranci je predvidena v km 6 + 950. V km 8 + 580 je predvidena gradnja cestnega nadvoza (regionalna cesta R3/726). Gradnja postajališča Črenšovci je predvidena v km 9 + 600, v km 9 + 720 pa traso nivojsko križa lokalna cesta. V nadaljevanju je prek nadvoza v km 11 + 040 predvideno križanje z lokalno cesto. V km 12 + 380 trasa zopet prečka potok Črnec, v km 12 + 400 pa je predvideno nivojsko križanje z regionalno cesto (R3/729). Postajališče Velika Polana je predvideno v km 12 + 500. V nadaljevanju poteka trasa predvidene železniške proge severno od naselij Velika in Mala Polana, s postajališčem Mala Polana v km 14 + 550 in potem ob potoku Črnec. V km 16 + 830 trasa prečka potok Črni potok (Kopanja). Pred postajališčem Mala Polana je predvideno nivojsko križanje z lokalno cesto (km 14 + 450), nivojsko pa lokalno cesto trasa križa še za mostom prek potoka Kopanja (km 16 + 980). V nadaljevanju trasa poteka ob južni oziroma zahodni strani vodotoka Ledava. V km 20 + 790 trasa železniške proge križa novozgrajeno avtocesto, gradnja bodočega objekta križanja (avtocestni nadvoz) pa je predvidena v km 20 + 870. V km 21 + 440, to je pred postajo Lendava, trasa še enkrat prečka potok Črnec (Tiring, 2008).

Potek opisane trase je razviden iz pregledne situacije merila 1 : 25 000, priloženega v prilogi 2.

6 MATEMATIČNA OSNOVA

Koordinatne sisteme uporabljamo za opisovanje položaja na ravnini in v prostoru. Ena njihovih osnovnih nalog je, da nam omogočajo upodabljanje Zemeljske površine z ustrezno natančnostjo. Koordinatne sisteme zato lahko delimo na globalne, ki jih uporabljamo kjer koli na Zemlji, in lokalne, ki so namenjeni uporabi na nekem lokalnem območju. Opišemo jih z množico pravil, s katerimi je podan način dodeljevanja koordinat posameznim točkam. Položaj v koordinatnih sistemih podajamo s koordinatami, ki so ena izmed n -števil, s katerimi je podan položaj točke v n -razsežnem prostoru. Za opis položaja točke v geometrijskem smislu lahko uporabimo eno-, dvo-, ali trirazsežen koordinatni sistem. Za opis spremembe položaja v času dodamo četrto koordinato (razsežnost), čas. Pri obravnavi geodinamičnih pojavov opis položaja s tremi oziroma štirimi koordinatami ne zadošča, zato se uporablja šestrazsežni koordinatni sistem, kjer se osnovnim koordinatam za opis geometrijskega položaja dodajo še tri koordinate, ki predstavljajo hitrost sprememb koordinat točk (Stopar, Koler, Kuhar, 2001).

Zaradi praktičnih razlogov se koordinatni sistem dopolni s kartografsko projekcijo, tako da skupaj omogočata preprosto kartiranje zemeljskega površja na ravnino, na katero običajno rišemo načrt ali karto.

Koordinatni sistem je določen z množico pravil in definicij, ki so objavljena s strani države ali znanstvenega združenja. Za njegovo vzpostavitev ga je treba na začetku teoretično definirati. Treba je določiti položaj njegovega izhodišča, orientacijo koordinatnih osi, razsežnost koordinatnega sistema, tip koordinat ter merilo oziroma enoto posameznih koordinat. Teoretično definirani koordinatni sistem je treba v drugem koraku praktično realizirati in ga povezati s telesom Zemlje. Ta povezava se izvede prek trajno stabiliziranih geodetskih točk na zemeljskem površju. Zadnji korak pri vzpostavitvi koordinatnega sistema pa je mednarodna uveljavitev kot sistem, ki je primeren za vsakdanjo rabo (Stopar, Koler, Kuhar, 2001).

Države imajo za svoja državna ozemlja vzpostavljene državne koordinatne sisteme, ki so rezultat znanstvenega in tehnološkega razvoja v času njihove vzpostavitve. Državni

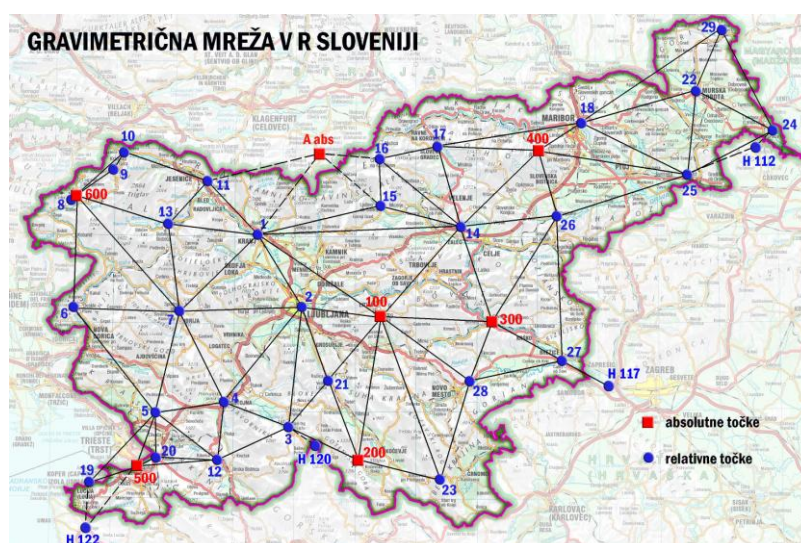
koordinatni sistem mora, ob upoštevanju mednarodnih standardov, najprej zadovoljiti potrebe države. V Sloveniji je za vzpostavitev, vzdrževanje in vodenje državnega koordinatnega sistema pristojna Geodetska uprava Republike Slovenije. Državni koordinatni sistem delimo na horizontalni in višinski koordinatni sistem, kar pomeni, da obravnavamo dva ločena koordinatna sistema. Razlog za ločeno obravnavo horizontalnih in višinskih koordinat so različne meritve za določitev višine. Rezultati teh meritev so obremenjeni z geometrijskimi lastnostmi težnostnega polja, zato jih obravnavamo kot fizikalno količino. Slovenija ima trenutno v uporabi dva horizontalna državna koordinatna sistema.

6.1 Višinski državni koordinatni sistem

Višine točk določamo s postopki niveliranja, trigonometričnega višinomerstva ter s postopki sodobne satelitske geodezije. Definiranih je več vrst višin: dinamične višine, ortometrične višine, normalne višine itd. Višine v državnem višinskem koordinatnem sistemu so podane v normalnem ortometričnem sistemu višin.

Vertikalni datum predstavlja ničelna nivojska ploskev oziroma srednji nivo morja, ki je bil določen leta 1875 na osnovi enoletnih mareografskih opazovanj na pomolu Santorio v Trstu. Nivelmanska mreža Republike Slovenije je navezana na Avstro-Ogrski fundamentalni reper številka No 394 (FR 1049), ki je stabiliziran pod Pohorjem v bližini Ruš (Stopar, Koler, Kuhar, 2008).

Pri uporabi tehnologij in metod satelitske geodezije pridobimo elipsoidno višino nad geocentričnim referenčnim elipsoidom. Če želimo s temi metodami določiti višino točke v težnostnem polju Zemlje, moramo poznati razliko med elipsoidom in geoidom. Ta razlika ni konstantna in se spreminja, načeloma pa je v vsaki točki drugačna. Za določitev razlike med elipsoidom in geoidom moramo torej poznati obliko geoida, ki se določi na osnovi gravimetričnih meritev. Osnovno gravimetrično mrežo Slovenije sestavlja 29 relativnih in 6 absolutnih točk.



Slika 21: Prikaz položaja točk gravimetrične mreže

([http://prostor.gov.si/vstop/index.php?id=389&no_cache=1&tx_simpltabs_pi1\[tab\]=404#tabs](http://prostor.gov.si/vstop/index.php?id=389&no_cache=1&tx_simpltabs_pi1[tab]=404#tabs))

6.2 Horizontalni državni koordinatni sistem

Slovenija ima trenutno v uporabi dva horizontalna državna koordinatna sistema. Prvi je Gauss-Krügerjev koordinatni sistem, z izhodiščem v presečišču srednjega oziroma dotikalnega meridiana cone in ekvatorja. Koordinatni sistem je levosučen. Definiran je bil leta 1948, zato se ga tudi označuje z oznako D48, kar predstavlja datum izračuna položajev točk astrogeodetske mreže. Koordinatni sistem uporablja Gauss-Krügerjevo projekcijo na Besslov elipsoid. Lastnosti projekcije so:

- konforna projekcija (ohranjajo se koti in oblika likov, druge deformacije pa naraščajo v smeri od dotikalnega meridiana),
- projekcija je cilindrična (projekcijska ploskev je plašč valja),
- prečna projekcija (valj se dotika elipsoida v dotikalnem meridianu),
- centralna projekcija (projekcijski center je v središču Zemlje oziroma zemeljskega elipsoida).

Širina meridianske cone Gauss-Krügerjeve projekcije je 3° , celotno površje Zemlje je tako zajeto s 120 conami. Sloveniji zaradi ugodnega geografskega položaja skoraj v celoti ustreza 5. cona s 15° srednjim meridianom vzhodne geografske dolžine glede na začetni meridian Greenwich. Ker pa majhen del slovenskega ozemlja pade zunaj cone, se je ta razširila za $15'$.

Os x v koordinatnem sistemu predstavlja projekcijo srednjega meridiana in je usmerjena proti severu. Os y pa predstavlja projekcijo ekvatorja in je usmerjena proti vzhodu. Obe osi se v Gauss-Krügerjevi projekciji preslikata kot ravni črti, drugi meridiani in paralele pa se preslikajo kot kompleksne krivulje, simetrične glede na srednji meridian. Na dotikalnem meridianu ni linijskih deformacij, se pa večajo z oddaljenostjo od njega. Za ublažitev velikosti deformacije se je uvedel faktor modulacije, ki znaša 0,9999, z njim se pomnoži vsaka koordinata, s čimer se dobi reducirana koordinata.

Vrednost koordinat y na srednjem 15° meridianu se je določila na 500 000, s tem se je zagotovilo, da imajo vse pozitivno vrednost. Koordinate x so se zmanjšale za vrednost 5 000 000, ker ozemlje celotne Slovenije leži med 5 000 000 in 6 000 000 metri oddaljenosti od ekvatorja, se s tem skrajša in poenostavi zapis koordinate.

Referenčna ploskev koordinatnega sistema je Besslov elipsoid, določen leta 1841 s parametri:

- velika polos $a = 6\,377\,397.15500$ m,
- mala polos $b = 6\,356\,078.96325$ m.

Elipsoid ni lociran v središče Zemlje, ampak se prilega območju Evrope in je fiksiran v fundamentalni točki Hermannskogel nad Dunajem z orientacijo na Hundesheimer Berg.

Novi koordinatni sistem je del ESRS – evropskega prostorskega referenčnega sistema (European Spatial Reference System). V okviru kampanj EUREF v letih 1994/95/96 so bila izvedena GPS-opazovanja in izračunane koordinate točk triangulacijske mreže I. reda, ki predstavljajo osnovo za navezavo vseh mrež ETRS. Mreža teh točk se z leti postopoma zgoščuje in t. i. točke ETRS te mreže predstavljajo osnovo za materializacijo koordinatnega sistema ETRS89. Hkrati z zgoščevanjem mreže točk ETRS je potekala tudi izgradnja omrežja stalno delujočih postaj GPS SIGNAL.

Glavna razlika med novim in starim koordinatnim sistemom je referenčna ploskev. Referenčna ploskev v novem koordinatnem sistemu je elipsoid GRS80, ki je za razliko od Besslovega elipsoida geocentričen. Elipsoid je leta 1979 določila Mednarodna zveza za geodezijo in geofiziko IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics). Njegovi parametri so:

- velika polos $a = 6\,378\,137,00000$ m,
- geocentrična gravitacijska konstanta $GM = 3\,986\,005\,10^8$ m³/s²,
- dinamični faktor oblike $J_2 = 108\,263\,10^{-8}$,
- srednja kotna hitrost $\omega = 7\,292,115\,10^{-11}$ rad/s.

Kartografska projekcija novega koordinatnega sistema je enaka Gauss-Krügerjevi projekciji, vendar se zaradi uskladitve z evropsko terminologijo imenuje prečna ali transverzalna Mercatorjeva projekcija. Novo državno kartografsko projekcijo zato označujemo s TM (Transverzalna Mercatorjeva). Geometrijsko gledano je to projekcija na eliptični valj, katerega os leži v ravnini ekvatorja.

Glede na to, da pri izdelavi 3R-modela v računalniškem programu nisem omejen na uporabo le enega koordinatnega sistema, saj programi omogočajo hitro preračunavanje iz enega koordinatnega sistema v drugega, sem pri izdelavi modela uporabil koordinatni sistem uporabljenih podatkov.

7. PODATKI DRŽAVNE GEODETSKE SLUŽBE

Osnovne podatke, ki sem jih uporabil pri izdelavi 3R-upodobitve, sem pridobil na Geodetski upravi Republike Slovenije (GURS):

- kataster stavb,
- DMV5,
- DOF050.

7.1 Kataster stavb

Stavba je objekt, v katerega lahko človek vstopi in ki je namenjen njegovemu stalnemu ali začasnemu prebivanju, opravljanju poslovne ali druge dejavnosti ali zaščiti ter ga ni mogoče prestaviti brez škode za njegovo substanco. Lahko ima enega ali več delov, posamezni del pa je prostor oziroma skupina prostorov v stavbi, ki se lahko samostojno pravno ureja (ZEN, 71.člen).

