

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



ENEJ TRUDEN

**PRISTOP BIM ZA ŽELEZNIŠKO
INFRASTRUKTURO S PRIMEROM PROJEKTA
ODSEKA BREZOVICA–PRESERJE**

MAGISTRSKO DELO

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE
STOPNJE GRADBENIŠTVO**

Ljubljana, 2020

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Kandidat/-ka:

ENEJ TRUDEN

**PRISTOP BIM ZA ŽELEZNIŠKO
INFRASTRUKTURO S PRIMEROM PROJEKTA
ODSEKA BREZOVICA–PRESERJE**

Magistrsko delo št.:

**BIM APPROACH TO RAILWAY
INFRASTRUCTURE WITH AN EXAMPLE OF A
PROJECT OF RAILWAY SECTION
BREZOVICA–PRESERJE**

Master thesis No.:

Mentor/-ica:

doc. dr. Tomo Cerovšek

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

asist. dr. Darja Šemrov

Član komisije:

Ljubljana, _____

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

»Ta stran je namenoma prazna«

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDC:	625.1: 004.946(043.3)
Avtor:	Enej Truden, dipl. inž. grad. (UN)
Mentor:	doc. dr. Tomo Cerovšek
Somentor:	asist. dr. Darja Šemrov
Naslov:	Pristop BIM za železniško infrastrukturo s primerom projekta odseka Brezovica–Preserje
Tip dokumenta:	magistrsko delo
Obseg in oprema:	98 str., 15 pregl., 50 sl.
Ključne besede:	železniška infrastruktura, odsek, projekt, BIM, proces, podatki, informacije, IFC, parametri, načrtovanje, element, LiDAR, informacijsko modeliranje, informacijski model, Civil3D, atributi, Navisworks, 5D, Infraworks

Izvleček

V uvodnem teoretičnem delu je najprej podan pregled osnov projektiranja železniške infrastrukture. Navedeni so predpisi in standardi, ki nas usmerjajo in nam omogočajo kvalitetno projektiranje. V posamezni fazi izdelave projektne dokumentacije definiramo obseg in podrobnost izdelave projekta. Projektne informacije so bistvo drugega sklopa teoretičnega dela. Podan je pregled ključnih informacij, ki se dopolnjujejo skozi celoten življenjski cikel železniške infrastrukture od načrtovanja do obratovanja in vzdrževanja. V nadaljevanju obravnavamo osnovne koncepte BIM, definicije, standardizacijo in razvoj skozi čas. Podrobneje definiramo pomen pristopa BIM v železniški infrastrukturi, raziščemo njegove prednosti in koristi pri uporabi in hkrati spoznamo izzive, ki nas še čakajo pri popolni implementaciji BIM-a v prakso. Poseben poudarek je na razvoju standardizacije za izmenjavo podatkov v železniški infrastrukturi. Pridobljeno teoretično znanje uporabimo pri izdelavi informacijskega modela nadgradnje železniškega odseka Brezovica–Preserje. Za projekt najprej zberemo informacije za posnetek stanja, nadaljujemo s projektiranjem horizontalnega in vertikalnega poteka osi ter ureditvijo prečnih profilov. Sledi izdelava 3D modela projektiranega železniškega telesa (zgornji in spodnji ustroj) ter ostalih modelov in njihovih elementov (protihrupna ograja, odvodnjavanje, vozna mreža, peroni), ki skupaj tvorijo celoto. Definiramo attribute, jih pripišemo elementom in posamezne modele izvozimo v IFC. Z uporabo programa Navisworks združimo modele v zbirni model ter mu dodamo komponento časa ter stroškov (5D model). Na koncu naredimo tudi vizualizacijo projektiranega stanja v prostoru s programom Infraworks.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 625.1: 004.946(043.3)
Author: Enej Truden, B. Sc. Civil Engineering
Supervisor: Assist. Prof. Tomo Cerovšek, Ph.D.
Co-supervisor: Darja Šemrov, Ph.D.
Title: BIM approach to railway infrastructure with an example of a project of railway section Brezovica–Preserje
Document type: Master Thesis
Scope and tools: 98 p., 15 tab., 50 fig.
Key words: Railway infrastructure, railway section, project, BIM, process, data, information, IFC, parameters, design, element, LiDAR, information modelling, information model, Civil3D, attributes, Navisworks, 5D, Infraworks

Abstract

The first theoretical part of the master's thesis deals with the railway infrastructure design basics. We are discovering the regulations and standards that guide and enable quality design. At each stage of the project documentation we define the scope and the detail of the project design. Project information is the essence of the second theoretical part. We searched for the key information that constantly complements throughout the whole life cycle of the railway infrastructure from its design to the operation and the maintenance at the end. In continuation we are introduced to the concept of BIM, its definition, standardisation and development through time. Further, we define the importance of the BIM approach in the railway infrastructure. We explore the advantages and benefits of using it and also the challenges at implementation of BIM into practice. The emphasis is placed on the development of standardisation for the railway infrastructure data exchange. The acquired theoretical knowledge is used in the information model making of the railway section Brezovica–Preserje project. We start the project by collecting the relevant data and information, continue with the horizontal and vertical alignment designing and finally arranging the cross sections. Further we create 3D model of designed railway track (super structure and substructure) and also all other models and their elements (noise barrier, drainage, railway electrification system, railway platform). Together they form the whole. We define attributes to the elements and export the individual models to IFC. Using Navisworks, we combine models into one main information model. We also add the time and costs (5D model) component. At the end we do the visualization of the designed project with Infraworks software.

ZAHVALA

Za pomoč, podporo in usmeritve pri nastajanju magistrskega dela se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Tomu Cerovšku in somentorici asist. dr. Darji Šemrov.

Zahvaljujem se Edmundu Škerbcu, univ. dipl. inž. grad., direktorju podjetja SŽ-Projektivno podjetje Ljubljana d.d., ki mi je omogočil uporabo prostorov in programske opreme v podjetju za potrebe izdelovanja magistrskega dela.

Prav tako bi se zahvalil mag. Edvinu Hadžiahmetoviću, univ. dipl. inž. grad. za pomoč in nasvete pri projektiranju železniškega odseka Brezovica–Preserje.

Hvala tudi Juretu Blejcu, univ. dipl. inž. grad. za pomoč pri odkrivanju čarov in skrivnosti pristopa BIM.

Posebna zahvala gre tudi družini za podporo med študijem.

Iskrena hvala vsem!

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA	I
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
KAZALO VSEBINE	VII
KAZALO PREGLEDNIC	IX
KAZALO SLIK.....	X
LIST OF TABLES.....	XII
LIST OF FIGURES	XIII
SEZNAM PRILOG	XV
KRATICE.....	XVI
1 UVOD	1
1.1 Opis problematike.....	1
1.2 Cilj in namen naloge	2
1.3 Metoda dela in struktura naloge.....	2
2 PROJEKTIRANJE ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE	3
2.1 Elementi projektnih rešitev pri železniški infrastrukturi	6
2.2 Projektne faze.....	15
2.3 Proces načrtovanja	17
2.4 Upravljanje ključnih projektnih informacij pri projektiranju železnic.....	20
3 INFORMACIJSKO MODELIRANJE	24
3.1 Osnovni pojmi in koncepti BIM.....	24
3.2 Implementacija zrelost uporabe BIM	27
3.3 Splošna standardizacija BIM – LOD, IFC, IFD, MVD	31
3.4 Upravljanje podatkov	37
3.5 Pomen pristopa BIM pri projektiranju železniške infrastrukture	38
4 ORODJA BIM ZA PROJEKTE ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE.....	43
4.1 Autodesk Infrastructure Design Suite.....	43
4.2 Bentley Microstation	45
4.3 Druga orodja.....	45
4.4 Integracija BIM in GIS.....	46
4.5 Standardi modeliranja infrastrukture	48
4.6 Interoperabilnost v železniški infrastrukturi	49

5 ŠTUDIJA UPORABE PRISTOPA BIM PRI NADGRADNJI MEDPOSTAJNEGA ODSEKA BREZOVICA-PRESERJE.....	57
5.1 Tehnični opis projekta nadgradnje medpostajnega odseka	57
5.2 Izdelava digitalnega posnetka stanja	58
5.2.1 Pridobitev prostorskih podatkov	58
5.2.2 Prikaz stanja v programu Infraworks	62
5.3 Projektiranje nadgradnje odseka Brezovica–Preserje	64
5.3.1 Načrtovanje odseka v programu ViaBIM	65
5.3.2 Preverba in izračun mejnih parametrov geometrijskih elementov	68
5.3.3 Izračun vozne hitrosti, bočnega pospeška in ustreznega nadvišanja	71
5.3.4 Kontrola prehodnic in prehodnih klančin	72
5.4 Izdelava informacijskega 3D modela projektiranega stanja	73
5.4.1 3D model zgornjega in spodnjega ustroja	74
5.4.2 Model vozne mreže	74
5.4.3 Model protihrupne ograje	76
5.4.4 Model prepustov	77
5.4.5 Model odvodnjavanja	77
5.4.6 Model postajališč	78
5.5 Skupine atributov	78
5.6 Izmenjava IFC - Navisworks	80
5.6.1 Kolizije	81
5.6.2 5D model	82
5.6.3 Vizualizacija	83
6 ZAKLJUČEK.....	84
6.1 Pregled opravljenega dela	84
6.2 Ugotovitve.....	85
6.2.1 Nadaljnje delo s pristopom BIM v železniški infrastrukturi	87

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Parametri zmogljivosti za potniški promet [8].....	5
Preglednica 2: Parametri zmogljivosti za tovorni promet [8].	5
Preglednica 3: Tehnični parametri tira.....	21
Preglednica 4: Ključni podatki elementov zgornjega ustroja.....	22
Preglednica 5: Ključni elementi spodnjega ustroja	23
Preglednica 6: Grafična predstavitev posameznih elementov tira v odvisnosti od LOD stopnje	33
Preglednica 7: Grafični prikaz in prikaz atributov zgornjega ustroja tira v posameznih LOD stopnjah.....	34
Preglednica 8: Programska oprema in pripadajoča oblika zapisa datoteke	35
Preglednica 9: Primer poimenovanja BIM modela na primeru projekta 2TDK [62]	37
Preglednica 10: Horizontalni elementi.....	69
Preglednica 11: Vertikalni elementi	70
Preglednica 12: Določitev polmerov krožnih lokov in pripadajočega nadvišanja.....	71
Preglednica 13: Kontrola dolžin prehodnic in prehodnih klančin.....	72
Preglednica 14: Šifrant poimenovanj.....	73
Preglednica 15: Klasifikacija	79

KAZALO SLIK

Slika 1: Zgornji in spodnji železniški ustroj [1]	6
Slika 2: Horizontalni geometrijski elementi	7
Slika 3: Ravnotežje sil v krivini z nadvišanjem [1].....	8
Slika 4: Izvedba premočrtne prehodne klančine [1]	10
Slika 5: Izvedba premočrtne prehodnice [1].	11
Slika 6: Vertikalna zaokrožitev [1].	13
Slika 7: Primerjava minimalnega, normalnega in enotnega GC svetlega profila [10]	14
Slika 8: Življenjski cikel upravljanja železniških investicijskih projektov [16].....	17
Slika 9: Proces izdelave projekta	19
Slika 10: Razvoj koncepta BIM [31].....	26
Slika 11: Bew-Richardsov model stopnje zrelosti pristopa BIM [44]	29
Slika 12: Succar-jev model stopnje zrelosti pristopa BIM [49].....	30
Slika 13: Stopnja podrobnosti (LOD)	31
Slika 14: Standardi za izmenjavo podatkov [57]	36
Slika 15: Tradicionalni in BIM proces načrtovanja [65]	39
Slika 16: Integracija BIM in GIS [97].....	47
Slika 17: Struktura BIM modela železniškega infrastrukturnega projekta	49
Slika 18: Shema standarda IFC Alignment [101].....	50
Slika 19: Razširitev sheme IFC Alignment [104].....	51
Slika 20: Razširitev entitet [106].....	52
Slika 21: Razširitev sheme IFC Rail [107]	53
Slika 22: IFC shema železniškega projekta [107]	54
Slika 23: Shema poteka osi [107].....	54
Slika 24: Shema spodnjega ustroja [107]	56
Slika 25: Potek obravnavanega odseka	57
Slika 26: Spletna aplikacija LiDAR	59
Slika 27: Prikaz terenskih podatkov v programu ReCap.....	60
Slika 28: Pridobitev podatkov GJI	61
Slika 29: Geodetski posnetek tirne situacije	62
Slika 30: Izbira koordinatnega sistema v programu Infracworks.....	63
Slika 31: Prikaz obstoječega terena v programu Infracworks	63
Slika 32: Model obstoječega stanja odseka.....	64
Slika 33: xyz koordinate terenskih točk	65
Slika 34: Določanje parametrov horizontalnih elementov	66
Slika 35: Razlika med obstoječo ter novo projektirano osjo tira	66
Slika 36: Razlika med obstoječim in projektiranim tirom	67
Slika 37: Prečni prerez	68
Slika 38: 3D model zgornjega in spodnjega ustroja	74
Slika 39: 3D model poligonacijskih ročic in izolatorja.....	75
Slika 40: 3D model droga vozne mreže.....	75
Slika 41: 3D model protihrupne ograje	76
Slika 42: 3D model prepusta	77

Slika 43: 3D model odvodnjavanja	77
Slika 44: 3D model postajališča	78
Slika 45: Atributi	80
Slika 46: Primer IFC zapisa	81
Slika 47: Primer kolizije	81
Slika 48: 5D model	82
Slika 49: Vizualizacija v programu Infraworks	83
Slika 50: 3D model betonskega praga	86

LIST OF TABLES

Table 1: The parameters of performance of passenger transport [8].	5
Table 2: The parameters of performance of freight transport [8].	5
Table 3: Railway track technical parameters	21
Table 4: The key data of superstructure elements.	22
Table 5: The key data of substructure elements	23
Table 6: The graphic representation of track elements in addition to LOD levels	33
Table 7: Graphic representation and attributes of railway track in addition to LOD levels	34
Table 8: Software and its data formats	35
Table 9: Example of BIM model codification (naming) of 2TDK project [62]	37
Table 10: Horizontal elements	69
Table 11: Vertical elements	70
Table 12: Determination of radius and its superelevations	71
Table 13: The length control of horizontal and vertical transition curves	72
Table 14: Code list	73
Table 15: Classification	79

LIST OF FIGURES

Figure 1: Railway superstructure and substructure [1]	6
Figure 2: Horizontal geometric elements	7
Figure 3: Balance of forces in a curve with superelevation [1]	8
Figure 4: Implementation of linear vertical transition curve [1]	10
Figure 5: Implementation of linear horizontal transition curve [1]	11
Figure 6: Vertical curve [1]	13
Figure 7: Comparison of minimal, normal and GC clearance gauge [10]	14
Figure 8: Governance for railway investment projects lifecycle [16]	17
Figure 9: The process in the railway infrastructure design	19
Figure 10: The development of the BIM concept [31]	26
Figure 11: The Bew-Richard's BIM maturity model [44]	29
Figure 12: The Succar's BIM maturity model [49]	30
Figure 13: Level of Development (LOD)	31
Figure 14: Data exchange standards [57]	36
Figure 15: Traditional and BIM design process [65]	39
Figure 16: BIM and GIS integration [97]	47
Figure 17: BIM structure of a railway project	49
Figure 18: IFC Alignment schema [101]	50
Figure 19: Extension of IFC Alignment schema [104]	51
Figure 20: Entities extension [106]	52
Figure 21: IFC Rail schema extension [107]	53
Figure 22: IFC schema of railway project [107]	54
Figure 23: Alignment schema [107]	54
Figure 24: Subgrade schema [107]	56
Figure 25: The course of the section	57
Figure 26: Network application LiDAR	59
Figure 27: Graphical display of terrain data in ReCap software	60
Figure 28: GJI data obtaining	61
Figure 29: Geodetic footage of railway track situation	62
Figure 30: Choice of coordinate system in Infracore software	63
Figure 31: Graphical display of remaining terrain in Infracore	63
Figure 32: Graphical Model of remaining section situation	64
Figure 33: xyz coordinates of terrain points	65
Figure 34: Parameters determination of horizontal elements	66
Figure 35: The difference between the current and designed horizontal alignment	66
Figure 36: The difference between current and designed railway track	67
Figure 37: Cross section	68
Figure 38: Substructure and superstructure 3D model	74
Figure 39: 3D model of steady arm and insulator	75
Figure 40: 3D model of catenary mast	75
Figure 41: 3D model of noise barrier	76
Figure 42: 3D model of culvert	77

Figure 43: 3D model of drainage	77
Figure 44: 3D model of railway platform	78
Figure 45: Attributes	80
Figure 46: Example of IFC file	81
Figure 47: Example of collision	81
Figure 48: 5D model	82
Figure 49: Visualization in Infraworks	83
Figure 50: 3D model of concrete sleeper	86

SEZNAM PRILOG

Priloga A: IZRAČUN HITROSTI IN NADVIŠANJA V KRIVINAH	A1
Priloga B: SHEMA STRUKTURE MODELO	B1
Priloga C: ATRIBUTNA TABELA	C1

KRATICE

2D	Dvo-dimenzijsko
3D	Tri-dimenzijsko
AEC	Arhitektura, projektiranje, gradnja (Architecture, Engineering, Construction)
AIA	Ameriški inštitut arhitektov (angl. American Institute of Architects)
BEP	BIM izvedbeni načrt (angl. BIM Execution Plan)
BIM	Informacijsko modeliranje (angl. Building Information Modeling)
CAD	Računalniško podprto načrtovanje (angl. Computer Aided Design)
COBie	Format izmenjave informacij o zgradbi med gradbenimi operacijami (angl. Construction Operations Building Information Exchange format)
DOF	Digitalni ortofoto posnetek
DMR	Digitalni model reliefa
DGD	Projektna dokumentacija za pridobitev mnenj in gradbenega dovoljenja
DZO	Dokazilo o zanesljivosti objekta
GIS	Geografski informacijski sistem
GJI	Gospodarska javna infrastruktura
GKOT	Georeferenciran in klasificiran oblak točk
GML	Zemljepisni označevalni jezik (angl. Geography Markup Language)
GRT	Gornji rob tirnice
IDM	Priročnik za opredelitev procesa (angl. Information Delivery Manual)
IFC	Temeljni industrijski razredi (angl. Industry Foundation Classes)
IFD	Slovar za opredelitev besedišča, jezika in atributov (angl. International Framework for Dictionaries)
IZN	Izvedbeni načrt
IZP	Idejna zasnova za pridobitev projektnih in drugih pogojev
LiDAR	Svetlobno zaznavanje in merjenje (angl. Light Detection And Ranging)
LOD	Stopnja razvoja modela (angl. Level of Development)
OTR	Oblak točk reliefa
PID	Projektna dokumentacija izvedenih del
PZI	Projektna dokumentacija za izvedbo gradnje
TSI	Tehnične specifiacije za interoperabilnost
TENT-T	Vseevropsko prometno omrežje (angl. Trans-european transport networks)
XML	Razširljivi označevalni jezik (angl. Extensible Markup Language)
VDJK	Vzdrževalna dela v javno korist

1 UVOD

Železniška infrastruktura je ena najstarejših inženirskih sektorjev in ima že od nekdaj pomembno vlogo pri razvoju gospodarstva in povezovanju prostora. Ker je železnica med vsemi prevoznimi sredstvi najbolj okolju prijazen način transporta blaga in ljudi, bo težnja po povezovanju prostora zahtevala vse več novih infrastrukturnih projektov in obnovo že obstoječe železniške infrastrukture.

Projekt, ki zajema izgradnjo nove ali obnovo obstoječe železniške infrastrukture, traja več let in faz. Posamezne faze vsebujejo veliko 2D CAD (angl. Computer Aided Design) risb, ki so v devetdesetih letih nadomestile počasno in zamudno ročno risanje. Računalniško podprto načrtovanje je močno olajšalo delo projektantom, saj lahko CAD risbo v primeru zahtevanih sprememb brez večjih težav popravimo. Pri izdelavi infrastrukturnega projekta sodeluje veliko strokovnjakov iz različnih področij, ki morajo med seboj tesno sodelovati in učinkovito izmenjevati projektne informacije, da je lahko projekt uspešno izveden.

V zadnjih letih je AEC industrija (Architecture, Engineering, Construction Industry) osredotočena na razvoj informacijskega modeliranja zgradb (ang. Building Information Modelling – BIM). BIM bo omogočal sodelovanje med udeleženci v skupnem podatkovnem okolju, kjer se informacije ne bodo podvajale, izmenjevanje informacij bo enostavno. Vse to bo omogočalo kakovostnejše odločanje v celotnem življenjskem ciklu projekta.

1.1 Opis problematike

Informacijsko modeliranje zgradb gradbenih objektov (BIM) je v gradbeništvu relativno nov koncept projektiranja. Ta pristop projektiranja se je najprej začel uveljavljati na področju visokogradenj. Z rahlim zamikom se je BIM začel počasi uveljavljati tudi na področju železniške infrastrukture oziroma infrastrukture nasploh. Zaradi zahtevne geometrije elementov, predvsem terena, je informacijsko modeliranje infrastrukturnih projektov veliko bolj zahtevno kot informacijsko modeliranje stavb.

Države in organizacije, ki po vsem svetu postopoma vpeljujejo BIM v svoje projekte železniške infrastrukture, odkrivajo pozitivne in tudi negativne posledice, ki jih prinaša pristop BIM. Ta pristop ima popolnoma drugačno logiko kot klasično 2D projektiranje. Poleg tega zaenkrat še največji izziv predstavlja izmenjava podatkov med udeleženci v BIM procesu. Na infrastrukturnem projektu sodeluje veliko število različnih strok z različno programsko opremo. Različna programska oprema predstavlja glavno težavo pri izmenjevanju podatkov, saj ta med seboj ni povsem kompatibilna. Sočasno z vpeljavo pristopa BIM se razvijajo tudi standardi za nemoteno in natančno izmenjavo informacij ter podatkov. Z odpravo pomanjkljivosti, ki danes žal še ne omogočajo nemotene procesa načrtovanja, bo pristop BIM v prihodnosti omogočil hitrejšo in predvsem kvalitetnejšo projektiranje.

1.2 Cilj in namen naloge

Namen magistrskega dela je preučiti proces izdelave informacijskega modela železniške infrastrukture in preveriti uporabo BIM na primeru železniškega odseka Brezovica–Preserje.

Z namenom izdelave informacijskega modela so zastavljeni naslednji cilji:

- preučiti predpise in standarde za projektiranje železniške infrastrukture,
- spoznati projektno dokumentacijo,
- ugotoviti proces načrtovanja železniške infrastrukture,
- seznaniti se s pojmom BIM in standardizacijo,
- preučiti možnosti uporabe pri projektiranju železniške infrastrukture,
- ugotoviti prednosti in slabosti, ki jih prinaša pristop BIM,
- spoznati programsko opremo za BIM projektiranje.

1.3 Metoda dela in struktura naloge

Metodologijo izdelave naloge lahko strnemo v sledeče ključne korake:

- študij literature in standardov,
- pregled referenčnih projektov in uporabljenih pristopov,
- pregled tehničnih rešitev ponudnikov programske opreme,
- testna uporaba na manjših segmentih in preverjanje ustreznosti,
- integrirana uporaba na testnem primeru prenove odseka železniške proge.

Za doseganje zastavljenih ciljev so v prvem sklopu magistrskega dela predstavljene splošne osnove projektiranja železniške infrastrukture, ki jih opredeljujejo pravilniki, ki nas usmerjajo in nam omogočajo kvalitetno projektiranje. Poleg knjižnega in spletnega gradiva so mi bili v veliko pomoč projektanti iz podjetja SŽ - Projektivno podjetje Ljubljana d.d. Drugi sklop teoretičnega dela se nanaša na projektne informacije, pojem BIM in informacijsko modeliranje v železniški infrastrukturi. Potrebno gradivo in informacije sem večinoma pridobil iz spletno dostopnih znanstvenih člankov. Praktični del naloge je bil narejen v sodelovanju s podjetjem SŽ - Projektivno podjetje Ljubljana d.d. Ob mentorstvu projektantov sem projektiral železniški medpostajni odsek Brezovica–Preserje in na to izdelal še informacijski model. Dostop do vse programske opreme mi je omogočilo podjetje. Za izdelavo projekta in informacijskega modela je bila uporabljena naslednja programska oprema:

- Excel,
- ViaBIM,
- Autodesk Civil3D,
- Revit,
- Infracore,
- Navisworks.

2 PROJEKTIRANJE ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE

V preteklosti so se železniška omrežja razvijala na nacionalni ravni. Gradile so se povezave med industrijsko in politično pomembnejšimi mesti za prevoz blaga in potnikov. Povezave med posameznimi državami so bile redke in so nastale po naključju kot ostanek od nekdanjih skupnih držav oziroma monarhij [1].

Evropske železniške uprave so spoznale, da je ustrezna železniška prometna povezava bistvenega pomena za evropsko gospodarstvo in razvoj regij. Ugotovile so, da železniška infrastruktura iz prejšnjega stoletja ne ustreza smerem prometnih tokov. Tako se je porodila ideja o vzpostavitvi homogene železniške mreže, ki bi povezovala politična in gospodarska središča Evrope [2]. Zato je evropska infrastrukturna politika v začetku devetdesetih let začela pripravljati in sprejemati smernice za vzpostavitev močnega prometnega omrežja znotraj Evrope, tako imenovanega TEN-T omrežja (angl. Trans-european transport networks), s katerim bi jo prometno povezala, omogočila hitrejša in nemoteno potovanje ljudi in blaga ter zagotavljala varnejši promet z manj zastoji [3]. TEN-T omrežje je usmerjeno v izvajanje in razvoj vseevropskega omrežja, ki poleg železniškega prometa vključuje tudi cestni, zračni in vodni promet. Evropska komisija vseskozi dopolnjuje smernice, da bi z njimi zagotovila celovito, interoperabilno in konkurenčno vseevropsko prometno omrežje. Tehnične lastnosti železniških prog v TEN-T omrežju morajo izpolnjevati zahteve, ki jih določajo tehnične specifikacije [4].

Celovito prometno omrežje tvorita dva ločena projekta. Prvi projekt je tako imenovano osrednje omrežje, ki je namenjeno najpomembnejšim povezavam. Sestavljeno je iz 9 koridorjev, katerih namen je zagotavljati hitro in varno povezavo med letališči, pristanišči in večjimi mesti [4]:

- **Koridor Baltik-Jadran,**
- Koridor Severno morje-Baltik,
- **Sredozemski koridor,**
- Vzhodni/vzhodnosredozemski koridor,
- Koridor Skandinavija-Sredozemlje,
- Koridor Ren-Alpe,
- Atlantski koridor,
- Koridor Severno morje-Sredozemlje,
- Koridor Ren-Donava.

Slovenija si je zaradi svoje dobre lege zagotovila, da preko nje potekata dva pomembna evropska koridorja, Baltsko-Jadranski in Sredozemski koridor [4].

Drugi projekt je obsežno napajalno oziroma dopolnilno omrežje, ki bo zagotavljalo pokritost in dostop do vseh regij v EU.

Predpisi na področju železnic določajo tehnične zahteve in zahteve v zvezi z varnostjo železniškega prometa. Ločimo evropske in nacionalne predpise. Evropsko zakonodajo sestavljajo [5]:

- direktive evropskega parlamenta in Sveta,
- uredbe komisije evropskega parlamenta in Sveta,
- odločbe in sklepi komisije evropskega parlamenta in Sveta in
- tehnične specifikacije za interoperabilnost – TSI.

Nacionalne predpise obvladuje Agencija za železniški promet republike Slovenije – AŽP. Uporabljajo jih upravljalec javne železniške infrastrukture, prevozniki in projektanti. Nacionalne predpise sestavljajo [5]:

- zakoni,
- uredbe,
- sklepi in
- pravilniki.

Tehnične specifikacije za interoperabilnost (TSI). TSI so bile sprejete v skladu z Direktivo 2016/797 [6] in se nanašajo na celoten proces graditve objektov (projektiranje, gradnja in vzdrževanje). Uporaba TSI je obvezna. Odstopanja so dovoljena le v izrednih primerih. TSI veljajo za glavne in regionalne proge in industrijske tire. Ne uporabljajo se za proge, ki so ločene od ostalega železniškega omrežja in so predvidene izključno za krajevni, mestni in primestni potniški promet [7].

TSI so oblikovane za posamezne podsisteme ali dele podsistemov z namenom zagotavljanja bistvenih zahtev in zagotavljanja interoperabilnosti. Vsaka TSI vsebuje:

- področje uporabe,
- bistvene zahteve,
- funkcionalne in tehnične posebnosti, ki se lahko razlikujejo glede na kategorijo proge,
- komponente interoperabilnosti v skladu z evropsko zakonodajo, standardi in specifikacijami,
- postopke za ocenjevanje skladnosti,
- strategijo izvajanja.

TSI za podsistem infrastruktura med drugim določa razvrstitev prog v kategorije. Tako imenovana TSI-kategorizacija prog se uporablja za razvrščanje obstoječih prog na podlagi zmogljivostnih parametrov posamezne proge in sicer [8]:

- tirna širina,
- osna obremenitev,
- progovna hitrost,
- dolžina vlaka,
- uporabna dolžina perona.

Če po progi poteka samo ena vrsta prometa, za opis kategorije uporabimo le eno kodo. V primeru mešanega prometa se uporabljata obe kodi. Parametri zmogljivosti, ki jih določa TSI so mejne vrednosti [8].

Preglednica 1: Parametri zmogljivosti za potniški promet [8].

Table 1: The parameters of performance of passenger transport [8].

Prometna koda	Svetli profil	Oсна obremenitev [t]	Progovna hitrost [km/h]	Uporabna dolžina perona [m]
P1	GC	17	250–350	400
P2	GB	20	200–250	200–400
P3	DE3	22,5	120–200	200–400
P4	GB	22,5	120–200	200–400
P5	GA	20	80–120	50–200
P6	G1	12	n. r.	n. r.

Preglednica 2: Parametri zmogljivosti za tovorni promet [8].

Table 2: The parameters of performance of freight transport [8].

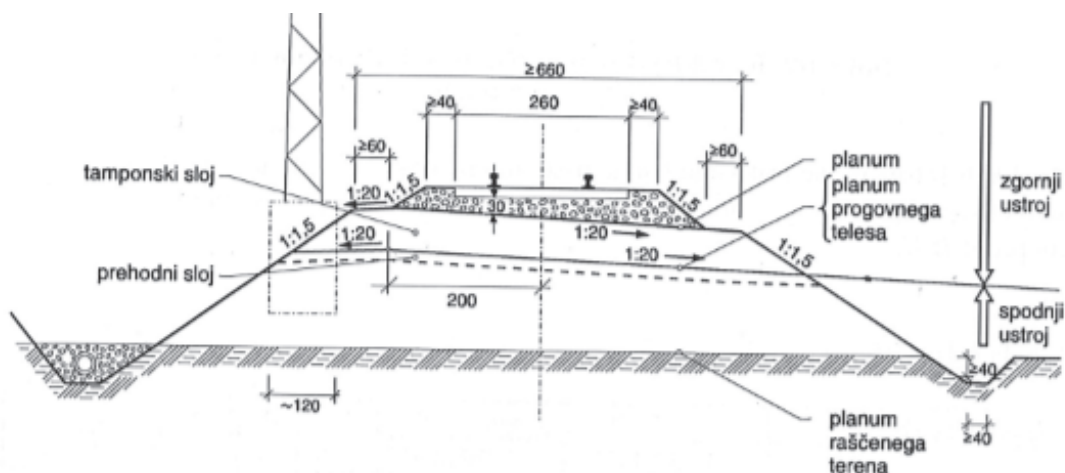
Prometna koda	Svetli profil	Oсна obremenitev [t]	Progovna hitrost [km/h]	Dolžina vlaka [m]
F1	GC	22,5	100–120	740–1 050
F2	GB	22,5	100–120	600–1 050
F3	GA	20	60–100	500–1 050
F4	G1	18	n. r.	n. r.

Obvezno je upoštevati in dosežati parametra svetli profil in osno obremenitev, saj ta dva parametra neposredno vplivata na vrsto vlakov, ki lahko vozijo po določeni progi.

2.1 Elementi projektnih rešitev pri železniški infrastrukturi

Železnica je sistem, ki povezuje različna področja in dejavnosti iz gradbene, arhitekturne, geodetske, geološke, strojne in elektro stroke. Del tega sistema je tudi železniška infrastruktura oziroma železniška proga, ki jo sestavljajo [9]:

- **spodnji ustroj,**
- **zgornji ustroj,**
- **progovni pas,**
- signalnovarnostne naprave,
- telekomunikacijske naprave,
- stavbe in naprave za vodenje in urejanje prometa in
- stabilne naprave električne vleke.



Slika 1: Zgornji in spodnji železniški ustroj [1]

Figure 1: Railway superstructure and substructure [1]

Pri izdelovanju modela se bomo osredotočili na prvi dve, ki sta predmet predvsem gradbene, delno arhitekturne stroke.

Zgornji ustroj je del železniške proge po katerem se vozijo tirna vozila. Sestavljen je iz jeklenih tirnic, betonskih ali lesenih pragov, tirnega pribora, tamponskega sloja in tirne grede. Pod zgornji ustroj se štejejo tudi železniške kretnice, tirna križišča, tirni stiki, tirni zaključki ter dilatacijske naprave [10].

Spodnji ustroj prenaša obremenitve na raščen teren, ki jih na zgornji ustroj povzročajo tirna vozila. Glavna funkcija spodnjega ustroja je podobna funkciji temeljev pri objektih, torej prenašanje obtežbe na temeljna tla. V spodnji ustroj uvrščamo vse zemeljske objekte (nasipi, useki, zaseki), objekte za varovanje in zaščito proge (podporni in oporni zidovi), sisteme za odvodnjavanje talne in površinske vode (drenaže, jarki, obloge), premostitvene objekte (mostovi, viadukti, nadvozi, podvozi, prepusti ...), predore, pokrite vkope, galerije in objekte na postajah in postajališčih (peroni, dostopi do peronov ...) [11].

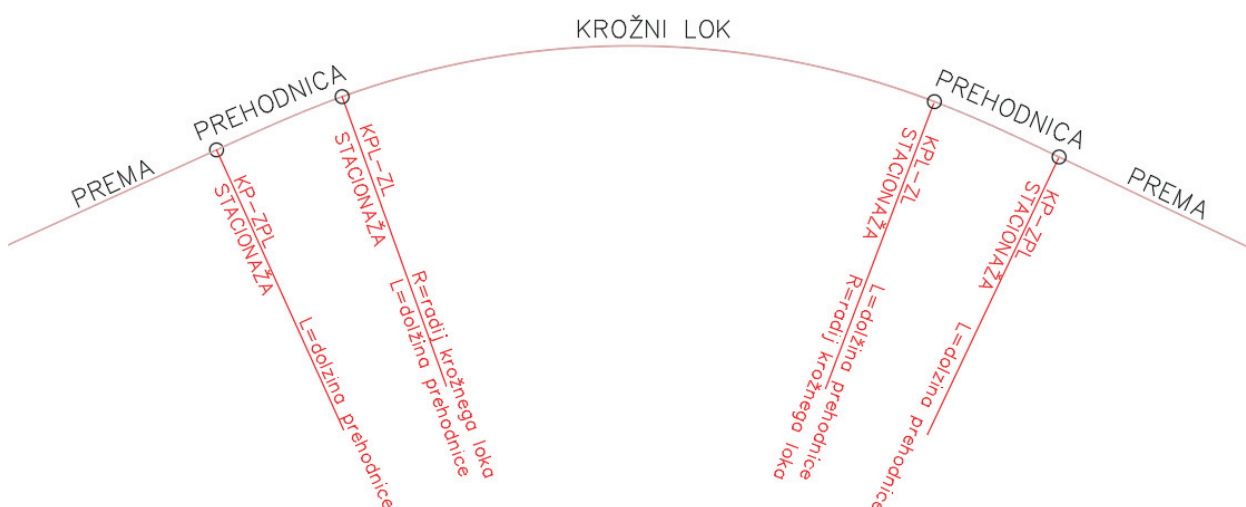
Progovni pas je območje med obema osema skrajnih tirov proge, oziroma območje, ki od osi tira sega na obe strani 6 m v naselju oziroma 8 m izven naselja. Omejen je 30 m v globino in 10 m v višino. V progovnem pasu se smejo graditi le objekti in naprave železniške infrastrukture, ki pa za posege ne potrebujejo gradbenega dovoljenja. S tem se olajša izvedba vzdrževalnih del v javno korist [9].