Centralno bazo katastra stavb je vzpostavila ter jo vodi in vzdržuje GURS. V njej se vodijo naslednji podatki o stavbah in o delih stavb (Ferlan, 2005):

- identifikacijska oznaka stavbe (določi se v okviru katastrske občine) in identifikacijska oznaka dela stavb, ki se določi v okviru stavbe same,
- lastnik stavbe in dela stavbe, ki so podatki zemljiške knjige. Podatki, vodeni o posameznem lastniku, so:
 - ime in priimek (fizična oseba), naslov stalnega prebivališča, datum rojstva, državljanstvo in EMŠO,
 - ime podjetja (pravne osebe), naslov sedeža in matična številka,
 - podatek in datum smrti fizične osebe ali o prenehanju delovanja pravne osebe,
 - dokler se ne prevzamejo podatki iz zemljiške knjige (vpis podatkov v zemljiško knjigo), se v kataster stavb kot podatki o lastniku stavbe vpišejo osebe, za katere se v postopku izdelave elaborata za vpis v kataster stavb ugotovi, da imajo stavbo ali del stavbe v uporabi.
- upravljavec stavbe,
- lega in oblika stavbe in dela stavbe (določi se s tlorisom stavbe ali dela stavbe, številom etaž in višino stavbe),

- površina dela stavbe (je neto vsota površin prostorov, ki sestavljajo del stavbe),
- neto tlorisna površina stavbe (je vsota vseh površin delov stavbe),
- dejanska raba stavbe (vodi se gleda na klasifikacijo objekta, ki predstavlja njen večinski namen uporabe stavbe):
 - dejanska raba dela stavbe (del stavbe ima lahko le eno izmed predvidenih dejanskih rab),
 - stanovanjska raba,
 - nestanovanjska raba,
 - skupna raba.
- številka stanovanja ali poslovnega prostora se oštevilči z zaporedno številko v okviru stavbe same.

V katastru stavb se vodijo tudi podatki o povezavi stavbe z (Ferlan, 2005):

- registrom prostorskih enot (občina, naselje, ulica, hišna številka in dodatek k hišni številki, za stavbo brez hišne številke se vodi le občina in naselje),
- zemljiškim katastrom (katastrska občina ter številka parcele pod ali nad stavbo),
- zemljiško knjigo (zemljiškoknjižni vložek in podvložek).

7.2 Model zemeljskega površja

Za opis oblikovanosti zemeljskega površja v Sloveniji v večini primerov uporabljamo izraza digitalni model reliefa (DMR) in digitalni model višin (DMV).

Pri DMV-ju gre za preprost zapis v dvorazsežno kvadratasto celično mrežo z višinami, zapisanimi kot atributi. Pojem DMR pa pomeni precej več, in sicer kompleksno predstavitev površja, ki vsebuje višinske točke površja, značilne točke in črtne ter druge geomorfološke značilnosti. Za izraza DMV in DMR se je med strokovnjaki in uporabniki udomačila poenostavljena kratica DMR, v angleščini pa predvsem DEM (digital elevation model). Glede na to, da definicija DMR-ja v celoti vsebuje definicijo DMV-ja in zaradi zgodovinskega razvoja pojmov v Sloveniji je skupna raba DMR-ja, kljub manjši pomenski nekorektnosti, največkrat upravičena. DMR lahko tako razumemo kot digitalni zapis zemeljskega površja z zvezno gladko ploskvijo (Podobnikar, 2002).

DMR je digitalna predstavitev zemeljske površine. Model reliefa je pri prezentaciji neodvisen od merila prikaza, saj je podan z absolutnimi koordinatami. Ima širok spekter uporabe. Uporabljamo ga za prikazovanje reliefa (izdelava prečnih profilov, plastnic, hipsometričnih prikazov, senčenje reliefa, orientacija, prikazovanje v perspektivnih pogledih itd.), za prostorske analize (optična vidljivost, prehodnost terena, izdelava simulacij, analize pokritosti območja z radiosignali, radarske analize, vpliv reliefa na taktične situacije itd.). Način zajema DMR-ja lahko razdelimo v več skupin (Rozman, 2000):

- Posredni zajem, kjer so viri zajema aero ali satelitski posnetki, obstoječe karte ali pa že obstoječi DMR. Natančnost zajetega modela je tako odvisna od natančnosti in ažurnosti vira, iz katerega se podatki zajemajo z rastrsko ali vektorsko vektorizacijo. Način vektorizacije pa je ročni, polavtomatski ali avtomatski.
- Neposredni zajem predstavljajo terenska merjenja ter radarska ali laserska izdelava profilov.
- Kombiniran način pa je kombinacija posrednega in neposredna načina zajema.

Izbira načina zajema podatkov je v veliki meri odvisna od namena uporabe DMR-ja, razpoložljivega časa, velikosti območja, konfiguracije terena, razpoložljive opreme itd.

7.2.1 Razvoj DMR-ja v Sloveniji

Zamisel o izdelavi digitalnega modela reliefa je stara skoraj toliko kot informacijska doba oz. uveljavljanje digitalnega računalništva, torej vsaj 50 let. Kljub temu korenine DMR-ja segajo še v analogne predstavitve reliefa, ki so neprimerno starejše. Izraz DMR je prvi uporabil Američan Charles L. Miller, ki je sredi 50. let prejšnjega stoletja zasnoval raziskovalno nalogo, katere cilj je bil razvoj računalniško podprtega sistema za učinkovito projektiranje avtocestne infrastrukture (Podobnikar, 2006).

Prve zamisli o izdelavi DMR-ja za celotno Slovenijo segajo v konec šestdesetih let prejšnjega stoletja. Za prvi poskus zajema višinskih podatkov v pravilno celično mrežo štejemo izdelavo relativnega reliefa občine Domžale v merilu 1 : 150 000. Vnašali so višinske razlike površja z določenim izhodiščem v celično mrežo dimenzij 500 x 500 m. Prvi digitalni model reliefa za celotno Slovenijo so začeli izdelovati leta 1973, dokončali pa so ga leta 1984. Bil je ločljivosti 100 x 100 m in so ga vzdrževali vse do leta 1997. Ker pa so se dela modela 100 x 100 m preveč zavlekla, so leta 1975 izdelali DMR 500. Od konca osemdesetih let in v devetdesetih

letih ni bilo vidnega napredka, v ozadju pa je bilo izdelanih kar nekaj študij. Od leta 1995 do 2005 so izdelali DMR 25 kot vzporedni proizvod digitalnega ortofota v merilu 1 : 5000. Leta 2000 je bil dokončan t. i. InSAR 25. Leta 2005 so bili z metodo integracije obstoječih geodetskih podatkov različne kakovosti izdelani DMR-ji Slovenije z bližnjo okolico z ločljivostjo 12,5, 25 in 100 m. Zadnji v vrsti DMR-jev za vso Slovenijo je DMV 5 iz leta 2007, izdelan s prevzorčenjem DMV-ja 12,5 ter fotogrametrično obdelavo (Podobnikar, 2003).

7.2.2 DMV 5

Digitalni model višin ločljivosti 5 metrov in s predpisanim srednjim odklonom med 1 in 3 metrov, je bil izdelan leta 2007 po naročilu GURS-a. Osnova za izdelavo je bil DMV 12,5, prevzorčen na ločljivost 5 metrov. Prevzorčen model se je še dodatno obdelal s ploskovnimi, linijskimi in točkovnimi orodji CAD na osnovi stereoparov CAS (Ciklično Aerosnemanje Slovenije), s katerimi so opravljali različno usposobljeni operaterji, kar se pokaže v različni kakovosti modela (Podobnikar, 2008).

7.3 Ortofoto

Ortofoto je aerofotografija, ki je z upoštevanjem podatkov o reliefu in absolutne orientacije aerofotografij pretvorjena v ortogonalno projekcijo. Pri tem so odstranjeni vplivi optike aerofotoaparata, njegovega nagiba in vpliv razgibanosti terena. Izdelek je v metričnem smislu primerljiv z linijskim načrtom ali karto.

7.3.1 Izdelava ortofota

Digitalni ortofoto (v praksi se je uveljavila kratica DOF) je izdelan izključno z digitalnimi postopki. Imenujemo ga lahko tudi ortofotografija ali ortofotokarta, saj ga dobimo s transformacijo fotografskega posnetka v ortogonalno projekcijo.

Postopke izdelave ortofota lahko v kratkih točkah razvrstimo na:

- skeniranje aerosnetkov (če je snemanje analogno),
- orientacija posnetkov,
- priprava digitalnega modela višin,
- geometrična in radiometrična transformacija,

- združevanje posnetkov,
- oprema karte,
- zapis na digitalni medij/izris.

Ortofoto je izdelan s postopkom diferencialnega redresiranja iz letalskih posnetkov, ki so upodobitev fotografiranega objekta v centralni projekciji. Kakovost vira oziroma letalskega posnetka je osnovni pogoj za izdelavo kakovostnega ortofota. Pogreški posameznih elementov, ki vplivajo predvsem na pozicijsko natančnost ortofota, se radialno večajo od sredine posnetka, kjer je njihova velikost blizu nič, proti robovom fotografije, kjer so pogreški največji. Poleg geometrične natančnosti je pomembna tudi pravilna ekspozicija in izbira kakovostnega fotografskega filma, ki vpliva na primerno ostrino in svetlost fotografije, vidnost detajlov itd. Notranja in zunanja orientacija fotografije nam omogoča rekonstruiranje prostorskega položaja fotografije v trenutku, ko je bila posneta. S pomočjo notranje orientacije vzpostavimo slikovni koordinatni sistem, ki je enak za vse posnetke, posnete z istim fotoaparatom v istem času. Notranja orientacija se določi z meritvijo robnih markic, ki se preslikajo na nosilec slike, predstavljajo pa jo koordinate glavne točke (x_0, y_0) in konstanta kamere (c_k). Običajno jo poda proizvajalec fotoaparata z laboratorijsko kalibracijo, ki jo je treba v določenem časovnem obdobju ponoviti. Elementi zunanje orientacije predstavljajo koordinate perspektivnega centra (X_0, Y_0, Z_0) v prostorskem koordinatnem sistemu in rotacijski koti ω , φ , κ . Elementi zunanje orientacije se izračunajo v postopku aerotriangulacije. Vsak pogrešek v premiku oziroma kotu zasuka projekcijskega centra pa neposredno vpliva na prostorski položaj premice skozi izbrano točko posnetka. Zato mora biti v poročilu aerotriangulacije ocena natančnosti izračunanih parametrov zunanje orientacije. Skozi vsako točko na fotografiji lahko rekonstruiramo premico, ki povezuje to točko, projekcijski center fotoaparata in objektno točko. Ker vemo, da objektna točka leži nekje na tej premici, ji lahko določimo njen natančni položaj. Ta se določi na podlagi sosednje fotografije (njenega stereopara), s presekom dveh prostorskih premic ali pa s presekom prostorske premice z digitalnim modelom višin (Kosmatin Fras, 2004).

Pri klasičnih fotogrametričnih metodah se najbolj uporabljajo postopki na osnovi zajema podatkov iz stereopara. Postopek preseka slikovnega žarka z digitalnim modelom višin uporabimo takrat, ko podatke zajemamo le iz ene fotografije naenkrat. Tudi kakovost

uporabljenega DMV-ja odločilno vpliva na pozicijsko natančnost ortofota. Na njem bodo pozicijsko pravilno prikazani le tisti elementi, ki ležijo na uporabljenem višinskem modelu. Premaknjeni pa bodo vrhovi dreves, grajeni objekti, hitri višinski prehodi objektov itd. Pomembna je tudi velikost mrežne celice DMV-ja. Poznamo le višine v vogalnih točkah mreže, druge je treba določiti s postopkom linearne interpolacije. Rezultat interpolacije pa je zelo odvisen od vrste terena. Na ravnem terenu bodo rezultati mnogo boljši kot na razgibanem. O postopku izdelave ortofota govorimo takrat, ko nas poleg geometrije (prostorskih koordinat točk) zanima tudi fotografska vsebina (barvne ali sive vrednosti digitalne podobe). S presekom dveh prostorskih premic ali prostorske premice in DMV-ja pridobimo prostorske koordinate X , Y , Z , hkrati pa še pripišemo barvo iz podobe. Tak postopek se ponovi za vsak slikovni element posebej. Ortofoto mora imeti tudi podatek o datumu letalskega snemanja, saj je časovna ažurnost pri kakovosti ortofota zelo pomembna (Kosmatin Fras, 2004).

7.3.2 Zgodovina ortofota v Sloveniji

Geodetska uprava RS je v 80. letih 20. stoletja začela izdelovati klasične ortofote. Uporabljali so se predvsem za vzdrževanje temeljnih topografskih načrtov v merilu 1 : 5000 in karte 1 : 25 000. Prvi ortofoti z velikostjo slikovnega elementa 0,5 m v naravi so bili izdelani za območje občine Koper leta 1993. Izdelanih je bilo okoli 66 listov merila 1 : 5000. Leta 1994 se je začela sistematična izdelava ortofota za Slovenijo. Tako je bilo leta 1994 izdelanih 74 listov DOF5 in 14 listov DOF25. Posnetki so se pridobivali iz cikličnega aerosnemanja, prostorske ločljivosti 0,5 m. Poskusno so v letu 1996 za eno katastrsko občino (10 listov v merilu 1 : 2000) izdelali črno-bele ortofote s prostorsko ločljivostjo 0,2 m, ki so bili uporabljeni za novo določitev katastrske klasifikacije. Z namenom določitve obalnega pasu in obalne linije je bil izdelan barvni ortofoto celotne dolžine obale v širini 200 m in ločljivosti 0,2 m. Slovenija je bila z ortofoti (DOF5) v celoti prvič pokrita avgusta 2001. Leta 2006 pa so bili izdelani barvni ortofoti za celo Slovenijo. V letu 2006 so za aerofotografiranje cele Slovenije prvič uporabili digitalno kamero (Z/I Imaging DMC). Zaradi prehoda na digitalni način zajema podatkov in razširitve produktov se je DOF5 preimenoval v DOF050. Dodatno sta se začela izdelovati DOF025 (velikost slikovnega elementa 0,25 m) in DOF100IR (barvni bližnje infrardeči ortofoto z velikostjo slikovnega elementa 1,0 m). Pri obeh pa je velikost lista enaka DOF050. Nova tehnologija je zahtevala spremembo višine leta oziroma merila

snemanja. DOF050, ki pokriva okrog 60 % ozemlja Slovenije, uporablja merilo snemanja 1 : 42 000, DOF025, s pokritostjo Slovenije okrog 40 %, pa merilo 1 : 21 000 (GURS, 2009).