Poznamo tudi pojem **varovalni progovni pas**, to je pas, ki sega 100 m od roba progovnega pasu na obe strani. Na omenjenem območju se lahko izvajajo dela le, če je pridobljeno soglasje upravitelja železniške infrastrukture. Vsekakor pa se ne smejo izvajati dela, ki bi kakorkoli lahko vplivala na železniško infrastrukturo, jo ogrožala ali poškodovala [9].

Ključni elementi projektnih rešitev pri železniški infrastrukturi so:

- trasa,
- profil in
- vzdolžni profil.

Trasa. Potek predvidene ali obstoječe trase je v situacijah prikazan v tlorisu. Os vsakega tira posebej prikažemo s poligonalno črto, ki je skupek med seboj povezanih posameznih horizontalnih geometrijskih elementov. Ti elementi so prema, krivina in prehodnica. Vsi prehodi med horizontalnimi elementi neugodno vplivajo na mirnost vožnje. Zato je za udobno in varno vožnjo potrebno parametre vseh horizontalnih elementov skrbno določiti in izračunati. Največji vpliv na to ima dolžina elementov, zato se poslužujemo čim daljših elementov. Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog [10] in TSI infrastruktura [8] podajata mejne vrednosti vseh parametrov, npr. minimalne dolžine horizontalnih geometrijskih elementov, in dopustne izjeme v primeru, da ne moremo doseči priporočenih vrednosti.



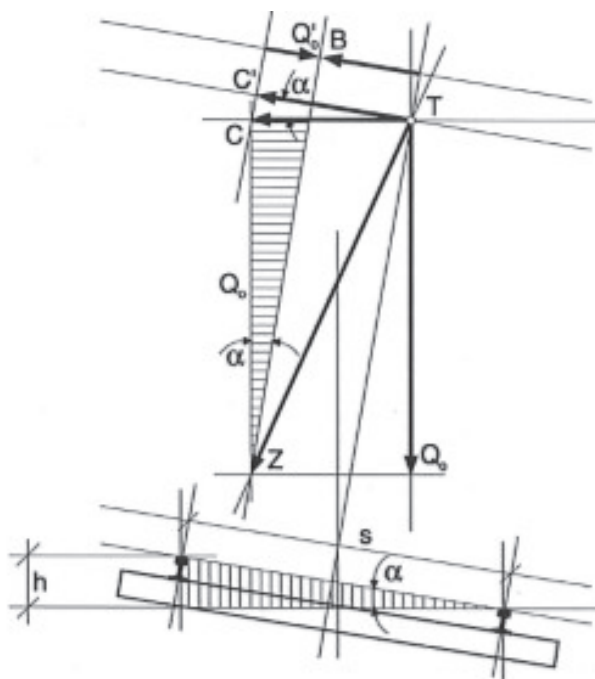
Slika 2: Horizontalni geometrijski elementi
Figure 2: Horizontal geometric elements

Prema je ravna črta ($R = \infty$), kateri določimo le smer in njeno dolžino. Je najbolj zaželen geometrijski element, saj omogoča visoke hitrosti in majhno obrabo tirnic.

Krožni lok nam omogoča spremembo smeri trase, da se umaknemo naravnim in grajenim oviram. Dejavniki so lahko okoljski (zaščitena naravna območja), urbanistični (poseljeno območje) ali pa je dejavnik konfiguracije terena. S krožnim lokom tudi spremenimo smer trase zaradi ciljne destinacije. Krožni lok je določen z radijem R ter velikostjo središčnega kota α , ki določa dolžino loka. Poleg polmera določimo krožnemu loku tudi nadvišanje, ki pomembno vpliva na hitrost, varnost, udobnost in ekonomičnost pri vožnji vlaka skozi krožni lok [1].

Pravilnik o zgornjem ustroju in TSI infrastruktura določata minimalne polmere krožnega loka v odvisnosti od projektne hitrosti. Minimalni polmer krožnega loka na odprti progi mora biti večji ali enak 300 m oziroma 500 m na glavnih prevoznih tirih postaj. Poleg tehničnih parametrov, ki nam jih podaja pravilnik, nas pri izbiri polmera krožnega loka omejujejo tudi drugi dejavniki. [1].

Pri vožnji v krožnem loku je vlak izpostavljen vertikalnemu težnostnemu in horizontalnemu centrifugalnemu pospešku. Če slednjega pomnožimo z maso vozila, dobimo silo C usmerjeno iz središča krožnega loka, ki ustvarja moment in želi vozilo prevrniti. Vpliv njene horizontalne komponente C' (vzporedna na ravnino proge) lahko delno ali v celoti kompenziramo z bočno komponento sile teže Q_0' , ki nastane pri nadvišanju zunanje tirnice. Dobimo kompenzirano bočno silo B , oziroma bočni pospešek b , če silo delimo z maso [1].



Slika 3: Ravnotežje sil v krivini z nadvišanjem [1]

Figure 3: Balance of forces in a curve with superelevation [1]

Bočni pospešek predstavlja primanjkljaj ali presežek nadvišanja zunanje tirnice, v kolikor je njegova vrednost negativna. Stremimo k čim manjšemu bočnemu pritisku ($b = 0$), saj je s tem vožnja skozi krivino udobnejša in varnejša, prav tako pa je manjša obraba tirnic. Poleg nadvišanja je bočni pospešek v relaciji tudi s projektno hitrostjo V ter polmerom krožnega loka R . Za izračun uporabimo enačbo (1), v katero so vključeni vsi ti parametri [10].

$$b = \frac{V_{max}^2}{13 \cdot R} - \frac{h}{153}, \quad (1)$$

kjer so:

b ... bočni pospešek [m/s^2],

B ... bočna sila [N],

m ... masa vozila [m],

h ... nadvišanje tirnice [mm],

R ... radij krožnega loka [m],

V_{max} ... projektna hitrost [km/h].

Nadvišanje je višinska razlika med ravnino leve in ravnino desne tirnice v krivini. Z izvedbo nadvišanja lahko delno ali v celoti kompenziramo bočne pospeške. Nadvišanje, kjer je vrednost bočnega pospeška $b = 0 \text{ m/s}^2$, imenujemo teoretično nadvišanje in ga izračunamo po spodnji enačbi (2):

$$h = 11,8 \cdot \frac{V^2}{R}, \quad (2)$$

kjer so:

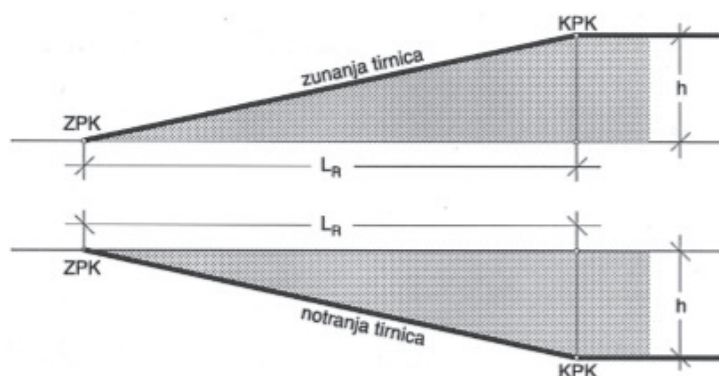
h ... nadvišanje tirnice [mm],

R ... radij krožnega loka [m],

V ... vozna hitrost [km/h].

Celotno kompenziranje bočnega pospeška je mogoče le pri eni hitrosti vlakov, kar pomeni, da je v praksi to skoraj nemogoče doseči, saj na isti progi vozijo hitrejši potniški in počasnejši tovorni vlaki. Vsaka od obeh skupin potrebuje drugačno nadvišanje; večje nadvišanje, ki ustreza hitrim potniškim vlakom, povzroča negativne bočne pospeške počasnejšim tovrnim vlakom in obratno. Izbrati je treba ustrezno vrednost nadvišanja, ki izpolnjuje kriterije maksimalnega primanjkljaja oziroma presežka nadvišanja po Pravilniku o zgornjem ustroju in TSI infrastruktura. Pravilnik prav tako določa omejitve glede maksimalnega (160 mm) in minimalnega nadvišanja (20 mm).

Prehodna klančina. Že samo ime pove, da s prehodno klančino izvedemo višinski prehod med dvema različno nadvišanima elementoma. Običajno gre za prehod med premo in nadvišano tirnico v krožnem loku, prehod med različno nadvišanima krožnima lokoma (košarasta krivina) ali prehod med različno usmerjenima krožnima lokoma (S-krivina). Ločimo prehodne klančine z linearnim naraščanjem višine (premočrtne prehodne klančine) in klančine, kjer višina narašča krivočrtno po krivulji druge ali višje stopnje (krivočrtna prehodna klančina). Krivočrtne prehodne klančine v primerjavi s premočrtnimi prehodnimi klančinami nimajo pomanjkljivosti na prelomnih točkah na začetku in koncu prehodne klančine. Kljub temu pa se v splošnem uporablja premočrtne prehodne klančine, ki so enostavnejše in jih je v praksi lažje izvesti [10].



Slika 4: Izvedba premočrtne prehodne klančine [1]

Figure 4: Implementation of linear vertical transition curve [1]

Potrebne dolžine prehodnih klančin se določi ob upoštevanju izbranega nadvišanja in dovoljenih maksimalnih nagibov. Največja dovoljena strmina prehodne klančine, ki še zagotavlja varno in mirno vožnjo znaša $1 : n = 1 : 600$ oziroma $1 : n = 1 : 400$ pri vzdrževanju obstoječih prog. Zaradi lažjega vzdrževanja prehodnih klančin te ne smejo biti prepoložne. Zato velja tudi pogoj glede najmanjše strmine $1 : n = 1 : 2000$ [10].

Prehodnica. Pri prehodu med elementi z različnimi radiji (prema-krožni lok, krožni lok-krožni lok) pride do sunkovitih sprememb bočnih sil zaradi različne ukrivljenosti. Da zmanjšamo učinke sunkov, med elementi izvedemo prehodnice. Za miren prehod med elementi morata prehodnica in prehodna klančina sovpadati. To pomeni, da morata biti usklajeni po vsej svoji dolžini, sprememba ukrivljenosti prehodnice v določeni točki pa mora biti v tej isti točki enaka spremembi nadvišanja v prehodni klančini. Iz tega sledi, da premočrtnim prehodnim klančinam ustrezajo le premočrtno ukrivljene prehodnice, krivočrtno ukrivljene prehodnice pa sovpadajo s krivočrtnimi prehodnimi klančinami [1].

Spodnja enačba (3) predstavlja minimalno dopustno dolžino prehodnice, ki je odvisna od dopustne spremembe primanjkljaja nadvišanja in največje dovoljene hitrosti.

$$L_{min} = \frac{4V_{max} \cdot \Delta h_p}{1000} \quad (3)$$

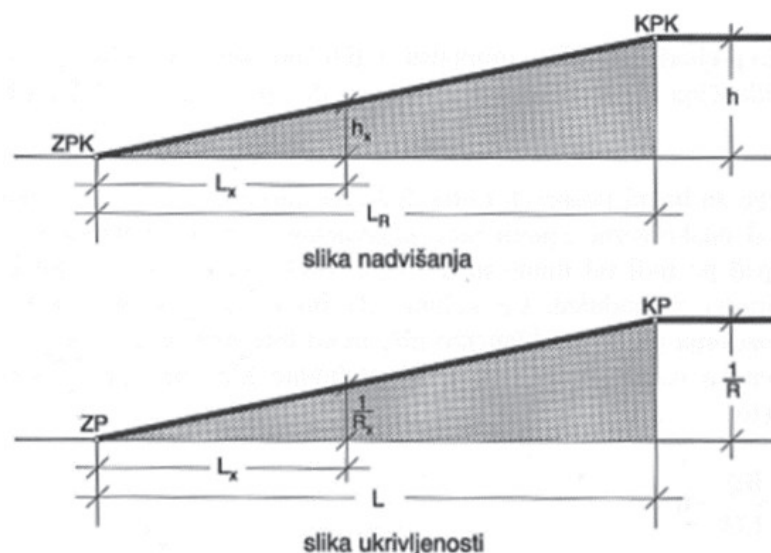
kjer so:

L_{min} ... najmanjša dolžina prehodnice [m] ,

V_{max} ... maksimalna hitrost [km/h],

Δh_p ... primanjkljaj nadvišanja [mm].

Pri prehodnicah v praksi uporabljamo krivulje s premočrtno ukrivljenostjo (Slika 5). To so kubična parabola, popravljena kubična parabola in klotoida. Med prehodnice s krivočrtno sliko ukrivljenosti pa štejemo parabole četrte stopnje, sinusoide in kosinusoide.



Slika 5: Izvedba premočrtno prehodnice [1].

Figure 5: Implementation of linear horizontal transition curve [1].

Vzdolžni profil. Vertikalni potek trase železniške proge prikažemo z vzdolžnimi profili. Merilo višin je pogosto večje od merila dolžin. Položaj osi trase v terenu prikažemo z niveleto, ki jo sestavljajo nagnjene in horizontalne osi ter zaokrožitve na lomih, teren pa je prikazan z lomljeno črto. V vzdolžnih profilih so poleg osi in terena vidni vsi vkopi, nasipi, useki, predori, premostitveni objekti, vodotoki in križanja z drugo infrastrukturo [1].

Nagib nivelete predstavlja razmerje med višinsko razliko točk in njuno medsebojno horizontalno razdaljo. Nagibe nivelete pri železnicah izražamo v promilih. Ločimo pozitivne in negativne nagibe. Gledano v smeri naraščanja kilometraže proge so pozitivni nagibi tisti, kjer se niveleta vzpenja in negativni tisti, kjer niveleta pada.

$$i[\text{‰}] = 1000 \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{1000 \Delta H}{l}, \quad (4)$$

kjer so:

i ... nagib nivelete v promilih,

ΔH ... višinska razlika točk [m],

l ... medsebojna horizontalna razdalja točk [m].

Največji vzdolžni nagib nivelete na odprti progi pri vzdrževanju obstoječih glavnih in regionalnih prog je 25 ‰. Za gradnjo novih prog je dovoljen največji vzdolžni nagib 12,5 ‰ oziroma 17,5 ‰ na zahtevni konfiguraciji terena. Na postajnih tirih je v premii dovoljen vzdolžni nagib 1 ‰, v krivini pa do 2,5 ‰ [10].

Vertikalna zaokrožitev predstavlja gladitev in zaokrožitev loma nivelete, ki nastane zaradi spremembe njenega naklona. Vertikalne zaokrožitve so največkrat izvedene s krožnimi loki. Lom nivelete vertikalno zaokrožimo, kadar je razlika med sosednjima nagiboma pri nadgradnji večja od 2,00 ‰, oziroma 1,00 ‰ pri novogradnji. Pri večjih razlikah izvedemo vertikalne zaokrožitve s polmerom R_v . Polmer vertikalne zaokrožitve je odvisen od največje dovoljene hitrosti V_{max} in vertikalnega pospeška a_v . Izračunamo ga po enačbi (5) [10].

$$R_v = \frac{V_{max}^2}{13 \cdot a_v}, \quad (5)$$

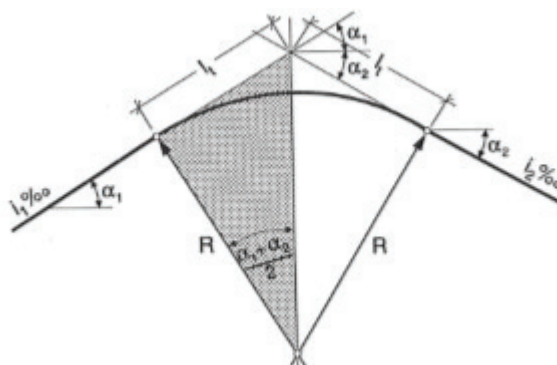
kjer so:

R_v ... polmer vertikalne zaokrožitve [m],

V_{max} ... največja dovoljena hitrost [km/h].

a_v ... vertikalni pospešek [m/s^2].

Vertikalni pospešek a_v normalno ne sme biti večji od $0,22 \text{ m/s}^2$, izjemoma $0,48 \text{ m/s}^2$ za konveksne in $0,60 \text{ m/s}^2$ za konkavne zaokrožitve. Na postajah je polmer vertikalne konveksne zaokrožitve najmanj $R_v = 600 \text{ m}$ na konkavnih pa najmanj $R_v = 300 \text{ m}$. Vertikalna zaokrožitev nikoli ne sme sovpadati s kretnicami, križišči, dilatacijskimi napravami, mostovi, prehodnicami in prehodnimi klančinami. Začetek oziroma konec vertikalne zaokrožitve mora biti od naštetih naprav in objektov oddaljen najmanj 5 m [10].



Slika 6: Vertikalna zaokrožitev [1].

Figure 6: Vertical curve [1].

Profil. Pravilnik o zgornjem ustroju definira profil kot: »omejeno, na tir pravokotno ravnino, katere mejno črto določajo točke koordinatnega sistema, s sečiščem v presečišču vertikalne osi tira z ravnino, ki jo tvorita gornji površini obeh sosednjih tirnic« [10]. Profili so bistveni elementi železniške proge, v katerega ne smejo segati nobeni zunanji elementi proge, prav tako pa iz njega ne sme segati noben del vozila ali tovora. Profili se nanašajo na omejevanje velikosti železniškega vozila in naloženega tovora (nakladalni profili) ter na velikost območja železniške infrastrukture v katerega ne smejo posegati nobeni zunanji elementi (svetli profili). Za projektiranje železniške infrastrukture so merodajni svetli profili [12].

Svetli profil je območje določeno z navidezno mejno črto, ki omogoča varen prehod tirnih vozil in tovora po železniški infrastrukturi. Svetli profil mora biti večji od nakladalnega, da se zagotovi varnost zaradi nepravilnosti na tirih in vozilih ali zaradi prevesa vozila v krivinah. Poznamo tri različne računske metode izračuna svetlega profila in sicer statično, kinematično in dinamično metodo. Vse tri temeljijo na izbrani odnosnici, to je omejitveni črti med nakladalnim in svetlim profilom, določeni za progo v premi [12].

TSI infrastruktura določa, da se za izračun profilov v Evropski uniji uporabi kinematična metoda. Odnosnice se med seboj razlikujejo po oblikah in dimenzijah. Ob upoštevanju odnosnice in ustreznih razširitev določimo svetle profile (G1, G2, GA, GB, GC, DE3 ...). Vsak od profilov je lahko minimalen, normalen ali enoten svetli profil [8].

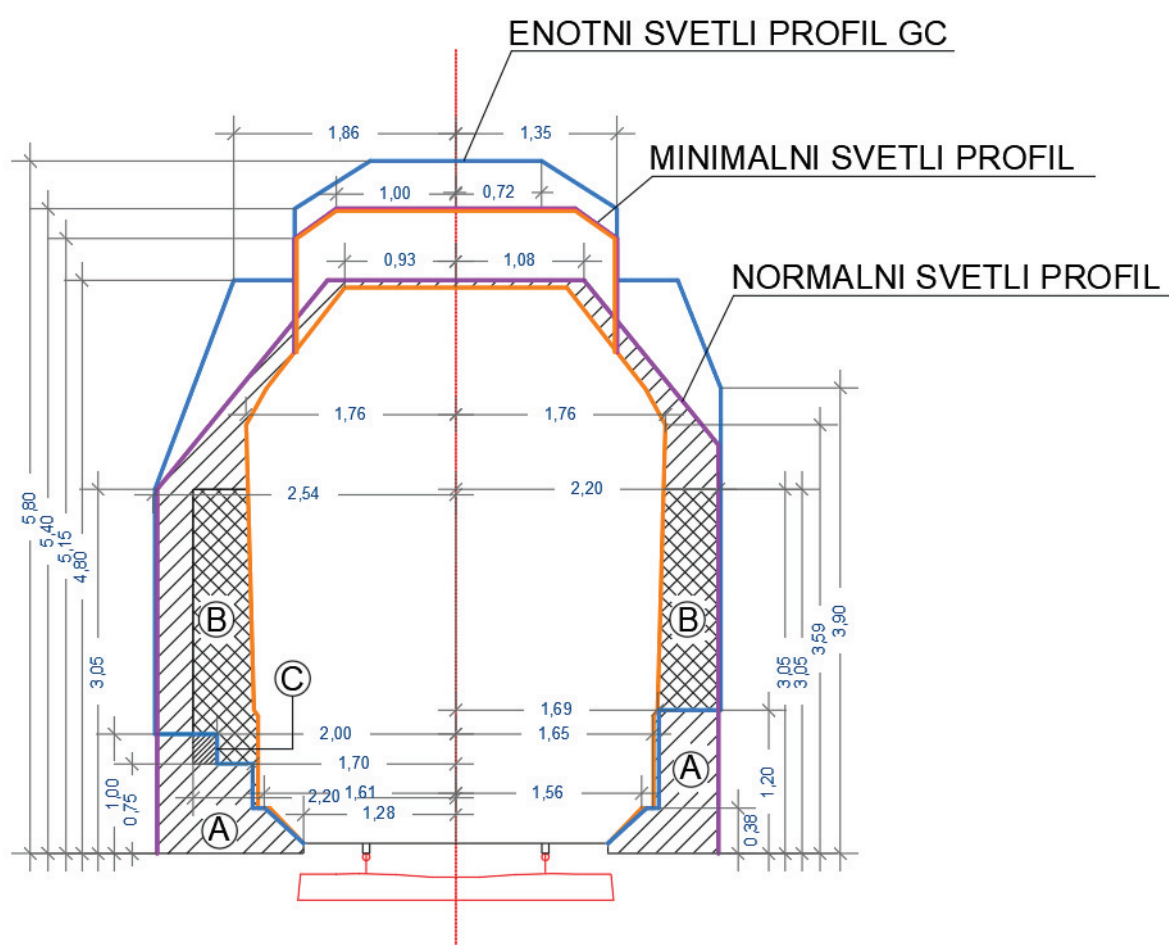
Upravljalca železniške infrastrukture se odloči kateri referenčni profil bo železniška proga zagotavljala, projektant pa določi minimalni ali normalni svetli profil za konkreten odsek glede na parametre proge ($R, h, \Delta h, \delta$).

Ločimo tri vrste svetlega profila, in sicer minimalni svetli profil, normalni svetli profil in enotni svetli profil. Mejne črte omenjenih svetlih profilov so prikazane na sliki 7 na strani 14.

Minimalni svetli profil predstavlja najmanjši možni svetli profil proge, ki se mora zagotavljati po celotni dolžini proge [10].

Normalni svetli profil se upošteva pri vzdrževanju, nadgradnjah in obnovah obstoječih prog. Zagotavljati mora varen prevoz železniških vozil in tovora, ob upoštevanju horizontalnih in vertikalnih nihanj, tirnih toleranc ter minimalne oddaljenosti naprav in objektov [10].

Enotni svetli profil je potrebno zagotoviti pri gradnji novih prog, vseh nadgradnjah obstoječih prog ali za elektrifikacijo predvidenih prog. V višini profila je upoštevana rezerva 100 mm za dvig nivelete pri vzdrževanju proge [10].



Slika 7: Primerjava minimalnega, normalnega in enotnega GC svetlega profila [10]

Figure 7: Comparison of minimal, normal and GC clearance gauge [10]

2.2 Projektne faze

Projektiranje železniške infrastrukture se nekoliko razlikuje od drugih projektov tako po obsegu in vsebini, kot tudi po specifičnosti. Pri izdelavi projektne dokumentacije sodelujejo tehnične stroke iz gradbenega, arhitekturnega, geodetskega, geološkega, strojnega in elektro področja.

Vsebino in obliko projektne dokumentacije določa Pravilnik o podrobnejši vsebini dokumentacije in obrazcih, povezanih z graditvijo objektov [13], ki je v veljavi od 1. junija 2018 in uvaža nekaj sprememb glede poimenovanja projektne dokumentacije, predvsem pa poenostavi nekatere postopke in s tem skrajša čas za pridobitev gradbenega dovoljenja, če je le-ta potreben. Pravilnik o podrobnejši vsebini dokumentacije in obrazcih, povezanih z graditvijo objektov dopušča, da glede na potrebe dodamo ali izpustimo določene načrte ali jih premaknemo v drug sklop. Pravilnik glede na vsebino in namen projektno dokumentacijo deli [13]:

- idejna zasnova za pridobitev projektnih in drugih pogojev (IZP),
- projektna dokumentacija za pridobitev mnenj in gradbenega dovoljenja (DGD),
- projektna dokumentacija za izvedbo gradnje (PZI),
- projektna dokumentacija izvedenih del (PID),
- dokazilo o zanesljivosti objekta (DZO).

Idejna zasnova za pridobitev projektnih in drugih pogojev

V tej fazi iščemo najustreznejšo rešitev poteka trase. Rešitve se med seboj primerja in izbere najustreznejšo izmed njih. Za izbrano varianto poteka trase se izdelata projekt idejne zasnove, ki je namenjen pridobitvi projektnih in drugih pogojev. V nasprotnem primeru pred tem naredimo še primerjavo variant. IZP dokumentacija mora vsebovati vse potrebne podatke, ki jih potrebuje posamezen mnenjedajalec za izdajo projektnih pogojev.

Kadar ne gre za novogradnjo, v dokumentaciji najprej opišemo obstoječe stanje. Tu podamo glavne informacije o lastnostih obstoječe proge ter vseh obstoječih objektih, ki so del železnice ali so pozicionirani ob njej. V opisu projektiranega stanja navedemo vse spremembe in rešitve, ki morajo biti ustrezno utemeljene in dokazane z izračuni. Priložimo tudi geomehansko poročilo, če je bilo le to izdelano [14], [15].

Obvezen je grafični prikaz lokacije predvidene trase, vseh objektov, vodnih in vodovarstvenih območij ter križanj železnice s cestno, komunalno in energetsko infrastrukturo. Osnova za lokacijski prikaz je zemljiški kataster ali geodetski načrt. Za večje premostitvene objekte, predore, galerije, pokrite vkope, vodnogospodarske ureditve se izdelata bolj podrobne posamezne načrte. Izdelajo se pregledne situacije, vzdolžni profili, karakteristični profili na specifičnih delih ter razne sheme. Na koncu naredimo grobo oceno stroškov investicije [14], [15].

Projektna dokumentacija za pridobitev mnenj in gradbenega dovoljenja

DGD je temelj za izdelavo vseh nadaljnjih projektov. Izdela se na podlagi IZP dokumentacije in pridobljenih projektnih pogojev. Vsebuje vse potrebne podatke, na podlagi katerih se pristojni mnenjedajalec odloči o ustreznosti in skladnosti dokumentacije s predpisi. Če so mnenja pozitivna, mnenjedajalec določi pogoje za izdelavo PZI dokumentacije, upravni organ pa izda gradbeno dovoljenje. V DGD popišemo vse zemljiške parcele, po katerih bo potekala predvidena nova trasa železniške proge in pripadajoči objekti. Navesti in upoštevati moramo veljavni prostorski akt, ki nam vелеva pogoje glede graditve. Na osnovi geotehničnih in geoloških raziskav se določi potrebna debelina tampona. Definiramo svetli profil in oznako kategorije proge. V tej fazi podamo izračune za tehnične elemente trase in progovno hitrost. Načrti tirnih naprav vsebujejo podrobnejše opise smernega in višinskega poteka zgornjega in spodnjega ustroja. Predvidimo tip tirnic, kretnic, pragov in pritrdilnega sistema. Shematsko prikažemo lokacije peronov, nivojskih prehodov, podhodov, prepustov, zidov in jih tudi opišemo. V zbirnem projektnem poročilu opišemo vse tehnične rešitve, vse vgrajene materiale, tehnološko opremo in tehnologijo gradnje. Izdelamo projektantski popis del in predizmere, na podlagi katerih se oceni vrednost investicije [14], [15].

Izvedbeni načrt

Izvedbeni načrt je posebnost pri projektiranju železniške infrastrukture. Izdela se pri vzdrževalnih delih v javno korist, kjer gradbeno dovoljenje ni potrebno. Gre za kombinacijo IZP in DGD [14], [15].

Projektna dokumentacija za izvedbo gradnje

PZI se izdelava v skladu z izdanim gradbenim dovoljenjem. Dovoljena so manjša odstopanja od projekta DGD. V tej fazi podrobno opišemo in definiramo vse detajle, ki bodo izvajalcu omogočili učinkovito izvedbo projekta. Izdelamo armaturne in opažne načrte, ki v prejšnjih fazah niso bili potrebni. Prikazani so vsi elementi in materiali, ki se bodo vgradili. Podamo točne količine, stacionaže in ostale potrebne parametre iz katerih pripravimo podroben projektantski popis del, na podlagi katerega lahko izvajalci izdelajo ponudbo. V tej fazi opišemo tudi postopek in tehnologijo izvedbe ter izdelamo terminski plan. Vsi načrti, sheme in situacije so izdelani v velikem merilu. Prečne profile rišemo na mestih, kjer so pozicionirani drogovi vozne mreže, oziroma preko pomembnejših objektov (peron, premostitveni objekt, podhod, prepust ...) [14], [15].

Projektna dokumentacija izvedenih del

Projektna dokumentacija izvedenih del služi upravljavcu javne železniške infrastrukture za vzdrževanje le-te in načrtovanje morebitne kasnejše nadgradnje. Vsebovati mora vse potrebne podatke o geometriji tira, sistemu odvodnjavanja in sestavi zgornjega in spodnjega ustroja proge. Prav tako mora vsebovati vse med gradnjo nastale spremembe, ki odstopajo od prvotnih projektnih rešitev iz PZI [14], [15].

2.3 Proces načrtovanja

Upravljanje železniških investicijskih projektov – GRIP (angl. Governance for Railway Investments Projects) je ključni železniški postopek za učinkovito upravljanje in nadzor nad železniškimi projekti. Razvit je bil za zmanjšanje tveganj povezanih z izvajanjem projektov. GRIP zagotavlja strukturo življenjskega cikla železniških projektov. Zagotavlja osem stopenj od opredelitve potrebnih vhodnih podatkov do podatkov potrebnih za uporabo in vzdrževanje objekta. Vsaka stopnja je zasnovana tako, da odda vnaprej določen nabor podatkov, ki dokazujejo pripravljenost projekta na naslednjo fazo [16].



Slika 8: Življenjski cikel upravljanja železniških investicijskih projektov [16]

Figure 8: Governance for railway investment projects lifecycle [16]

Definicija izhodnih podatkov. Ta stopnja določa obseg investicije in dela, ki se predlaga. Vsebuje [17]:

- obseg del in njihov časovni razpored,
- financiranje projekta in morebitna tveganja,
- metodologijo javnih naročil (kaj je treba izvesti pri razvojnih in izvedbenih delih) in
- morebitno povezavo z obstoječimi in predvidenimi projekti.

Izvedljivost. Po preučitvi in pregledu investicijskega predloga, se na tej stopnji projekt premakne naprej.

Izbira variant. Ugotavlja in oceni se različne možnosti za izvedbo projekta. Ugotoviti je treba ali je projekt cenovno dostopen ali ne, ga je mogoče izvesti v razumnem časovnem obdobju ter če in kdaj se bo investicija povrnila. Na podlagi teh ugotovitev se priporoči in izlušči najbolj ustrezno varianto, da se nadaljuje podrobna zasnova in izvedba.

Razvoj izbrane variante. Za izbrano varianto se izdelajo vsi načrti. V tej stopnji se odkrijejo vsa tehnična in pravna vprašanja, ki bi lahko preklicala nadaljnjo izdelavo projekta za izbrano varianto.

Podrobno načrtovanje. Dokonča se celotna inženirska zasnova projekta, ki vključuje dokončne stroške izvedbe projekta, njegov časovni potek ter oceno tveganja.

Gradnja, testiranje in uporaba. Projekt se gradi bo načrtih in specifikacijah, ki jih podrobno opišemo v predhodni stopnji. Po končani gradnji se potrdi skladnost z zahtevami in preda v uporabo.

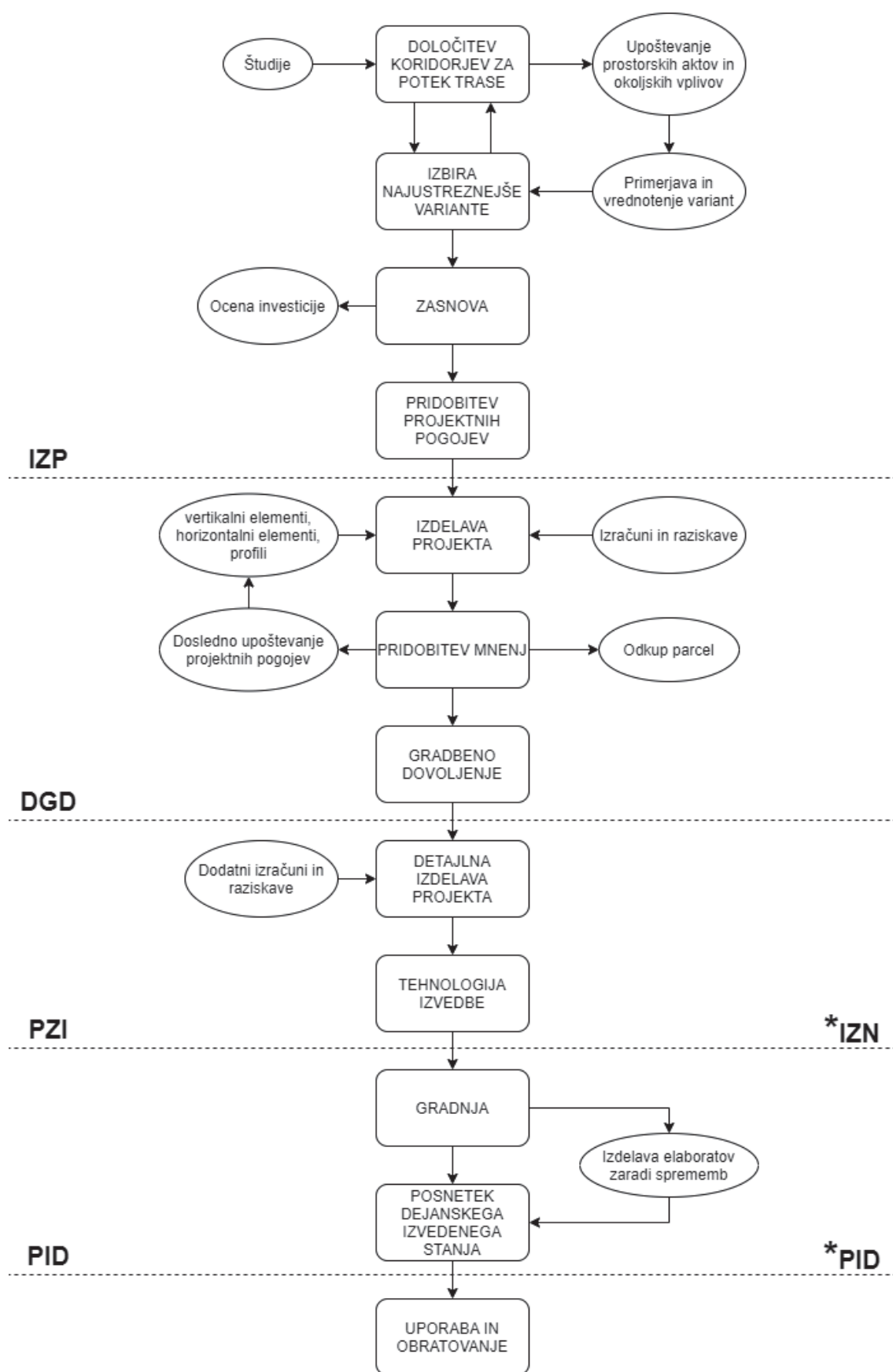
Prenos projekta. Prenos infrastrukturnega projekta s projektne skupine na upravljalca oziroma vzdrževalca.

Zaključek projekta. Projekt se formalno zaključi. Pogodbe so izpolnjene, garancije dogovorjene. Razpusti se projektna skupina, začnejo se ocene koristi.

Pri načrtovanju železniške infrastrukture v osnovi ločimo dva procesa projektiranja.