7.3.3 Zajemanje podatkov iz ortofota

Veliko uporabnikov se odloči za vektorizacijo iz ortofota, ki je glede namena uporabe vektoriziranih podatkov včasih sprejemljiva, ne pa vedno. Uporabnik mora vedeti, da je ortofoto fotografija, na kateri je velika količina podatkov, ki jo mora znati vsak sam pravilno interpretirati. Tudi planimetrična natančnost, kakršne smo vajeni pri klasičnih kartah, tu ni mogoča. Tam je pomenilo, da imamo na karti merila 1 : 5000 planimetrično natančnost ± 1 m, ob predpostavki, da smo sposobni na karti odčitati na 0,2 mm natančno. Pri ortofotu pa smo omejeni na velikost osnovnega elementa, ki za 1 : 5000 znaša 0,5 m v naravi. Ta vrednost je le projektirana, dejanska je odvisna od več dejavnikov. Velja, da se tej vrednosti približamo na ravnem in odprtem terenu, oddaljimo pa se ji v hribovitih, gozdnih in poseljenih območjih. Zajem podatkov se zato bolj priporoča iz originalnih stereoparov na fotogrametričnih postajah (Kosmatin Fras, 2004).

8 OBDELAVA PODATKOV

Pri izdelavi 3R-upodobitve sem uporabil več vrst podatkov. Osnovne podatke sem pridobil na GURS-u, to so:

- kataster stavb,
- DMV5,
- DOF050.

Pri izdelavi sem uporabil tudi podatke projektanta o predvidenem poteku nove železniške proge. Ti podatki so:

- situativni potek trase,
- vzdolžni profil trase,
- karakteristični profil proge.

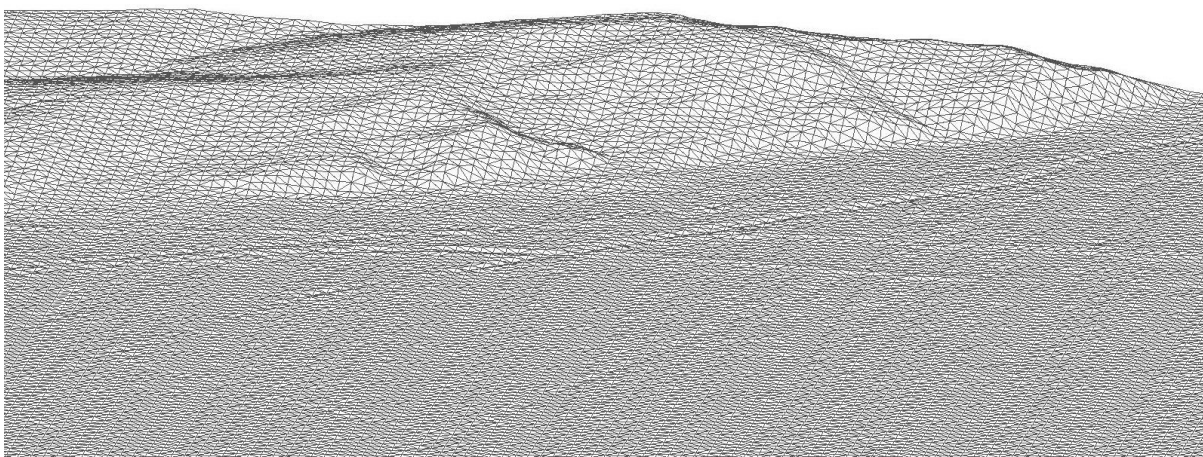
Za pomoč pri izdelavi posameznih 3R-objektov, ki so povezani z železniško progjo, sem uporabil veljavne pravilnike Republike Slovenije.

Izdelavo kartografskega modela lahko opišem v 11 korakih:

1. določitev območja,
2. določitev 3R-ploskve – predstavlja osnovo 3R-modelu, saj z njo opišem obliko in višino terena, ki ga model predstavlja,
3. nanos osnovnega materiala na model – ortofoto sem definiriral kot material DMR-ja,
4. izdelava železniškega koridorja z vsemi pomembnimi elementi (tirnici, pragovi, označbe ob tirih, elementi vozne mreže),
5. vektorizacija in nanos območij na model – hidrografija in prometnice,
6. izdelava in določitev lokacije posameznim 3R-objektom – NPr-ji, cestni nadvozi in postajališča,
7. izdelava avtocestnega koridorja,
8. 3R-modeli stavb z ravnimi strehami,
9. določitev območij in izdelava rastja,
10. določitev atmosfere, neba, osvetlitve in senčenja,
11. izdelava animacije.

8.1 DMV5

Posamezni list TTN5 velikosti 2250 m x 3000 m vsebuje 271 050 točk DMV5, kar pomeni, da je na območju 17 listov 4 607 850 točk digitalnega modela višin. Tako velika količina podatkov pa zahteva dolgotrajno obdelavo. Ker je model na izrazito ravninskem območju in ker zmanjšanje ločljivosti DMV-ja ne poslabša izgleda samega modela, sem se odločil, da količino podatkov zmanjšam. To sem naredil v programu ERDAS IMAGINE. Program je prebral ASCII zapis DMV5 s končnico `***.dat` in ga nato pretvoril v rastrsko sliko, velikosti rastrske celice 25 x 25 metrov. Rastrsko sliko sem nato pretvoril nazaj v ASCII format in ga uvozil v program AutoCAD Civil 3D. Program na podlagi točk tvori mrežo trikotnikov. Podal sem še mejo modela, da mreže trikotnikov po nepotrebem ne tvori tudi zunaj obravnavanega območja.



Slika 22: Mreža trikotnikov velikosti 25 x 25 m na območju mesta Lendava

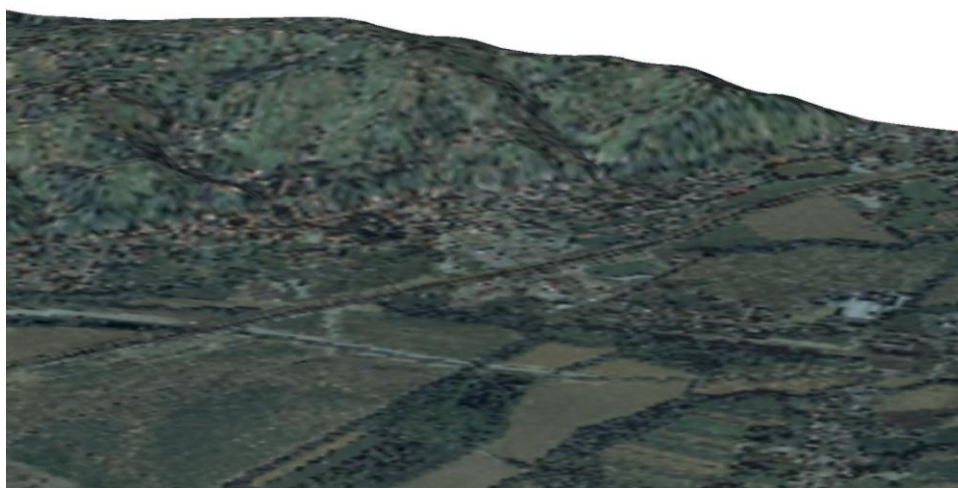
8.2 DOF050

Program AutoCAD Civil 3D ne omogoča preprostega napenjanja DOF-a čez model površja. Rastrsko sliko DOF sem zato določil kot material DMR-ja. Ker pa ni mogoče določiti več rastrskih slik za en material, je bilo treba vseh 17 slik DOF-a združiti v eno samo sliko. Uporaba združene slike DOF-a za material DMR-ja zelo popači rastrsko sliko. Popači jo v tolikšni meri, da je vprašljiva uporaba takšne slike za sam prikaz modela.



Slika 23: DOF K2710

Slika 23 prikazuje ortofoto K2710 območja mesta Lendava, ki je v ortogonalnem pogledu. Na njem se ob ustrezni povečavi jasno vidijo stavbe, ceste, gozdna območja, območja njiv, travnikov itd.



Slika 24: Perspektivni prikaz DMR-ja z definiranim materialom rastrske slike

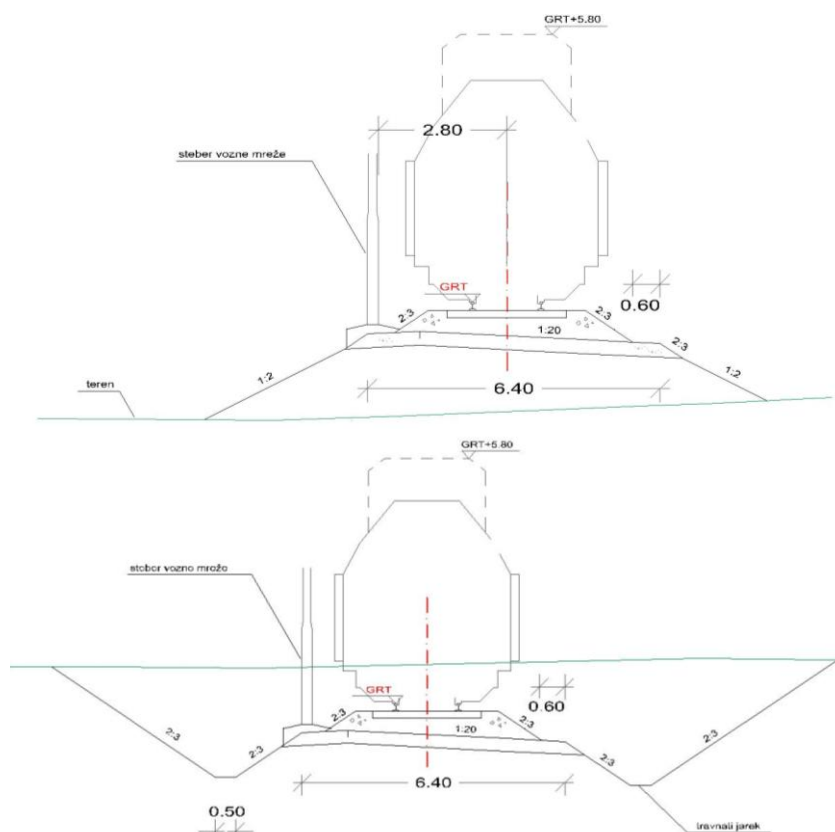
Slika 24 prav tako prikazuje območje mesta Lendave, v perspektivnem pogledu. Prikazano je popačenje rastra, definiranega kot material DMR-ja. Na tej sliki se ne da jasno razbrati

objektov, zaradi popačenja ne vidimo cest, posamezne kulture (njive, travniki, gozd) pa se komaj vidijo oziroma se jih ne da ločiti med seboj. Predvidevam, da je vzrok popačenja rastra v velikosti rastrske datoteke in v nezmožnosti AutoCAD-ovih orodji pri obdelavi rastrskih datotek.

8.3 Modeliranje železniškega koridorja

Železniški koridor sem modeliral v programu AutoCAD Civil 3D. Osnovne podatke za izdelavo modela sem pridobil iz projekta »Študija izvedljivosti železniške proge Beltinci–Lendava«. Uporabil sem vzdolžni profil, smerne rešitve (situacija) ter karakteristična profila proge v nasipu in vkopu.

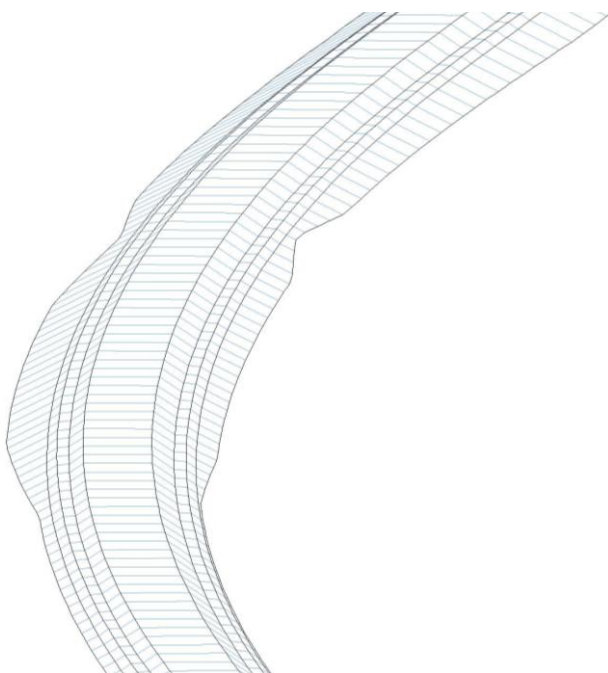
Na podlagi smernega poteka proge in DMR-ja program izriše vzdolžni profil terena. Na izrisani vzdolžni profil sem konstruiral niveleto proge ter definiral karakteristična profila v vkopu in nasipu.



Slika 25: Karakteristična profila

(1) karakteristični profil v nasipu; (2) karakteristični profil v vkopu

Sledila je definicija parametrov koridorja, saj lahko spreminjamo dolžino med izrisanimi prečnimi profili. Z manjšanjem dolžine dobimo bolj natančno izrisan model, vendar povečamo čas obdelave. Odločil sem se za izris v premi na 10 m in v krivini na 5 m.



Slika 26: Koridor

Na območju vkopov je koridor pod površjem modela. Na teh mestih mreža trikotnikov z definiranim materialom prekriva koridor in nam onemogoča njegov prikaz. Zato je bilo treba definirati mejo, kjer se mreža trikotnikov na območju koridorja ne bo prikazovala.

Proga ima v vkopu predviden travnati jarek. Dno jarka sem zaradi asociativnosti obarval modro.

8.3.1 Pragovi

Naloge pragov so (Slokar, 2005):

- prenos obtežbe tirnic na gramozno gredo,
- preprečevanje potovanja tirnic zaradi zaviranja, sredobežnih sil in temperaturnih razlik,
- zagotavljanje ustrezne tirne širine.

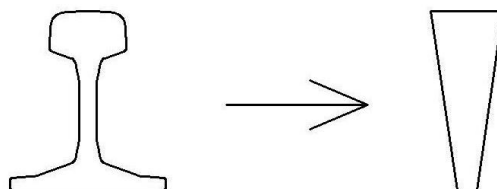
V Sloveniji se uporabljajo leseni, armiranobetonski ali jekleni pragovi.

Model praga je velikosti 260 x 26 x 24 cm. Njihov medsebojni razmik, po Pravilniku o pogojih za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje zgornjega ustroja železniških prog, znaša 60 cm. Medsebojni razmik je razmik med osmi dveh sosednjih pragov.