- **Novogradnja** zahteva vse faze projektne dokumentacije in obvezno pridobitev gradbenega dovoljenja. Pri novogradnji uporabimo pristope projektiranja in izvedemo dela, s katerimi zgradimo nov sistem ali podsistem železniške infrastrukture. Sem spada gradnja novih prog, gradnja drugega tira k obstoječi enotirni progi, gradnja obvoznih prog in gradnja novih inženirskih objektov in stavb. Tak proces načrtovanja uporabljamo tudi pri nadgradnjah, kjer posegamo izven progovnega pasu. Elementi proge morajo pri novogradnji ustrezati najnovejšim standardom. Bistveno je, da gradbeni posegi segajo na nova zemljišča, ki jih mora investitor pred pričetkom gradnje pridobiti [8].
- **Vzdrževalna dela v javno korist** so nekoliko poenostavljen proces, saj ne potrebujemo gradbenega dovoljenja. Uporablja se pri vzdrževalnih delih v javno korist. So najpogostejša dela, ki se izvajajo na železniški infrastrukturi. To so dela, s katerimi se spremeni zmogljivost in nivo uslug železniške proge. Gre za enak princip kot pri novogradnji s pomembno izjemo, ta je, da moramo ostati znotraj progovnega pasu [18].

Na strani 19 sta na sliki 9 na poenostavljen način shematsko predstavljena oba procesa. Pri vzdrževalnih delih v javno korist izpustimo fazo IZP in DGD. Izdelava projekta se začne s fazo PZI oziroma IZN kot jo imenujemo pri vzdrževalnih delih v javno korist.



Slika 9: Proces izdelave projekta

Figure 9: The process in the railway infrastructure design

2.4 Upravljanje ključnih projektnih informacij pri projektiranju železnic

Pred izdelavo projekta moramo upoštevati ključne informacije, ki narekujejo potek in elemente železniške proge. Te so:

- tirna širina,
- osna obremenitev,
- progovna hitrost,
- dolžina vlaka,
- uporabna dolžina perona.

Informacije o kategoriji proge povedo, kakšna je pričakovana osna obremenitev, projektna hitrost proge in tirna širina. Ali je proga elektrificirana, koliko tirov ima in kakšen promet se odvija po njej, razberemo iz **informacij o vrsti proge**. Ti dve informaciji določata minimalne vrednosti parametrov elementov, ki bodo zagotavljali varno in ekonomično vožnjo. Želimo izbrati najbolj ugodno varianto, ki bo zadoščala vsem zahtevanim parametrom, ki jih določajo pravilniki in smernice za projektiranje. **Prostorske informacije** podajo informacije o stanju v prostoru. Prikažejo razna območja, ki omejujejo ali celo prepovejo umeščanje trase v prostor. To so na primer območja poselitve, naravovarstvena in vodovarstvena območja, območja kulturne dediščine, kmetijska zemljišča, gospodarska javna infrastruktura ipd. Poleg prostorskih informacij so ključnega pomena tudi **informacije o konfiguraciji terena**, ki skupaj z minimalnimi vrednostmi parametrov elementov narekujejo vertikalni in horizontalni potek trase. Zelo so pomembne **informacije o zemljiškem katastru**, saj brez soglasij ne smemo posegati na tuja zemljišča. Vse omenjene informacije so pogoj za pričetek projektiranja oziroma načrtovanja železniške proge in objektov v povezavi z njo.

Ključni podatki pri načrtovanju, izvedbi in vzdrževanju železniške infrastrukture. Načrtovano traso železniške proge predstavimo s podatki, ki povedo njen potek v prostoru. Ti podatki so osnova za določitev količine uporabljenega materiala in vrednosti investicije. Podatki niso pomembni le pri načrtovanju, temveč v celotnem življenjskem ciklu, torej tudi pri izvedbi in vzdrževanju železniške proge. V nadaljevanju so tabelarično zbrani ključni podatki, ki se uporabljajo in beležijo v posamezni fazi življenjskega cikla železniške proge. Osredotočeni smo na gradbeni del, to sta zgornji in spodnji ustroj.

Ključni podatki prostorskega poteka proge. Preglednica 3 prikazuje tehnične parametre železniške proge in ključne podatke, ki nam podajo informacijo o prostorskem poteku proge in njenih elementih, ki določajo obliko in položaj. Parametre pri načrtovanju določimo z upoštevanjem minimalnih oziroma maksimalnih vrednosti, ki jih določa trenutno veljavna nacionalna in evropska zakonodaja. Pri izvedbi projekta upoštevamo načrtovane parametre, ki se jih izvede v skladu s projektno dokumentacijo in z dovoljenimi odstopanji. Izvedeno stanje se prikaže fazi PID. V fazi vzdrževanja želimo stanje proge čim bolj približati projektiranemu stanju. Zato preverimo odstopanje med vrednostmi projektiranih in izmerjenih parametrov. Vsi tehnični parametri so pomembni skozi celoten življenjski cikel železniške proge in se vseskozi kontrolirajo ter dopolnjujejo. Izjema sta le podatka o vegavosti in stabilnosti tira, ki se pojavita šele v fazi vzdrževanja.

Preglednica 3: Tehnični parametri tira

Table 3: Railway track technical parameters

TEHNIČNI PARAMETRI		NAČRTOVANJE	IZVEDBA	VZDRŽEVANJE
horizontalni elementi				
	prema			
	stacionaža	x	x	x
	dolžina	x	x	x
	krožni lok			
	stacionaža	x	x	x
	radij	x	x	x
	dolžina	x	x	x
	nadvišanje	x	x	x
	prehodnica			
	stacionaža	x	x	x
	nadvišanje	x	x	x
vertikalni elementi				
	niveleta			
	stacionaža	x	x	x
	vzdolžni naklon	x	x	x
	kota nivelete	x	x	x
	vertikalna zaokrožitev			
	stacionaža	x	x	x
	radij	x	x	x
	prehodna klančina			
	stacionaža	x	x	x
	dolžina	x	x	x
	naklon	x	x	x
tir				
	tirna širina			
	razdalja med tirnicama	x	x	x
	razširitev v krivinah	x	x	x
	odstopanje od tirne širine		x	x
	vegavost tira			
	Δh gornjih robov tirnic			x
	medtirna razdalja			
	razdalja med osmi tirov	x	x	x
	stabilnost tira			
	rezultati meritev z merilnim vlakom			x
svetli profil				
	referenčni profil (G1, G2 ...)	x	x	x
	dimenzije	x	x	x
	odmiki od objektov	x	x	x

Ključni podatki zgornjega ustroja in konstrukcija tira. Ključni podatki zgornjega ustroja in njegovih elementov se nanašajo na Pravilnik o zgornjem ustroju in zakon, ki ureja varnost v železniškem prometu. Pri projektiranju, izvedbi in vzdrževanju zgornjega ustroja prog moramo z vrednostjo parametrov posameznih elementov, ostati znotraj dovoljenih mej, da se zagotavlja varen in urejen železniški promet. Potrebni podatki pri vzdrževanju in izvedbi se bistveno ne razlikujejo. Glavna razlika je le v vrednosti parametrov elementov, ki se lahko nekoliko razlikujejo od načrtovanih. Pri vzdrževanju so poleg podatkov pri načrtovanju in izvedbi pomembni še podatki, ki se navezujejo na obrabljenost in fizično stanje vgrajenih elementov. Ustreznost elementov zgornjega ustroja železniških prog se preverja z vizualnimi pregledi in ročnimi meritvami z merilnimi inštrumenti. Ključni podatki elementov zgornjega ustroja so predstavljeni v preglednici 4.

Preglednica 4: Ključni podatki elementov zgornjega ustroja

Table 4: The key data of superstructure elements

ELEMENTI ZGORNJEGA USTROJA IN KONSTRUKCIJA TIRA				
		NAČRTOVANJE	IZVEDBA	VZDRŽEVANJE
TIRNICA				
	proizvajalec		x	x
	oblika tirnice (npr. 60 E1)	x	x	x
	kvaliteta tirnice (npr. R200)	x	x	x
	obraba tirnice (npr. višinska)			x
	poškodba (npr. zlom)			x
PRAG				
	proizvajalec		x	x
	tip (npr. betonski)	x	x	x
	osni razmik pragov (npr. 600)	x	x	x
	dimenzije (npr. 2,40 m)	x	x	x
	stanje (npr. dobro)			x
TIRNA GREDA				
	debelina tirne grede (npr. 0,3 m)	x	x	x
	količina (npr. 1000 m ³)			
	kvaliteta tolčenca	x	x	x
	vrsta tolčenca (npr. novi ...)	x	x	
	obraba zrn tolčenca			x
	čistost tirne grede (npr. 70%)			x
TIRNI PRIBOR				
	tip (npr. vezni, pritrdilni ...)	x	x	x
	element (npr. tirfon, vijak ...)	x	x	x
	obrabljenost			x
TIRNI STIK				
	tip stika (npr. stikovani, varjeni ...)	x	x	x
	temperatura izvedbe varjenja	x	x	x
	stanje stika		x	x

Ključni podatki spodnjega ustroja. Pri načrtovanju spodnjega ustroja so poleg geometrijskih parametrov pomembne tudi geološke, hidrološke, geotehnične in druge raziskave, ki nam določajo pogoje glede projektiranja. Potrebni so podatki lokaciji izvedbe zemeljskih del ter količini in vrsti vgrajenega ali odstranjenega materiala. Vse podatke iz faze načrtovanja prekontroliramo v fazi izvedbe in jih ob morebitnih spremembah in odstopanju popravimo. V fazi vzdrževanja se poleg kontrole vhodnih podatkov osredotočimo predvsem na podatke, ki se nanašajo na stabilnost in nosilnost posameznih elementov spodnjega ustroja in lahko povzročijo njegovo porušitev in s tem ogrožajo varnost v železniškem prometu.

Preglednica 5: Ključni elementi spodnjega ustroja

Table 5: The key data of substructure elements

ZEMELJSKO TELO		NAČRTOVANJE	IZVEDBA	VZDRŽEVANJE
NEVEZANA NOSILNA PLAST – NNP				
	stacionaža (npr. km 573+600,000)	x	x	x
	količina (npr. 1000 m3)			
	frakcija (0/32)	x	x	x
	debelina (npr. 40 cm)	x	x	x
	prečni nagib planuma (npr. 5%.)	x	x	x
	ravnost sloja (npr. 20 mm/4m)		x	x
	nosilnost (npr. 100 MPa)		x	x
	zgoščenost (npr. 98%)		x	x
NASIP				
	stacionaža (npr. km 573+600,000)	x	x	x
	količina (npr. 10000 m3)			
	frakcija (npr. 0/125)	x	x	x
	višina (npr. 10 m)	x	x	x
	naklon brežin (npr. 1:2, 1:1,5)	x	x	x
	prečni nagib planuma (npr. 5%)	x	x	x
	nosilnost (npr. 80 MPa)		x	x
	zgoščenost (npr. 98%)		x	x
TEMELJNA TLA				
	stacionaža (npr. km 573+600,000)	x	x	x
	vrsta terena (npr. kamniti)	x		
	prečni nagib planuma (npr. 5%)	x	x	x
	ravnost sloja (npr. 20 mm/4m)		x	x
	zgoščenost (npr. 98%)		x	x
	nosilnost (npr. 80 MPa)		x	x
	geotehnične raziskave	x	x	
IZKOP				
	stacionaža (npr. km 573+600,000)	x	x	x
	količina (npr. 10000 m3)			
	kategorija izkopa (npr. III.)	x	x	
	naklon brežin (npr. 1:2, 1:1,5)	x	x	x
	stabilnost		x	x

3 INFORMACIJSKO MODELIRANJE

3.1 Osnovni pojmi in koncepti BIM

Kratice BIM si stroka ne razlaga povsem enotno in ima zato lahko več pomenov. Na primer informacijski model objektov (angl. Building Information Models), ki vsebuje informacije o fizičnih lastnostih objekta. Kratice BIM si lahko razlagamo tudi kot upravljanje informacij objekta (angl. Building Information Management). Najpogostejša razlaga pa je informacijsko modeliranje objektov (angl. Building Information Modeling), ki predstavlja proces izdelave modela [19]. Tako ima vsaka veja uporabnikov svoj pogled na BIM, ki si je ustvarila svoje definicije glede na njihove potrebe in uporabo, kljub temu, da so vsem definicijam osnova standardi.

Kljub vsemu imajo vse tri razlage skupno točko, ki jih povezuje in je hkrati bistvo pojma BIM. Skupna točka tiči v kratici BIM, natančneje v črki "I". Ta črka označuje informacije, ki so bistvo novega koncepta modeliranja in miselnosti. BIM ravno zaradi tega ni samo enostaven 3D geometrijski model, kot velja v splošnem prepričanju, ampak je mnogo več kot le to. BIM je informacijski 3D model, kjer posamezni sestavni geometrijski deli vsebujejo določene informacije, ki so pomembne za uporabnika. Je proces za ustvarjanje in upravljanje vseh informacij skozi vse cikle gradbenega projekta, od projektiranja in gradnje do upravljanja.

V nadaljevanju so predstavljene definicije kratice BIM z vidika naročnikov in investitorjev, projektantov in uporabnikov programske opreme ter informatikov oziroma programerjev.

Informacijski model. Informacijski model je pomemben predvsem za naročnike in investitorje, ki jih zanimajo predvsem digitalne predstavitve fizičnih lastnosti modela in simulacije, na podlagi katerih dobijo vse potrebne informacije za nadaljnje odločitve.

- Standard ISO 16757-1:2015 [20], definira BIM kot »gradnjo modela, ki vsebuje podatke o stavbi v vseh fazah življenjskega cikla zgradbe«.
- BS 8536:2010 [21]: »Digitalna predstavitev fizičnih in funkcionalnih značilnosti objekta skozi življenjski cikel«.
- BS ISO 29481-1 2010 [22]: »Skupna digitalna predstavitev fizičnih in funkcionalnih značilnosti katerega koli zgrajenega predmeta (vključno s stavbami, mostovi, cestami, itd.), ki tvori zanesljivo podlago za odločitve«.
- Associated General Contractors of America [23]: »BIM je razvoj in uporaba računalniških modelov za simulacijo izgradnje in delovanja objekta. Nastal informacijski model zgradbe je informacijsko obogatena, objektno orientirana, inteligentna in parametrična digitalna reprezentacija objekta, iz katerega lahko pridobimo poglede in informacije, na podlagi katerih lahko uporabniki sklenejo odločitve in tako izboljšajo proces izdelave in izvedbe projekta«.

Informacijsko modeliranje. V to skupino spadajo predvsem projektanti, uporabniki in ponudniki programske opreme, ki se osredotočijo predvsem na proces izdelave informacijskih modelov.

- Cerovšek [24]: »Model BIM je digitalni zapis in predstavitev informacij o konkretni stavbi za komunikacijo med udeleženi v gradbenem projektu. Model BIM vsebuje geometrijske in negeometrijske informacije, ki jih potrebujejo in izdelajo arhitekti in inženirji za načrtovanje, analizo, simulacije, vizualizacije in dokumentacijo tako v fazah pred, med in po gradnji. Geometrijske informacije določajo digitalni 3D-model stavbe, sestavljen iz elementov, ki so digitalni ekvivalent »pravih« elementov stavb (od temeljev do strehe). Negeometrijski del določa dodatne informacije o stavbi in njenih elementih ter lastnosti, ki se nanašajo na funkcijo, obliko in materiale«.
- Autodesk [25]: »To je integriran pristop, ki temelji na modelu, katerega namen je zagotoviti usklajene in zanesljive informacije o gradbenem projektu v vseh fazah projekta, od idejne zasnove in oblikovanja skozi celotno gradnjo do delovanja in upravljanja. BIM nudi inženirjem, izvajalcem, naročnikom in drugim jasen pregled nad projektom in jim pomaga izboljšati odločitve hitreje in kvalitetnejše ter tako povečati dobičkonosnost«.
- Pazlar [26]: »Informacijski model zgradbe po eni izmed popolnejših definicij označuje večdimenzionalno, semantično bogato predstavitev produkta z namenom podpore medsebojni komunikaciji med udeleženci, sodelovanju, simulaciji ter optimizaciji«.

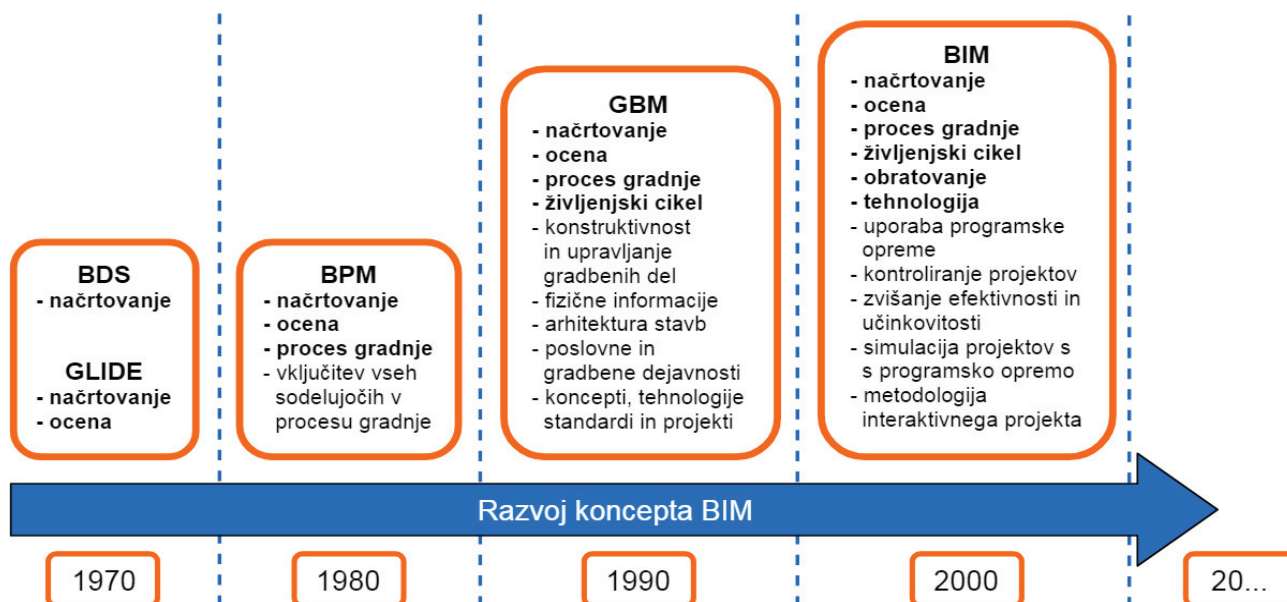
Upravljanje informacij. Med zagovornike, ki si BIM razlagajo kot upravljanje informacij, uvrščamo strokovnjake in informatike, ki se dnevno ukvarjajo z informacijami, komunikacijo in obdelavo podatkov. BIM je specifikacija za modeliranje informacij o zgradbah, digitalno zgrajeno okolje in upravljanje pametnih sredstev.

- Turk [27]: »Informacijski model zgradbe je model gradbeniškega produkta. Z njim označujemo unijo vseh podatkov, ki nastajajo in se uporabljajo ter izginevajo skozi celotno življenjsko dobo produkta«.
- PAS 1192-5:2015 [28] pravi, »da je BIM diskretni sklop elektronskih objektno usmerjenih informacij, ki se uporabljajo za oblikovanje, gradnjo in delovanje zgrajenega sredstva«.
- National Building Specification (NBS) [29]: »Bogat informacijski model, sestavljen iz morebitnih več virov podatkov, elemente, ki jih je mogoče razdeliti vsem zainteresiranim stranem in biti ohranjeni v življenju objekta od začetka do recikliranja«.

Koncepti BIM segajo v obdobje, ko so se začeli pojavljati prvi računalniki. Leta 1962 je Douglas C. Englebart v svojem prispevku *Augmenting Human Intellect* (slov. Razširitev človeškega uma) prvič dokumentiral koncept BIM. V prispevku je Englebart opisal vizijo arhitekta prihodnosti, kjer bo arhitekt sedel za delovno postajo z zaslonom, ki bo njegova delovna površina. Kontrolirana bo s pomočjo računalnika, s katerim bo komuniciral preko tipkovnice in drugih naprav. Arhitekt bo vnašal vrsto različnih parametrov in podatkov v računalnik. Ko bo končal, se bo na zaslonu prikazal model, ki bazira na vnešenih podatkih. Model se bo lahko analiziral, prilagajal, spreminjal in dopolnjeval. Vse te informacije se bodo lahko shranile na medij in se uporabile za prezentacijo modela ali pa uporabile za nadaljnjo delo na drugi delovni postaji [30].

Na spodnji sliki je prikazan razvoj koncepta BIM od začetka sedemdesetih let do današnjih dni. V splošnem lahko razvoj koncepta razdelimo na šest pomembnih lastnosti, ki jih vsebujejo posamezne stopnje razvoja. Te lastnosti so [31]:

- načrtovanje,
- ocena,
- proces gradnje,
- življenjski cikel,
- obratovanje in
- tehnologija.



Slika 10: Razvoj koncepta BIM [31]

Figure 10: The development of the BIM concept [31]

BDS (angl. Building Description System), prvi osnutek pristopa BIM, je bil osredotočen le na **načrtovanje**, ki ga je nato z dodatno sposobnostjo možnosti **ocene** zasnove, stroškov in konstrukcijskih načrtov nadomestil GLIDE (angl. Graphical Language for Interactive Design). Ta je bil v uporabi vse dokler ni na trg prišel BPM (angl. Building Product Model), ki je vključil vse sodelujoče, povezal aktivnosti in dejavnosti v življenjskem ciklu ter se osredotočil na **proces gradnje**. Podatki so bili uporabljeni pri morebitnih spremembah v procesu gradnje. Vendar pa je bil BPM osredotočen le na prenašanje informacij. Povezavo informacij z aktivnostmi in dejavnostmi je zagotovil njegov naslednik GBM (angl. Generic Building Modelling), ki je omogočil integracijo informacij skozi celoten **življenjski cikel** objekta. Na koncu pridemo do BIM, ki bo s pomočjo nove **tehnologije** omogočil nemoteno komunikacijo in pretok informacij v celotnem življenjskem ciklu, vključno v fazi **obratovanja** [31].

Z BIM se je izboljšal pretok informacij, zmanjša se obseg napak in poveča učinkovitost izdelave projektov. Sprejetje koncepta BIM je pomenilo premik paradigme za AEC industrijo zaradi tehnološkega napredka [32] in je pomagalo doseči izboljšanje procesa načrtovanja, projektiranja, gradnje in vzdrževanja [33].

3.2 Implementacija zrelost uporabe BIM

Število uporabnikov se počasi a vztrajno povečuje. Kljub temu, da trenutno trg ponuja veliko število BIM programske opreme, se projekti še vedno izdelujejo na tradicionalen način v obliki 2D risb in dokumentov. Prav tako se oddajajo projekti v fizični tiskani obliki. Podobno je pri izdelavi projektantskih popisov in količin.

Ključna je implementacija BIM tehnologij med udeleženci v projektu, ki se nanaša na vrsto dejavnosti in aktivnosti, ki so vpeljane s strani organizacije z namenom izboljšanja rezultatov pristopa BIM in njegovega nadaljnjega razvoja. Uvedba BIM je sestavljena iz naslednjih treh faz [34]:

- pripravljenost na BIM (angl. BIM Readiness),
- zmogljivost za BIM (angl. BIM Capability),
- zrelost pristopa BIM (angl. BIM Maturity).

Pripravljenost na BIM

V prvi fazi implementacije BIM pred točko sprejetja (angl. Point of Adoption) govorimo o pripravljenosti neke organizacije (podjetje, vlada, država), v kolikšni meri je pripravljena sprejeti BIM orodja, ustrezne protokole in delovne tokove [35].

Zmogljivost za BIM

Predstavlja najmanjšo zmožnost oziroma zmogljivost organizacije implementacije BIM ter doseganje in izboljševanje rezultatov. Poznamo tri ločene stopnje zmogljivosti, s katerimi opredelimo v kolikšni meri lahko organizacija implementira BIM. Stopnje zmogljivosti, s katerimi merimo sprejetje BIM, so naslednje [36], [37]:

- objektno usmerjeno modeliranje (angl. Object-based Modelling),
- modelno osnovano sodelovanje (angl. Model-based Collaboration),
- mrežno osnovana integracija (angl. Network-based Integration).

Zrelost pristopa BIM

Zrelost BIM je postopno in kontinuirano izboljševanje kakovosti znotraj BIM zmogljivosti organizacije [38]. Napredovanje iz nižje na višjo raven zrelosti BIM se pokaže kot [39], [40], [41]:

- boljši nadzor z minimiziranjem razlik med cilji in dejanskimi rezultati,
- boljša predvidljivost in napovedovanje z zmanjšanjem variabilnosti v sposobnosti, uspešnosti in stroških,
- večja učinkovitost pri doseganju zastavljenih ciljev in postavljanju novih, ambicioznejših ciljev.

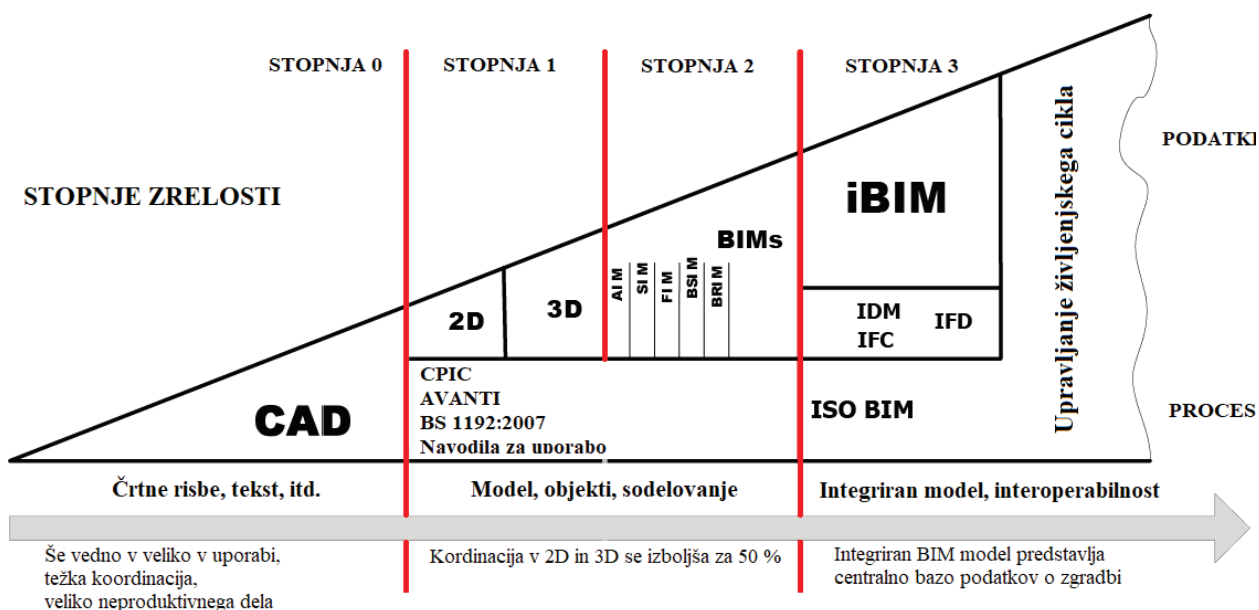
Da bi bila stopnja zrelosti pristopa BIM organizacije jasno definirana, so bili razviti razni modeli zrelosti pristopa BIM (angl. BIM maturity models). Ti modeli nam omogočajo identifikacijo stopnje zrelosti pristopa BIM organizacije in razlikovanje med različnimi nivoji. S tem dobimo vpogled v sposobnost uporabe BIM tehnologije organizacije ter dobimo informacijo o tem, kaj od ponudnika lahko pričakujemo.

Modeli zrelosti so postali uporabno sredstvo za difuzijo BIM po vsem svetu. V praksi sta se najbolj uveljavila dva modela stopnje zrelosti pristopa BIM, in sicer [42]:

- Bew-Richardsov model in
- model, ki ga je razvil Bilal Succar.

Bew-Richardsov model stopnje zrelosti pristopa BIM

Na strani 29 je na sliki 11 prikazan najbolj pogost in splošno znan model stopnje zrelosti v AEC industriji. Prvotno je bil razvit za potrebe BIM strategije Združenega kraljestva Velike Britanije. Prepoznaven je po svoji klinasti obliki, zato v literaturi večkrat zasledimo poimenovanje »Klin« (angl. The Wedge) [43].



Slika 11: Bew-Richardsonov model stopnje zrelosti pristopa BIM [44]

Figure 11: The Bew-Richard's BIM maturity model [44]

Model razdeli uporabo BIM na 4 stopnje zrelosti (od 0 do 3).

Stopnja 0

Prvo stopnjo opisuje kot stopnjo brez zrelosti BIM. To je stopnja, kjer je risalno ploščo zamenjala enostavna 2D CAD risba. Informacije so predstavljene z linijami in krivuljami. Na tej stopnji sodelovanje med načrtovalci in izmenjava podatkov nista zastopana. Glavni medij za prenos je papir [45], [46], [47], [48].

Stopnja 1

Poudarek je na uporabi standardiziranih 2D in 3D CAD risb. Uporabljajo se portali za izmenjavo dokumentov, datotek in elektronskih risb. Udeležencem je omogočen dostop do informacij in podajanje komentarjev, vendar pa vse to poteka znotraj lokalnega zaprtega okolja. Različna programska oprema, ki jo uporabljajo posamezniki med seboj, ni vedno kompatibilna, zato preverjanje neskladij ni mogoče [45], [46], [47], [48].

Stopnja 2

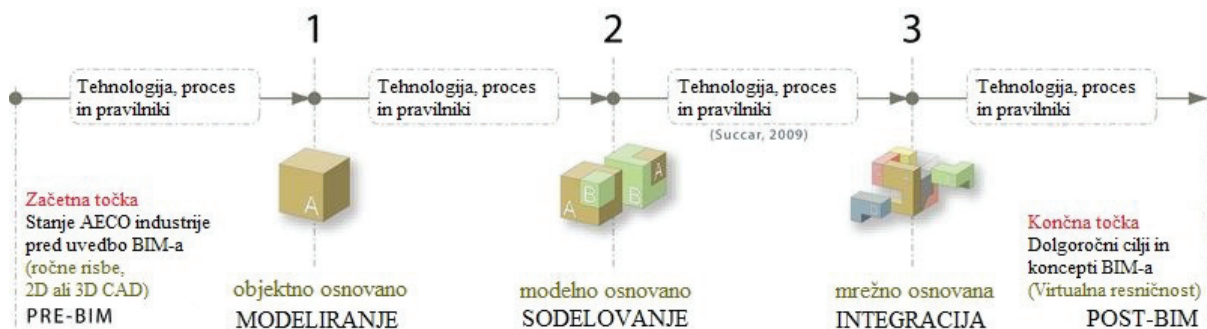
Pojavijo se BIM orodja za izdelavo 3D informacijskih modelov, ki poleg geometrijskih vsebujejo tudi druge podatke. Poudarek je na sodelovanju vseh udeležencev v gradbenem procesu. Izdelajo se modeli iz različnih strok, ki se nato združijo v en sam glavni model. Združevanje modelov omogočajo dogovorjeni protokoli. Prvič se pojavi tudi možnost izdelave 4D modela, ki vsebuje časovno komponento in 5D modela, kjer upoštevamo tudi stroške izvedbe projekta [45], [46], [47], [48].

Stopnja 3

To je najvišja stopnja, ki jo lahko dosežemo. Gre za enotni spletni projektni model, na katerem delajo vsi udeleženci v gradbenem procesu sočasno. Model se ne deli več med uporabniki, temveč je shranjen na strežniku. S tem je zagotovljeno, da je model dostopen kjerkoli in kadarkoli, prav tako pa je izboljšana varnost podatkov. Pojavi se tudi šesta komponenta (6D model), ki predstavlja podatke o življenjskem ciklu projekta. To stopnjo imenujemo tudi iBIM (integrirani BIM) in je namenjena predvsem zagotavljanju boljših poslovnih rezultatov [45], [46], [47], [48].

Succar-jev model stopnje zrelosti pristopa BIM

Succarjev model opredeljuje tri stopnje zrelosti pristopa BIM. Obravnava tudi fazo pred prvo stopnjo, ki predstavlja industrijo pred uvedbo BIM (ročne risbe in enostavne 2D CAD računalniške risbe). Prva stopnja (**modeliranje**) predstavlja 2D in 3D risbe bogate z informacijami brez možnosti deljenja med udeleženci. V drugi fazi (**sodelovanje**) pride do izmenjave BIM modelov med sodelujočimi, ki se nato sestavijo v en sam skupen model. Tretja stopnja (**integracija**) predstavlja mrežno osnovano integracijo, kjer udeleženci sodelujejo na projektu v realnem času. Tretji stopnji sledi faza, kjer so določeni dolgoročni cilji in koncepti BIM (virtualna resničnost) [49].



Slika 12: Succar-jev model stopnje zrelosti pristopa BIM [49]

Figure 12: The Succar's BIM maturity model [49]

BIM tehnologija in programska oprema sta v svetu že dobro uveljavljena, vendar pa se stopnja implementacije med državami zelo razlikuje. Veliko vlogo pri tem imajo vlade in vladne organizacije, od katerih je odvisno, v kolikšni meri je država pripravljena implementirati tehnologijo BIM in ustrezne standarde.

Trenutno ima najboljšo in najbolj prizadevno strategijo privzetja tehnologije BIM Združeno kraljestvo. Britanska vlada je sprejela zakon, ki zahteva, da se vsi projekti, ki so financirani s strani države, izdelajo in dostavijo v BIM tehnologiji [50]. Sledijo ji Skandinavske države in ZDA, kjer so s posvojitvijo tehnologije BIM začeli že zelo zgodaj, nekatere celo pred Združenim kraljestvom. Prav tako je BIM precej uveljavljen tudi v Singapurju, Kanadi ter Avstraliji [51]. V ostalih evropskih državah posvojitve pristopa BIM dobro napreduje. Nekoliko slabša in počasnejša je posvojitve v vzhodnih in južnih državah Evrope.

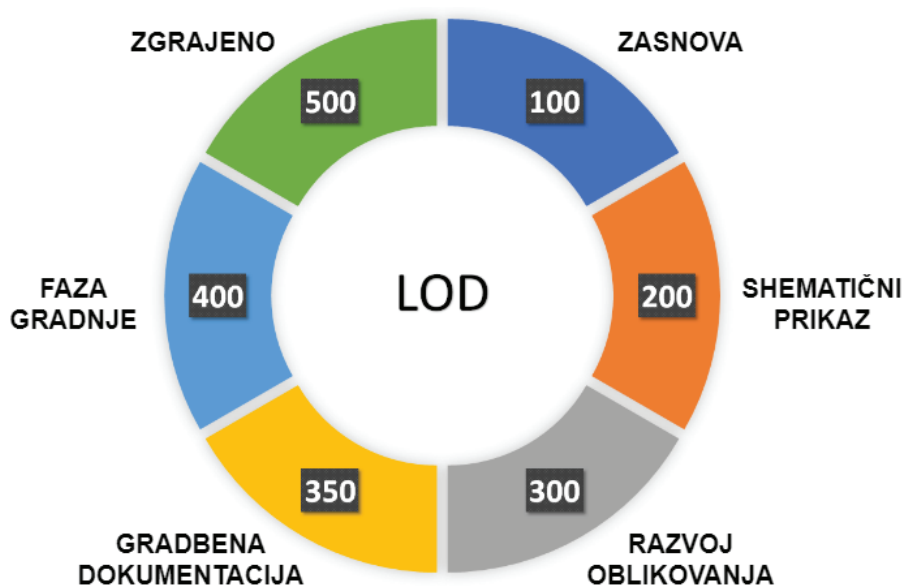
V Sloveniji smo začeli uvajati BIM tehnologijo, ki je postala obvezna za javna naročila z Evropsko direktivo. Trenutno se v Sloveniji v BIM tehnologiji izdeluje projekt druga cev predora Karavanke, Nakupovalni center IKEA in projekt 2. tir Divača–Koper.

3.3 Splošna standardizacija BIM – LOD, IFC, IFD, MVD

Stopnja določenosti LOD je širok pojem, ki opisuje proces ustvarjanja in upravljanja digitalnih projektnih informacij skozi faze življenjskega cikla objekta. Stopnja podrobnosti informacijskega modela narašča po fazah, skozi katere se elementi razvijajo in dopolnjujejo od preprostega modela, do zelo podrobnega modela [52].

Kratice LOD definiramo kot Level of Definition. To je skupen izraz, ki se uporablja za pojma Level of Detail in Level of Information. Level of Detail (stopnja podrobnosti) se nanaša na grafične predstavitve modelov na vsaki opredeljeni stopnji in nam pove, kako detajlno je element prikazan v modelu. Na drugi strani nam Level of Information (stopnja podrobnosti informacij) poda opise elementov modela [53]. V splošnem se LOD nanaša na količino grafičnih in ne grafičnih podrobnosti, ki so zagotovljeni v različnih fazah projekta.

V proces izdelave projekta je vključenih veliko udeležencev iz različnih vrst strok. Vsaka stopnja določa, katere in kako natančne informacije naj model vsebuje. Da bi se izognili pomanjkljivim ali preveč podrobnim informacijam, da bi vsi udeleženci v projektu jasno vedeli, kako natančne in katere informacije vsebuje oziroma bo vseboval projekt, je bilo potrebno opredeliti stopnje podrobnosti na vsaki stopnji razvoja projekta. Ameriški inštitut arhitektov – AIA (angl. The American Institut of Architects) je predstavil protokol digitalnih podatkov, s katerim želi urejati in nadzorovati nadzor informacijskih modelov. Dokument določa zahteve za vsebino informacij na modelu za pet različnih stopenj razvoja in uporabnost posamezne stopnje [54].



Slika 13: Stopnja podrobnosti (LOD)

Figure 13: Level of Development (LOD)

Protokol ponazarja značilnosti posameznih elementov modela ter opredeljuje njihovo stopnjo razvoja. Ne predpisuje, katero stopnjo razvoja je treba doseči, temveč le poda zahteve glede vsebnosti informacij na posamezni stopnji. S tem je omogočeno, da avtorji modelov natančno opredelijo, katere informacije so v posamezni fazi zanesljive, uporabniku pa je jasna uporabnost in omejitve modela [55].

LOD 100 – Koncept

Gre za konceptualen model elementa, ki je lahko prikazan grafično, lahko pa je definiran le z informacijami. Osnovni parametri, kot so površina, višina, prostornina, lokacija in orientacija, so okvirno določeni, vendar natančnih vrednosti ne moremo izmeriti.

LOD 200 – Shematični prikaz

Vsi elementi v modelu so grafično prikazani. Iz samega modela lahko izmerimo geometrijske parametre ter lokacijo in orientacijo. Elementom v modelu lahko pripišemo tudi attribute. Vse informacije, tako grafične kot ne grafične, so še vedno le približne. Stopnja LOD 200 je primerna za fazo DGD.

LOD 300 – Razvoj oblikovanja

Oblikovanje elementa se razvije v natančno modeliranje. Grafično prikazani elementi predstavljajo točno določen sistem, kjer so vsi geometrijski in lokacijski podatki točno določeni. Te podatke je možno na samem modelu tudi izmeriti. Poleg grafičnih elementov lahko pripišemo tudi negrafične informacije.

LOD 350 – Gradbena dokumentacija

Natančno modeliran element vključuje podrobnosti, ki predstavljajo, kako se posamezni elementi povezujejo z različnimi sistemi in drugimi elementi med seboj. Elementi in povezave so predstavljeni grafično in negrafično. Ta stopnja podrobnosti je primerna za uporabo v fazi PZI.

LOD 400 – Faza gradnje

Elementi modela so modelirani natančno z vsemi detajli, vsemi podrobnostmi postopka izdelave in vgradnje v sistem. Elementi so prikazani grafično, na njih pa so pripete tudi negrafične informacije. Vse informacije in podatki, ki jih razberemo z modela ali jih na modelu izmerimo, so zanesljivi in natančni.

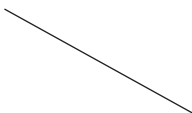
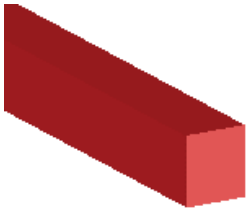

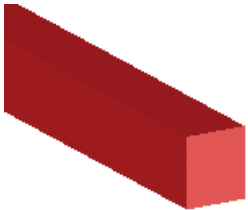

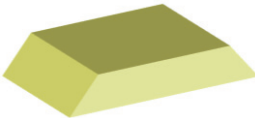
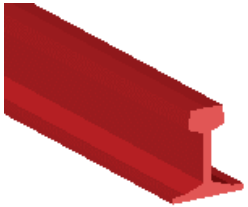

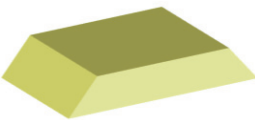

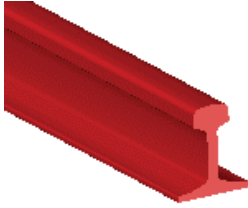
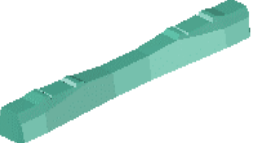
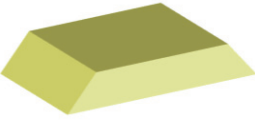
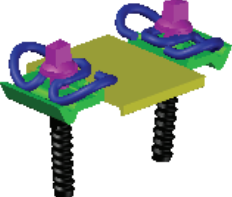
LOD 500 – Zgrajeno

Uporabimo takrat, ko so vsa dela izvedena in se izdelava PID. Elementi so v modelu prikazani na lokacijah z natančnimi dimenzijami, količinami in lastnostmi, kot so bili dejansko izvedeni. Vsebuje tako grafične kot negrafične informacije.

V preglednici 6 je prikazana grafična predstavitev posameznih elementov tira glede na LOD stopnjo razvoja. Preglednica 7 poleg grafičnih stopenj prikazuje tudi negrafične stopnje razvoja na primeru BIM modela celotnega tira. Stopnja LOD 500 v obeh primerih ni prikazana, saj je po natančnosti enaka stopnji LOD 400. Razlika je v tem, da v stopnji LOD 500 z grafiko in informacijami prikažemo dejansko izvedeno stanje.

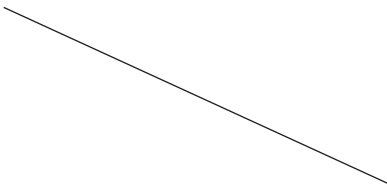
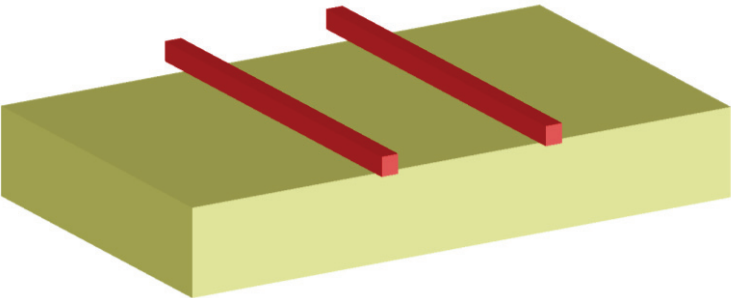
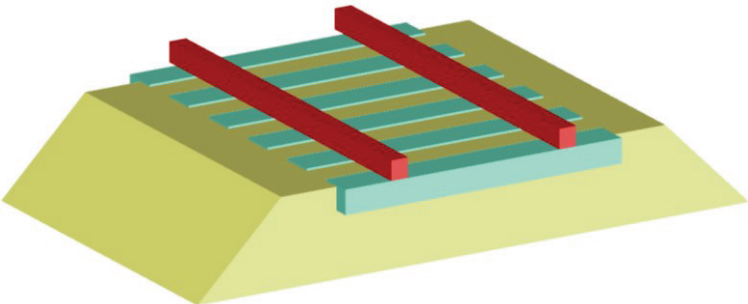
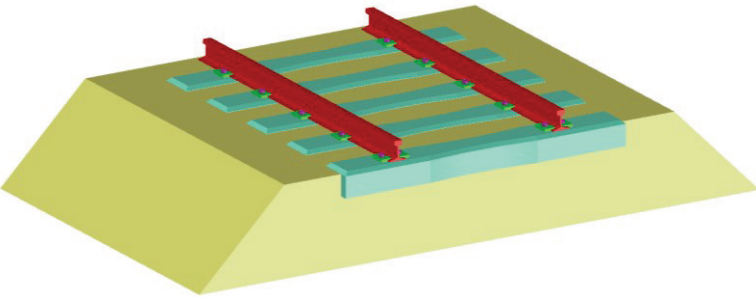
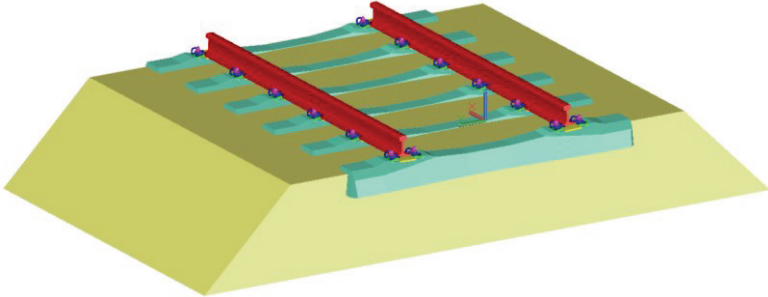
Preglednica 6: Grafična predstavitev posameznih elementov tira v odvisnosti od LOD stopnje

Table 6: The graphic representation of track elements in addition to LOD levels

GRAFIČNA PREDSTAVITEV POSAMEZNIH ELEMENTOV TIRA				
	tirnica	prag	tirna greda	pritrditev
LOD 100				
LOD 200				
LOD 300				
LOD 350				
LOD 400				

Preglednica 7: Grafični prikaz in prikaz atributov zgornjega ustroja tira v posameznih LOD stopnjah

Table 7: Graphic representation and attributes of railway track in addition to LOD levels

LOD	grafični prikaz	atributi
100		- vertikalni in horizontalni potek osi
200		<u>LOD 100+</u> - oblika tirnice - tip pragov - debelina tirne grede
300		<u>LOD 200 +</u> - razmak pragov - prostornina tirne grede
350		<u>LOD 300 +</u> - tip pritrdilnega materiala - dolžina praga - frakcija tirne grede
400		<u>LOD 350 +</u> - tip tirnega stika - kvaliteta tirnice

Svet, v katerem živimo, oblikujejo standardi. Ti pisni dogovori, ki nam stvari poenotijo, nam olajšujejo naše vsakdanje življenje. Prav nič drugačna zgodba ni v AEC industriji. S potrebo po izboljšanju učinkovitosti in zmanjšanju stroškov v gradbenem procesu, se v prakso uvaja nova tehnologija BIM. Ta omogoča udeležencem različnih strok v gradbenem procesu možnost načrtovanja, oblikovanja, dopolnjevanja in reševanja spornih situacij v virtualnem okolju v realnem času. Različne stroke in različna podjetja zaradi svojih preferenc in potreb uporabljajo različno programsko opremo. Ker je ključni vidik pristopa BIM interoperabilnost, mora izmenjava podatkov med programskimi opremami in sistemi potekati hitro in natančno. Težava se pojavi pri branju podatkov in datotek, saj ima vsaka programska oprema svojo strukturo zapisa podatkov.

V spodnji preglednici 8 so prikazane najpogosteje uporabljene BIM programske opreme in pripadajoča oblika zapisa datoteke.

Preglednica 8: Programska oprema in pripadajoča oblika zapisa datoteke

Table 8: Software and its data formats

PROGRAMSKA OPREMA	FORMAT
Autodesk Revit	.rvt
Graphisoft ARCHICAD	.pln
Bentley MicroStation	.dgn
Tekla Structures	.tek
Nemetschek Allplan	.ndw
SketchUp	.skp

Na primer ArchiCAD ne more odpirati Revitovih datotek z obliko zapisa .rvt, prav tako pa se pojavi težava, če z Revitom odpiramo datoteke z obliko zapisa .pln, ki jo ustvari ArchiCAD itd.

Da bi odpravili težave s prenosom geometrijskih in negeometrijskih informacij med različnimi programskimi opremami, je bilo treba razviti univerzalni programski jezik, ki bo izboljšal interoperabilnost.

IFC, IFD, IDM. Organizacija BuildingSMART, ustanovljena leta 1995 (prej IAI), je gonilna sila pri razvoju standardov za informacijsko modeliranje objektov in industrijskih izdelkov [56]. Njen cilj je izboljšava izmenjave informacij v celotnem življenjskem ciklu projekta med vsemi udeleženci, ne glede na to katero vrsto programske opreme uporabljajo. Informacije in podatki nikoli ne bodo zastareli in se bodo ves čas osveževali [57].

V splošnem poznamo tri osnovne mednarodne BIM standarde z oznako ISO, ki jih definira organizacija BuildingSMART, in sicer [57]:

- IFC – Industry Foundation Classes (ISO 16739, prenos informacij in podatkov),
- IFD – International Framework for Dictionaries (ISO 12006-3, opredelitev besedišča, jezika in atributov),
- IDM – Information Delivery Manual (ISO 29481-1 in ISO 29481-2, opredelitev procesa).



Slika 14: Standardi za izmenjavo podatkov [57]
Figure 14: Data exchange standards [57]

Vsak izmed standardov ima svojo vlogo pri podpori izmenjevanja podatkov.

Glavni produkt organizacije buildinSMART je odprti industrijski standard – IFC (angl. Industry Foundation Classes) za izmenjavo informacij med različnimi programskimi opremami, ki je opredeljen in certificiran v mednarodnem standardu ISO 16739:2013 [57]. Prva verzija IFC standarda je izšla že leta 1996 kot IFC 1.0 in je prva trgu ponudila nevtralni model za izmenjavo podatkov. Z leti so prihajale posodobitve in nove verzije. Trenutno je najnovejša izdaja IFC 4 Add2, izdana julija 2016, ki poleg vseh izboljšav prejšnjih verzij omogoča tudi podporo za produktne knjižnice. Kljub temu pa se še vedno najpogosteje uporablja verzija IFC 2x3. V pripravi je sicer že verzija IFC 5.0, ki naj bi prinesla izboljšave glede izmenjave podatkov na področju infrastrukture in infrastrukturnih objektov [58].

Temelj IFC standarda je tudi ISO standard STEP (angl. STandards for the Exchange of Production model data). STEP temelji na aplikacijskih protokolih (angl. Application Protocols), ki opisujejo kakšna je struktura informacij za izmenjavo informacij. Aplikacijski protokoli so sestavljeni iz aplikacijskega aktivnostnega modela (proces) z opisanimi aktivnostmi, aplikacijskega referenčnega modela (grafični produktni model) in aplikacijskega interpretiranega modela (negrafični produktni model) [59].

Najbolj uporabljen IFC oblika za izmenjavo podatkov je tekstovna oblika zapisa s končnico .ifc. Uporablja se tudi oblika zapisa .ifcXML, ki se uporablja ko želimo podatke obdelovati z XML orodji. Tretji oblika je zapis s končnico .ifcZIP, s katerim zmanjšamo velikosti datotek prvih dveh oblik zapisov [60].

Težave pri uporabi IFC. Izvoz datoteke iz programske opreme v IFC obliko, ki jo nato uvozimo v neko drugo programsko opremo, lahko povzroči izgubo ali popačenje podatkov. Seveda je IFC zelo koristen, vendar pa moramo poznati njegove omejitve in biti pri njegovi uporabi previdni. Z vsako novo verzijo standarda IFC se pomanjkljivosti izmenjave podatkov zmanjšujejo, natančnost in zanesljivost pa se povečujeta. Tako lahko mogoče v prihodnosti pričakujemo, da bodo vse izmenjave podatkov potekale natančno, brez kakršnihkoli težav.

Obstajajo tudi alternativne rešitve izmenjave podatkov z različnimi programskimi vmesniki, ki pretvorijo podatke iz lastnega okolja v okolje druge konkurenčne programske opreme in tako omogočajo hitro in natančno izmenjavo podatkov. Tako interoperabilna sta na primer programa Tekla Structures in Autodesk Revit z razširitvama TQR oziroma RQT.

COBie (Construction Operation Building information exchange). V primerjavi z IFC, ki je namenjen izmenjavi podatkov in informacij med različnimi programskimi opremami, s COBie-jem izmenjavamo informacije o gradbenih procesih. Uporabljamo ga za prenos podatkov in dokumentov, ki jih ustvarimo med načrtovanjem, gradnjo ali upravljanjem zgrajenega objekta. COBie torej pomaga uporabniku razumeti BIM podatke. Prikaže nam berljivo obliko podatkov, ki jih pridobi iz modela IFC [61].

3.4 Upravljanje podatkov

BIM izvedbeni načrt – BEP (angl. BIM Execution Plan) je uradni dokument, ki določa, kako se bo projekt izvajal, spremljal in nadzoroval v zvezi s pristopom BIM. Pripravi ga ponudnik na zahtevo naročnika. BEP se določi na začetku projekta za zagotavljanje pomembnih načrtov za upravljanje informacij in podatkov ter dodelitev vlog in odgovornosti za ustvarjanje modela in integracijo podatkov v celotnem projektu. Z namenom zagotovitve učinkovitega sodelovanja in kakovostnega končnega produkta se vzpostavi konsistentno poimenovanje načrtov, datotek in modelov. Imena so sestavljena iz vnaprej določenih vrednosti posameznih polj, ki so navedene v za to posebej sestavljenem šifrantu poimenovanj.

Preglednica 9 prikazuje primer poimenovanja BIM modela, ki se uporablja pri izdelavi projekta 2TDK.

Table 9: Example of BIM model codification (naming) of 2TDK project [62]

Preglednica 9: Primer poimenovanja BIM modela na primeru projekta 2TDK [62]

OznakaProjekta_Podjetje_Faza_ObjektTip_ObjektSifra_Sistem_ConTip_ConSifra_Razlicica	
OznakaProjekta	2TDK
Podjetje	SZP
Faza	PZI
ObjektTip	PLA
ObjektSifra	T2K
Sistem	ZUZ
ConaTip	PLA
ConaSifra	XX
Razlicica	001
2TDK_SZP_PZI_PLA_T2K_ZUZ_PLA_XX_001	

Atributi. Za potrebe projekta se vzpostavi klasifikacijski sistem, ki opredeljuje attribute in lastnosti vsakega elementa v BIM modelu. Omogočajo definiranje, identifikacijo in razvrščanje elementov oziroma objektov v skupine glede na material, geometrijo, specifikacije, fazo izdelave, lokacijo, proizvajalca ali katerokoli drugo značilnost. Vsi ti podatki v projekt niso vključeni od samega začetka, temveč se dopolnjujejo in opredeljujejo skozi posamezne faze. Možni atributi, ki jih lahko dodamo elementu so neskončni, zato je potrebno skrbno določiti kateri atributi so bistveni in uporabni.

V splošnem so atributi razvrščeni glede na njihovo uporabo [63]:

- globalni atributi (vsebujejo jih vsi elementi),
- atributi posameznih disciplin (tirne naprave, vozna mreža, premostitveni objekti ...) in
- atributi posameznih tipov elementov.

Atributne tabele vsebujejo informacije o imenu atributa, podatkovnem tipu atributa (številka, besedilo) in enoti atributa (prostornina_m3, površina_m2 ...). Imena in primeri atributov pripisanih BIM elementom se izdelajo v sodelovanju vseh projektantov in so potrjeni s strani BIM nadzornika.

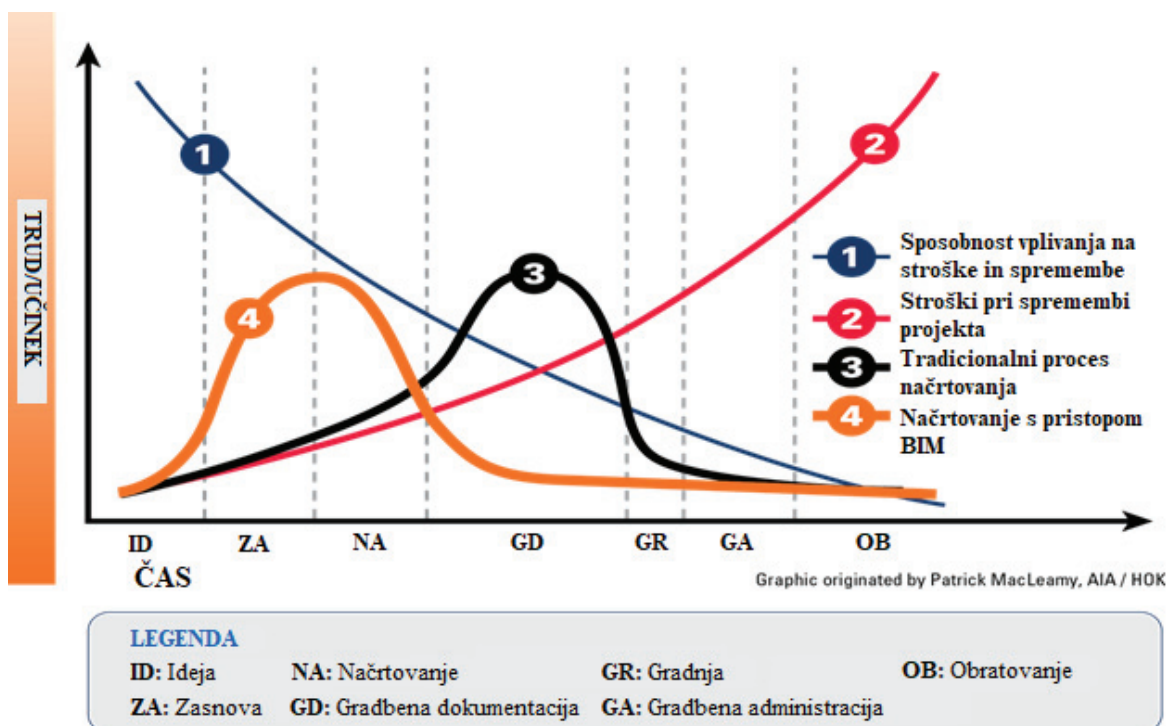
3.5 Pomen pristopa BIM pri projektiranju železniške infrastrukture

BIM tehnologija, ki se že nekaj let široko uporablja pri projektiranju stavb in elementov v strojni industriji, se je začela uveljavljati tudi na področju infrastrukture. Razlog za nekoliko kasnejšo integracijo BIM v infrastrukturne projekte tiči v zapleteni geometriji, ki nastane pri interakciji infrastrukturnega objekta s terenom in različnih vrstah programske opreme, ki so potrebne za izdelavo projekta.

Železniški projekti so zato lahko zelo zahtevni, saj vključujejo različno zgoraj omenjeno geometrijo. V splošnem je železniška infrastruktura prostorska krivulja sestavljena iz posameznih elementov (prema, lok in prehodnica). Ta prečka tako naravna kot urbana območja, se križa s cestno in gospodarsko javno infrastrukturo, vsebuje predore in premostitvene objekte ter tudi navpično gradnjo na postajnih območjih in terminalih. Poleg tega infrastrukturni projekti v primerjavi z ostalimi gradbenimi projekti obsegajo večja dela. Ti običajno vključujejo več kilometrov trase, ki se jih razdeli na posamezne odseke [64].

V splošnem je izdelava BIM modelov infrastrukturnih objektov nekoliko težja kot pri projektih, ki obsegajo projektiranje stavb. Pospešeno se razvijajo nova orodja in rešitve, ki bodo zagotavljale popoln informacijski model infrastrukturnega objekta v njegovem celotnem življenjskem ciklu (projektiranje, izvedba, upravljanje in vzdrževanje).

Da bi razumeli, kakšen pomen in vpliv ima BIM pri projektiranju si pogledjmo graf na sliki 15, stran 39. Graf prikazuje stopnjo napora, ki ga je potrebno vložiti v spremembo projekta in dosežen učinek v odvisnosti od časa trajanja projekta skozi celoten življenjski cikel [66].



Slika 15: Tradicionalni in BIM proces načrtovanja [65]

Figure 15: Traditional and BIM design process [65]

Najprej se osredotočimo na klasično CAD projektiranje, ki ga prikazuje krivulja 3. Vidimo, da pri klasičnem projektiranju inženirji porabijo največ truda in sredstev v fazi izdelave gradbene dokumentacije.

Krivulja 1 prikazuje kakšen vpliv in moč ima inženir pri spreminjanju projekta. Posledično to pomeni vpliv na uspešnost projekta in njegove stroške. Vidimo, da ima največji vpliv v začetnih fazah, ta pa se z napredovanjem projekta linearno zmanjšuje. Ravno obratno pa se dogaja s krivuljo 2, ki začne naraščati v začetnih fazah in narašča vse do konca izvedbe projekta.

Višino stroškov pri zvedbi morebitnih sprememb tekom celotnega življenjskega cikla je prikazana s krivuljo 2. Če se torej osredotočimo na krivuljo 3, vidimo, da svoj vrh doseže nad točko, kjer se sekata krivulja 1 in 2. Presečišče predstavlja preobrat, kjer stroški, ki nastanejo ob morebitnih spremembah, drastično rastejo. Vpliv na spremembo projekta je izredno majhen. Teoretično je sprememba projekta še vedno mogoča, vendar zaradi enormnih stroškov ni smiselna in se v praksi ne izvaja.

Krivulja 4 ponazarja uporabo procesa BIM, ki prikazuje dinamično povezovanje zasnove, analize in dokumentacije. Največ truda in časa inženirji porabijo v fazi zasnove, kjer je možnost sprememb visoka, stroški pa so zelo nizki. S tem se projekt optimizira, za izdelavo dokumentacije pa se porabi precej manj časa. Na primer, da sredi načrtovanja pride do sprememb, kjer moramo popraviti niveleto. Pri klasičnem projektiranju, bi bilo potrebno vse prečne profile popravljati, pri uporabi pristopa BIM to ni potrebno, saj se s spremembo nivelete vsi elementi avtomatsko posodobijo.

Prednosti in koristi uporabe tehnologije BIM

Integracija tehnologije BIM v projekte železniške infrastrukture, in infrastrukture nasploh, ima veliko prednosti in koristi. Zelo pomembno je, da koristi postanejo vidne, da se še naprej in še bolj spodbuja implementacijo tehnologije BIM v infrastrukturni sektor. BIM omogoča naslednje prednosti in koristi [66], [67], [68], [69]:

Podpora pri odločanju. Omogoča nam, da s pomočjo simulacij izberemo dobre rešitve in prave odločitve že na samem začetku projekta. Hitre in učinkovite analize alternativnih variant potekov tras nam omogočajo izbiro optimalne variante, ki bo ekonomsko in okoljsko upravičena. Z učinkovito analizo vplivov na okolje se izognemo prevelikemu poseganju in obremenjevanju naravnega in urbanega okolja. Tako določimo optimalen potek osi, ki bo zadoščal vsem predpisanim zahtevam.

Izboljšanje produktivnosti in povečanje dobička. Specifična orodja omogočajo poenostavitev časovno zamudnih opravil ter poenostavljeno upravljanje informacij med vsemi sodelujočimi v projektu. Dober dialog, poenostavljeni postopki in kvalitetne informacije izboljšujejo produktivnost podjetja. S tem je podjetje konkurenčnejše za pridobitev večjih in kompleksnejših projektov. Širjenje storitev za obstoječe stranke in hkratno pridobivanje novih naročnikov pa povečuje dobiček.

Komunikacija in sodelovanje. Uporaba BIM omogoča oziroma zahteva komunikacijo vseh sodelujočih. S tem je vzpostavljena močna povezanost med naročnikom, projektantom, nadzornikom in izvajalcem. Dobra komunikacija pa je ključnega pomena za učinkovitost in hitro napredovanje projekta.

Pomoč pri upravljanju, delovanju in vzdrževanju. Z zbiranjem in obdelovanjem razpoložljivih podatkov lahko optimiziramo stroške v celotnem življenjskem ciklu infrastrukturnega objekta. Informacije nam pomagajo pri odločitvah glede vzdrževanja infrastrukture in redukcije obratovalnih stroškov.

Obvladovanje posameznih faz. Dinamična povezava omogoča hitre spremembe načrtov in dokumentacije tekom izdelave infrastrukturnega projekta. Zaradi dinamične povezave se čas za spremembo posameznega dela projekta drastično zmanjša in zato ne predstavlja velike grožnje za neuspeh projekta oziroma nastanka zamud. Sprotna kontrola podatkov in dopolnjevanje informacij nam omogoča natančno spremljanje in predvidevanje odvijanja izvedbe projekta s časovnega in finančnega vidika in končanje projekta v predpisanem roku.

Vizualizacija. Vizualizacija 3D modelov v vsaki fazi načrtovanja je velik plus pri uporabi tehnologije BIM za vse udeležence v gradbenem procesu. 3D model projekta pomaga strankam (predvsem naročniku) razumeti koncept in podrobnosti načrtovanja. Razumevanje je tako veliko hitrejše in tudi bolj učinkovito kot pri tradicionalnih 2D risbah.

Izzivi in ovire pri uporabi pristopa BIM v železniški infrastrukturi

Kljub vsem prednostim in koristim, ki jih ponuja tehnologija BIM, obstaja še veliko ovir, ki morajo biti odpravljene, da bo ta proces v gradbeni industriji popolnoma zaživel. Čeprav raziskave in študije dokazujejo pozitivne učinke in gospodarske koristi pri uporabi pristopa BIM, obstaja splošni odpor do uvedb sprememb v gradbeni industriji, saj uporaba BIM zahteva nov koncept razmišljanja, ki se močno razlikuje od klasičnega »CAD« okolja. Prav tako se pojavi težava pri učenju nove programske opreme, ki zahteva veliko časa. Naslednji razlog je tudi miselnost gradbenih in projektantskih podjetij, da bo implementacija nove tehnologije podjetje stalo preveč denarja, saj so stroški nakupa programske opreme in usposabljanja razmeroma visoki.

Poleg omenjenih razlogov obstajajo tudi tehnične ovire pri implementaciji BIM v gradbeno industrijo. Nemoten pretok podatkov pri ustvarjanju infrastrukturnega projekta predstavlja velik izziv razvijalcem programske opreme. V splošnem se pri izdelavi infrastrukturnega projekta uporablja veliko različne programske opreme, saj na njem sodeluje veliko udeležencev iz različnih strok. Tako vsak uporablja programsko opremo, ki jo zna najbolje uporabljati, oziroma programsko opremo, ki jo podjetje uporablja. Vsak program ima tako svojo obliko zapisa datotek. Tu se začne postavljati vprašanje interoperabilnosti različne programske opreme, ki otežuje sodelovanje med udeleženci v projektu in izdelavo enotnega BIM modela.

Parametrizacija

Pot vlaka je določena z horizontalnim in vertikalnim potekom osi. Pri načrtovanju je treba upoštevati več parametrov, ki določajo geometrijski potek osi. Os je sestavljena iz več posameznih interaktivnih elementov. Vsaka sprememba parametra posameznega elementa posredno ali neposredno vpliva na vse ostale elemente. Tako na primer s spremembo polmera krožnega loka neposredno vplivamo na spremembo dovoljene hitrosti. Vse te omejitve in povezave so določene s pravilniki, ki temeljijo na izračunih, da se zagotovi varna in udobna vožnja vlaka [70], [71].

Še ne tako dolgo nazaj, so morali projektanti železniške infrastrukture parametre elementov prostorske krivulje oziroma osi tira računati ročno. V primeru spremembe enega od elementov, je bilo potrebno ostale elemente ponovno preračunati in narisati prečne profile. Tak način projektiranja je bil dolgotrajen in izjemno zamuden. Pri klasičnem načrtovanju, kjer ni dinamičnih povezav med elementi in profili, je pot do projekta za izvedbo dolgotrajna, verjetnost za napake in neskladja je večja. Za razliko od klasičnega načrtovanja, BIM ponuja rešitev, ki temelji na računalniško podprtem parametričnem načrtovanju. Parametrično modeliranje predstavlja avtomatizirano generiranje informacijskega modela, predvsem geometrije. V BIM procesu program pri načrtovanju v ozadju uporablja zapletene matematične funkcije in standarde, na katere se navezuje pri izračunu. Ko projektant poda zahteve in parametre, program glede na standarde samodejno prilagaja in popravlja parametre. V primeru spremembe se torej model v realnem času prilagodi in posodobi.

Parametrično upravljanje poteka osi

Potek trase železniške infrastrukture je določen s horizontalno osjo, ta pa je sestavljena iz posameznih med seboj povezanih elementov. Pri načrtovanju je treba upoštevati pravilnike, ki določajo minimalne in maksimalne vrednosti parametrov elementov. Ko projektant načrtuje potek osi, se ti parametri avtomatsko popravijo, da ustrezajo pogojem in da se zagotovi tangentnost med posameznimi elementi. Programi omogočajo tri vrste izravnave inteligentnih parametričnih entitet [70].

Fiksna entiteta. Položaj elementa s fiksno entiteto je določen s posebnimi parametri, ki jih lahko spremeni le projektant. Njegova odvisnost in tangentnost se pod vplivom drugih entitet ne spreminja. Spreminja se le njegova dolžina.

Plavajoča entiteta. Plavajoča entiteta elementu omogoča elementu, da je element vedno tangenten na sosednja elementa, tudi če sosednje entitete spremenimo.

Prosta entiteta. Element s prosto entiteto je vedno tangenten na sosednja elementa. Prosta entiteta zaradi pogoja tangentnosti definira in narekuje entitete sosednjih elementov. Ko projektant spremeni katerikoli parameter, se v realnem času posodobi celoten model. Če pri načrtovanju in preoblikovanju osi parametri ne ustrezajo standardom, nas program na to opozori. V takem primeru do preoblikovanja oziroma izrisa ne pride, saj nam program to prepreči.

Parametrično upravljanje nivelete

Program avtomatsko izriše potek nivelete po tem, ko narišemo horizontalen potek osi. Na podoben način kot pri horizontalnem poteku imamo tudi pri niveleti omejitve v programu, glede vertikalnih zaokrožitev in maksimalnega vzdolžnega naklona.

Parametrično upravljanje prečnih profilov

Linijske elemente definiramo s potekom osi in prečnimi profili, ki so pravokotni na os. Parametrično modeliranje prečnih profilov je bistveno bolj enostavno v primerjavi s parametričnim modeliranjem osi, saj je prečni profil omejen le na svojo ravnino. Programi za načrtovanje infrastrukture omogočajo avtomatsko izrisovanje prečnih profilov na mestih označenih na osi. Prečnim profilom podamo ustrezne parametre glede geometrijskih karakteristik železniškega telesa. Parametrični profil lahko modeliramo tudi sami. Tak način uporabe se uporablja pri modeliranju železniških premostitvenih objektov in predorov.

Glavna funkcija parametrizacije modela je obvladovanje sprememb v projektu. Parametrični model združuje podatke o elementih in geometrijo. Bistvena je torej povezava med podatki in geometrijo, ki omogoča lažje in hitrejše spreminjanje projekta v začetnih ali kasnejših fazah. Tako nam v primeru sprememb modela ni potrebno izdelovati na novo, temveč le popravimo določene parametre, spremembe pa so takoj vidne na celotnem informacijskem modelu [72].

4 ORODJA BIM ZA PROJEKTE ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE

BIM in programska oprema sta na področju projektiranja stavb že močno uveljavljena. Nekoliko drugače pa je na področju infrastrukture. Razlog tiči v tem, da je geometrija, ki se pojavi v kombinaciji infrastrukturnega objekta in obstoječega terena, veliko bolj zahtevna kot pa geometrija stavbe. Tu govorimo predvsem o zmožnosti detajlnega prikazovanja in izračunavanja modelov. Kljub temu pa se zadnja leta tudi to področje pospešeno razvija in se v smislu BIM modeliranja postavlja ob bok objektom in zgradbam iz visokogradnje.

Trg ponuja pester nabor programske opreme za BIM modeliranje infrastrukture. Vendar pa ne smemo iskati BIM programske opreme za modeliranje infrastrukture v smislu enega programa, temveč kot skupek več različnih programov, ki se med seboj povezujejo. Iskati moramo torej tako programsko opremo, s katero lahko načrtujemo tisto kar je predmet našega načrtovanja. Trg nam zato ponuja že pripravljene programske pakete za BIM projektiranje infrastrukture.