8.3.2 Tirnici

Namen tirnic ali tračnic je, da vodijo kolesa ter prevzemajo in prenašajo obtežbo vozil na pragove, posredno na gramozno gredo in spodnji ustroj. Nanje vplivajo temperaturne spremembe, obremenjene so s statično in dinamično obtežbo vlakov, nanje vplivajo sile, ki nastajajo pri zaviranju in pospeševanju ter vzponih in padcih. Standardne oznake tirnic so UIC 60, S 49, UIC 54E, pri katerih številka pove približno metrsko maso tirnice. Izbira tirnic je odvisna od predvidene hitrosti vlakov in osnih obremenitev (Slokar, 2005).

Višina modela tirnice je enaka tirnici z oznako UIC60, ki znaša 17,2 cm. Ker pa tirnica ni podrobneje prikazana, sem njeno obliko poenostavil.



Slika 27: Generalizacija tirnice

Razmik med dvema tirnicama znaša 1435 mm, kar je velikost normalne tirne širine, ki jo uporabljajo železnice v Sloveniji. Po definiciji se tirna širina meri med notranjima robovoma tirničnih glav v območju od 0 do 14 mm pod ravnino gornjih tirnic (Slika 2), če pa merimo med osema tirnic, jo lahko zaokrožimo na 1500 mm, kar sem tudi uporabil pri izdelavi modela.

8.3.3 Vozno omrežje

Pravilnik o projektiranju, gradnji in vzdrževanju stabilnih naprav električne vleke enosmernega sistema 3 kV navaja, da je vozno omrežje del stabilnih naprav električne vleke, ki prenašajo električno energijo iz elektronapajalnih postaj do elektrovlečnih vozil.

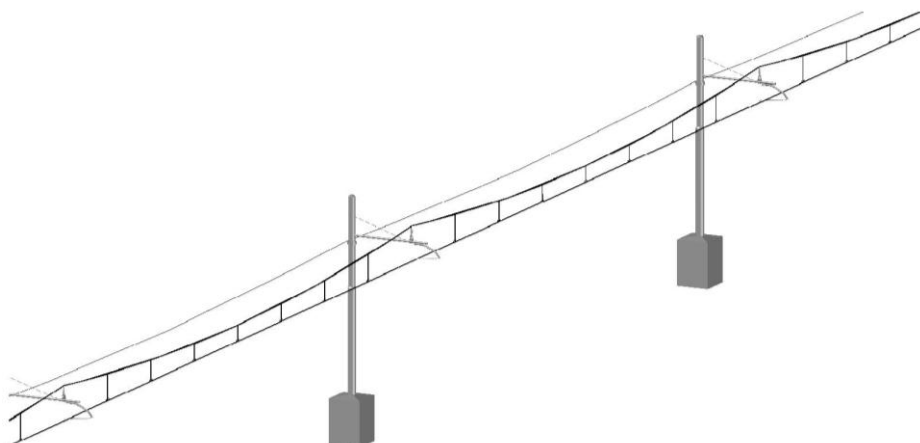
Model voznega omrežja je sestavljen iz stebrov vozne mreže in voznega voda, ki ga sestavljajo kontaktni vodnik, nosilna vrv in obešalke. Pri izdelavi modela voznega omrežja sem upošteval Pravilnik o projektiranju, gradnji in vzdrževanju stabilnih naprav električne vleke enosmernega sistema 3 kV. Razdalja droga vozne mreže od osi tira je odvisna od strani postavitve droga v krivini (notranja ali zunanja stran) in od predvidenega nadvišanja tirnic. Vendar ta ne sme biti manjša od minimalne, po pravilniku predvidene razdalje, ki znaša 2,20 m. Pri izdelavi modela sem izbral enotno oddaljenost 2,80 m od osi tira. Ta razdalja je, po prej omenjenem pravilniku, normalna razdalja za droge, postavljene na notranji strani loka z nadvišanjem tirnic od 101 do 150 mm.

Prav tako je predpisana višina kontaktnega vodnika, ki se meri od višine GRT-ja. Višina mora biti med 4950 mm in 6200 mm, normalna višina kontaktnega vodnika, ki sem jo tudi upošteval pri izdelavi modela, znaša 5350 mm.

Oddaljenost dveh sosednjih drogov je odvisna od dovoljene razpetine voznega voda. Ta pa se določi na podlagi več dejavnikov:

- vpliva vetra,
- poligonacije,
- sistemske višine voznega voda,
- natezne napetosti v vodnikih voznega voda itd.

Pri izdelavi modela voznega voda teh dejavnikov nisem upošteval oziroma jih nisem računal. Določil sem enotno oddaljenost med dvema sosednjima drogovoma, ki znaša 30 metrov.



Slika 28: 3R-model vozne mreže

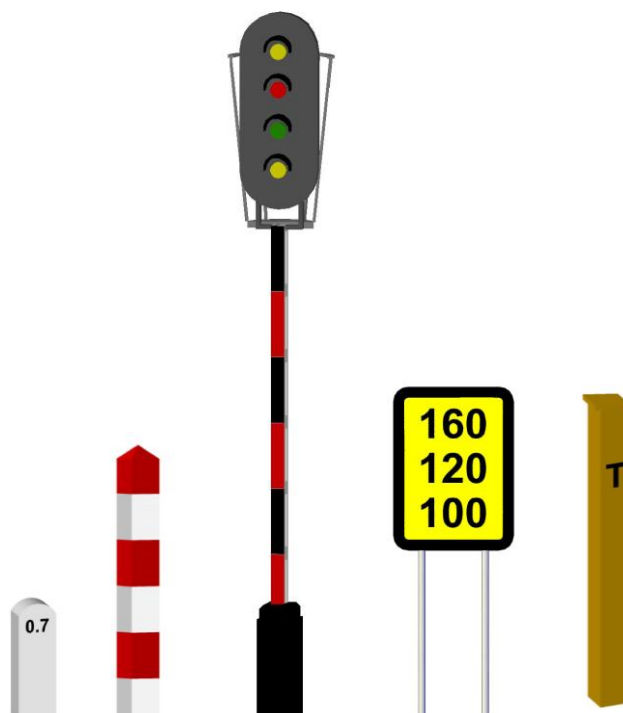
8.3.4 Označbe in signali

Ob progi sem definiral kilometrske in hektometrské označbe (Slika 29 – 1.), ki sem jih izmenično, z medsebojnim razmikom 100 m, postavljaj na levo in desno stran tira na razdalji 2,4 m, merjeno od osi tira.

Glede na Signalni pravilnik sem pred postajališčem na oddaljenosti 700 m definiral uvozni signal (Slika 29 – 3.), katerega namen je prepoved oziroma dovoljenje vlaku, da zapelje v območje postajališča. Signal se, glede na smer vožnje na enotirnih progah, postavi na desno stran proge.

Pred nivojskim cestnim prehodom na oddaljenosti 500 m sem postavil progovni opozorilnik (Slika 29 – 2.), ki opozarja približevanje nivojskega prehoda. Opozorilnik se postavi na desno stran proge, gledano v smeri vožnje.

V model sem vključil še signal, ki dovoljuje največjo progovno hitrost (Slika 29 – 4.). Signal označuje mesto, od katerega naprej je proga sposobna za označeno hitrost. Na signalu so tri številke, ki označujejo hitrost v km/h. Zgornja omejitev velja za vlake z nagibno tehniko, hitrost na sredini velja za motorne vlake, spodnja pa za tovarne vlake (Signalni pravilnik).



Slika 29: 3R-modeli signalov

- (1.) hektometrsko označba; (2.) progovni opozorilnik; (3.) uvozni signal;
(4.) omejitev hitrosti; (5.) omarica progovnega telefona

Proga mora biti opremljena s komunikacijskimi mesti. Ta vsebujejo progovni telefon, ki je nameščen v posebni omarici (Slika 29 – 5.) ali na posebnem stebričku. Namenjen je za neposredno sporazumevanje s progovnim prometnikom oziroma prometnikoma sosednjih postaj (Prometni pravilnik, 2007).

Elementom koridorja, tirnicam, pragom in hektometrskim označbam sem določil še asociativni material.



Slika 30: Prikaz izdelanega 3R-železniškega koridorja z elementi vozne mreže, tirnicami in pragovi

8.4 Modeliranje nivojskih prehodov

Nivojski prehod (NPr) je križanje železniške proge in javne ali nekategorizirane ceste, ki je dana v uporabo za cestni promet v istem nivoju in ne vključuje dostopov na perone in službenih prehodov (Pravilnik o nivojskih prehodih).



Slika 31: Nivojski prehod

Na trasi je predvidenih sedem nivojskih križanj z lokalnimi in regionalnimi cestami. Križanja so predvidena v:

- km 1+650 (lokalna cesta),
- km 4+260 (regionalna cesta R3/729),
- km 7+060 (lokalna cesta),
- km 9+720 (lokalna cesta),
- km 12+400 (regionalna cesta R3/729),
- km 14+450 (lokalna cesta),
- km 16+980 (lokalna cesta).

Model NPR-ja sem izdelal v programu AutoCAD, pri tem sem upošteval Pravilnik o nivojskih prehodih. Glavne zahteve, ki sem jih upošteval pri izdelavi modela NPR-ja, so bile, da mora biti cestišče 3 metre pred prvo in 3 metre za zadnjo tirnico v nivoju zgornjega roba tirnice in da niveleta ceste, v dolžini najmanj 20 metrov za NPR-jem, ne sme biti v nagibu, večjem kot 3,5 %. Vozišče ceste na NPR ne sme biti manjše od 3 metrov, zato sem v modelu konstruiral vozišče širine 6 metrov.

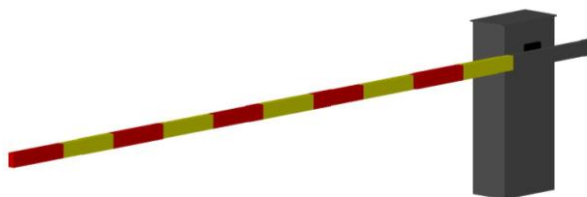
Zavarovan prehod mora imeti tudi cestni signal (Slika 32), katerega namen je dajanje svetlobnih signalov, ki napovedujejo približevanje železniškega vozila oziroma spustitev zapornic v vodoravno lego. Sestavljen je iz osnovne trikotne plošče, ki predstavlja osnovo prometnega znaka za nevarnost v obliki enakostraničnega trikotnika. Na spodnji strani trikotne plošče sta v vodoravni osi drugo poleg druge vgrajeni dve luči s ščitnikoma.



Slika 32: Svetlobni signal

Informacijo o velikosti, barvi in obliki signala sem pridobil v prilogi prej omenjenega pravilnika. Prav tako je v pravilniku določena postavitev signala pred NPR. Osnovno zavarovanje predstavlja postavitev cestnega signala na desni strani cestišča v smeri vožnje cestnih vozil z obeh strani. Signal mora biti postavljen od 1 do 1,5 m pred zapornico in vsaj 0,75 m oddaljen od roba vozišča.

Zapornica je drog, ki v vodoravnem položaju opozarja na prihod vlaka in fizično preprečuje dostop udeležencem cestnega prometa na območje, namenjeno vožnji železniških vozil. Drog zapornice mora biti v zaprtem položaju na višini 0,9 do 1,2 metra nad voziščem, njegov najbolj izpostavljen del pa mora biti od najbližje tirnice oddaljen 3 m.

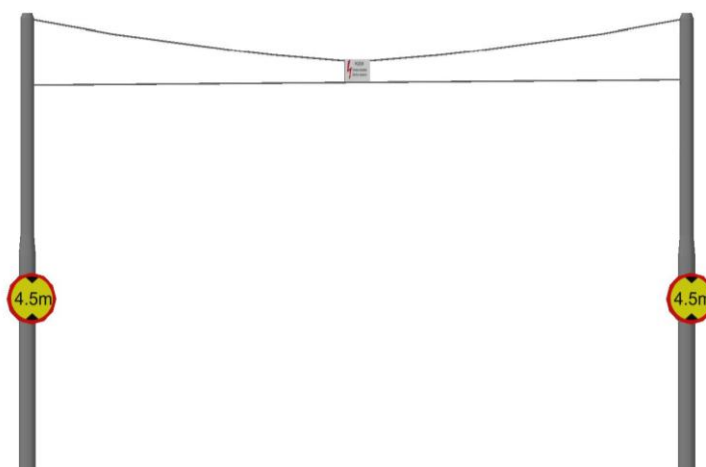


Slika 33: Zapornica

Uporaba zapornic skupaj s cestnimi signali je po Pravilniku o nivojskih prehodih obvezna pri vseh nadgradnjah in novogradnjah NPR-jev in:

- pri zavarovanju NPR-ja na dvo- ali večtirnih progah,
- na progah z največjimi dovoljenimi progovnimi hitrostmi nad 100 km/h,
- pri križanjih s cestami, katerih širina vozišča znaša 7 m in več,
- pri križanjih s cestami z dvema ali več prometnimi pasovi na smernem vozišču,
- pri križanjih, kjer je gost cestni promet ali/in gost železniški promet.

Pred NPR-jem na elektrificiranih progah je treba postaviti zaščitni višinski profil, ki označuje najvišjo dovoljeno višino cestnih vozil, ki ga smejo prečkati. Zaščitni višinski profil mora biti postavljen na razdalji najmanj 8 m od najbližje tirnice, merjeno po cestni osi, in v višini 4,5 metrov nad voziščem ceste (ZVZeIP).



Slika 34: Zaščitni višinski profil

Poleg NPr-ja mora biti locirana tudi hiška nivojskega prehoda. Namenjena je namestitvi avtomatike za zavarovanje nivojskega prehoda, ki omogoča zanesljivo delovanje naprav prehoda (cestni signal, zaporniški pogon).

Na Npr-ju je nameščena tudi omarica progovnega telefona (Slika 29 – 5.).

8.5 Modeliranje postajališča

Postajališče je mesto na železniški progi, ki je namenjeno za vstopanje in izstopanje potnikov, medtem ko je postaja prometno mesto z najmanj eno kretnico, s katerega se vodi promet nasprotnih in zaporednih vlakov, vstopanje in izstopanje potnikov in naklada in razklada blaga (Pravilnik o notranjem redu na železnici).

Dodatna značilnost postajališč je, da tam navadno ne prodajajo železniških vozovnic in nimajo nobenega postajnega osebja, zato so stroški obratovanja nižji.

Vzdolž projektirane trase železniške proge je predvidenih 6 postajališč.