Obstaja več programskih paketov za BIM projektiranje infrastrukturnih projektov, ki vsebujejo vse potrebne in med seboj kompatibilne programe za uspešno BIM projektiranje. Najbolj poznana programska paketa sta:

- Autodesk Infrastructure Design Suite in
- Bentley Microstation.

4.1 Autodesk Infrastructure Design Suite

Autodeskov programski paket vsebuje različno programsko opremo, ki nam omogoča celovito načrtovanje in analizo infrastrukture v BIM okolju [73].

AutoCAD. AutoCAD je osnovna programska oprema za računalniško podprto načrtovanje (angl. Computer Aided Design). Uporablja se v arhitekturi in inženirstvu za izdelavo 2D načrtov in dokumentacije. Omogoča tudi izdelavo trdnih 3D modelov. AutoCAD poleg omenjenih funkcij vsebuje tudi druga specifična orodja. V nadaljevanju so predstavljena najpogostejša orodja, s katerimi si pomagamo pri projektiranju infrastrukture.

- **AutoCAD Map 3D**, ki je vodilna inženirska rešitev za ustvarjanje in upravljanje prostorskih podatkov, je nekakšen most med računalniško podprtim načrtovanjem (CAD) in geografskim informacijskim sistemom (GIS). Omogoča vključevanje geografskega informacijskega sistema v proces načrtovanja in 3D kartiranje [74].
- **Storm and Sanitary Analysis** omogoča izdelavo hidrološke in hidravlične analize. Z njim lahko planiramo in načrtujemo sisteme odvodnjavanja, meteorno ter fekalno kanalizacijo in drenažne sisteme [75].

- **AutoCAD Raster Design** je orodje za upravljanje z rastrskimi slikami. Rastrske slike lahko gledamo, urejamo, brišemo ali predelujemo. Optično prebrane načrte in rastrske slike z orodjem pretvori v vektorske slike [76].

AutoCAD Civil 3D. Program se uporablja za BIM načrtovanje infrastrukture, pripravo dokumentacije in vizualizacije. Vsebuje specifična orodja, ki nam omogočajo načrtovanje poteka osi, izdelavo in urejanje prečnih profilov ter modeliranje zemeljskih del in terena. S programom lahko hitro izdelamo natančen popis količin zemeljskih del in se tako izognemo počasnim ročnim kalkulacijam [73].

ReCap. ReCap je okrajšava za "angl. Reality Capture". Gre za enega izmed najpomembnejših avtodeskovih produktov, s katerim lahko pregledujemo, obdelujemo ali filtriramo oblake točk (angl. Point Cloud), ki so pridobljeni z laserskim skeniranjem. Realni svet nam pretvori v digitalni 3D model. S programom uredimo oblak točk in ga zapišemo v format, ki ga lahko preberejo tudi drugi Autodeskovi produkti, kot sta na primer Autodesk Revit in Autodesk Civil 3D. Program ReCap lahko uporabimo za izvajanje meritev ali označevanje, oblak točk pa lahko delimo z drugimi udeleženi v projektu [77], [78].

Navisworks. Omogoča pregled integriranih modelov in podatkov različnih interesnih skupin pred začetkom gradnje in s tem boljšo kontrolo nad samim projektom in končnim produktom. Preprosta integracija s programsko opremo BIM 360 Glue omogoča dostop do modelov v oblaku, njihovo deljenje in pregledovanje. Uporabnikom omogoča odpiranje, pregled, združevanje 3D modelov in navigacijo okoli njih v realnem času. Podatke o izdelavi in načrtovanju združimo v en sam model. Z njim lahko odkrivamo motnje in odkrivamo nepravilnosti, kot je medsebojno križanje modelov različnih strok. Tako lahko pred pričetkom gradnje zmanjšamo ali odpravimo morebitne težave zaradi medsebojnega križanja, s čimer bomo zmanjšali stroške, ki bi nastali zaradi predelave in zamude. S programom lahko ustvarimo 4D simulacijo časa in animacijo poteka gradnje [79].

Infraworks. Infraworks programska oprema se uporablja za izdelavo konceptov, optimizacijo in vizualizacijo infrastrukturnih projektov tako v grajenem kot v naravnem okolju. Inteligentni model je zgrajen iz velike količine podatkov iz resničnega sveta, ki nam omogočajo ustvarjanje celovitega informacijskega modela, ki ga lahko ovrednotimo in analiziramo [80].

Revit. Programska oprema je namenjena različnim inženirjem in arhitektom za izdelavo načrtov funkcionalno in vizualno optimalnih objektov na trasi, vizualizacijo ter izdelavo vse potrebne dokumentacije. Orodje omogoča terminsko planiranje in spremljanje projekta skozi vse faze življenjskega cikla objekta. Program podpira multidisciplinarni načrtovalni proces [81].

4.2 Bentley Microstation

Microstation z napredno parametrično 3D modelirno zmogljivostjo ponuja inženirjem iz različnih disciplin izdelavo BIM modelov na podlagi pripravljenih podatkov. Ekipa inženirjev lahko združi svoje delo na MicroStation in tako ustvari multidisciplinirane BIM modele in vso dokumentacijo. Ker so MicroStation in vse ostale Bentleyeve aplikacije zgrajene na isti delovni platformi, sta komunikacija in deljenje podatkov preprosta in kar je najpomembneje, integriteta podatkov se popolnoma ohranja [82]. Bentley podpira celoten življenjski cikel infrastrukture od načrtovanja, upravljanja in izvedbe projekta do pregledovanja in vzdrževanja [83]. V nadaljevanju sta predstavljeni dve aplikaciji, ki se uporabljata pri načrtovanju železniške infrastrukture.

OpenRail ConceptStation. Pri načrtovanju železniške infrastrukture nam v pomoč pride aplikacija OpenRail ConceptStation, ki je namenjena izdelavi konceptualnih načrtov in analizi stroškov na podlagi realnih podatkov. Hitro lahko ustvarimo več scenarijev, jih delimo s projektno skupino in tako izberemo najustreznejšo varianto, ki se nato bolj natančno obdelava v aplikaciji OpenRail Designer [84].

OpenRail Designer. Ta aplikacija uvaja novo okolje za poenostavljeno projektiranje in gradnjo železniške infrastrukture. Omogoča interaktivno parametrično modeliranje železniških koridorjev. OpenRail designer ponuja modeliranje in načrtovanje vseh vrst železnic in železniških prog, metrojev, vozne mreže, postaj in drugih objektov. V projekt prenesemo podatke iz resničnega sveta (oblaki točk, terenski podatki, rastrske slike, geoprostorske informacije ...). Natančno in varno izmenjevanje informacij o projektu naredi delo hitrejše, produktivnejše in bolj kakovostno [85].

4.3 Druga orodja

Vianova Systems. Vodilna programska oprema, ki se uporablja predvsem v skandinavskih državah. Specializirana je za razvoj inženirskih aplikacij za BIM infrastrukturne projekte [86].

Novapoint. Novapoint vsebuje več aplikacij za načrtovanje vseh vrst infrastrukture, ki jih združuje v enem samem projektnem modelu. Ponuja izdelavo kompleksnega 3D modela infrastrukture (teren in objekti). Novapoint je integrirana s strežnikom BIM, ki omogoča deljenje projekta in sodelovanje med udeleženci [87].

Quadri. Aplikacija Quadri je ključ za doseganje BIM stopnje zrelosti 3, ki vključuje podporo za odprte oblike zapisa podatkov kot so LandXML, GML in IFC. Omogoča sodelovanje na centralnem projektu v realnem času kjerkoli in kadarkoli. Quadri je zasnovan na oblaku, kar omogoča, da je BIM model projekta varen in dostopen kjerkoli [88].

4.4 Integracija BIM in GIS

BIM in GIS (angl. Geographic Information System) sta dve zelo uporabni tehnologiji, ki nam v gradbeni industriji olajšata in pospešita izdelavo in izvedbo projektov [89]. BIM je proces, s katerim ustvarjamo digitalne predstave fizičnih in funkcionalnih značilnosti grajenega prostora, kot so zgradbe in infrastrukturni objekti. Na drugi strani je GIS namenjen shranjevanju, analizi, manipuliranju, popravljanju in predstavitvi prostorskih in geografskih informacij v navezi z zemeljskim površjem [90]. Za razliko od BIM nam GIS poda odgovore na vprašanja, kaj se v določenem prostoru nahaja in kje se nek objekt nahaja. [91].

Velja neko splošno mnenje, da je BIM bolj uporaben za obdelavo velikih količin podatkov z možnostjo 3D vizualizacije pri visokih zgradbah in objektih, kot so na primer stavbe in mostovi. V primeru infrastrukturnih objektov naj bi bil boljši GIS, ki omogoča obravnavanje velikega števila različnih vrst podatkov, atributov ter sklicevanja na zemeljsko površje in geografske koordinatne sisteme. GIS podatke prikazuje tudi grafično, vendar le v 2D. Zaradi svoje integracije in enostavnosti je zato privlačen v infrastrukturnih projektih, posebno v navezavi s CAD-om.

Vsaka tehnologija ima torej svoje prednosti in slabosti. GIS informacije so nujno potrebne za načrtovanje železniške in druge infrastrukture, ki so izrazito povezani s prostorom in okolico. Brez teh informacij projektov ne bi mogli izpeljati in jih umestiti v prostor. Kljub temu pa so potrebne tudi informacije o objektih in konstrukcijah, ki jih železniška infrastruktura vsebuje. Te informacije pa nam nudi tehnologija BIM [90], [92].

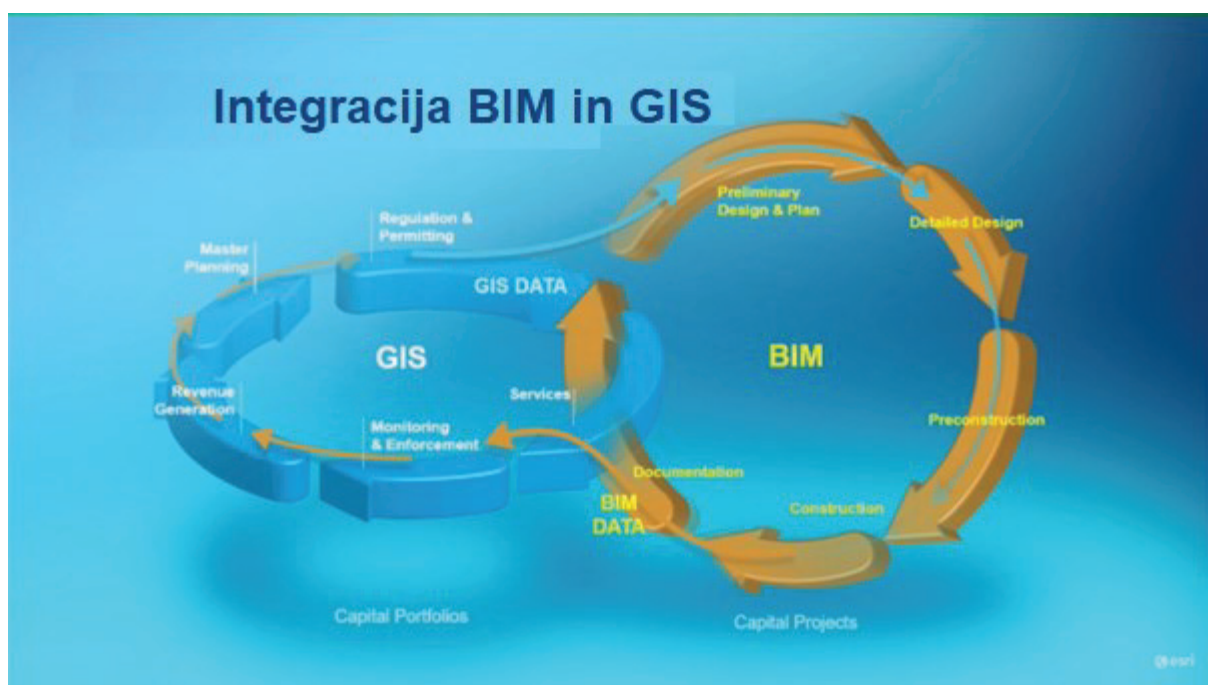
V zadnjem času je vedno več debat o kombiniranju in sodelovanju teh dveh tehnologij. Tako ti dve tehnologiji ne tekmujeta več med seboj, temveč tesno sodelujeta, saj so strokovnjaki prišli do spoznanja, da bo le sodelovanje tehnologij omogočilo visoko produktivne izdelke. Zahvala, da je temu tako, gre tudi podjetjem, ki so zainteresirana v razvoj povezave med tehnologijama. Zlasti aktivni sta podjetji Bentley Systems in Autodesk, ki razvijata BIM in GIS programsko opremo [89]. Eden izmed takih produktov trenutno na tržišču je Infraworks.

Trenutno največji izziv predstavljajo težave pri izmenjavi podatkov. BIM za izmenjavo podatkov uporablja IFC standarde, ki jih razvija združenje BuildingSMART. Na drugi strani GIS razvija svoje standarde kot sta InfraGML in CityGML [93]. Prvotno so bili IFC standardi za izmenjavo podatkov izdelani za stavbe, v zadnjem času pa se razvijajo tudi potrebe infrastrukture (IFC Alignment, IFC Rail ...). Pri klasičnih delovnih procesih je mogoče ene oblike podatkov pretvoriti v druge, da se zagotovi prenos informacij med različnimi tehnologijami. Ker načrtovanje in izdelavo infrastrukturnih projektov zahteva sodelovanje strokovnjakov iz različnih strok in s tem prav toliko različnih zapisov podatkov. Na tak način velikokrat pride do popačenja ali celo delne izgube podatkov. S tem je velika verjetnost, da pride do napak in nepopolnosti, zato se tega izogibamo.

BIM podatkovna shema se močno razlikuje od GIS podatkovne sheme. Podatkovni shemi imata drugačen koncept, strukturo in razvoj, kar otežuje medsebojno izmenjavo podatkov [95]. Glavna podatkovna standarda IFC in InfraGML, ne moreta biti preslikana drug v drugega v nobenem pogledu. Namesto pretvarjanja informacij in podatkov iz enega modela v drugega je potrebno uvesti koncept povezanih podatkov. S tem se ohranjajo prvotni podatki, ki zagotavljajo povezavo in skladnost entitet in razredov med obema standardoma [93], [94].

S tem namenom se je podjetje Autodesk tesno povezalo s podjetjem ESRI, ki je strokovnjak na področju GIS programske opreme. Skupni cilj po sintezi GIS in BIM tehnologije, izpopolnjuje integracijo in zmanjšuje vrzeli med tema dvema tehnologijama [96].

Bistvo integracije GIS in BIM je, da se vzpostavi konstanten tok informacij med njima, ki se uporabljajo in dopolnjujejo skozi celoten življenjski cikel.



Slika 16: Integracija BIM in GIS [97]

Figure 16: BIM and GIS integration [97]

Z integracijo GIS dobimo geoprostorske podatke, ki BIM modelu dodajo vrednost. S časovnimi in prostorskimi informacijami omogočamo udeležencem boljše razumevanje vpliva odločitev med vsemi fazami izvedbe projekta skozi njegov celoten življenjski cikel. Tako lahko infrastrukturni objekt upravljamo v okviru pametnejšega sistema v prostoru [98]. Integracija GIS v BIM proces bo prinesla naslednje koristi v digitalnem okolju [99]:

- **Prostorska analitika.** Projektantom in ostalim sodelujočim strokovnjakom prostorska analiza omogoča razumevanje, kakšen vpliv ima njihova zasnova, še preden se bo projekt začel izvajati. S tem bo mogoče odpraviti morebitne težave in nepravilnosti brez znatnega zvišanja stroškov. Ta koncept je znan kot Geodesign.

- **Logistika in omrežje.** Vključuje prevoz materialov in blaga ter tudi gibanje ljudi.
- **Sposobnost modeliranja in napovedovanja.** Možnost modeliranja dejanskega projekta v realnem prostoru in hkrati izdelava modela napovedi v primeru izrednih dogodkov, kot so na primer poplave.
- **Uporaba skozi celoten življenjski cikel.** Uporaba integracije GIS v celotnem življenjskem ciklu od faze načrtovanja do faze vzdrževanja.
- **Skupna raba informacij.** Standardizirani podatki in procesi bodo omogočali izmenjavo informacij med različnimi uporabniki, ki sodelujejo na projektu.
- **Vizualizacija.** Integracija GIS in BIM je uporabna skozi celoten življenjski cikel, tudi ko je infrastrukturni objekt že zgrajen in ga uporabljamo ter vzdržujemo. Tak model zagotavlja vse potrebne informacije in podatke, ki so potrebni za upravljanje in vzdrževanje železniške infrastrukture. Na primer izgradimo ali obnovimo nov železniški odsek. Upravljanje železniške infrastrukture pomeni upravljanje vseh telekomunikacijskih in elektro vodov, upravljanje signalnovarnostnih naprav ter vzdrževanje in spremljanje stanja zgornjega in spodnjega ustroja. Naveza BIM in GIS izboljšuje operativnost in odpravljanje napak. Pomembno vlogo pa bo imela tudi pri predvidevanju vzdrževanja v ustreznem času z velikimi koristmi in nizkimi stroški.

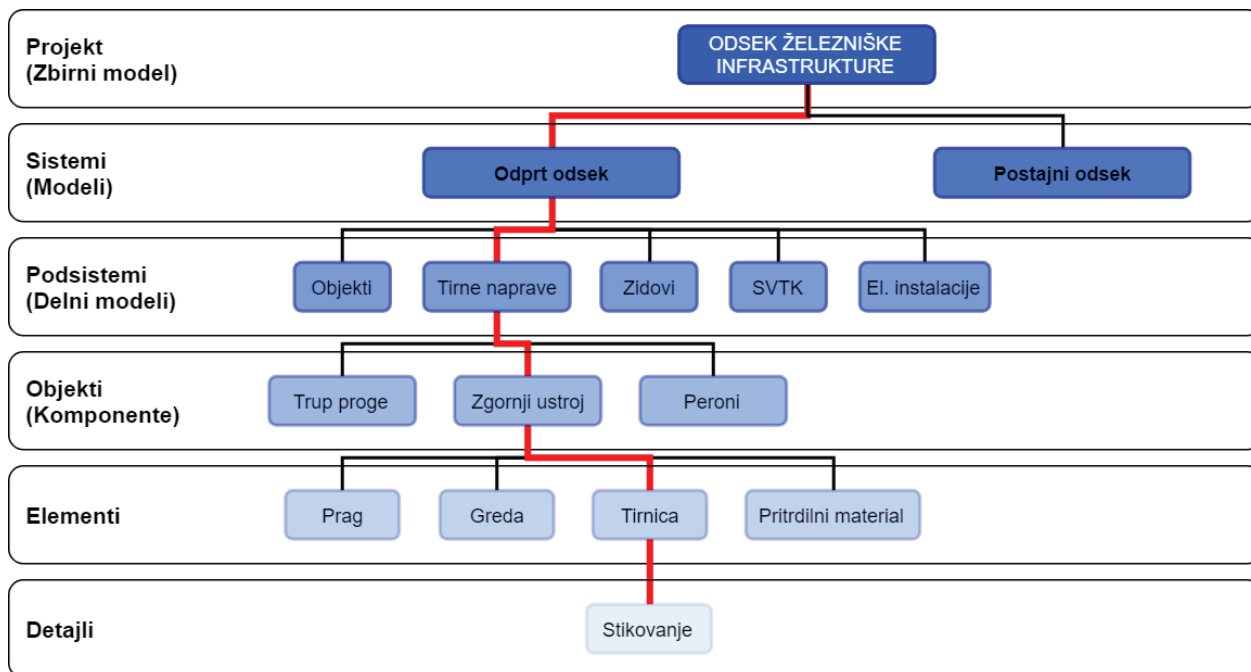
4.5 Standardi modeliranja infrastrukture

BIM modeli z razvojem novih BIM tehnologij postajajo vse večji in kompleksnejši. Modeli vsebujejo veliko informacij različnih strok, ki se uporabijo za koordinacijo, načrte in analize. Daljši kot je odsek, večji so modeli in velikost datotek. Zaradi raznolikosti strok, obvladovanja podatkov, upoštevanja tehnologije ali faznosti gradnje obvladovanja je namesto enega modela običajno veliko bolj smiselno uporabljati več povezanih modelov. To pomeni, da posamezne modele izvozimo v IFC format in jih združimo v zbirni model v za to namenskih programskih orodjih, ki nam omogočajo sodelovanje in usklajevanje projekta. (npr. Solibri Model Checker, Navisworks ali Tekla BIMsight).

Mrežo povezanih modelov pri nekem projektu lahko razdelimo na naslednje nivoje:

- zbirni model,
- modeli,
- delni modeli,
- objekti,
- elementi,
- detajli.

Shema na sliki 17 prikazuje primer delitve BIM modela na primeru projekta železniške infrastrukture. Rdeča črta prikazuje primer delitve oziroma povezanosti modela od največje enote (Zbirni model) do najmanjše enote (Detajli).

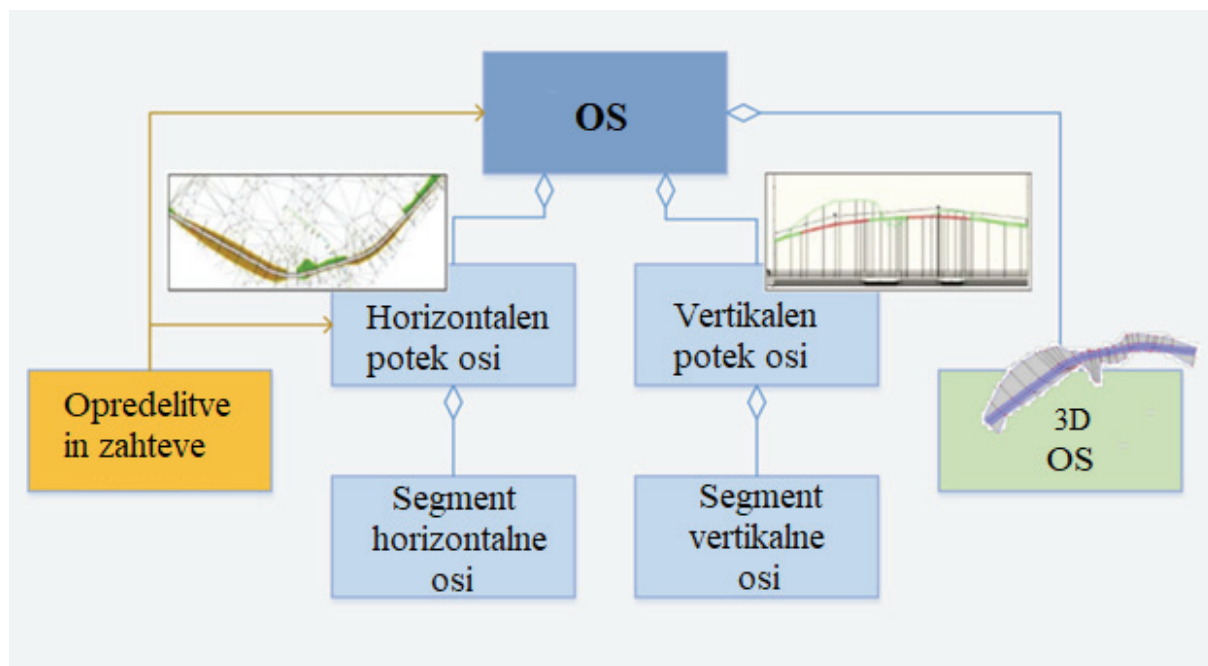


Slika 17: Struktura BIM modela železniškega infrastrukturnega projekta
Figure 17: BIM structure of a railway project

4.6 Interoperabilnost v železniški infrastrukturi

BIM standardizacija za izmenjavo podatkov v infrastrukturi je trenutno ena od glavnih nalog. IFC trenutno še ni popolnoma primeren za izmenjavo podatkov o modelih infrastrukturnih objektov, kot so na primer železnice, ceste, premostitveni objekti in predori. Manjkajo pomembne informacije o vertikalni in horizontalni poravnavi osi. Poleg tega IFC še ne zna opisati križanja osi ter ustreznega nadvišanja [100]. Združenje buildingSMART, ki je vodilna organizacija na področju razvoja standardov, se je zavezala k razvoju razširitve specifikacije IFC tudi na področje infrastrukture. Njen cilj je izdelati nevtrarno standardno IFC shemo, ki bo omogočila nemoteno upravljanje s podatki v celotnem življenjskem ciklu infrastrukturnega projekta.

IFC Alignment. Združenje buildingSMART leta 2014 začel projekt s ciljem razširitve standarda IFC (IFC 4.X in IFC 5) znan kot IFC Alignment oziroma krajše projekt P6. Cilj projekta je bil razviti usklajen referenčni prostorski sistem in poravnavo osi, ki bo podlaga za nastanek vseh ostalih IFC shem za infrastrukturne objekte.



Slika 18: Shema standarda IFC Alignment [101]

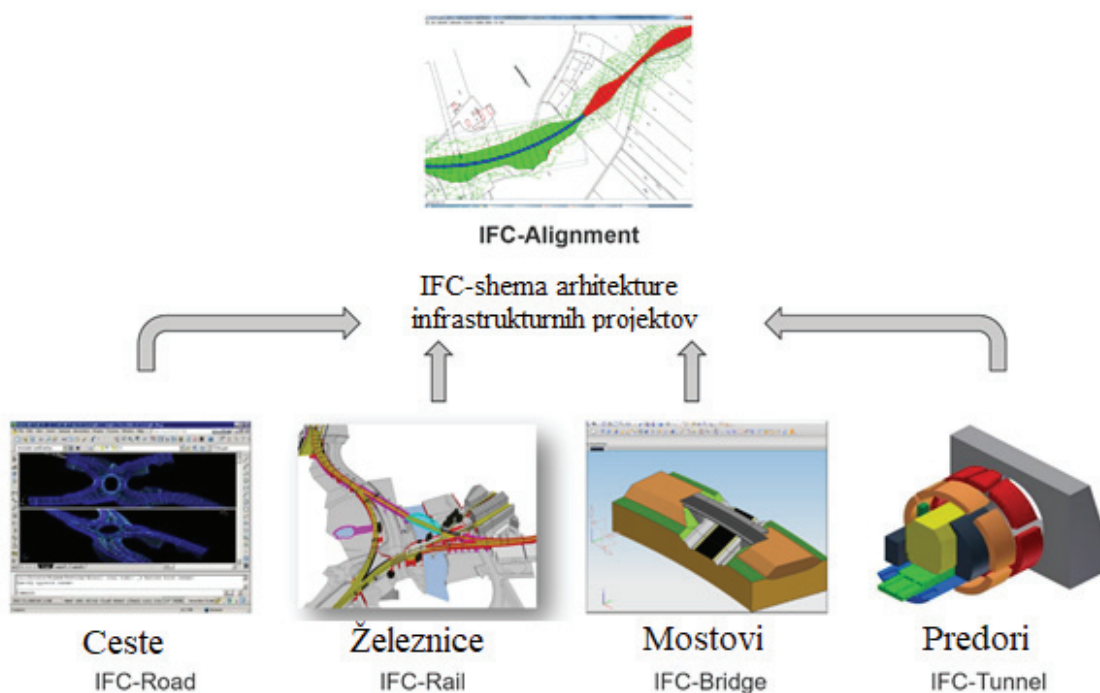
Figure 18: IFC Alignment schema [101]

Glavni dosežki IFC Alignment 1.0, ki je sprejet kot končni standard, so [102]:

- sposobnost izmenjave informacij o poravnavi osi skozi celoten življenjski cikel projekta,
- sposobnost povezave o poravnavi podatkov z drugimi projektnimi informacijami (prečni prerezi, 3D geometrija),
- sposobnost poizvedovanja podatkov o poravnavi osi, ki zagotavljajo podatke kot so linearne reference za pozicioniranje,
- omogoča odprt dostop do podatkov o poravnavi osi,
- sposobnost preslikave IFC modelov poravnave osi v InfraGML in LandXML.

Standard omogoča kombinacijo tradicionalnega 2D projektiranja in novega 3D modeliranja. Povezava horizontalne osi, vzdolžnega prereza in prečnih profilov nam omogoča izdelavo 3D modela.

IFC Rail. Združenje buildingSMART je vzporedno skupaj s še štirimi partnerji (BSI, the China Rail BIM Alliance ter finska in švedska prometna agencija) začelo tudi projekt izdelave razširitve IFC sheme, ki bo vključevala obsežno podporo za več infrastrukturnih področij kot so IFC Rail, IFC Road, IFC Bridge in IFC Tunnel. Vse predvidene sheme bodo temeljile na shemi IFC Alignment. Razširitve so predvidene v verziji IFC 5 [103].



Slika 19: Razširitev sheme IFC Alignment [104]

Figure 19: Extension of IFC Alignment schema [104]

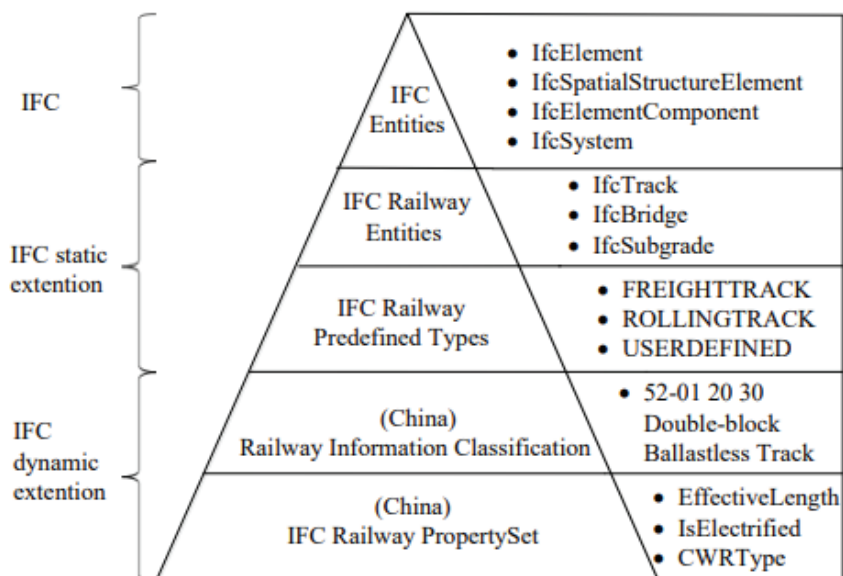
V razvoju za izmenjavo podatkov v železniški infrastrukturi je vodilno kitajsko združenje - The China Rail BIM Alliance objavilo dokument The Railway BIM Data Standard, ki temelji na štirih kitajskih, mednarodno veljavnih standardih z oznako ISO, in sicer [105]:

- **ISO 10303-21: 2012:** Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange - Part 21: Implementation methods: Clear text encoding of the exchange structure,
- **ISO 10303-11: 2004:** Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual,
- **ISO 10303-1: 1994:** Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange – Part 1: Overview and fundamental principles
- **ISO 16739: 2013:** Industry foundation classes platform

in standardoma **IFC4X1** ter **IFC4x1 Alignment Extension**, ki ju je objavila organizacija buildingSMART.

Ogrodje informacijskega modela temelji na obstoječi strukturi IFC standarda. Omogoča interoperabilno izmenjavo podatkov, kot so geometrijske oblike in atributi med različnimi programskimi opremami skozi celoten življenjski cikel.

Osnovni IFC standard temelji na semantičnem modeliranju in geometrijski predstavitvi. Tak je tudi predlagani novi standard IFC Rail. Semantično modeliranje predstavlja razvoj novih entitet za potrebe železniške infrastrukture. Geometrijski model pa predstavlja novo predstavitev entitet (npr. prehodne krivulje) [106].



Slika 20: Razširitev entitet [106]

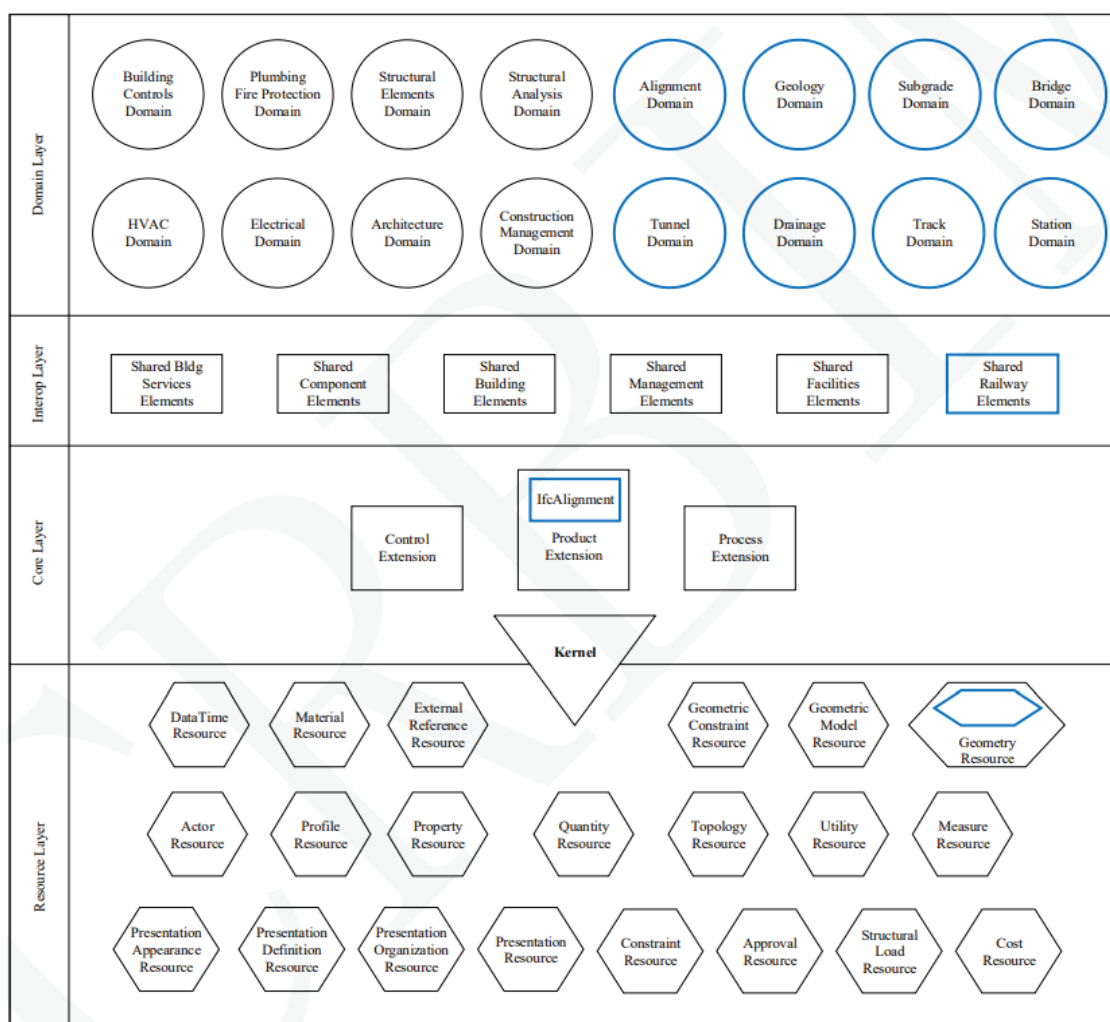
Figure 20: Entities extension [106]

Zgornja slika prikazuje razširitve entitet za potrebe železniške infrastrukture. Najvišji zgornji nivo prikazuje obstoječe entitete v standardu IFC 4x1. Vse entitete v IFC Rail bodo podedovane od tega obstoječega mehanizma. Drugi nivo prikazuje razširjene entitete za potrebe standarda IFC Rail, s katerimi definiramo generične entitete v železniški infrastrukturi. V naslednji, tretji stopnji, imamo vnaprej določeno oštevilčenje vrst razširjenih entitet, ki definirajo posebne tipe razširjenih entitet. Drugi in tretji nivo naredita nekaj sprememb v IFC shemi, ki bazirajo na statični razširitvi. Spodnja dva nivoja imata za osnovo kitajski železniški klasifikacijski sistem (China Railway Classification System). Nivoja temeljita na dinamični razširitvi, ki omogoča razširitve entitet za posamezne regije oziroma države [106].

Arhitektura je modificirana za potrebe modeliranja železniške infrastrukture. V najnižjem sloju, v sloju virov (angl. Resource Layer), so znotraj modula Geometry Resources dodatno definirane entitete o modelu osi. Modul Product extension, ki leži v glavnem sloju (angl. Core Layer), je razširjen z IfcAlignmnet entiteto o poteku osi tira. V sloj za interoperabilnost je dodan nov modul Shared Railway Elements, ki vsebuje sheme za izmenjavo podatkov skupnih elementov.

Hierarhično najvišji sloj domene (angl. Domain Layer) vsebuje novih osem področij, ki so ključnega pomena za izdelavo informacijskega modela železniške infrastrukture. Ta področja so [107]:

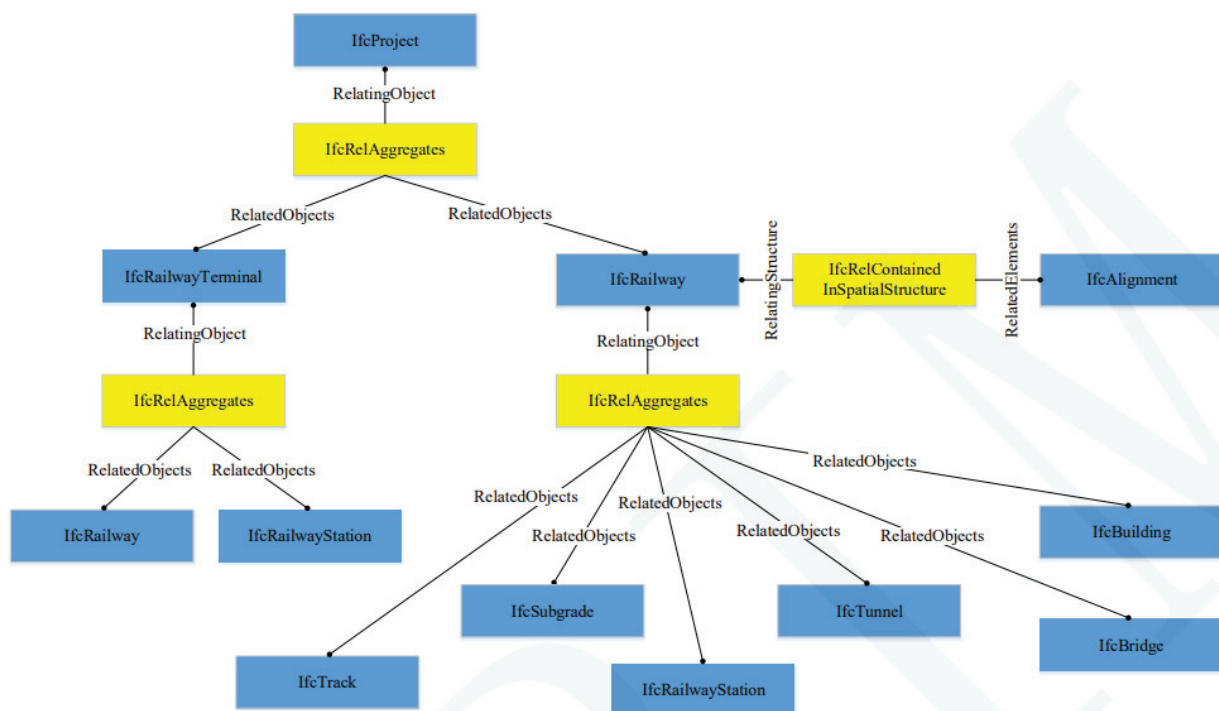
- os (Alignmnet),
- zgornji ustroj (Track),
- spodnj ustroj (Subgrade),
- most (Bridge),
- predor (Tunnel),
- postaja (Station),
- odvodnjavanje (Drainage),
- geologija (Geology).



Slika 21: Razširitev sheme IFC Rail [107]

Figure 21: IFC Rail schema extension [107]

Prostorska razdelitev projekta železniške infrastrukture. Spodnja shema prikazuje prostorsko razdelitev izdelave projekta železniške infrastrukture. Železniški projekt (IfcProject) je sestavljen iz enega ali več železniških odsekov (IfcRailway) ter lahko vsebuje železniški terminal (IfcRailwayTerminal). Železniški odsek (IfcRailway) vsebuje eno ali več osi (IfcAlignment), pripadajoče tire (IfcTrack), spodnji ustroj (IfcSubgrade), lahko vsebuje razne objekte, kot so mostovi (IfcBridge), predori (IfcTunnel), zgradbe (IfcBuilding) in postaje oziroma postajališča (IfcRailwayStation). Na drugi strani je terminal (IfcTerminal), sestavljen iz železniškega odseka (IfcRailway) in železniške postaje (IfcRailwayStation).



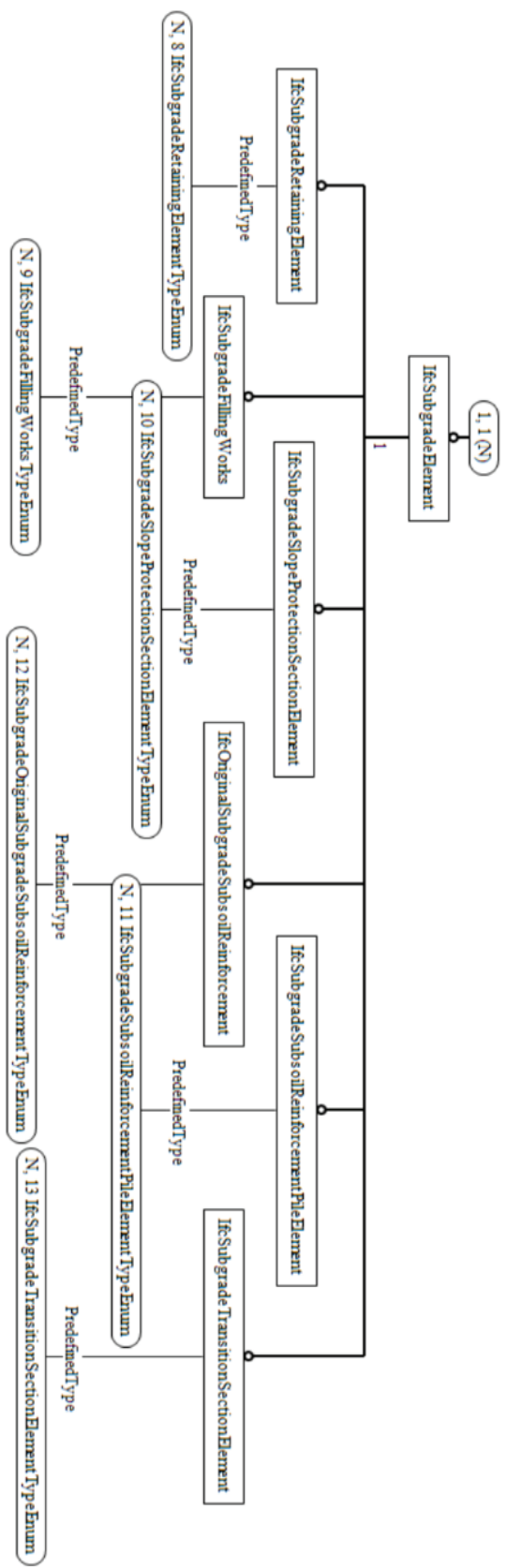
Slika 22: IFC shema železniškega projekta [107]
Figure 22: IFC schema of railway project [107]

#	Name	Description
1	IfcAlignment	
2	IfcAlignment2DHorizontal	
3	IfcAlignment2DVertical	
4	IfcAlignment2DSegment	
5	IfcAlignment2DHorizontalSegment	
6	IfcAlignment2DVerticalSegment	
7	IfcCurveSegment2D	
8	IfcLineSegment2D	
9	IfcCircularArcSegment2D	
10	IfcTransitionCurve2D	
11	IfcAlignment2DVerSegLine	
12	IfcAlignment2DVerSegCircularArc	
13	IfcAlignment2DVerSegParabolicArc	
14	IfcChainageSystem	
15	IfcChainageSystemSegment	

Slika 23: Shema poteka osi [107]
Figure 23: Alignment schema [107]

Sheme področij železniške infrastrukture. V splošnem so vse sheme strukturirane glede na definicijo sheme, ki sledi definiciji tipa, definiciji entitete in definiciji nabora lastnosti.

- **Shema poteka osi (Alignment schema).** Shema za Alignment se nanaša na standard IFC4x1 Alignment Extension, ki ga je leta 2015 objavila organizacija buildingSMART. S tem sta bili narejeni dve spremembi za potrebe projektiranja železnic. Za pozicioniranje elementov se uporablja verižni sistem, da se prilagodi kitajskim železnicam, ki so glavne pri razvoju standarda IFC Rail. Druga sprememba se nanaša na prehodne krivulje, ki so definirane nekoliko drugače kot v standardu IFC Alignment. Prehodna krivulja je bila prej definirana kot `IfcChlotoidaArcSegment2D`, v tej shemi pa jo definiramo kot `IfcTransitionCurve2D`.
- **Shema geologije (Geology Schema).** Shema sestoji iz dveh skupin elementov. Prvo skupino predstavljajo prostorske strukture v geološkem inženirstvu (premostitveni objekti, predori, spodnji ustroj, tir). V drugo skupino spadajo fizični geološki elementi. To so geološki pogoji, zemljine, kamenine, porušitve in geološke vrtine.
- **Shema Spodnjega ustroja (Subgrade schema).** Shema definira spodnji železniški ustroj glede na tip (vkop/nasip), funkcijo, sestavo, vrsto in način podpiranja, temeljenja ter zaščito naklona. Jasno definira začetek in konec železniškega ustroja in njegovega posameznega elementa.
- **Shema premostitvenih objektov (Bridge Schema).** Shema definira vrsto in tip premostitvenega objekta. Določeni so tehnični detajli, kot so na primer tip premostitvene konstrukcije, število segmentov, ter razmak med podpornimi elementi.
- **Shema predorov (Tunnel Schema).** Shema se lahko uporablja tudi za predore, ki niso predmet železniške osi. Tako kot pri premostitvenih objektih, tudi tu shema definira tip predora, portalne konstrukcije in ostale tehnične detajle.
- **Shema odvodnjavanja (Drainage schema).** Shema se osredotoča na kontrolo, odvajanje in zadrževanje meteorne ter podzemne vode v bližini železniške infrastrukture, da le ta ne vpliva ali celo poškoduje železniškega telesa. Shema opisuje tip sistema za odvajanje vode in lokacijo.
- **Shema tira (Track schema).** Opisuje fizične elemente tira, kot so pragi, tirnice, pritrdilni material, tirne stike in tirno gredo. Jasno so določene pozicije vseh komponent tira, vključno z začetki in konci.
- **Shema postaje (Station schema).** Definirani so železniški terminali, postaje in postajališča, vključno z vsemi njihovimi komponentami.



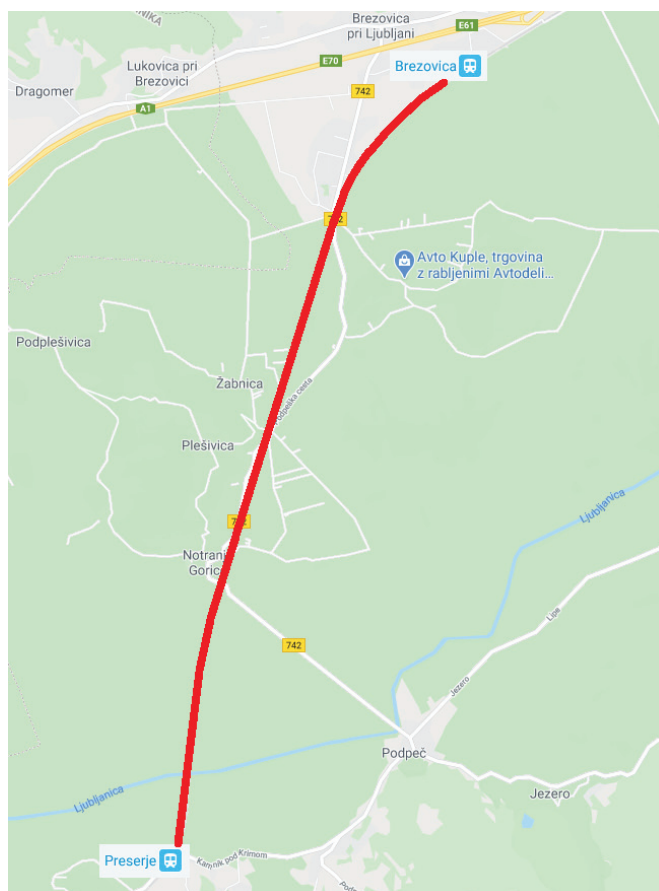
Slika 24: Shema spodnjega ustroja [107]
Figure 24: Subgrade schema [107]

5 ŠTUDIJA UPORABE PRISTOPA BIM PRI NADGRADNJI MEDPOSTAJNEGA ODSEKA BREZOVICA-PRESERJE

V nadaljevanju sledi praktičen prikaz procesa izdelave železniškega projekta s pristopom BIM, ki je nastal v sodelovanju s podjetjem SŽ - projektivno podjetje Ljubljana d.d. Izdelavo projektne dokumentacije in projekta “Nadgradnja železniške proge Ljubljana–Divača za medpostajni odsek Brezovica–Preserje” je naročilo Ministrstvo za infrastrukturo Republike Slovenije.

5.1 Tehnični opis projekta nadgradnje medpostajnega odseka

Glavna železniška proga št. 50 Ljubljana–Sežana–d.m. na odseku Ljubljana–Divača je bila zgrajena v obdobju avstrijskega cesarstva med letoma 1846–1857 kot del takratne “Južne železnice” Dunaj–Trst. Gre za dvotirno vzporedno železniško progo. Gradbeni elementi se od takrat niso bistveno spremenili. Proga je elektrificirana z enosmernim sistemom vleke 3kV. Na obravnavanem odseku je hitrost omejena na 100 km/h. V skladu z UIC 700 je proga deklarirana za osni obremenitev 22,5 t/os. Na obravnavanem odseku je kategorija proge D3. Po progi se odvijata tako notranji kot mednarodni tovorni in potniški promet. Medpostajni odsek Brezovica–Preserje se prične pri uvozni kretnici na B strani postaje Brezovica in poteka do uvozne kretnice na A strani postaje Preserje.



Slika 25: Potek obravnavanega odseka

Figure 25: The course of the section

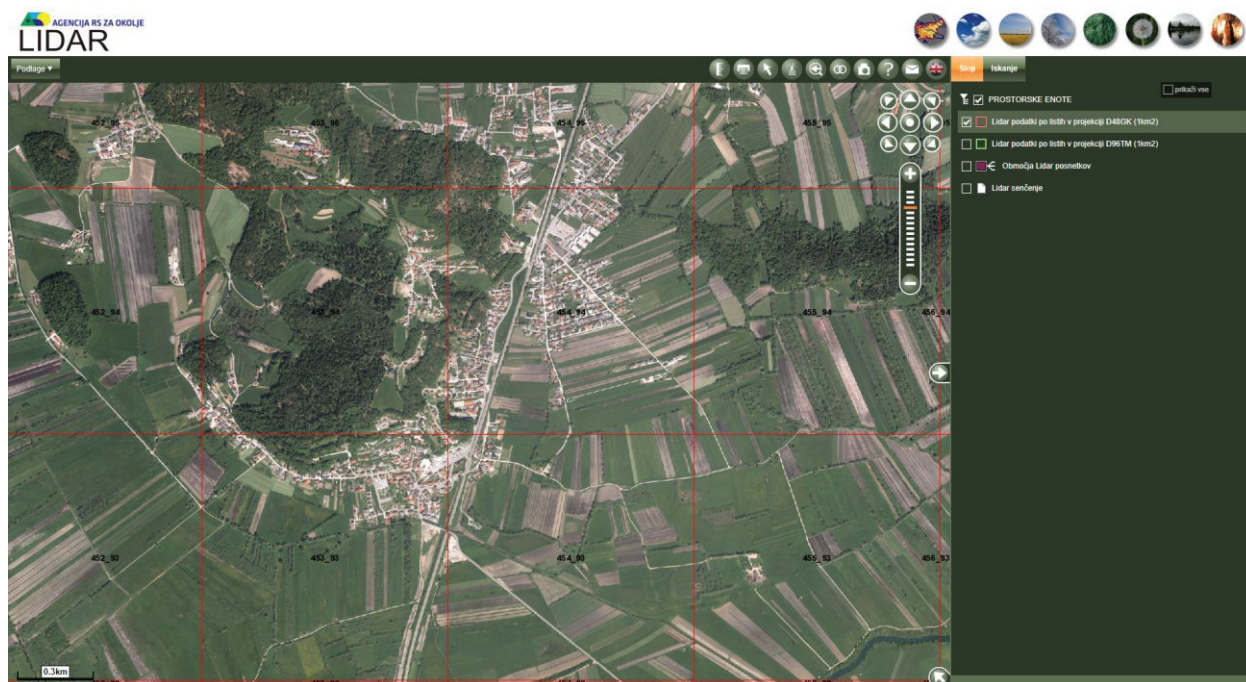
Namen nadgradnje železniške proge Ljubljana–Divača medpostajnega odseka Brezovica–Preserje je:

- zagotavljanje interoperabilnosti,
- odprava ozkih grl,
- dvig kategorije proge na D4,
- povečanje zmogljivosti proge,
- maksimalno povečanje hitrosti s ciljem potniških vlakov do 160 km/h in tovornih vlakov nad 100 km/h,
- skrajšanje voznih časov,
- zmanjšanje zamud,
- odprava počasnih voženj,
- fleksibilnejše odvijanje prometa v času zapor in prometnih konic,
- uporabniku prijaznejša infrastruktura,
- povečanje stopnje varnosti,
- povečanje zanesljivosti oskrbe z električno energijo,
- višji izkoristek električne energije, ki nastane pri elektrodinamičnemu zaviranju vlakov,
- učinkovito upravljanje s stroški z upoštevanjem stroškov vzdrževanja za celotno življenjsko dobo objekta ter zmanjšanje potrebnega števila zapor proge (tira) za potrebe vzdrževanja,
- omogočena vožnja sodobnih vlakov,
- odprava in preprečevanje negativnih vplivov na okolje,
- zmanjšanje obremenjenosti s hrupom na poselitvenih območjih.

5.2 Izdelava digitalnega posnetka stanja

5.2.1 Pridobitev prostorskih podatkov

Terenske podatke lahko pridobimo z aplikacijo Model Builder, ki je del programa Infraworks. Aplikacija na izbranem območju ustvari 3D posnetek terena. Poleg terena prikazuje v 3D tudi vse objekte in rastje. Problem tako uvoženega terena je majhna natančnost. Velika natančnost pri vizualizaciji idejne zasnove ni potrebna, kljub temu je v magistrskem delu izdelan posnetek obstoječega stanja, ki je osnova za nadaljnje projektiranje. Za izdelavo 3D terena je bilo potrebno najprej uporabiti terenske podatke LiDAR (angl. Light Detection And Ranging), do katerih dostopamo na internetni strani Agencije RS za okolje (ARSO).



Slika 26: Spletna aplikacija LiDAR

Figure 26: Network application LiDAR

ARSO ponuja tri vrste datotek, ki vsebujejo podatke o terenu:

- OTR (Oblak točk reliefa) vsebuje le točke, ki so klasificirane kot tla. Digitalni model,
- DMR (Digitalni model reliefa), ki je interpolacija reliefa na osnovi točk OTR, zapisana v mrežo 1m x 1m in
- GKOT (Georeferenciran in klasificiran oblak točk), kjer so točke klasificirane glede na tla, objekte in vegetacijo.

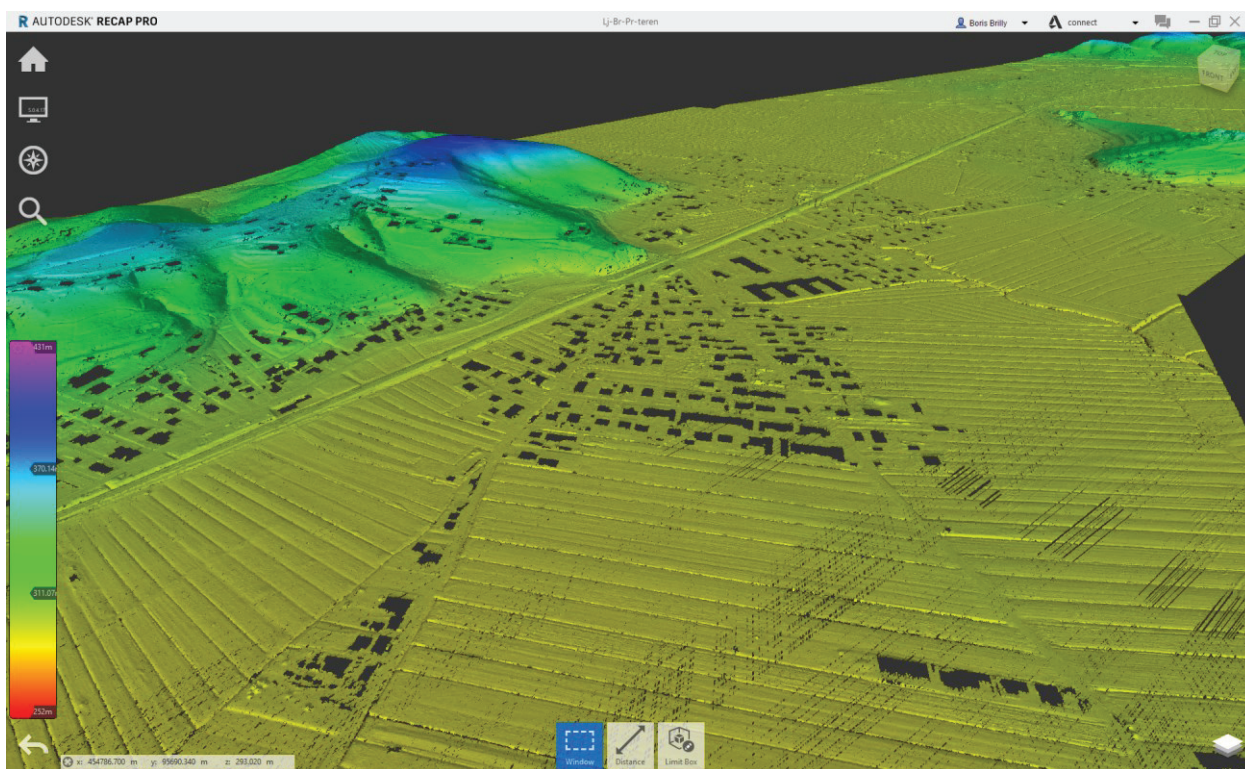
Uporaba podatkov OTR vsebuje le točke, klasificirane kot tla (brez objektov). S terenskimi podatki LiDAR, ki so dostopni na internetni strani Agencije RS za okolje, lahko prikažemo teren širše okolice. Glede na obravnavani odsek najprej izberemo LiDAR podatke po listih za projekcijo D48 GK.

Prenesene datoteke s podatki imajo zapis oblike .zlas. Na trgu je veliko LiDAR pregledovalnikov in urejevalnikov (plačljivih in ne plačljivih), ki zahtevajo obliko zapisa podatkov s končnico .las. S programsko opremo EzLAS te datoteke pretvorimo v ustrezno obliko in jih potem uporabimo v LiDAR pregledovalnikih.

Za pregledovanje in urejanje oblaka točk uporabimo programsko opremo ReCap. Posamezna uvožena datoteka vsebuje oblak točk velikosti 1 km². Vedno poizkušamo imeti le toliko terenskih podatkov, kot jih dejansko potrebujemo. Z optimizacijo obsega terenskih podatkov zmanjšamo čas, ki ga programska oprema porabi za obdelovanje in procesiranje.

Slika 27 prikazuje teren obravnavanega območja. Praznine v terenu se pojavijo na mestih, kjer stojijo dejanski objekti. Če bi namesto datotek OTR uporabili datoteke GKOT, bi bili na mestu praznin oblaki točk, ki predstavljajo objekte. Prav tako bi bila s točkami prikazana vsa vegetacija.

Projektiranje železnic zahteva veliko natančnost, zato je potrebno imeti tudi natančen posnetek terena. Na območju, kjer poteka proga, smo izbrali 30 m širok pas terena z večjo gostoto točk. Posnetek terena je podjetje SŽ - Projektivno podjetje Ljubljana d.d. naročilo pri podjetju Flycom Technologies d.o.o., ki se ukvarja z analizo ter daljinskim zaznavanjem prostorskih podatkov.



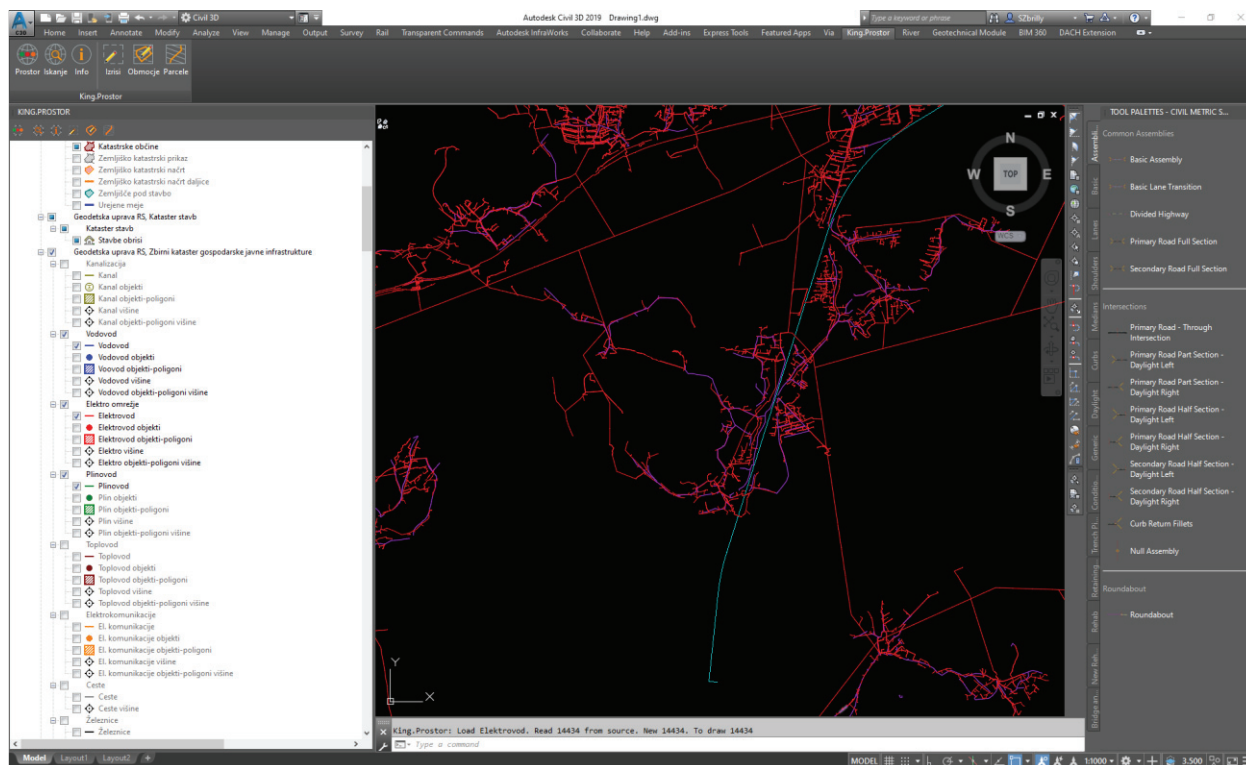
Slika 27: Prikaz terenskih podatkov v programu ReCap

Figure 27: Graphical display of terrain data in ReCap software

Sledila je združitev obeh modelov. Da ne bi na območju, kjer je potreben podrobnejši posnetek terena, obdelovali dvojnih podatkov, smo na tem mestu odstranili točke v modelu terena, ki smo ga ustvarili iz podatkov, ki jih nudi ARSO. To smo storili v programski opremi Civil 3D. Terenu smo določili novo notranjo mejo, ki je polilinja zunanjega mejnega območja podrobnega terena, ki ga je izdelalo podjetje Flycom Technologies d.o.o. Območje znotraj nove notranje meje smo skril. Tako lahko na tak način kombiniramo oba modela terena, ne da bi se točke v preseku terenov podvajale.

Za potrebe izdelave obstoječega stanja smo pridobilo informacije o vseh križanjih gospodarske javne infrastrukture z železniško progo na obravnavanem odseku. Zanimal nas je potek trase plinovoda, vodovoda, toplovoda, kanalizacije, električnega voda in elektrokomunikacije. Podatke smo pridobili s programsko opremo King, ki natančneje opredeli prostor in nam omogoča prikaz z več kot 350. vrstami različnih slojev iz javnih evidenc prostorskih podatkov.

Program, ki je produkt slovenskega podjetja SL - King d.o.o., nam prikaže atributivne podatke Geodetske uprave RS, Agencije RS za okolje, Ministrstva za kulturo, ministrstva za kmetijstvo in druge prostorske podatke. Podatki so urejeni in vsebujejo ustrezne vrednosti iz šifrantov. Na željeni lokaciji izbrane podatke v dwg risbi tudi grafično prikaže.



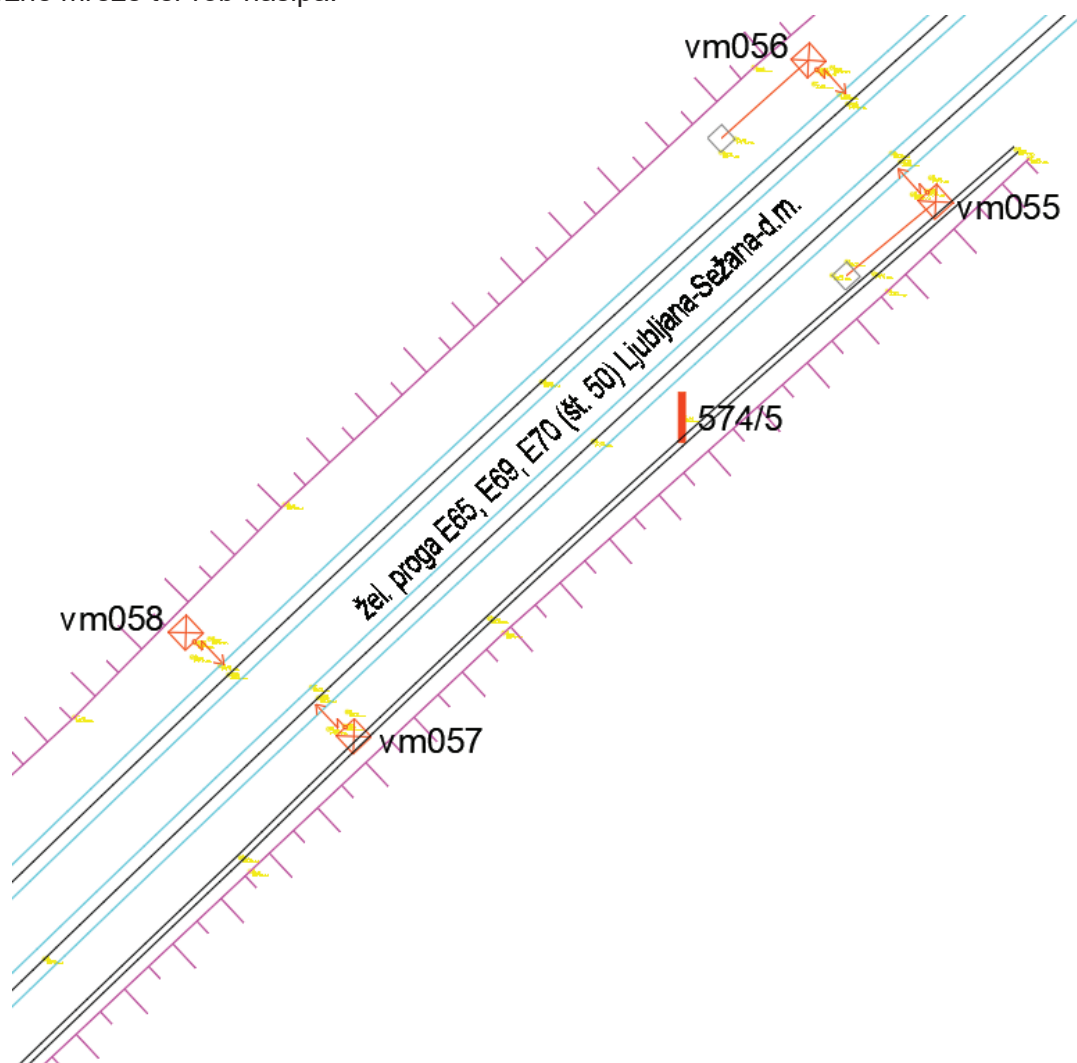
Slika 28: Pridobitev podatkov GJI
Figure 28: GJI data obtaining

Grafični prikaz smo shranili v obliko zapisa .dwg, ki smo ga v nadaljevanju uporabili kot podlogo pri načrtovanju novega poteka osi. Poleg tega smo podatke izvozili tudi v obliko zapisa .shp, ki je vektorski netopološki zapis geometrijskih in atributnih podatkov.

Na enak način kot podatke o gospodarski javni infrastrukturi smo pridobili tudi podatke o katastru stavb. Podatke smo prav tako izvozili v obliko zapisa .shp in jih kasneje uporabili pri izdelavi 3D objektov, ki so namenjeni izključno vizualizaciji modela.

Za potrebe projektiranja je potrebno posneti obstoječe stanje tira. S klasično tahimetrično metodo se posname detaljne točke signalizirane z reflektorjem in tarčo. Oddaljenost točk je odvisna od želene natančnosti. Po navadi se snema točke v prečnih profilih na mestih, kjer stojijo stebri vozne mreže. Posname se zgornji rob planuma, stebre vozne mreže, hektometrske oziroma kilometrske kamne, os tira in tirnice.

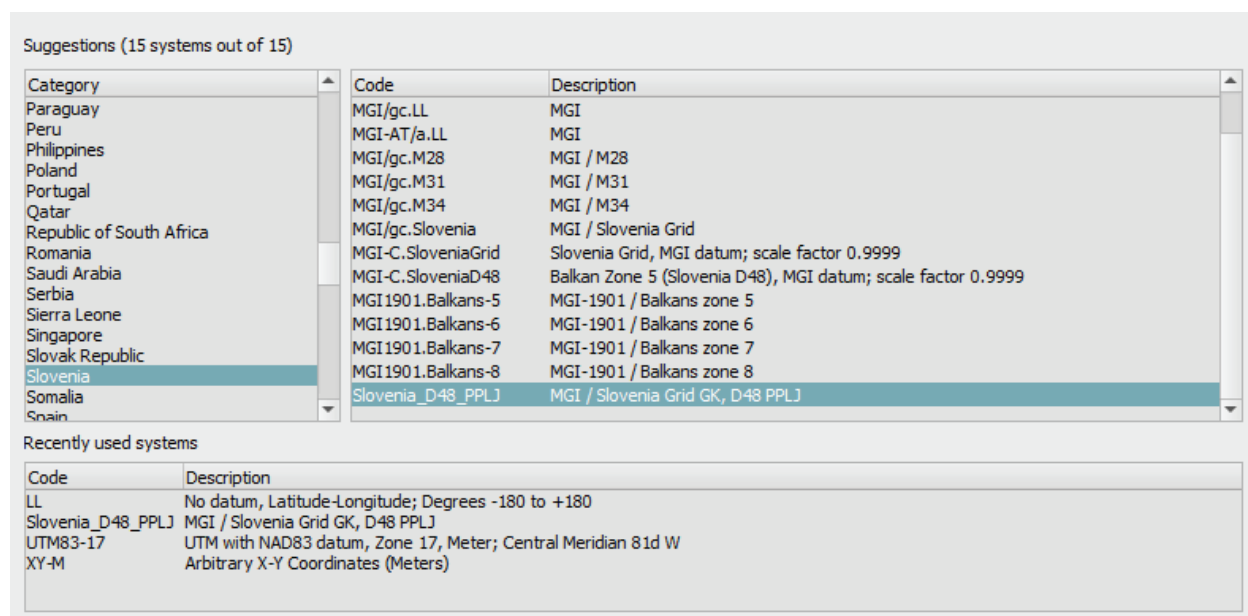
Slika 29 prikazuje geodetski posnetek tirne situacije obstoječega stanja. Na sliki je viden potek osi levega in desnega tira ter pripadajoče tirnice. Jasno so vidne pozicije stebrov vozne mreže ter rob nasipa.