Ime postajališča	Stacionaža postajališča – km
Postajališče Bratonci	0+120
Postajališče Beltinci	3+150
Postajališče Odranci	6+950
Postajališče Črenšovci	9+600
Postajališče Velika Polana	12+500
Postajališče Mala Polana	14+550

Pri modeliranju postajališča sem upošteval Študijo izvedljivosti železniške proge Beltinci–Lendava in Pravilnik o opremljenosti železniških postaj in postajališč. Upošteval sem, da mora biti v bližini železniških postajališč zagotovljeno zadostno število parkirnih mest, kar omogoča uvajanje sistema »Parkiraj in se pelji«. Postajališča morajo imeti zavetišče, ki omogoča potnikom zavetje v primeru neugodnih vremenskih razmer, postavi se vzporedno s peronom, tako da je streha najmanj 3 m oddaljena od osi bližnjega tira.

Zavetišče mora skladno s pravilnikom vsebovati:

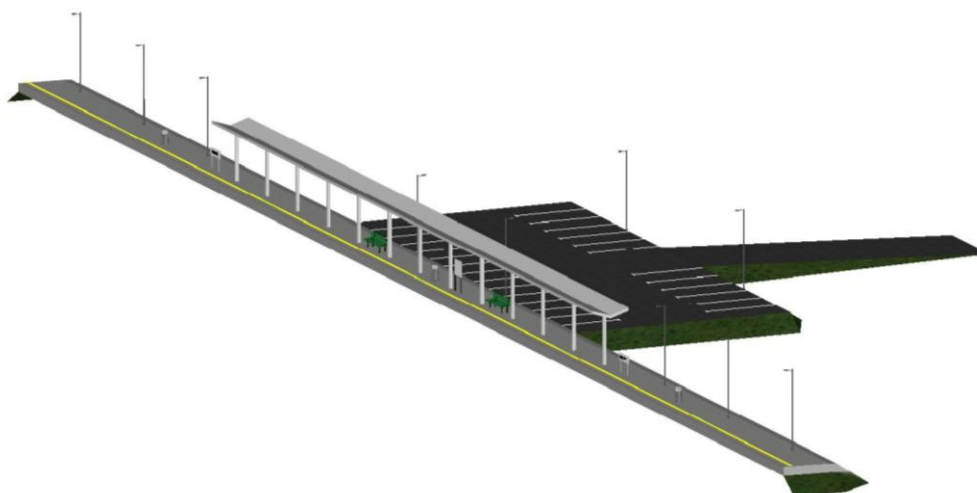
- napisno tablo z imenom postajališča, ki se namesti levo in desno od zavetišča,
- posodo za odpadke,
- klop in/ali sedeže,
- vitrino za vozni red.



Slika 35: Elementi postajališča

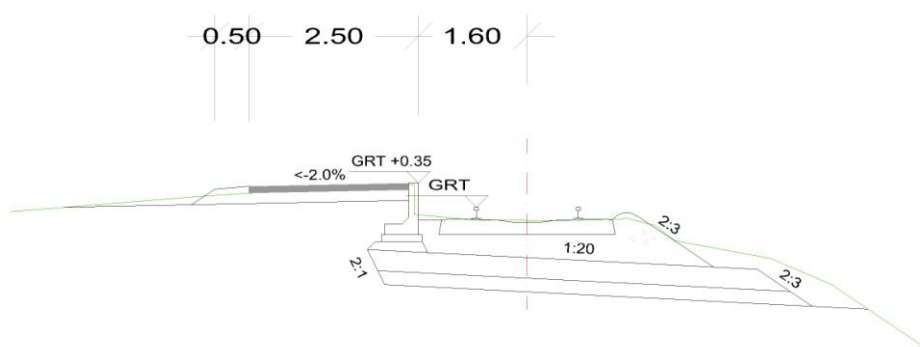
- (1.) klop; (2.) koš za smeti; (3.) ulična svetilka;
(4.) tabla z imenom postajališča; (5.) signalna oznaka

Peron z zavetiščem mora biti osvetljen. Na tleh perona mora biti varnostna oznaka, ki se izvede vzporedno s tiri na razdalji 0,5 m od roba tira v obliki 0,1 m širokega traku bele barve. Na koncu perona sem dodal signalno oznako (Slika 35 – 5.), ki označuje mesto ustavitve vlakov.



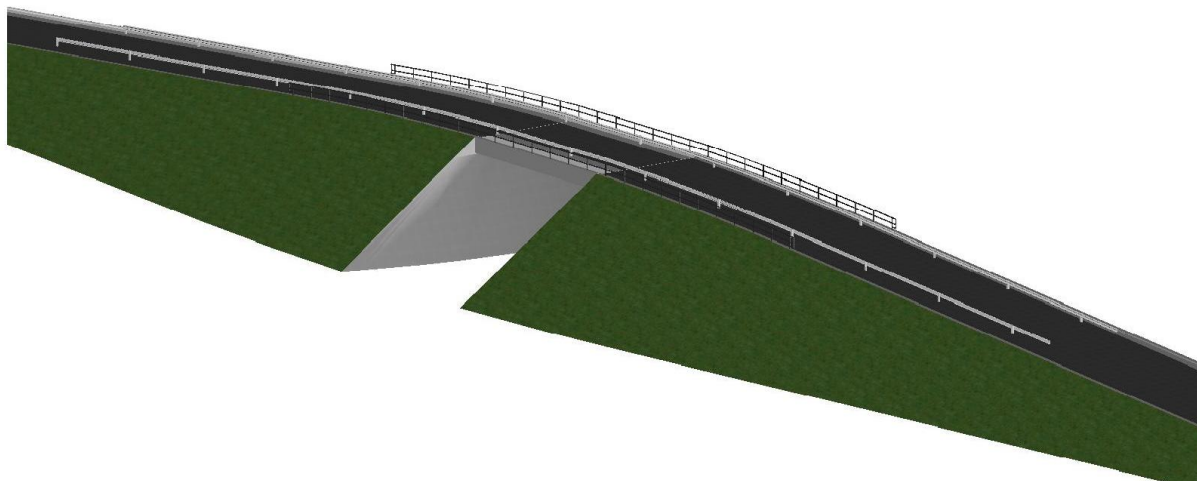
Slika 36: Postajališče

Pri konstruiranju postajališča sem upošteval karakteristični profil postajališča, definiranega v študiji. Rob perona mora biti od osi tira oddaljen 1,6 m in od zgornjega roba tirnice (GRT) višji za 35 cm. Širina perona je 2,5 metra.



Slika 37: Karakteristični profil postajališča

8.6 Modeliranje nadvoza



Slika 38: Model nadvoza

Vzdolž projektirane trase je predvidenih 6 zunajnivojskih križanj (nadvozov) ceste z železniško progo.

- km 0+140 regionalna cesta R2/439,
- km 2+040 glavna cesta G1/3,
- km 3+070 regionalna cesta R2/439,
- km 8+580 regionalna cesta R3/726,
- km 11+040 lokalna cesta,
- km 20+870 avtocesta A5.

Pri modeliranju nadvoza sem upošteval minimalno svetlo višino, ki znaša 6,5 metra. Velikost svetle širine v višini tirnic je 9,5 metra. Za širino ceste sem določil 6 metrov, temu sem dodal še širino pločnika 0,75 m in širino kolesarske steze 1,5 m. Vozišče je s kolesarsko stezo in pločnikom ločeno z varnostno ograjo, prav tako je varnostna ograja nameščena na robu nadvoza. Cesta čez nadvoz je v premi, njena niveleta znaša 8 % na najstrmejšem delu. Nasip nadvoza je v nagibu 2:3.

9.7 Izdelava 3R-modelov stavb

Za izdelavo 3R-stavb v prvi fazi potrebujemo podatkovni sloj s tlorisnimi odtisi objektov in podatke o višini objekta. Tem podatkom lahko priključimo podatkovni sloj o značilnostih streh objektov. Za še večji nivo podrobnosti pa lahko na posamezno fasado objekta dodamo

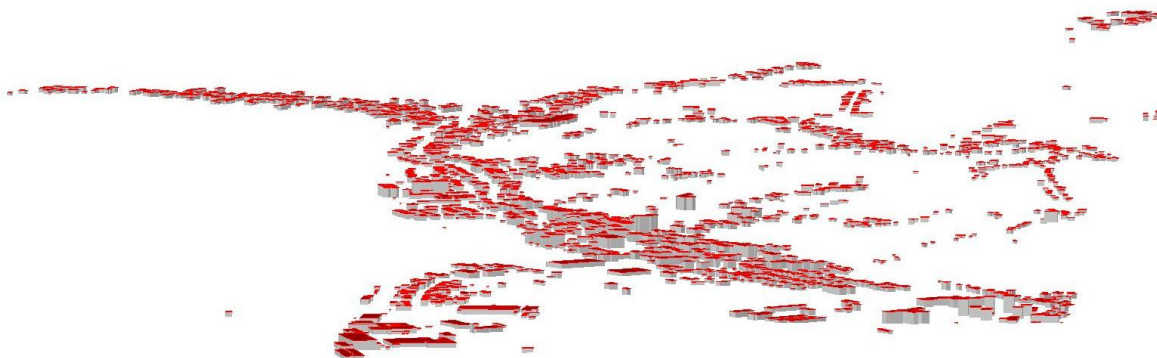
različne nanose, ki bolj verodostojno ponazarjajo detajle in s tem izgled posamezne stavbe. Za boljše vidne učinke se lahko višina stavb dodatno oziroma pretirano poudari. Rekonstrukcija stavb je lahko splošna oziroma tipizirana ali pa izvedbeno zelo detajlna, ki temelji na fotogrametričnih posnetkih detajlov.

Na GURS-u sem pridobil podatke o katastru stavb za izbrano območje. Kataster stavb vsebuje grafični (obod stavbe) in opisi del (podatki o stavbi), pri čemer je opisni del s svojimi atributi vezan na centroid stavbe. V programu ArcMAP sem tabelo z atributi centroida povezal s tabelo oboda, pri čemer sem za skupni atribut določil identifikator stavbe. Za samo izdelavo 3R-modela stavb sem potreboval le njihovo višino, ki sem jo definiral kot nov atribut. Višino posamezne stavbe sem dobil z razliko najvišje (H2) in karakteristične višine (H3).

S tako pripravljenimi podatki sem v programu ArcSCENE obode stavb premaknil na nivo terena in jim, z novo definiranim atributom (višino stavbe), modeliral stene stavb. Ker ArcSCENE ne omogoča izvoza izdelanih 3R-modelov stavb v format, ki bi ga prepoznal AutoCAD Civil 3D, sem s pomočjo programskega dodatka Google SketchUp 6 GIS Plugin stavbe izvozil v format, ki ga prepozna Google SketchUp 6, in nato prek tega programa v format `***.dwg`. Zaradi velikega števila objektov sem izvoz stavb razdelil na več delov, po največ 2000 objektov. Na izbrano območje sem vključil nekaj več kot 8000 objektov.

Izdelava in prikaz pravih oblik streh se mi za tako veliko območje ni zdelo smiselno, saj bi s tem izredno podaljšal izdelavo modela, sama kakovost modela pa ne bi bila bistveno večja. Zato sem vsem stavbam določil ravne strehe, ki sem jih dobil tako, da sem obode stavb premaknil na nivo terena in na višino stavb. Strehe sem izvozil v formatu `***.shp` in jim določil rdečo barvo, ki najbolj asociira na streho stavbe.

Zaradi pretvorbe datotek modelov stavb med različnimi formati so se izgubili podatki o geolokaciji. Potrebna je bila translacija stavb v ravnini xy. S pomočjo originalnih grafičnih podatkov katastra stavb in značilnih obodov sem modele stavb premaknil na ustrezno lokacijo.

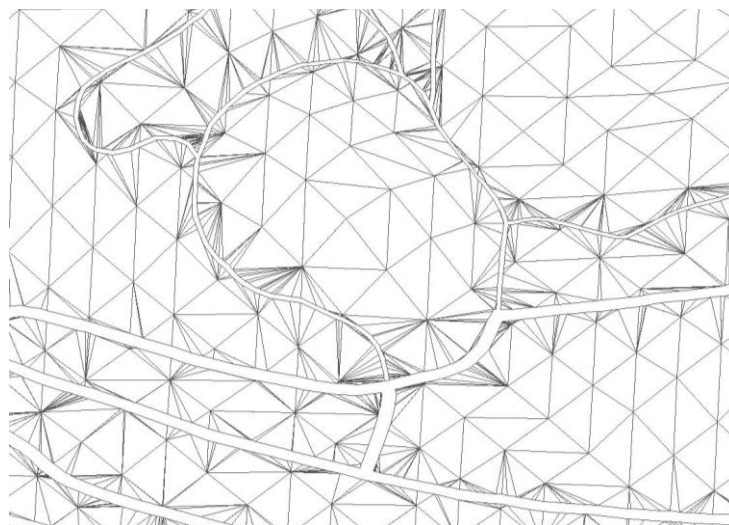


Slika 39: Prikaz stavb mesta Lendava

AutoCAD s svojimi osnovnimi ukazi ne omogoča povezave med atributi in obodi stavb. Zato tudi ni mogoča avtomatska izdelava sten stavb. Z njim bi lahko izdelal le vsako stavbo posebej, kar pa pri tako velikem številu stavb ni smiselno. V tej fazi modeliranja sem spoznal slabosti pri prenašanju podatkov iz enega programskega okolja v drugega, pri katerem se mi je povečala količina podatkov, izgubil pa sem tudi podatke o geolokaciji.

8.8 Izdelava cest

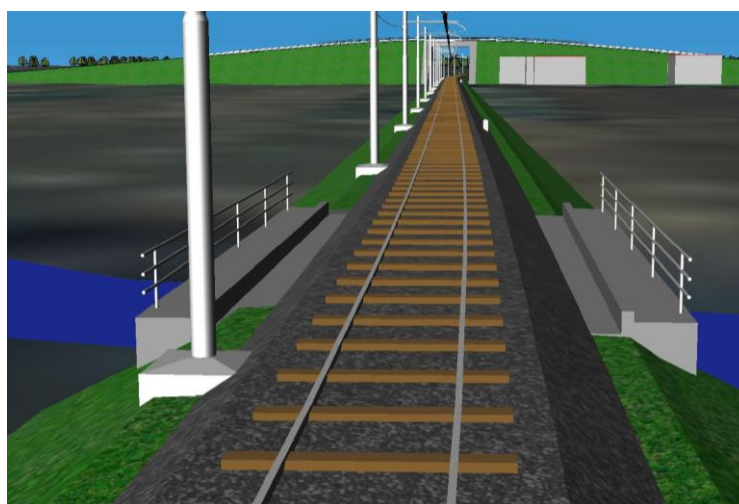
Ceste sem digitaliziral s pomočjo DOF5 v AutoCAD-u. Zajemal sem dve kategoriji cest, glavno cesto, ki sem jo prikazal s širino 6 metrov, ter gozdne in poljske poti, prikazane s širino 2 metrov. V programu ArcScene sem zajete ceste napel čez model površja in jih izvozil v formatu `***.shp`. V AutoCAD Civil 3D sem iz 3R-polilinijskih cest tvoril mrežo trikotnikov. Modelu cest sem določil še asociativno barvo. Zaradi lepšega prikaza ceste sem modelu reliefa definiriral območja, kjer se mreža trikotnikov modela reliefa ne bo prikazovala.



Slika 40: Model reliefa, brez območja cest

8.9 Izdelava vodotokov in mostov

Izdelavo vodotokov sem se lotil na enak način kot izdelave cest, zato sta postopka izdelave identična. Digitaliziral sem vodotoke: Dobel, Črnc, Babiščica, Mrzli jarek, Popovnjek, Črni potok, Ledava, Dava, Radmožanski kanal, kanal Bukovica, Borosni potok in Kobiljanski potok. V AutoCAD-u sem izdelal model mostu, ki sem ga postavil na mesta, kjer vodotok prečka železniško progo.

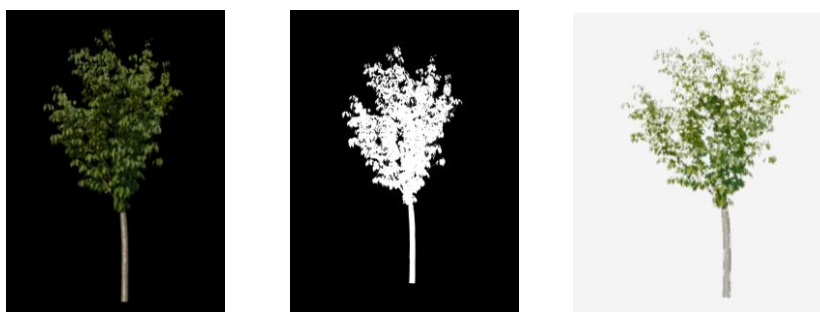


Slika 41: Most

8.10 Modeliranje gozda

Znanih je več metod računalniškega modeliranja 3R-dreves. Poznamo preproste oblike dreves, ki so lažje za obdelavo, do bolj zapletenih oblik, pri katerih je ob velikem številu potrebna velika moč procesorja.

Pri statični predstavitvi lahko za izdelavo modela gozda uporabimo 2R-slike dreves, ki jih postavimo pravokotno na model terena in pravokotno na smer pogleda. Slike lahko obrežemo ali pa ploskvi določimo material, ki ga definiramo s sliko »diffuse« in »opacity map«. S to metodo dosežemo, da črno ozadje postane prosojno.



Slika 42: Slike drevesa

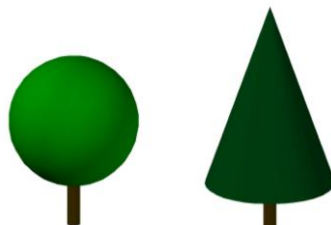
(1.) »diffuse« slika drevesa; (2.) »opacity« slika drevesa; (3.) končna 2R-slika drevesa

Pri dinamični predstavitvi lahko uporabimo enak način, le da je posamezno drevo sestavljeno iz dveh za 90° obrnjenih slik. Prav tako jih lahko določimo kot material ploskve ali pa jih obrežemo. Za bolj realistični izgled lahko sliki določimo prosojnost.



Slika 43: Drevo iz rastrske slike

Za 3R-model drevesa lahko uporabimo kombinacijo preprostih teles. Za prikaz listnatega drevesa uporabimo npr. valj in kroglo, za predstavitev iglastega drevesa pa uporabimo valj in stožec.



Slika 44: Drevesi iz geometrijskih elementov

Model drevesa lahko skonstruiramo tako, da se bo kar najbolj približal realnemu stanju. Izdelava takega modela zahteva veliko časa in izkušenj z izdelavo 3R-modelov. Sestavljena in opisana so z veliko količino podatkov. Uporaba tako zapletenih oblik dreves občutno podaljša čas obdelave in poveča zahtevnost njihovega prikazovanja, zato je njihova uporaba, razen v modelih z majhnim številom dreves, malokdaj upravičena.



Slika 45: Realistično 3R-drevo

(<http://sketchup.google.com/3dwarehouse>)

Model drevesa sem izdelal z rastrsko sliko, ki sem jo obrezal, kopiral in obrnil za 90 stopinj (Slika 43). Gozd sem izdelal kot množico dreves na izbranem območju, pri čemer sem drevo v AutoCAD-u definiriral kot blok. V posameznem bloku sem uporabil 3R-modele štirih dreves, dveh različnih vrst. Blok sem uporabil z namenom, da zmanjšam velikost slike oziroma datoteke. Če v sliko dodajamo veliko število objektov, si mora AutoCAD zapomniti

informacijo o velikosti in položaju za vsak objekt posebej (vsako točko, linijo, krožnico itd.). Če definiramo več objektov skupaj v en sam blok, pa bo dovolj le ena informacija glede položaja, zasuka in povečave. Pri vstavljanju velikega števila istih objektov v sliko (vstavljanje dreves na gozdne površine) na tak način znatno zmanjšamo velikost datoteke in skrajšamo čas nadaljnje obdelave modela.

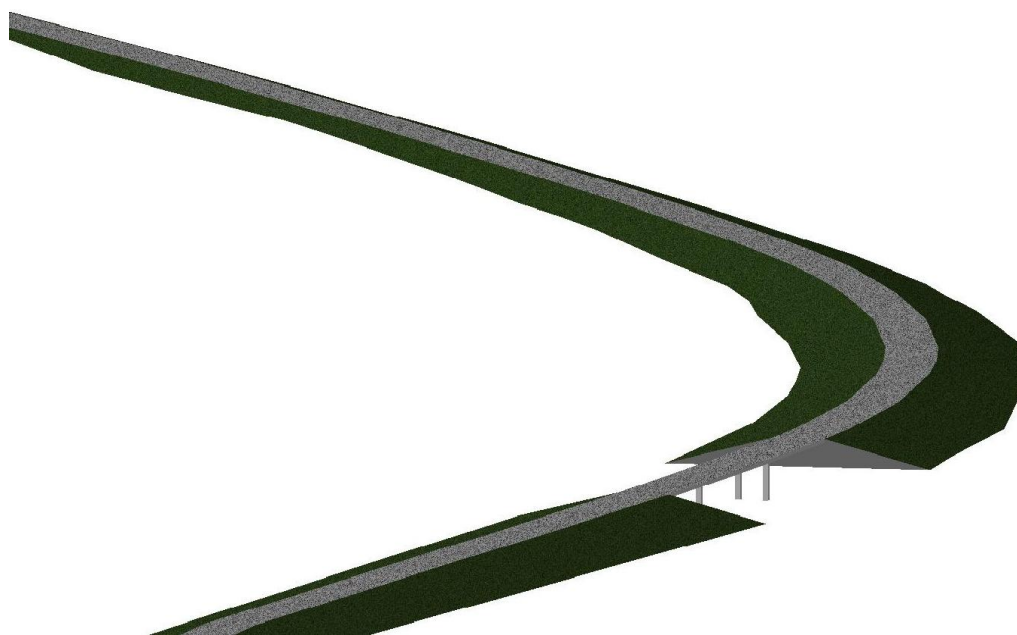


Slika 46: Blok štirih modelov dreves

Gozdne površine, ki sem jih v AutoCAD-u zajel s pomočjo DOF 5, sem uvozil v ArcSCENE. Na območjih sem generiral množico točk in jih premaknil na višino terena. Pri uvozu nastale datoteke `***.shp` nazaj v AutoCAD, sem točko zamenjal s prej definiranim blokom štirih dreves.

8.11 Izdelava modela avtoceste

V okolici mesta Lendava je bila leta 2008 zgrajena avtocesta. Njen potek iz ortofota ni razviden, saj so bili ortofoti K28 posneti 25. 7. 2006 in ortofoti K27 19. 7. 2006. Za potrebe izdelave projekta »Študija izvedljivosti železniške proge Beltinci–Lendava« so bili pridobljeni podatki o smernem in višinskem poteku avtoceste. Na osnovi teh podatkov sem enako kot za model železniškega koridorja definiral avtocestni koridor. Namen izdelave modela avtoceste je zgolj prikaz njenega poteka, zato ni detajlno obdelan. Model je preprost, sestavljen iz vozišča širine 19 metrov in nasipa naklona 2:3. Na mestu križanja avtoceste in železnice je v primeru njene izgraditve predviden nadvoz avtoceste nad železnico. Za nasip in vozišče sem predvidel asociativna materiala.



Slika 47: Model avtoceste

8.12 Dodatna vsebina

V kartografski model sem vključil še dodatno vsebino, in sicer 3R-modele vozil, ki sem jih pridobil na svetovnem spletu. Vozila sem lociral na NPR-je in parkirišča postajališč. Vključil sem jih zaradi lepšega in bolj realističnega izgleda.

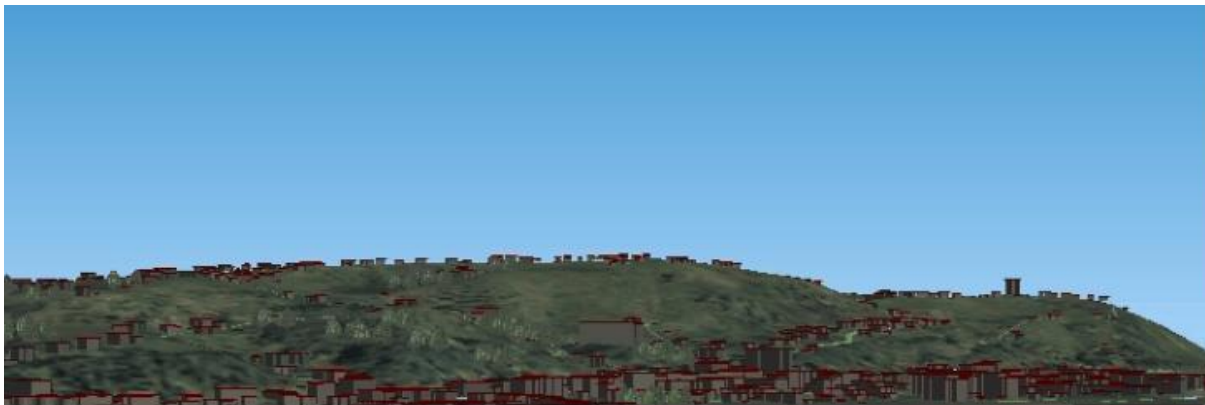


Slika 48: 3R-modeli vozil

(<http://sketchup.google.com/3dwarehouse>)

8.13 Nebo in osvetlitev

Za privlačnejši izgled je treba kartografskemu modelu določiti ozadje – nebo. Ozadje sem prikazal v kombinaciji dveh barv – bele in svetlo modre.



Slika 49: Nebo nad mestom Lendava

S pravilno osvetlitvijo smo pri upodobitvi še korak bližje realnosti. Programi za 3R-modeliranje nam omogočajo definiranje naravne in umetne svetlobe. Pri izdelavi sem se odločil simulirati le naravno svetlobo. Vir naravne svetlobe opišemo z geografskim položajem modela, datumom in uro, za katero želimo da nam program izračuna položaj sonca.

Prikazovanje senc objektov poveča čas obdelave, zato sem se odločil, da jih ne bom prikazoval.

8.14 Izdelava animacije

Pri izdelavi animacij sem uporabil več poti nad izdelanim modelom. Za podrobnejši prikaz izdelanih objektov sem za pot animacije uporabil krožnico, po kateri se kamera vrti okoli izbrane točke. Podrobno sem prikazal nivojski prehod ceste čez železniško progo, postajališče in nadvoz nad železniško progo. Animacije so dolge 25 s, slike se menjajo s hitrostjo 15 fps. Drugo pot kamere predstavlja prostorska krivulja, ki simulira vožnjo vlaka na izdelanem modelu proge, s pogledom v smeri vožnje. Animacija je dolga 150 s, slike pa se menjajo s hitrostjo 15 fps.

Tretja pot kamere je prostorska krivulja, ki poteka nad modelom železnice. Simulira let helikopterja, 50 metrov nad modelom s pogledom v smeri leta. Ta animacija je narejena z namenom, da bolje predstavi traso železnice v prostoru. Ta animacija je dolga 120 s, slike pa se menjajo s hitrostjo 15 fps.

Izdelava animacije iz 3R-kartografskega modela je zelo zamuden postopek. Za primerjavo naj povem, da je računalnik za izdelavo 150 s dolge animacije s petnajstimi slikami na sekundo potreboval več kot 48 ur.

9 ZAKLJUČEK

Upodobitve in 3R-modeli se čedalje bolj približujejo realnosti. Do tega je privedla sposobnejša računalniška strojna in programska oprema. Tu pa naletimo do prve večje težave, ki jo mora kartograf oziroma izdelovalec 3R-modela že takoj na začetku izdelave modela premostiti. Odločiti se namreč mora za programsko opremo, s katero bo kartografski model izdeloval. Poleg kriterijev, ki sem jih opisal v poglavju Izbira vsebine in vira kartografskega modela, mi je bilo v množici programske opreme za 3R-modeliranje ključnega pomena za izbiro njena dostopnost, možnost komunikacije z drugimi programskimi orodji in predznanje njene uporabe. Izbiri programske opreme sem posvetil veliko časa, saj za zdaj še ni programa, ki bi mi omogočal izdelavo vseh faz upodobitve 3R-modela. Ena programska orodja imajo boljše nekatere, druga pa druge rešitve. Vse ključne faze upodobitve sem izdelal v programu AutoCAD Civil 3D. Za ta računalniški program sem se odločil, ker ima dobre rešitve za modeliranje železniškega koridorja, omogočeno ima matematično definiranje podatkov, geometrijsko definiranje 3R-objektov itd.

Ob znanju, ki sem ga pridobil pri izdelavi upodobitve in ustvarjeni knjižnici 3R-objektov, lahko s programom AutoCAD Civil 3D dokaj hitro (glede na čas, ki sem ga porabil za izdelavo te upodobitve) izdelam upodobitev nove trase oziroma druge variante železniške povezave med mestoma Beltinci in Lendava. Zato mislim, da je omenjeni program primeren za izdelavo 3R-modelov in upodobitev študij dolžinskih objektov, kot je na primer železnica.