Slika 29: Geodetski posnetek tirne situacije
Figure 29: Geodetic footage of railway track situation

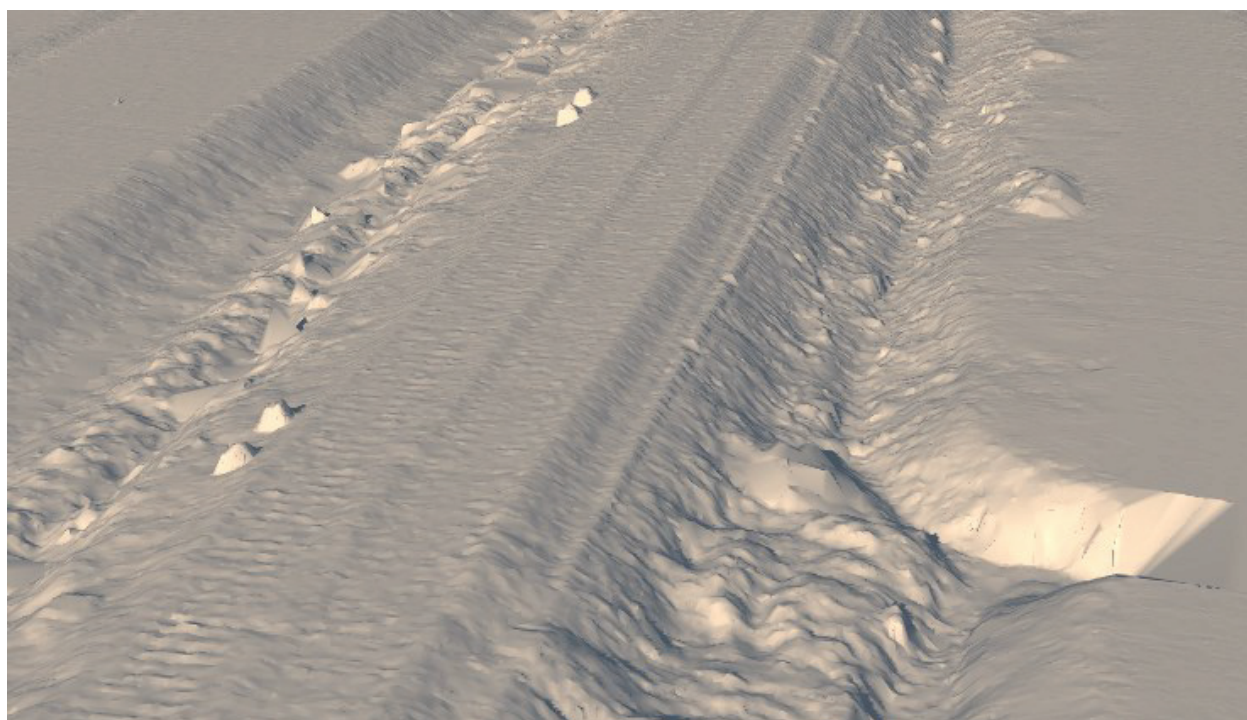
5.2.2 Prikaz stanja v programu Infraworks

Model obstoječega stanja smo izdelali v programu Infraworks. Ob prvem zagonu programa na začetnem delu projekta je bilo potrebno ustvariti nov projekt z ustreznim koordinatnim sistemom. Vsi podatki, ki se uvažajo v model, so vezani na nek koordinatni sistem. Če koordinatni sistem v programu in koordinatni sistem, v katerem so zapisani podatki, nista usklajena, model ne bo pravilen, oziroma ne bo na pravilni lokaciji. Napaka je še posebej očitna v primerih, ko na projektu sodeluje večje število projektantov. Program sam ponuja nabor različnih državnih koordinatnih sistemov. Med drugim je mogoče izbrati Slovenski državni koordinatni sistem.



Slika 30: Izbira koordinatnega sistema v programu Infraworks
Figure 30: Choice of coordinate system in Infraworks software

V program najprej uvozimo terenske podatke. Infraworks omogoča uvoz datotek terenskih podatkov generiranih v programu Civil3D. Uvozili smo teren, ki smo ga pripravili iz oblaka točk. Za potrebe projektiranja bi bilo dovolj, če bi uporabili le podrobni teren, ki prikazuje območje tira. Za potrebe vizualizacije smo poleg podrobnega pripravili tudi manj podrobni teren širše okolice.



Slika 31: Prikaz obstoječega terena v programu Infraworks
Figure 31: Graphical display of remaining terrain in Infraworks

Da uvožen 3D teren ne izgleda tako surovo, smo uvozili tudi digitalne ortofoto posnetke obravnavanega območja. Na območju podrobnega terena smo uporabili natančnejše digitalne ortofoto posnetke, ki jih je skupaj s terenom prav tako posnelo podjetje Flycom d.o.o. Program prilepi rastersko sliko DOF na območje terena. V primeru, da DOF sega izven terena, ga program na tistem območju avtomatsko ne prikazuje. Za boljšo vizualizacijo smo uvozili .shp datoteko, ki vsebuje obrise objektov ter ostale attribute, kot je na primer višina objekta.

Slika 32 prikazuje ortofoto posnetek in teren širše okolice obstoječega stanja vključno s 3D objekti izdelani na podlagi katastra stavb in gospodarsko javno infrastrukturo.



Slika 32: Model obstoječega stanja odseka

Figure 32: Graphical Model of remaining section situation

5.3 Projektiranje nadgradnje odseka Brezovica–Preserje

Nadgradnja odseka bo opravljena v sklopu vzdrževalnih del v javno korist, zato moramo ostati znotraj območja JŽI. To pomeni, da večje geometrijske spremembe horizontalnega poteka osi niso mogoče oziroma niso dovoljene.

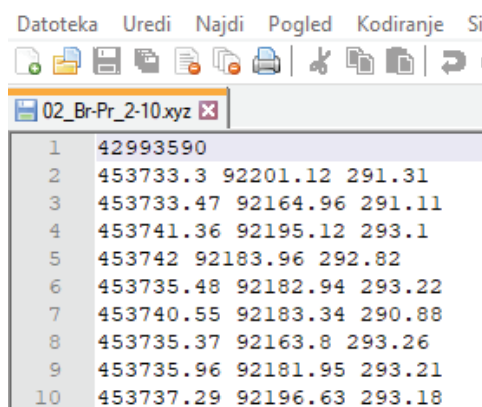
Predvidena nadgradnja proge železniškega odseka zahteva dvig kategorije proge na D4. Cilj je, da z nadgradnjo povečamo hitrost vseh vrst vlakov. Sprojektirati želimo progo, ki bo dovoljevala hitrost 160 km/h za potniške vlake, tovorni vlaki pa naj bi presegli hitrost 100 km/h. Projektno hitrost bo narekovala maksimalna dovoljena hitrost skozi krožne loke. Na podlagi tega smo izbrali vozno hitrost V_{max} za tovorni in potniški vlak z nagibno tehniko:

$$V_{projektna} = 160 \text{ km/h}$$

5.3.1 Načrtovanje odseka v programu ViaBIM

Za načrtovanje smo uporabili programsko opremo ViaBIM, ki je produkt podjetja SL - King d.o.o. Programsko opremo podjetje razvija v sodelovanju s podjetjem SŽ - Projektivno podjetje Ljubljana d.d., ki je vodilni projektant na področju projektiranja železnic v Sloveniji. Vsi trije osnovni gradniki – os ter vzdolžni in prečni profil so neločljivo povezani. Program za svojo platformo uporablja AutoCAD Civil 3D.

Uvoz terenskih podatkov. Najprej je potrebno ustvariti nov projekt, nato uvozimo terenske podatke, ki so osnova za nadaljnje načrtovanje poteka osi. Ustvarili smo novo površino in ji dodali terenske podatke (oblak točk) podrobnega terena. Podatki so zapisani v .txt datoteko. Vsaka točka vsebuje zapis x, y in z koordinate (Slika 33).



Datoteka	Uredi	Najdi	Pogled	Kodiranje	Si
02_Br-Pr_2-10.xyz					
1	42993590				
2	453733.3	92201.12	291.31		
3	453733.47	92164.96	291.11		
4	453741.36	92195.12	293.1		
5	453742	92183.96	292.82		
6	453735.48	92182.94	293.22		
7	453740.55	92183.34	290.88		
8	453735.37	92163.8	293.26		
9	453735.96	92181.95	293.21		
10	453737.29	92196.63	293.18		

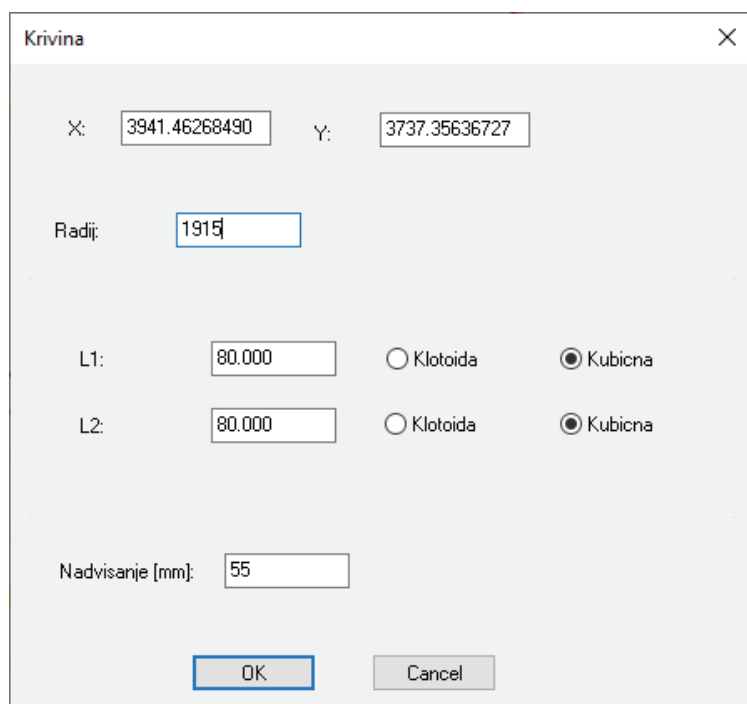
Slika 33: xyz koordinate terenskih točk

Figure 33: xyz coordinates of terrain points

Vnos DOF posnetka in posnetka obstoječega stanja. Za lažjo orientacijo v prostoru smo v projekt vstavili DOF posnetke območja obravnavanega odseka. Vstavili smo tudi dwg risbo tirne situacije obstoječega stanja, ki je glavna pomoč pri risanju nove osi, saj zaradi vzdrževalnih del v javno korist ni veliko maneverskega prostora.

Vnos nove osi. Os vsakega tira se riše ločeno, posebej za levi in desni tir. Pred začetkom risanja vedno nastavimo začetno stacionažo, ki jo bo program upošteval pri avtomatskem označevanju prečnih profilov. Os rišemo na način, da s klikom na situaciji določimo temena krivin. Program nato krivino izriše sam, na podlagi avtomatskih nastavitvev parametrov (polmer in dolžina prehodnice). Teme lahko poljubno premikamo, tudi ko je os že izrisana. Prav tako lahko spreminjamo radij, dolžino prehodnic in nadvišanje.

Na sliki 34 je prikazan primer vnosa parametrov za krožni lok in pripadajoči prehodnici. X in Y označujeta koordinate središča krožnega loka. Sledi velikost polmera krožnega loka, dolžini prehodnic L1 in L2 ter nadvišanje.



Krivina

X: 3941.46268490 Y: 3737.35636727

Radij: 1915

L1: 80.000 ☐ Klotoida ☒ Kubicna

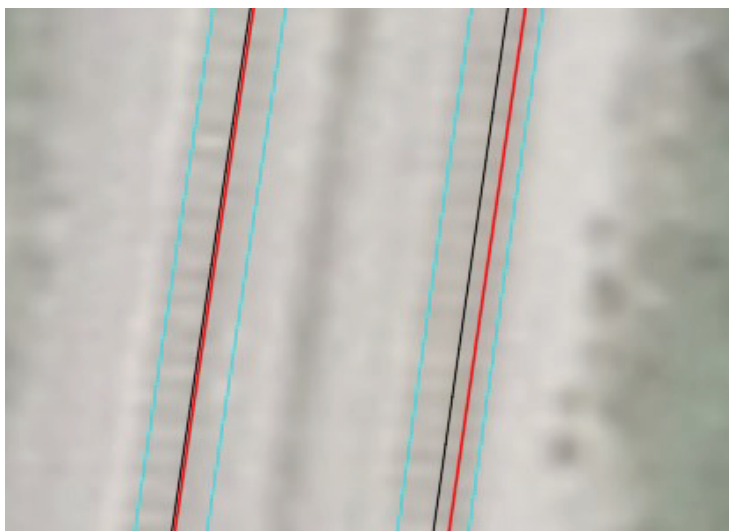
L2: 80.000 ☐ Klotoida ☒ Kubicna

Nadvisanje [mm]: 55

OK Cancel

Slika 34: Določanje parametrov horizontalnih elementov
Figure 34: Parameters determination of horizontal elements

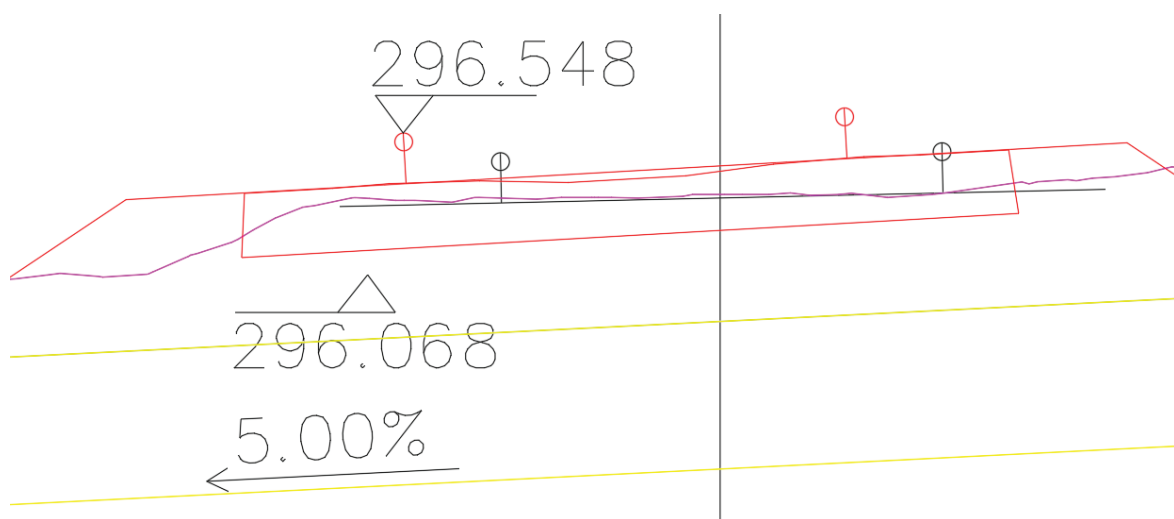
Ker gre za vzdrževalna dela v javno korist, se moramo čim bolj približati obstoječemu stanju. Seveda pa je cilj, da geometrijo popravimo do take mere, da parametri elementov ustrezajo pravilniku o zgornjem ustroju, kategorija proge pa se dvigne. Slika 35 prikazuje razliko pri horizontalnem poteku med obstoječo osjo (črna polilinijska) in novo projektirano osjo (rdeča polilinijska).



Slika 35: Razlika med obstoječo ter novo projektirano osjo tira
Figure 35: The difference between the current and designed horizontal alignment

Potek nivelete. Po določitvi horizontalne osi, izrišemo vzdolžni profil in vanj vstavimo niveleto. To je potrebno storiti za vsak tir posebej. Osnova za višinsko navezavo na začetku in koncu odseka je geodetski posnetek višinskih točk tira na tistem mestu. Na mestih navezave smo niveleto postavili na zahtevano nadmorsko višino, vmes pa smo jo čim bolj približali poteku obstoječega tira.

Pri vertikalnem in horizontalnem pozicioniranju osi si lahko pomagamo s prečnimi profili, saj program prikazuje obstoječe stanje in potek nove osi. Ko spremenimo potek osi v vzdolžnem profilu ali situaciji, se ta v realnem času posodobi tudi na vseh prečnih profilih.



Slika 36: Razlika med obstoječim in projektiranim tirom

Figure 36: The difference between current and designed railway track

Na sliki 36 je prikazana razlika v poteku osi med obstoječim tirom, ki je prikazan s črno barvo in novim tirom. Slednji je prikazan v rdeči barvi.

Prečni profili. Prečne profile program postavi avtomatično, lahko pa jih poljubno vstavimo tudi ročno. V našem primeru imamo prečne profile postavljene na 20 m. Prvi profil P1 se prične na stacionaži 574+200.000. Na začetku program v prečnem profilu izriše le polilinjino, ki prikazuje obstoječi teren ter projektirano in obstoječo os, ki sta prikazani s tirnicami.

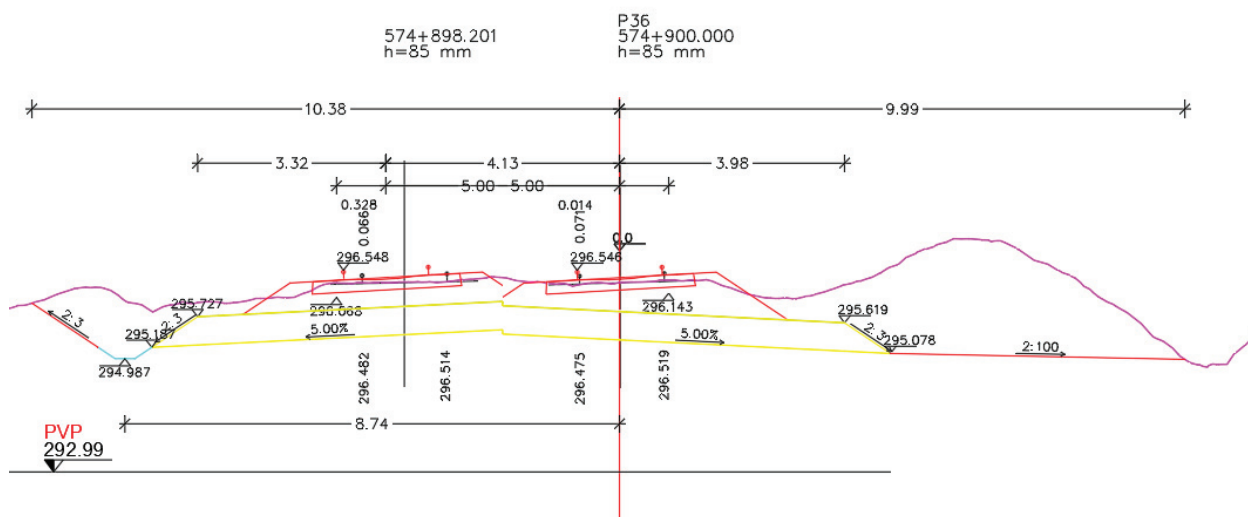
Osnova prečnega profila je projektirana os, kateri dodajamo posamezne prečne elemente in podelemente, ki jih program nudi na izbiro. Tem elementom pripišemo natančno stacionažo od kje do kje se nahajajo. Posamezen element ima nabor parametrov, ki jih lahko poljubno določimo in spremenimo (npr. naklon brežin). Vsakemu novemu elementu, ki ga dodamo, določimo, kateri element je njegova osnova, na katerega se nanaša. Posamezne elemente lahko poljubno brišemo, vrinemo ali spremenimo. Program grafični izris prečnega profila po vsaki spremembi osveži, tako so narejene spremembe takoj vidne.

V našem primeru smo prečnemu profilu dodali naslednje elemente:

- tırna greda,
- tampon,
- vkop,
- nasip in
- jarek.

Za natančno določitev pozicij elementov vzdolž osi smo si pomagali z zgostitvijo prečnih profilov (npr. na 1 m). Težava se pojavi, ker se z zgostitvijo poveča tudi število izrisanih prečnih profilov, kar pri daljšem odseku postane izrazito nepregledno in kaj hitro se med profili lahko izgubimo. Zato nam je v pomoč funkcija, ki nam izriše poljuben prečni prerez. Stacionažo točke izrisa prečnega profila lahko kadarkoli spremenimo tako, da v situaciji enostavno kliknemo na poljubno točko na osi. Ta način nam omogoča zelo natančno določitev poteka železniškega telesa, predvsem pri upoštevanju vkopov, nasipov in jarkov. Prečni profil vedno določimo le za en tir. Programu nato pri urejanju prečnih profilov dodamo še drugi tir oziroma ostale tire, če je to območje na postaji.

Prečni profil (Slika 37) prikazuje projektirani levi in desni tir, tamponski sloj ter izvedbo jarka oziroma odcejalne brežine. Prikazana je tudi kontura obstoječega terena s pomočjo katere vidimo kako velik bo poseg v teren.



Slika 37: Prečni prerez
Figure 37: Cross section

5.3.2 Preverba in izračun mejnih parametrov geometrijskih elementov

Parametre geometrijskih elementov, ki smo jih dobili oziroma določili pri načrtovanju osi, moramo preveriti, če ustrezajo vsem zahtevam. Poleg tega bomo na podlagi teh vrednosti določili vozno hitrost za vlake.

Horizontalni elementi. Iz programa smo izvozili parametre horizontalnih elementov osi. Prikazani so v preglednici 10 posebej za levi in desni tir.

Preglednica 10: Horizontalni elementi

Table 10: Horizontal elements

DESNI TIR								
Št.	Začetna stacionaža	Končna stacionaža	Dolžina (m)	Teme X	Teme Y	Radij (m)	L1 (m)	L2 (m)
0	573+570.819	573+570.819	0,000	456182.46	97750.93	0	0	0
1	574+068.670	575+561.583	1492,912	455.090.554	97.090.465	1915	110	110
2	578+750.841	579+256.158	505,317	453.824.649	93.063.885	2006	102	102
3	580+065.803	580+065.803	0,000	453714.81	92.006.568	0	0	0
LEVI TIR								
Št.	Začetna stacionaža	Končna stacionaža	Dolžina (m)	Teme X	Teme Y	Radij (m)	L1 (m)	L2 (m)
0	573+527.624	573+527.624	0,000	456221.93	97.769.136	0	0	0
1	574+071.146	575+558.280	1487,134	455.093.531	97.086.598	1907	110	110
2	578+737.952	579+242.062	504,110	453.831.589	93.072.622	2000	102	102
3	580+061.644	580+061.644	0,000	453.720.786	92.006.024	0	0	0

Minimalni polmer krožnega loka. Cilj je projektna hitrost 160 km/h za navadne vlake brez nagibne tehnike. Pravilnik o zgornjem ustroju izračun minimalnega polmera krožnega loka pri nadgradnjah priporoča po naslednji enačbi:

$$R_{min}(V_{max} = 160 \text{ km/h}) = \frac{(160 \text{ km/h})^2 \cdot 11,8}{130 + 160} = 0,04 \cdot (160 \text{ km/h})^2 = 1024 \text{ m}$$

Minimalni polmer krožnega loka za navadne vlake pri projektni hitrosti 160 km/h znaša 1024 m. Vsi polmeri krožnih lokov tako desnega kot levega tira so večji od izračunanega minimalnega.

Minimalne dolžine elementov. Minimalna dolžina posameznega elementa je določena z enačbo:

$$L_{min}(V_{max} = 160 \text{ km/h}) = 0,4 \cdot 160 \text{ km/h} = 64 \text{ m}$$

Dolžine vseh horizontalnih elementov ustrezajo pogoju glede minimalne dolžine.

5.3.2.1 Vertikalni elementi

Lom nivelete pri nadgradnjah se vertikalno zaokroži, kadar je razlika med sosednjima nagiboma večja od 2 ‰. Ker so na tem odseku vse razlike nagibov sosednjih elementov manjše, kot jih predpisuje pravilnik, vertikalne zaokrožitve niso potrebne. Razlika sosednjih nagibov nivelete, njihova dolžina in pripadajoč radij so zbrani v preglednici 11.

Preglednica 11: Vertikalni elementi

Table 11: Vertical elements

DESNI TIR						
Številka	Teme Stacionaža	Teme Višina (m)	Radij (m)	Dolžina nivelete (m)	Nagib nivelete (‰)	Razlika nagibov (‰)
0	573+599.762	297,500	0	589,723	0,000	
1	574+189.485	297,500	0	253,430	-1,330	1,330
2	574+442.915	297,163	0	183,417	-2,524	1,194
3	574+626.332	296,700	0	783,880	-0,561	1,963
4	575+410.212	296,260	0	1.200,256	-1,508	0,947
5	576+610.468	294,450	0	897,192	-0,557	0,951
6	577+507.659	293,950	0	649,139	-0,169	0,388
7	578+156.798	293,840	0	744,489	-0,524	0,355
8	578+901.287	293,450	0	998,713	-0,060	0,464
9	579+900.000	293,390	0	250,000	0,000	0,060
10	580+150.000	293,390	0			0,000
LEVI TIR						
Številka	Teme Stacionaža	Teme Višina (m)	Radij (m)	Dolžina nivelete (m)	Nagib nivelete (‰)	Razlika nagibov (‰)
0	573+599.888	297,500	0	587,973	0,000	
1	574+187.861	297,500	0	125,072	-1,158	1,158
2	574+312.932	297,105	0	127,567	-1,325	0,167
3	574+440.499	296,936	0	187,614	-1,258	0,067
4	574+628.113	296,700	0	782,087	-0,563	0,695
5	575+410.200	296,260	0	1200,300	-1,508	0,945
6	576+610.500	294,450	0	897,160	-0,557	0,951
7	577+507.660	293,950	0	649,140	-0,169	0,388
8	578+156.800	293,840	0	743,200	-0,525	0,356
9	578+900.000	293,450	0	1000,000	-0,060	0,465
10	579+900.000	293,390	0	600,000	0,000	0,060
11	580+500.000	293,390	0			0,000

5.3.3 Izračun vozne hitrosti, bočnega pospeška in ustreznega nadvišanja

Za natančno določitev vozni hitrosti skozi krivine smo izdelali pripravljeno excelovo datoteko, ki vključuje vse ustrezne enačbe in omejitve, ki jih definira pravilnik o zgornjem ustroju (priloga A). Vse izračune smo naredili za izbrano računsko hitrost 160 km/h. V program smo vstavili ustrezne stacionaže točk elementov, pripadajoče radije krožnih lokov in dolžine prehodnic. Glede na podane parametre program izračuna, kakšna je glede na računsko hitrost vrednost normalnega, minimalnega in izjemnega nadvišanja. Normalno nadvišanje nam je služilo kot oporna točka za določitev novega nadvišanja, ki smo ga vpisali v ustrezno okence.

Program je na podlagi izbranega nadvišanja, računske hitrosti in polmera krožnega loka izračunal dovoljene hitrosti za:

- navadni vlak brez nagibne tehnike (normalno nadvišanje, minimalno nadvišanje, minimalno nadvišanje na šibkih mestih in izjemno nadvišanje),
- vlak z nizkim koeficientom nagiba – lahki vlak,
- vlak z nagibno tehniko.

Ustrezno vrednost nadvišanja smo določili s poizkušanjem, tako da smo dobili ustrezne hitrosti znotraj dovoljenih vrednosti bočnih pospeškov. Tako smo dobili nove najvišje dovoljene hitrosti v krivinah, iz katerih smo nato določili tabelo novih vozni hitrosti in izračunali pripadajoče bočne pospeške (preglednica 12).

Preglednica 12: Določitev polmerov krožnih lokov in pripadajočega nadvišanja
Table 12: Determination of radius and its superelevations

DESNI TIR									
Polmer krožnega loka	Dolžina prve preho.	Dolžina druge preho.	Nadvišanje	Navadni vlak		Lahki vlak		Nagibni vlak	
R (m)	L1 (m)	L2 (m)	h (mm)	V1 (km/h)	b1 (m/s ²)	V2 (km/h)	b2 (m/s ²)	V3 (km/h)	b3 (m/s ²)
1915	110	110	55	120	0,22	160	0,67	160	0,67
2006	102	102	80	120	0,03	160	0,46	160	0,46
LEVI TIR									
Polmer krožnega loka	Dolžina prve preho.	Dolžina druge preho.	Nadvišanje	Navadni vlak		Lahki vlak		Nagibni vlak	
R (m)	L1 (m)	L2 (m)	h (mm)	V1 (km/h)	b1 (m/s ²)	V2 (km/h)	b2 (m/s ²)	V3 (km/h)	b3 (m/s ²)
1907	110	110	55	120	0,22	160	0,67	160	0,67
2000	102	102	80	120	0,03	160	0,46	160	0,46

5.3.4 Kontrola prehodnic in prehodnih klančin

Po pravilniku smo preverili ustreznost parametrov prehodnih elementov, ki temeljijo na izbranem nadvišanju. Dolžina prehodnice in prehodne klančine morata sovpadati po vsej svoji dolžini. Normalni nagib prehodne klančine pri novogradnjah in nadgradnjah v normalnih terenskih razmerah znaša:

$$1:n = 1:10 \cdot V_{max}$$

$$1:n = 1:10 \cdot 160 \text{ km/h} = 1:1600$$

Normalna dolžina prehodne klančine je določena z enačbo:

$$L_n = \frac{10 \cdot V_{max} \cdot h}{1000}$$

Preglednica 13: Kontrola dolžin prehodnic in prehodnih klančin

Table 13: The length control of horizontal and vertical transition curves

DESNI TIR						
Polmer krožnega loka	Dolžina prve prehodnice	Dolžina druge prehodnice	Nadvišanje	Vozna hitrost	Normalna dolžina prehodne klančine	Minimalna dolžina prehodne klančine
R (m)	L1 (m)	L2 (m)	h (mm)	V_{max} (km/h)	L_n (m)	L_n (m)
1915	110	110	55	160	88,00	70,40
2006	102	102	80	160	128,00	102,00
LEVI TIR						
Polmer krožnega loka	Dolžina prve prehodnice	Dolžina druge prehodnice	Nadvišanje	Vozna hitrost	Normalna dolžina klančine	Minimalna dolžina prehodne klančine
R (m)	L1 (m)	L2 (m)	h (mm)	V_{max} (km/h)	L_n (m)	L_n (m)
1907	110	110	55	160	88,00	70,40
2000	102	102	80	160	128,00	102,00

Iz preglednice 13 lahko razberemo, da dolžine prehodnic oziroma prehodnih klančin ustrezajo pogoju minimalne dolžine.

5.4 Izdelava informacijskega 3D modela projektiranega stanja

Ko je bil določen končen potek osi in nivelete ter določeni in urejeni vsi prečni profili, je sledila izdelava 3D solid modela. Projektiranje je do tu praktično še vedno potekalo v 2D. Izdelani so bili 3D elementi, ki so predmet obravnavanega projekta. Za modeliranje elementov je bila uporabljena programska oprema Civil3D, Revit, Sewer+ in ViaBIM. Določeni elementi so bili v 3D modelirani avtomatsko s programom ViaBIM (železniško telo), ostale elemente pa je bilo potrebno modelirati ročno. Gre za posamezne elemente in detajle, ki tvorijo komponente. Te komponente so del modelov, ki na koncu tvorijo zbirni model. Vsi elementi so opremljeni z atributnimi podatki. Shema strukture modelov je prikazana v prilogi B.

Zbirni model je v osnovi razdeljen na šest delnih modelov, ki vsebujejo posamezne komponente, elemente in detajle. Delni modeli so:

- model zgornjega ustroja (ZGU),
- model spodnjega ustroja (SPU),
- model vozne mreže (VZM),
- model protihrupne ograje (PHO),
- model prepustov (PRE),
- model odvodnjavanja (ODV) in
- model postajališč (POS).

Za potrebe poimenovanja modelov in klasifikacijskih atributov smo pripravili šifrant poimenovanj, prikazan v preglednici 14:

Preglednica 14: Šifrant poimenovanj

Table 14: Code list

Projekt	Sistem	Sifra	Podsistem	Sifra	Komponente	Sifra	Element
BRPR	OdprtiOdsek	OO	TirneNaprave	TIN	ZgornjiUstroj	ZGU	ime posameznega tipa elementa
					SpodnjiUstroj	SPU	
			VoznaMreza	VZM	VoznaMreza	VZM	
			Odvodnjavanje	ODV	Odvodnjavanje	ODV	
			Objekti	OBJ	Postajalisce	POS	
					ProtihrupnaOgraja	PHO	
					Prepusti	PRE	

Delni modeli so poimenovani glede na sistem, podsistem in komponento ter pripadajočo šifro, na katero se nanašajo. Na koncu imena se s trimestnim številom zapiše tudi različica modela, začenši z 001. Modeli so poimenovani so po sledečem ključu:

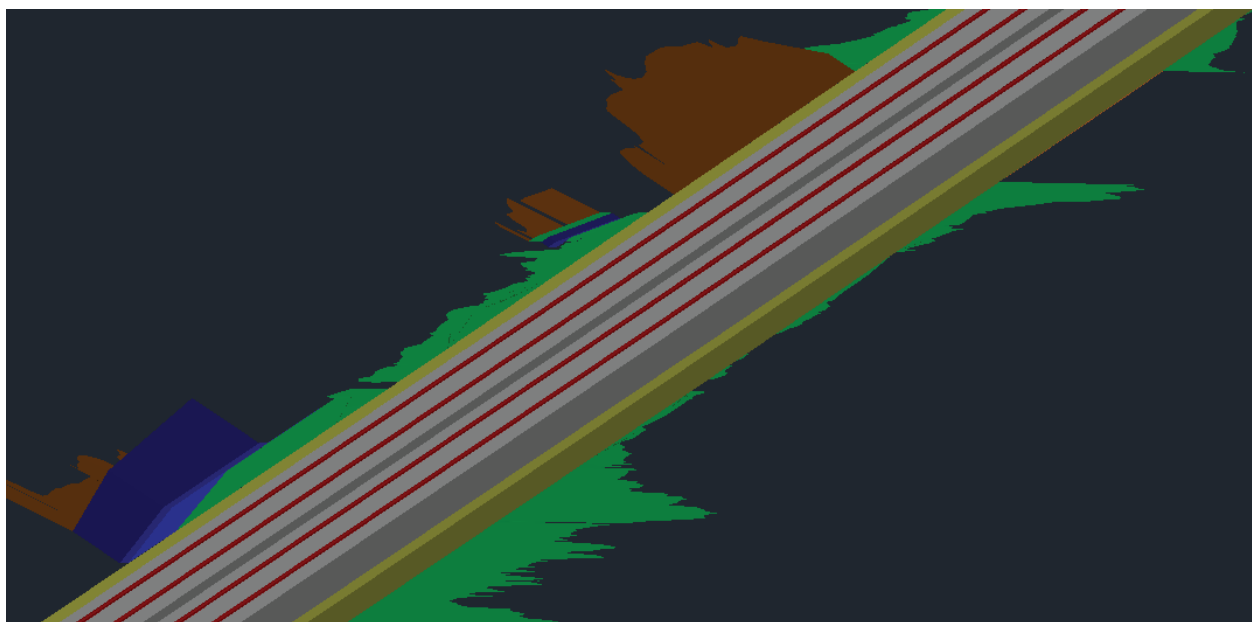
Projekt_Sistem_Podsistem_Komponenta_Različica

Tako je na primer prva verzija modela zgornjega ustroja poimenovana: BRPR_OO_TIN_ZGU_001.

5.4.1 3D model zgornjega in spodnjega ustroja

3D Model železniškega telesa (tirnice, tirna greda, tampon in brežine) je izdelan s programom ViaBIM. Program ustvari »solid« modele tako, da med seboj poveže konture posameznih istih elementov na navideznih presekih. Število navideznih presekov na odseku je odvisno od razdalje med njimi, ki jo podamo programu. Manjši korak izberemo, bolj natančen bo »solid« model in obratno. Izbran je bil korak dolžine 1 m. S tem bo natančnost modela še vedno zelo dobra. Zmanjšal pa se je čas izračuna, ki ga program porabi za izdelavo 3D modela železniškega telesa.

Model železniškega telesa je razdeljen na **model zgornjega ustroja (ZGU)**, kamor spadajo tirnice, tirna greda in tampon ter na **model spodnjega ustroja (SPU)**. Slednji model vsebuje elemente vkopa, nasipa in jarkov.