Izdelava 3R-kartografskega modela in njegove upodobitve je zelo zamudna. Dolžina izdelave je predvsem odvisna od znanja in usposobljenosti kartografa ter od obsežnosti in stopnje podrobnosti modela. Cena izdelka in tudi čas izdelave pa je močno odvisen od razpoložljivih obstoječih podatkov. Če nimamo na voljo dovolj kakovostnih podatkov, jih moramo zajeti sami, kar podaljša čas in poveča ceno izdelave.

Na začetku sem v 2. poglavju diplomske naloge na splošno predstavil železnico, njeno zgodovino, razvrstitev in ključne elemente železniške proge, ki nastanejo v fazi projektiranja (elemente trase v situativnem načrtu, vzdolžnem profilu in prečnih profilih). V fazi modeliranja železniškega koridorja sem uporabil tudi podatke projektanta. Ti podatki so bili

ključnega pomena za umestitev, potek in izdelavo 3R-modela železniškega koridorja, zato se tudi odločil, da jih vsaj v grobem opišem.

V poglavju 7 sem opisal podatke, ki sem jih pridobil na GURS-u. Razumevanje podatkov, njihova zgodovina, razvoj in poznavanje postopkov, ki so bili uporabljeni v fazi nastajanja izdelka, je pomembno s stališča, da znamo pravilno odločiti, kateri vir bomo uporabili. Uporaba vira je odvisna tudi od njegove natančnosti, ažurnosti in cene. Za določeno uporabo nam zadostuje vir, ki je manj natančen in ažuren ter hkrati cenejši, vendar se zanj težko odločimo, če ne poznamo njegovega ozadja.

Koordinatne sisteme sem opisal v poglavju 6. Za potrebe združevanja različnih vrst podatkov in natančne umestitve posameznih objektov in pojavov v prostor je treba poznati koordinatne sisteme, njihove zakonitosti in pretvorbe med njimi. Pri izdelavi kartografskega modela se moramo omejiti na en koordinatni sistem. Dobra lastnost sodobne računalniške opreme je, da nam omogoča hitro pretvarjanje iz enega koordinatnega sistema v drugega.

Osnovne korake izdelave 3R-kartografskega modela in upodobitve sem opisal v poglavju Izdelava kartografskega modela in nato v nadaljevanju v poglavju Obdelava podatkov opisal postopke in težave, na katere sem naletel pri izdelavi svojega kartografskega modela.

Izbrano območje sem določil in opisal v poglavju Kartografski model predvidenega železniškega koridorja.

Da bi se še bolj približal realističnemu izgledu, bi lahko v kartografski model dodal še nekatere druge vsebine:

- električne vode,
- posamezne stavbe bi oblikoval z večjo podrobnostjo in ji dodal teksture, ki bi jih pridobil s fotografiranjem stavb na terenu,
- prikazal bi okolico stavb, z ograjami, vrtovi in dvorišči,
- zajel bi posamezne kulture (travniki, njive, vinogradi itd.) in jih prikazal s primernimi teksturami oziroma objekti itd.

Vendar bi se s tem obsežnost, obdelava in izdelava kartografskega modela krepko povečala. Pri tem pa se pojavi tudi vprašanje, ali bi s takšnim prikazom dosegel svoj namen - prikaz železniške proge s pripadajočimi objekti, ali pa bi s tem le preusmeril pozornost uporabnika na druge objekte in pojave, ki niso bistveni.

Vsak trud, ki je vložen v to področje, je dobrodošel in pomeni dobro investicijo za prihodnost. Dobro izdelan 3R-model je tržno zanimiv, njihova uporaba pa se bo v prihodnosti zagotovo povečala, predvsem zaradi dobre realistične predstave. Tudi atraktivne 3R-predstavitve se uporabljajo čedalje več. Te so pri novogradnjah najbolj primerne v zaključnih fazah, ko je potrebno projekt predstaviti širši javnosti. Z realističnim 3R-modelom je mnogo lažje predstaviti umestitev novogradnje v okolje. Danes naročniki poleg izdelave projektov še ne zahtevajo izdelavo 3R-upodobitve, vendar menim, da se bo to kmalu spremenilo.

VIRI

Domajnko, M., 2008. Oblikovanje znakovnega in foto-realističnega trirazsežnega kartografskega prikaza. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo

Ferlan M., 2005. Evidentiranje nepremičnin, Fakulteta za gradbeništvo in Geodezijo, Ljubljana

Gnilšek, J., 2004. 3D kartografski model urbanega okolja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo

GURS – Geodetska uprava Republike Slovenije, 2009, Ortofoto – zgodovina, [online] URL: [http://prostor.gov.si/vstop/index.php?id=181&no_cache=1&tx_simpltabs_pi1\[tab\]=184#tabs](http://prostor.gov.si/vstop/index.php?id=181&no_cache=1&tx_simpltabs_pi1[tab]=184#tabs) (09.05.2009)

Kosmatin Fras, M., 2004. Vpliv kakovosti vhodnih podatkov na kakovost ortofota. Influence of input data quality on the quality of orthophoto, Geodetski vestnik, let. 48, str. 167 - 178

Petrovič, D., 2001. Načela oblikovanja izraznih sredstev v tridimenzionalnih kartografskih prikazih. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Petrovič, D., 2004. Topografija in kartografija, gradivo za strokovni izpit iz geodetske stroke, Ljubljana: Matična sekcija geodetov pri inženirski zbornici Slovenije [online], URL: http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/topo_in_karto.pdf (10.05.2009)

Petrovič, D., 2007. Trirazsežne (tematske) karte v prostorskem načrtovanju. Three-dimensional (thematic) maps in spatial planning, Geodetski vestnik, let. 51, str. 293 - 303

Podobnikar, T., 2002. Model zemeljskega površja – DMR ali DMV, Geodetski vestnik, let. 46, str. 347 - 356

Podobnikar, T., 2003. Kronologija izdelave digitalnega modela reliefa Slovenije, Chronology of digital terrain model production of Slovenia, Geodetski vestnik, let. 47, str. 47 - 54

Podobnikar, T., 2006. Digitalni model reliefa iz različnih podatkov, Življenje in tehnika, ŽIT 4, str. 20 - 27

Podobnikar, T., 2008. Nadgradnja modela reliefa Slovenije z visoko kakovostnimi podatki. High-quality data for enhancement of the terrain model of Slovenia, Geodetski vestnik, let. 52, str. 834 – 853

Prometni pravilnik, UL RS št. 123/2007: str. 18169

Pravilnik o notranjem redu na železnici, UL RS št. 98/2001: str. 10092

Pravilnik o nivojskih prehodih. UL RS št. 85/2008: 11892 – 11907

Pravilnik o opremljenosti železniških postaj in postajališč. UL RS št. 53/2002: 5463 – 5471

Pravilnik o pogojih za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje zgornjega ustroja železniških prog. UL RS 14/2003

Pravilnik o projektiranju, gradnji in vzdrževanju stabilnih naprav električne vleke enosmernega sistema 3 kV. UL RS št. 56/2003

Rozman, J., 2000. Digitalni model reliefa in satelitske ortofoto karte, Geodetski vestnik, let 44, str. 185 – 195

Signalni pravilnik. UL RS št. 32/2002

Slokar, I., 2005. Nizke zgradbe: Ceste in železnice

Stopar, B., Koler, B., Kuhar, M, 2001. Osnovni geodetski sistem, gradivo za strokovni izpit iz geodetske stroke, Ljubljana: Matična sekcija geodetov pri inženirski zbornici Slovenije [online], URL:

http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/Osnovni_geodetski_sistem.pdf
(16.05.2009)

Stopar, B., Koler, B., Kuhar, M, 2008, Novi koordinatni sistem v Sloveniji, Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko, [online],

URL: http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2008/SZGG2008_Stopar_et_al.pdf (16.05.2009)

Šumrada, R., 2005. Strukture podatkov in prostorske analize, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Tiring, 2008. Študija izvedljivosti železniške proge Beltinci – Lendava, Študija izvedljivosti, Ministrstvo za promet Direkcija RS za vodenje investicij v javno železniško infrastrukturo

Vrenko, D., 2004. Izdelava trirazsežnostnega modela mesta Slovenske Konjice. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo

Zakon o varnosti v železniškem prometu (ZVZeIP). UL RS št. 61/2007

Zgonc, B., 1996. Železnice I.: Projektiranje, gradnja in vzdrževanje prog

Zakon o evidentiranju nepremičnin (ZEN). UL RS št.47/2006

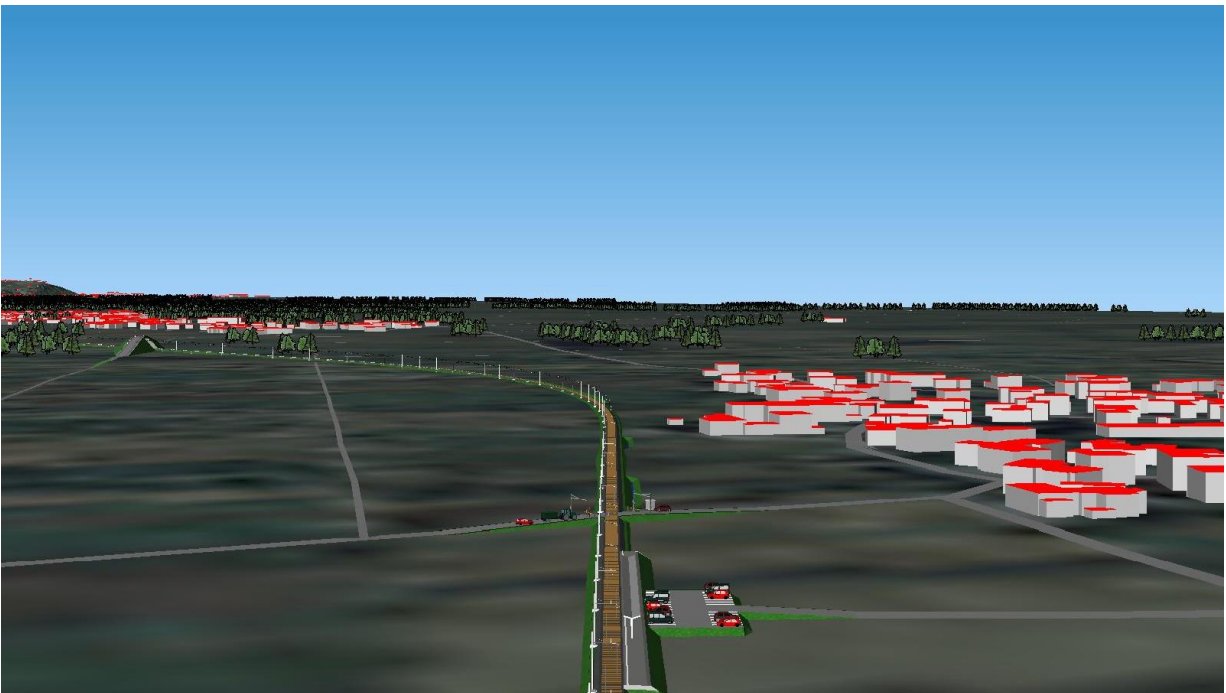
~ PRAZNA STRAN ~

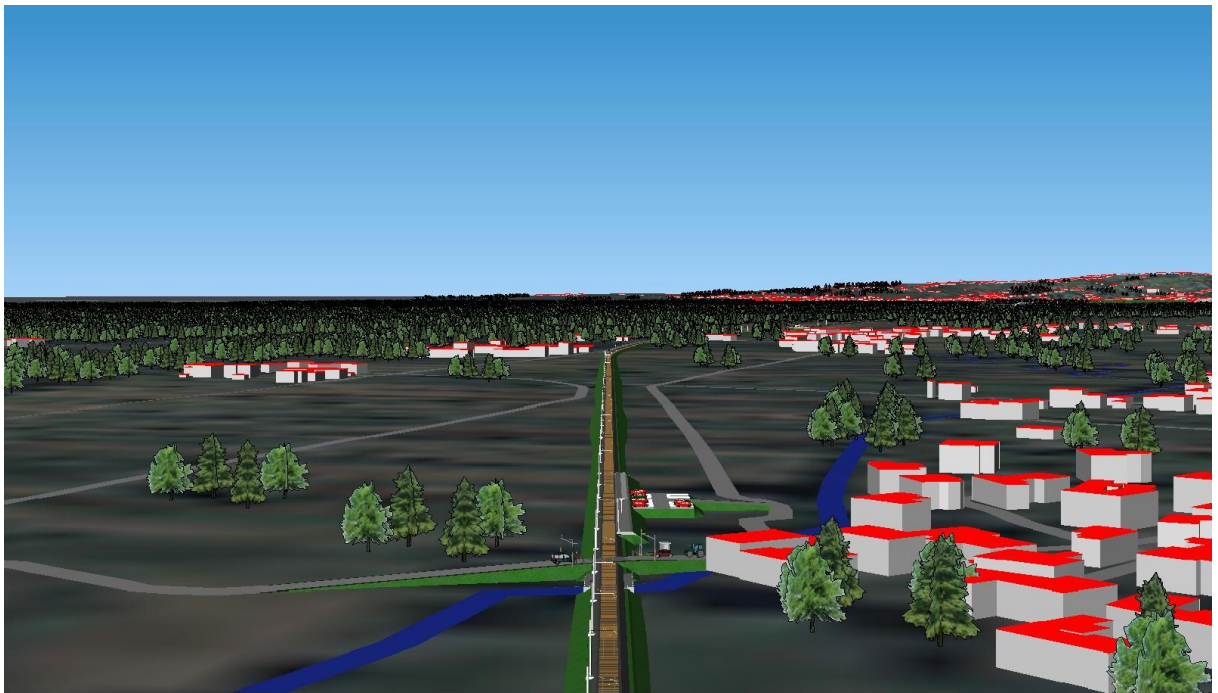
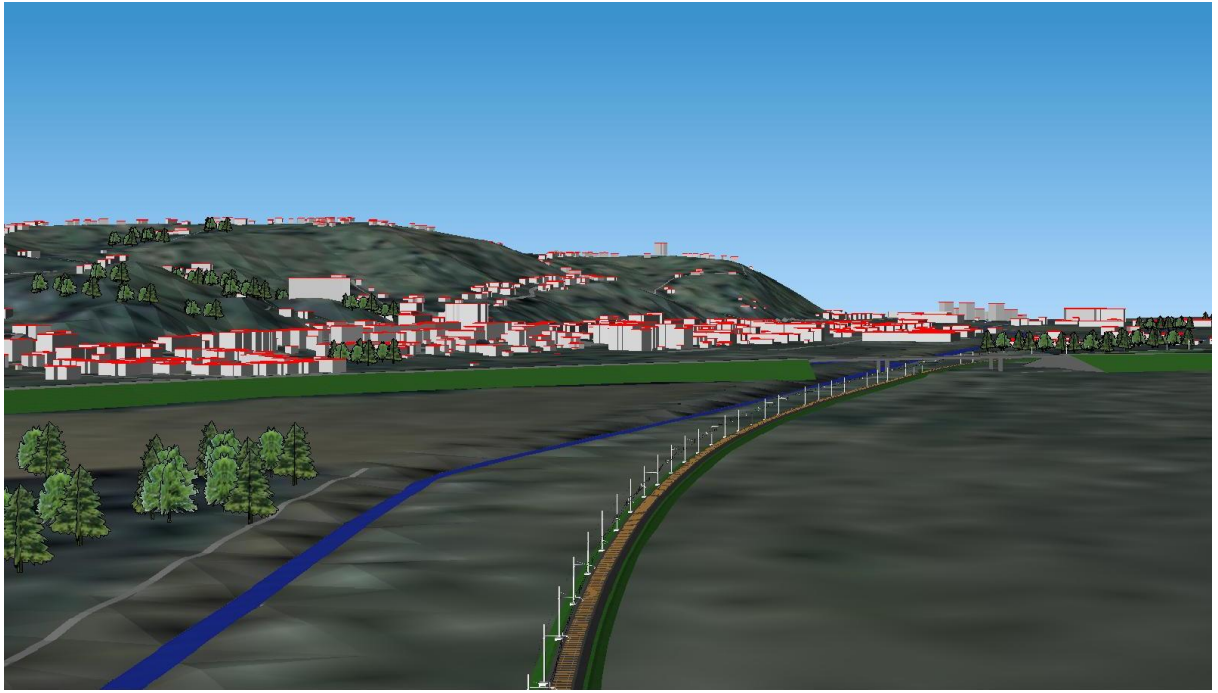
PRILOGE

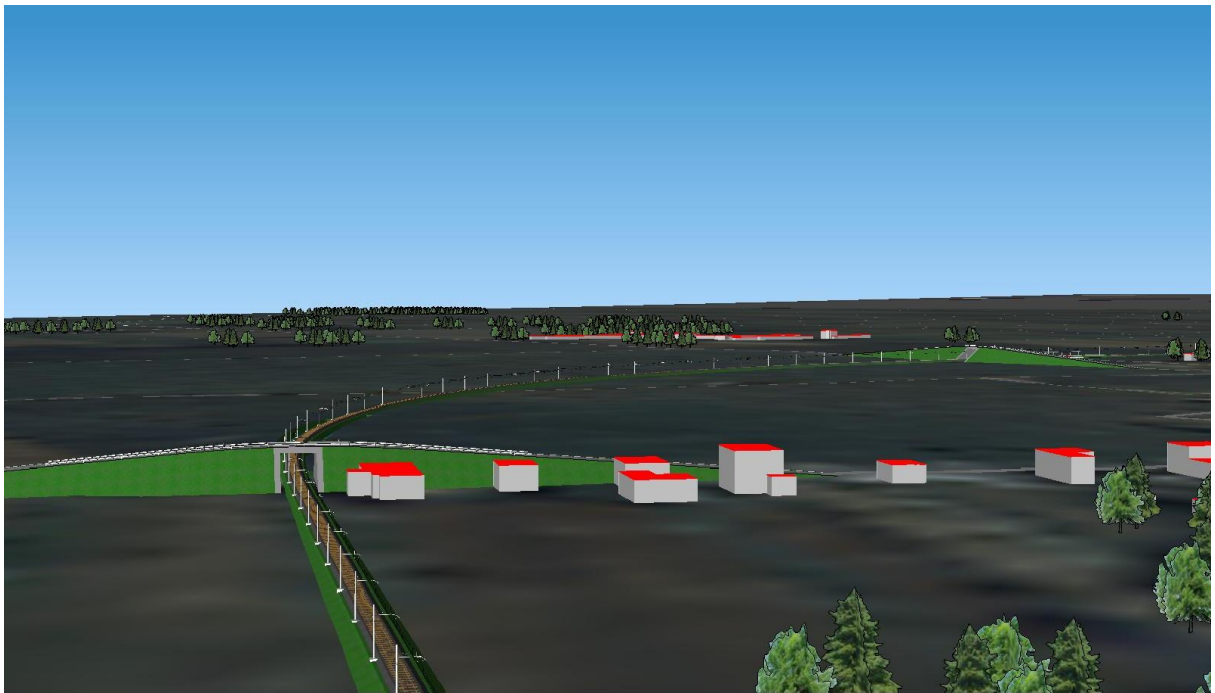
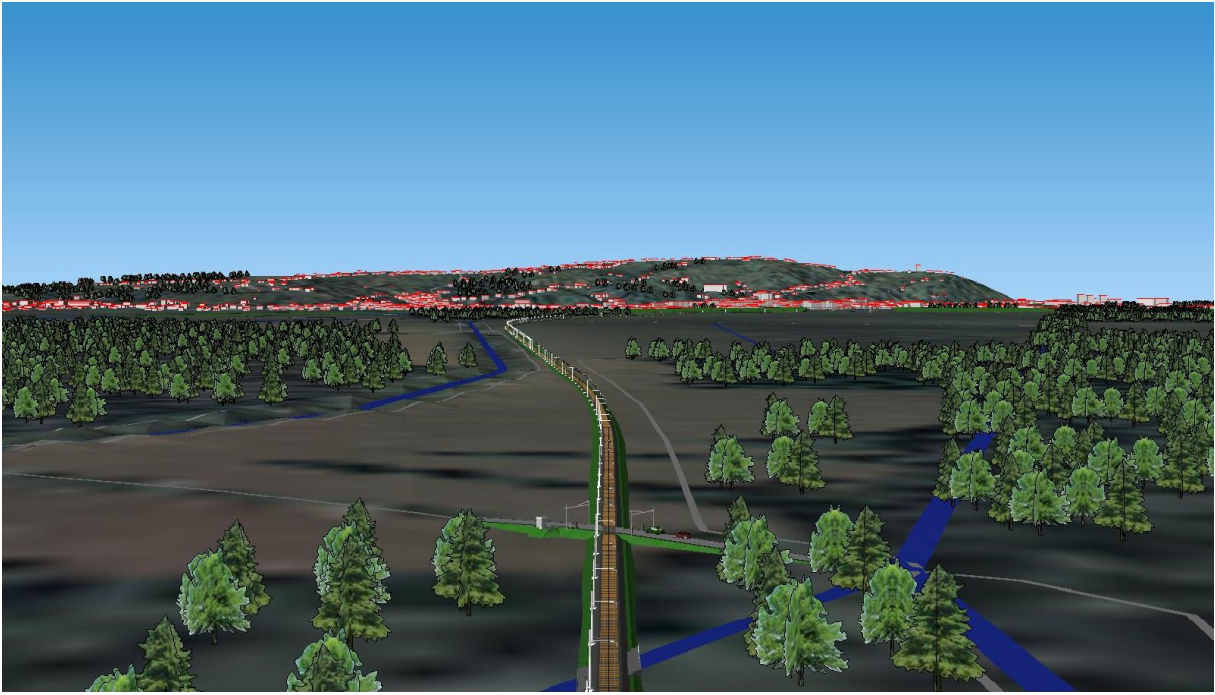
Priloga A: Izseki iz animacije

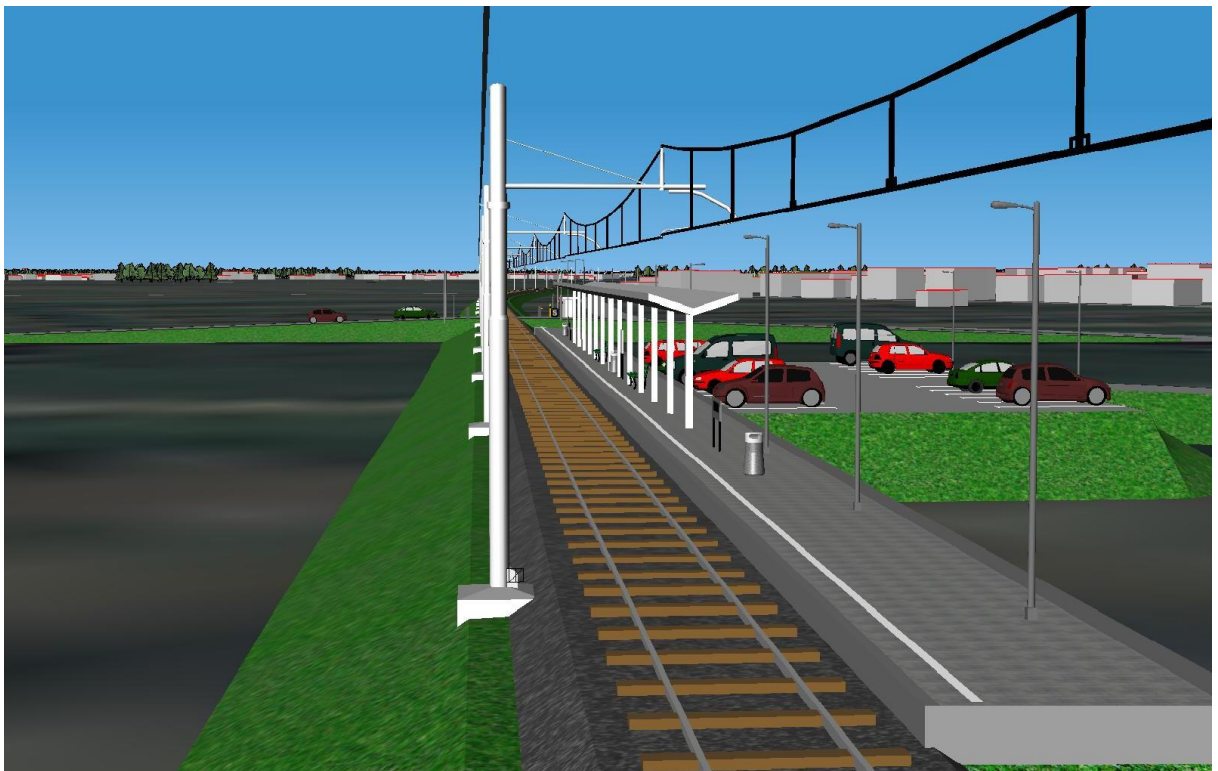
Priloga B: Pregledna situacija Beltinci–Lendava M 1 : 25 000

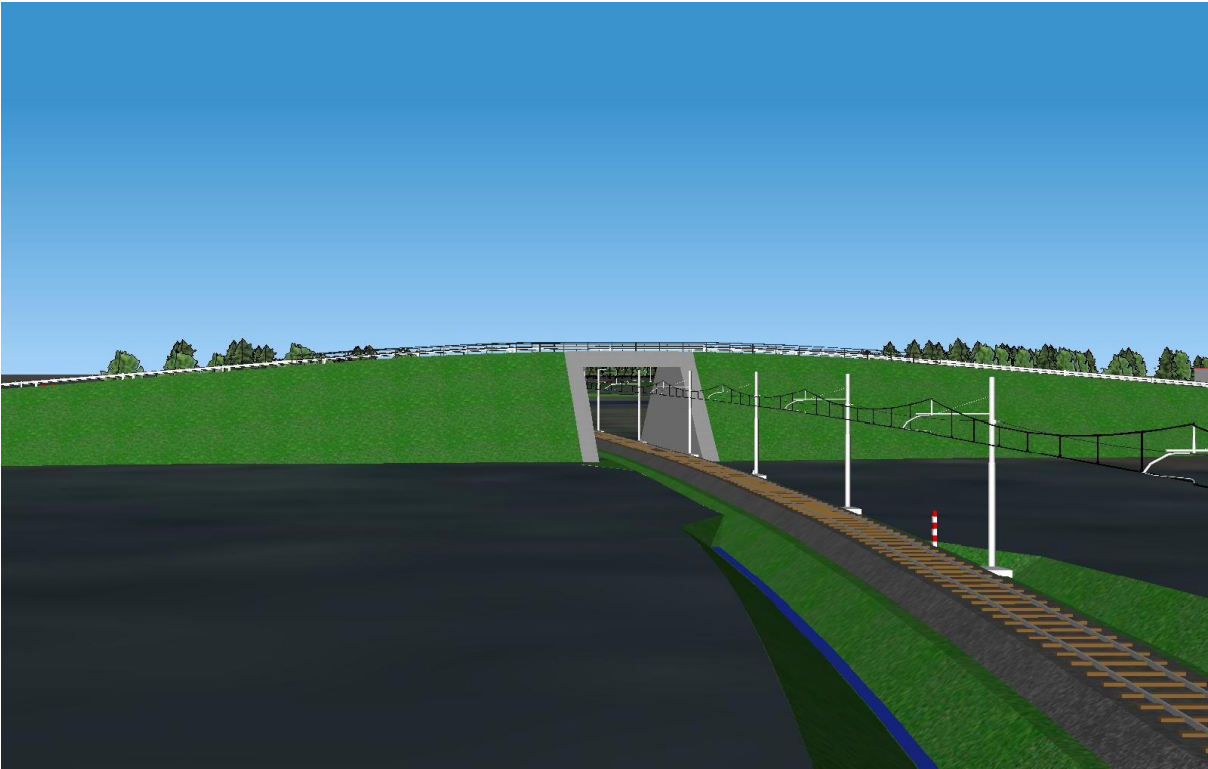














PREGLIEDNA SITUACIJA BELTINCI - LENDAVA

M 1 : 25000



- LEGENDA:**
- REKONSTRUKCIJA, DEVIACIJA CESTE
 - MOST, PROPUST
 - CESTNI NADVOZ
 - NIVOJSKI CESTNI PREHOD
 - CESTNI PODVOZ
 - MEJA OBMOČJA
 - POSTAJALIŠČE
 - POSTAJA