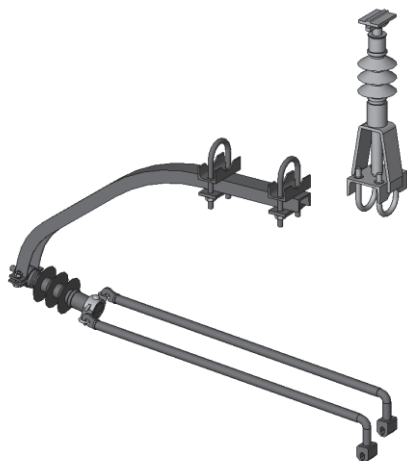
Slika 38: 3D model zgornjega in spodnjega ustroja

Figure 38: Substructure and superstructure 3D model

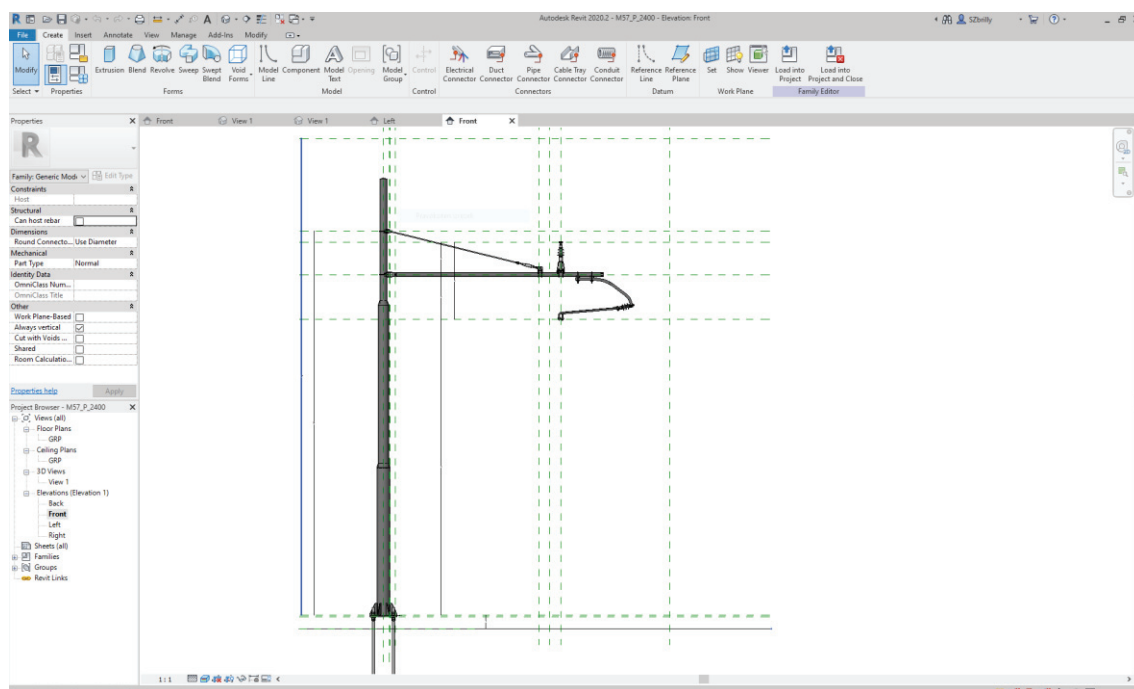
5.4.2 Model vozne mreže

Za izdelavo posameznih elementov modela vozne mreže je bila v osnovi uporabljena programska oprema Revit, ki nudi parametrično modeliranje. Na podlagi 2D risb so bili izdelani in sestavljeni detajlni 3D modeli posameznih elementov.

Slika 39 prikazuje detajlni element poligonacijskega lakta z izolatorjem, ki je sestavni del 3D modela droga vozne mreže, prikazanega na sliki 40.



Slika 39: 3D model poligonacijskih ročic in izolatorja
Figure 39: 3D model of steady arm and insulator

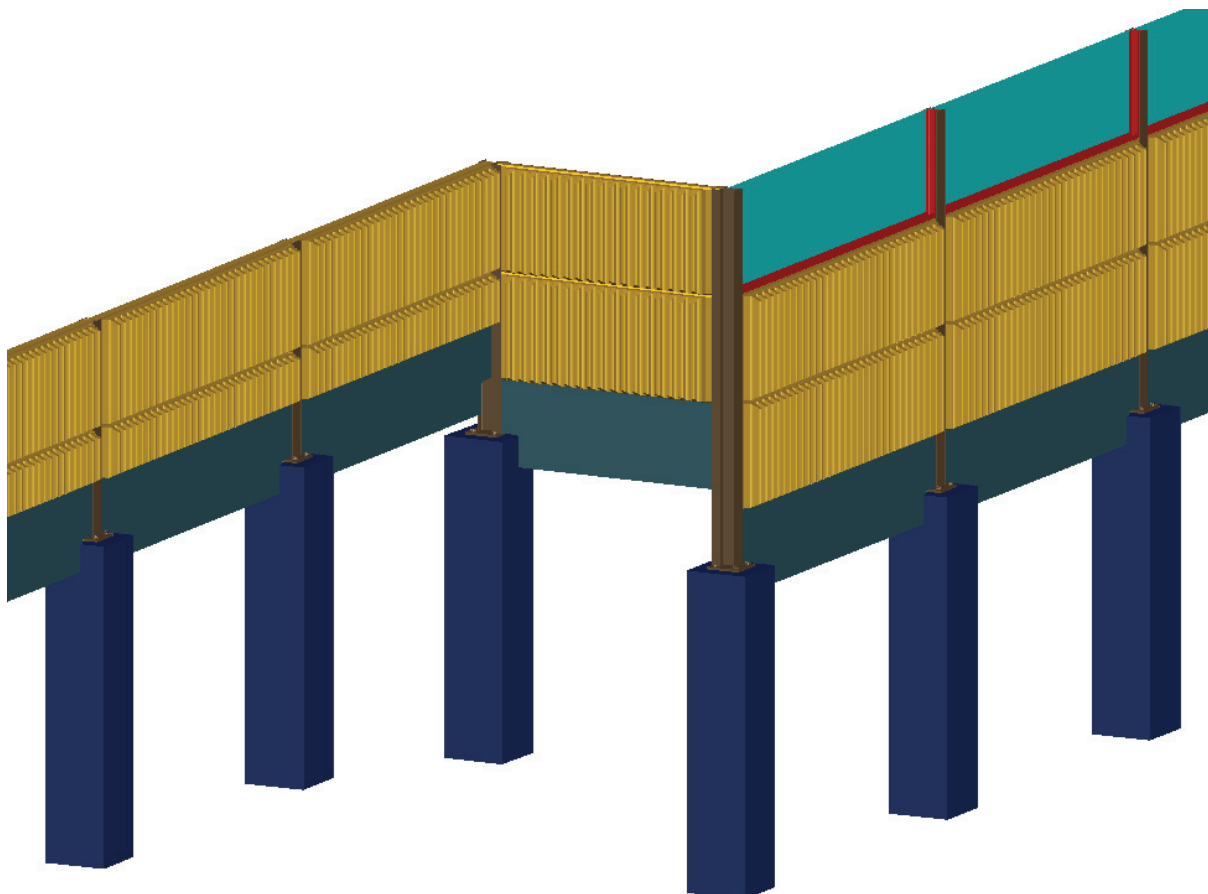


Slika 40: 3D model droga vozne mreže
Figure 40: 3D model of catenary mast

Parametrično modeliranje nam je omogočilo hitro izdelavo različnih tipov stebrov, konzol in temeljev, saj smo njihove dimenzije spreminjali z vnašanjem parametrov. Tako smo prihranili ogromno časa in hitro sestavili posamezne kombinacije elementov. Programska oprema Revit omogoča izvoz v obliko zapisa s končnico .dwg. Tako smo izvožene sestavljene stebre na pravilne pozicije postavili v programu Civil3D. Koordinate drogov so posredovali projektanti vozne mreže. Nato smo s pomočjo programske opreme Excel, koordinatam dodali še Z koordinato. Pri tem smo upoštevali tudi popravke zaradi nadvišanja v krivinah. S kombinacijo programa Civil3D in Excel smo v prostor postavili stebre vzdolž celotne trase.

5.4.3 Model protihrupne ograje

Model protihrupne ograje je v celoti izdelan s programsko opremo Civil3D. Z enostavnimi operacijami, kot sta združevanje in odštevanje »solid« elementov, smo z lahkoto kreirali zapleteno 3D geometrijo protihrupne ograje.

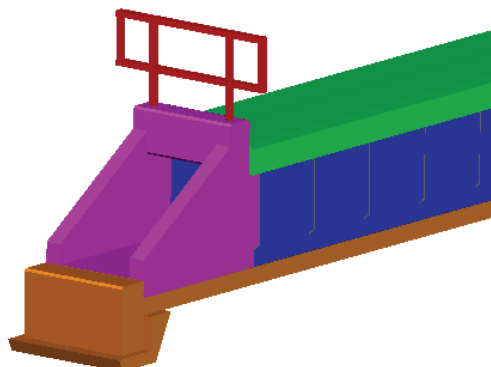


Slika 41: 3D model protihrupne ograje
Figure 41: 3D model of noise barrier

Pozicijo protihrupne ograje v situaciji in njeno višino na posameznem delu je določil izdelovalec študije hrupa. Pri postavljanju komponent protihrupne ograje v prostor smo uporabili enako metodo kot pri vozni mreži. Pri višinski postavitvi protihrupne ograje smo morali upoštevati novo stanje terena, da ne bi bila ograja postavljena previsoko oziroma prenizko. Točke, kjer stojijo stebri, smo projicirali na teren in tako pridobili višinske koordinate. Te smo nato nekoliko korigirali, da smo zagotovili enakomeren padec oziroma dvig protihrupne ograje.

5.4.4 Model prepustov

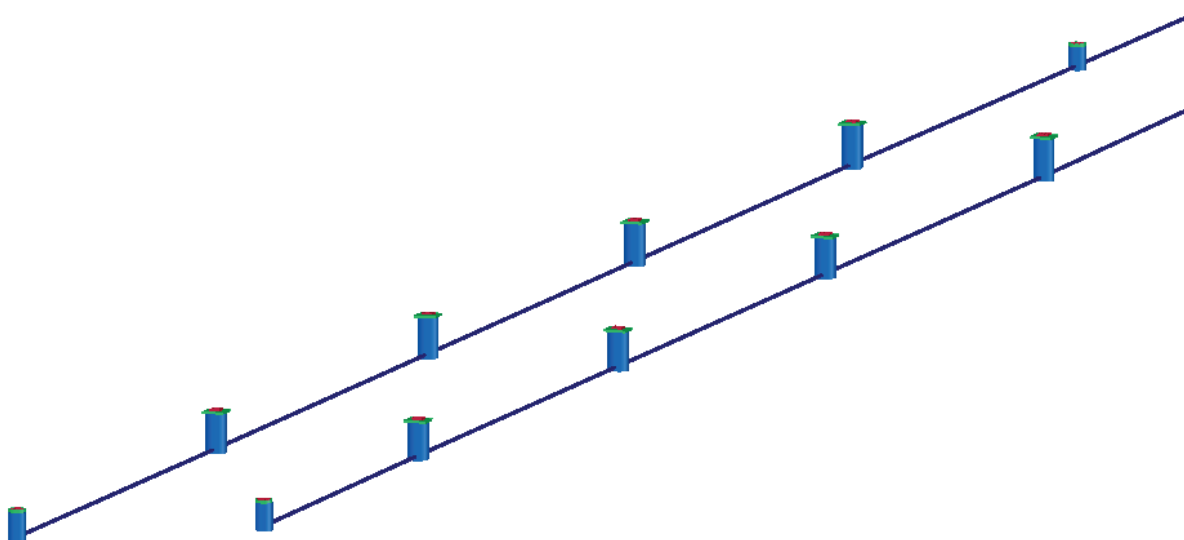
Prepusti so sestavljeni iz prefabriciranih metrskih elementov, vtočnih in iztočnih glav, podložnega betona in ograje (Slika 42).



Slika 42: 3D model prepusta
Figure 42: 3D model of culvert

5.4.5 Model odvodnjavanja

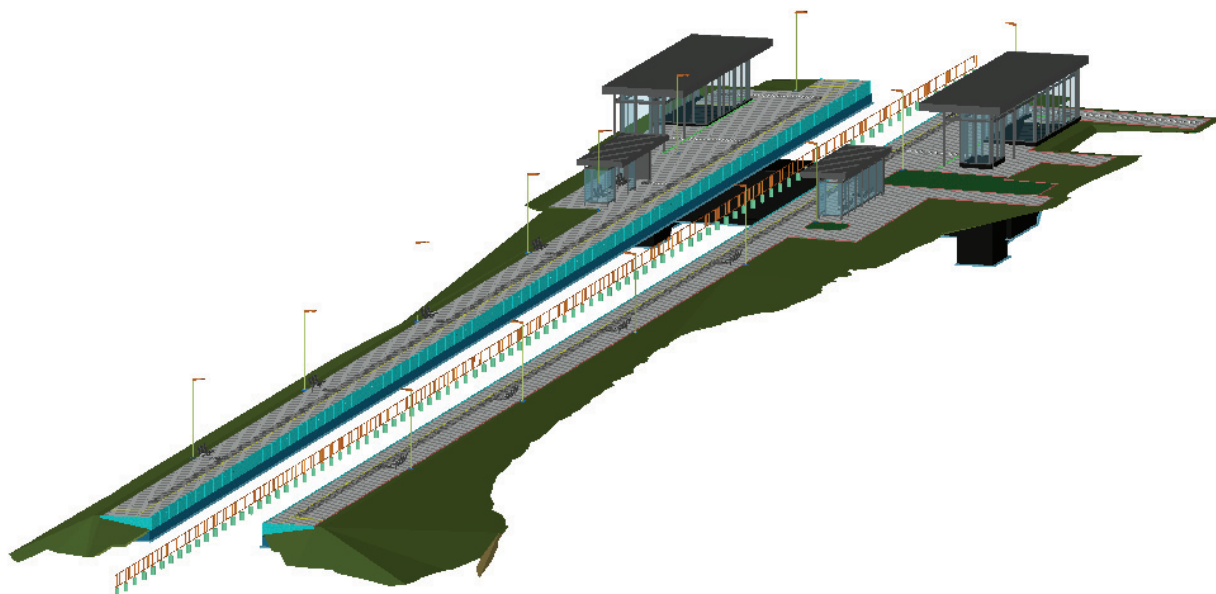
Model odvodnje tira in peronov smo naredili s programom Sewer+. Program uporablja enako logiko načrtovanja osi kot ViaBIM. Najprej določimo horizontalen potek osi, nato pa v vzdolžnih profilih določimo višinski potek nivelete in vertikalne lome. Program vsakemu lomu avtomatsko pripiše element jaška, ki ga lahko tudi odstranimo. Poljubno lahko določimo vrste in velikosti cevi, dimenzije jaškov in pokrovov, materiale ter višinske kote.



Slika 43: 3D model odvodnjavanja
Figure 43: 3D model of drainage

5.4.6 Model postajališč

Model perona in njegove okolice sestoji iz velikega števila posameznih elementov. Sestavne elemente smo modelirali v programu Civil3D in Revit. Oddaljenost robu perona od osi tira in njegova višina sta na posameznem delu perona točno določeni z izračunom. Z nadvišanjem tira se ti dve vrednosti spreminjata. Elemente smo na pravilne pozicije postavili in združili v programu Civil3D.



Slika 44: 3D model postajališča

Figure 44: 3D model of railway platform

5.5 Skupine atributov

V tej fazi smo vsem elementom pripisali attribute. Atributi, ki naj bi jih elementi vsebovali, globalno še niso določeni. V razvoju je sicer standard IFC Rail, ki vsebuje priporočila glede definiranja atributov. Seveda pa lahko definiramo katerikoli atribut. Zato bi moral upravljalec železniške infrastrukture na državnem nivoju razviti in določiti bazo podatkov, ki jim koristijo in jih uporabljajo. Tako bi bili projektanti železniške infrastrukture poenoteni glede atributov, ki jih morajo vsebovati elementi.

Ker še ni določeno, katere attribute naj posamezni elementi oziroma modeli vsebujejo, smo jih za elemente zgornjega in spodnjega ustroja pripravili sami na podlagi parametrov iz preglednice 4 in 5. Pri izvozu v IFC, morajo biti vsi projektni atributi zbrani v različnih skupinah atributov (»Property-Set«). Tako je iskanje in pregledovanje atributov v modelih enostavnejše.

V splošnem element vsebuje tri skupine atributov:

- klasifikacijski atributi (BRPR_Klasifikacija),
- lokacijski atributi (BRPR_Lokacija) in
- atributi za posamezne tipe elementov (BRPR_Atributi).

Imena atributov pišemo brez presledkov, z malimi tiskanimi črkami in brez šumnikov. Vsaka beseda se začne z veliko začetnico (Primer: PeronskiElement).

Vrednost atributa je lahko število ali besedilo. Za pisanje neštevilčnih vrednosti veljajo enaka pravila kot pri poimenovanju atributov. Pomenske dele ločimo z podčrtajem (Primer: C30/37_XC4_PV1_d32)

Klasifikacija. V preglednici 15 so prikazani atributi na primeru elementa tirnice, ki jih vsebuje atributna skupina **BRPR_klasifikacija**. Prva dva atributa, ki nosita informacijo o imenu projekta in vrsti odseka, se v našem primeru ne spreminjata in sta za vse elemente enaka. Ostali trije atributi se spreminjajo v odvisnosti, na kateri element, komponento oziroma podsistem se nanašajo.

Preglednica 15: Klasifikacija

Table 15: Classification

BRPR_Klasifikacija	Atribut	Vnos
	Projekt:	BRPR
	Sistem:	OdpriOdsek
	Podsistem:	TirneNaprave
	Komponenta:	ZGU
	Element:	Tirnica

Lokacija. Lokacijski atributi **BRPR_Lokacija** vsebujejo podatek, na katerem delu trase se element nahaja. To je začetek in konec stacionaže.

Elementi. Skupina **BRPR_Atributi** vsebuje attribute, ki se nanašajo na element, ki je zapisan v zadnjem stolpcu v preglednici 14 na strani 73. Vsak posamezen element ima določene svoje attribute, ki se nanašajo na dimenzije, prostornine, površine, materiale, tipe in še bi lahko našteval. Attribute smo s funkcijo »Define PropertySets« definirali in pripisali elementom v programu Civil3D.

Slika 45 prikazuje primer definiranih atributov, ki smo jih pripisali tamponu na odseku od stacionaže 574+500.000 m do stacionaže 574+600.000 m. Program nam omogoča, da vrednosti določenih atributov (prostornine, površine, itd.), določimo avtomatsko s predloženimi funkcijami. Funkcije pa lahko določimo in napišemo tudi sami.

PROPERTY SETS	
BRPR_Klasifikacija	
Projekt	BRPR
Sistem	OdpriOdsek
Podsistem	TimeNaprave
Komponenta	ZGU
Element	Izkop
BRPR_Atributi_Tampon	
Debelina_m	0.3
Frakcija_mm	16/32
Nosilnost_MNm2	100
PrecniNagib_%	5
Prostornina_m3	411.16
Zgoscenost_%	98
BRPR_Lokacija	
StacionazaKonec_m	574600.00
StacionazaZacetek_m	574500.00

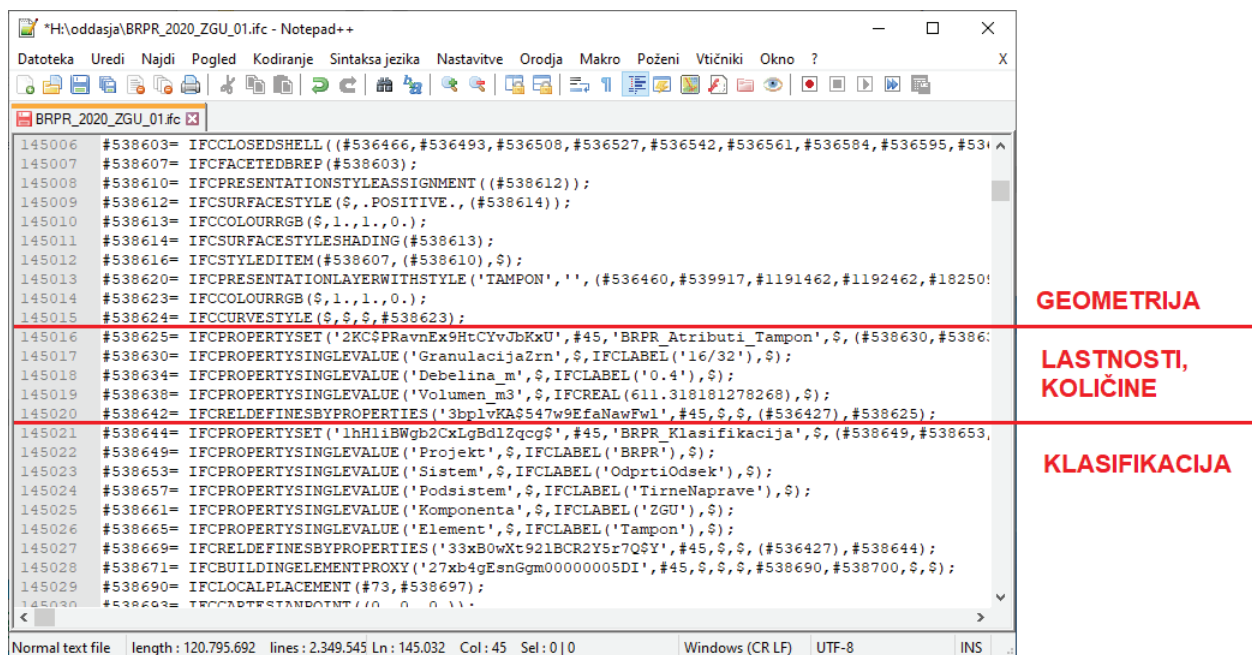
Slika 45: Atributi

Figure 45: Attributes

Za potrebe modelov in elementov smo izdelali atributno tabelo (Priloga C). Vsebuje tri skupine atributov (klasifikacijski atributi, lokacijski atributi in atributi za posamezne tipe elementov). Prikazana so imena vseh uporabljenih atributov, vrsta vnosa (besedilo ali številka), pripadajoča enota in primer vnosa.

5.6 Izmenjava IFC - Navisworks

Ko smo vsem elementom pripisali attribute, smo modele izvozili v IFC. Za združevanje in pregledovanje modelov smo uporabil programsko opremo Navisworks. Elementi imajo namensko različne živahne barve. Tako zagotovimo boljšo preglednost zbirnega modela. Program nam poleg združevanja in pregledovanja omogoča tudi avtomatsko zaznavo kolizij ter izdelavo končnega 5D modela.

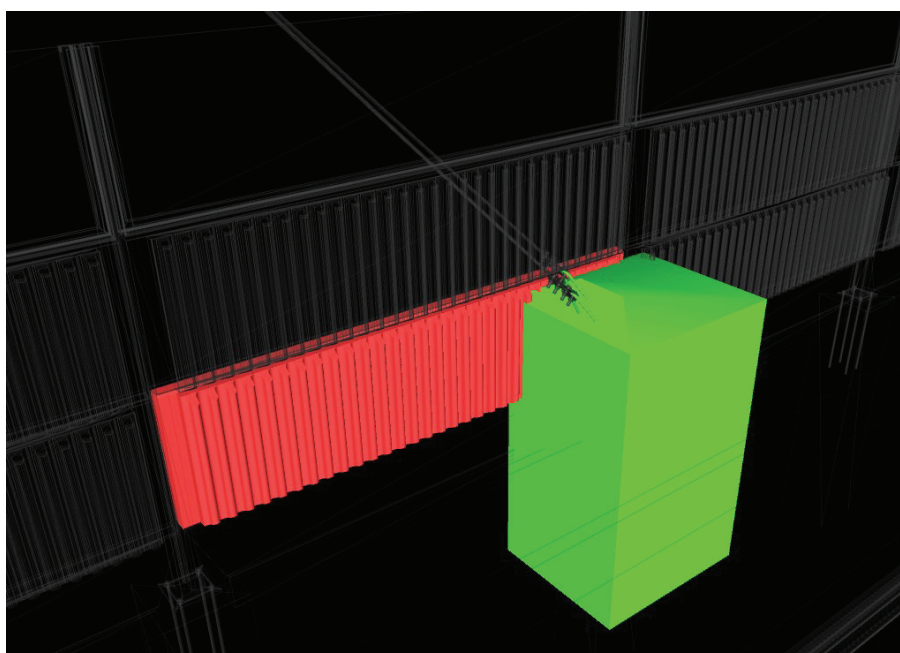


Slika 46: Primer IFC zapisa

Figure 46: Example of IFC file

5.6.1 Kolizije

Z ukazom »Clash Detective« nam program avtomatsko izdela poročilo z vsemi kolizijami, ki jih vsebuje model. Preden zaženemo test, nastavimo parametre, s katerimi določimo, kakšna odstopanja program upošteva in v kolikšni meri. V gradbeništvu praviloma poznamo centimetersko natančnost, zato smo odstopanje nastavili na 0,01 m in zagnali test. Program nam je izpisal in oštevilčil vse kolizije znotraj omejitev, ki smo jih določil. S klikom na posamezno številko iz seznama, program obarva elementa v koliziji.



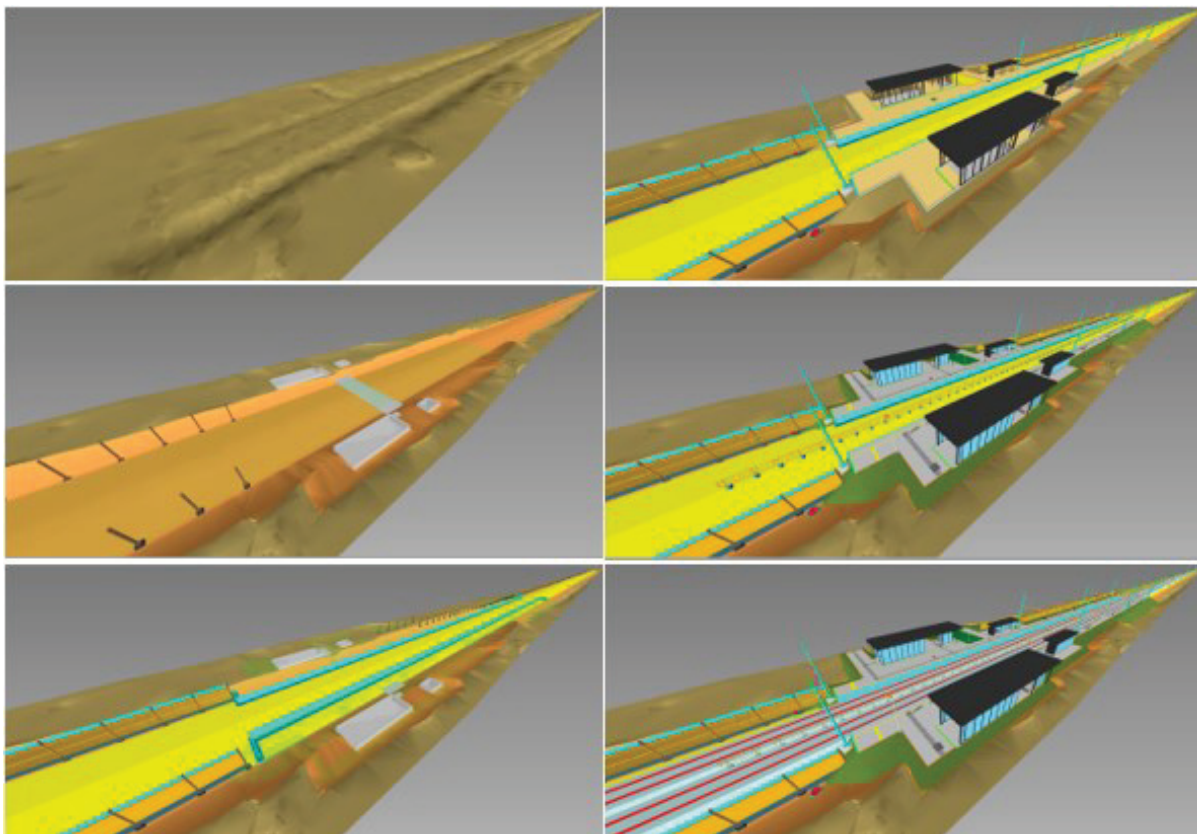
Slika 47: Primer kolizije

Figure 47: Example of collision

Kljub dovoljenim odstopanjem program ne ve, kdaj je elementu dovoljeno biti v koliziji. Predvsem se to navezuje na modele zemeljskih del, ki jih je težavno modelirati. Zato lahko posamezni koliziji spremenimo status. Tako lahko kolizijo, v primeru da ni moteča ali pa je zaradi omejitev pri modeliranju ne moremo opraviti, enostavno odobrimo. Program je tako pri naslednjem testu ne bo zaznal kot napako.

5.6.2 5D model

Zbirni 3D model opremljen z atributi smo v programu Navisworks nadgradili v 4D oziroma 5D model. Za tako nadgradnjo sta potrebna terminski plan in popis gradbenih del s predračunom. Posameznim elementom ali skupini elementom določimo aktivnosti, ki jih želimo prikazati v simulaciji in njihovo zaporedje. Določimo jim tudi trajanje (planirani začetek/konec, dejanski začetek/konec). To lahko naredimo bodisi z uvozom terminskega plana (npr. Primavera, MS Project) ali uporabimo nekoliko zamudnejše ročno vstavljanje. V našem primeru smo se odločili za ročno vstavljanje. Aktivnostim smo določili še strošek dela in materiala. Tako dobimo končni 5D model. Ko zaženemo simulacijo, se elementi grafično prikazujejo, tako kot smo jim določil aktivnosti in njihovo zaporedje. Hkrati se v realnem času prikazuje tudi napredek gradnje v odstotkih, število dni od začetka gradnje in trenutni stroški.



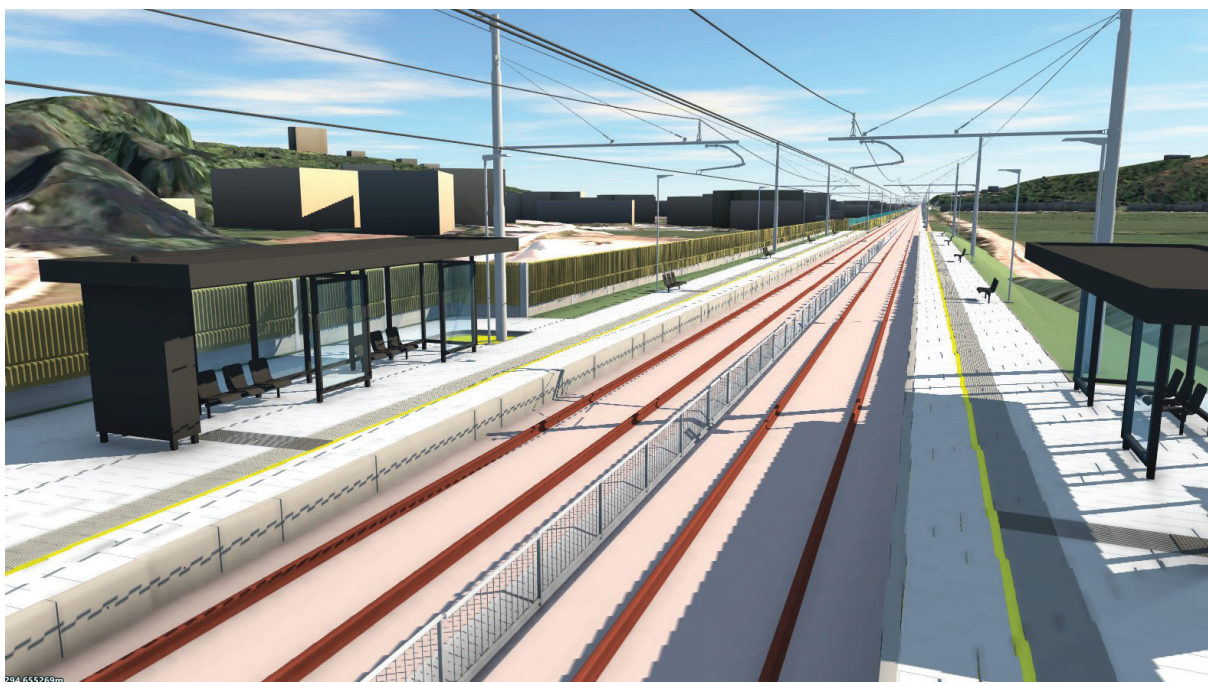
Slika 48: 5D model

Figure 48: 5D model

Bolj ko je model razčlenjen, boljše in natančnejšo 5D simulacijo lahko naredimo. Za dobro simulacijo je idealno, da se razčlenitev modela čim bolj ujema z postavkami iz popisa del in predračuna. Taka simulacija zelo podrobno prikaže časovni potek gradnje in stroške, vendar pa je sama izdelava počasna in zamudna.

5.6.3 Vizualizacija

Model obstoječega stanja, ki smo ga izdelali v programu Infraworks, smo na koncu nadgradili z izdelanimi 3D modeli. V program smo uvozili že pripravljene IFC datoteke delnih modelov. in izdelali animacijo preleta trase (Slika 49), katero bi lahko uporabili pri predstavitvi projekta širši javnosti.



Slika 49: Vizualizacija v programu Infraworks

Figure 49: Visualization in Infraworks

6 ZAKLJUČEK

6.1 Pregled opravljenega dela

V magistrskem delu sem raziskal, opisal in prikazal uporabo pristopa BIM v infrastrukturnih projektih, natančneje pri načrtovanju železniške infrastrukture. Med izdelavo sem spoznal procese izdelave BIM projekta ter težave in prednosti, ki nas pripeljejo do končnega izdelka oziroma BIM modela.

V uvodnem delu sem natančneje preučil teoretični del naloge. Glavni dve področji, ki sta predmet gradbene stroke, sta spodnji in zgornji železniški ustroj, kjer je tudi poudarek nadaljnje izdelave BIM modela železniškega odseka Brezovica–Preserje. Definiral sem vse tehnične parametre železniške proge, ki sem jih kasneje uporabil pri projektiranju železniškega odseka Brezovica–Preserje.

Drugi sklop teoretičnega dela se nanaša na projektne informacije. Najprej sem se osredotočil na ključne podatke in informacije, ki so potrebne za izdelavo projekta železniške infrastrukture. Ob pomoči projektantov, preučevanju projektnih nalog in popisov del, sem izluščil ključne podatke, ki naj bi se uporabljali pri načrtovanju, izvedbi in vzdrževanju železniške infrastrukture.

Sledila je obsežna študija pojma BIM, zgodovina in razvoj koncepta ter implementacija in zrelost pristopa BIM. Stopnja podrobnosti informacijskega modela narašča po fazah, skozi katere se posamezni elementi razvijajo in dopolnjujejo. Model se razvija od preprostega do zelo podrobnega modela. Razvoj in stopnjo podrobnosti informacijskega modela sem prikazal na primeru tira. Vsaka stvar ima svoje prednosti in na žalost tudi slabosti. Zato sem ugotavljal, kakšne prednosti nam prinaša uvedba pristopa BIM v železniški infrastrukturi ter njegove (trenutne) šibke točke in vrzeli, ki jih moramo še premostiti. Ključni vidik BIM-a je interoperabilnost. Izmenjava podatkov med različnimi programskimi opremami mora potekati hitro in natančno. Organizacija BuildingSMART je v sodelovanju z drugimi institucijami vodilna v razvoju in implementaciji BIM standardov. Standardi za izmenjavo se vseskozi dopolnjujejo in izboljšujejo. Lahko rečemo, da so na področju visokih gradenj ti kar visoko razviti. Nekoliko drugače je na infrastrukturnem področju. Tu so standardi še v povojih, kljub temu je v zadnjih letih viden ogromen napredek pri njihovem razvoju.

Pridobljeno teoretično znanje sem prikazal na primeru železniškega odseka Brezovica–Preserje. Ker gre za nadgradnjo odseka, smo pri projektiranju veliko bolj omejeni kot, če bi projektirali novo traso. Zato sem najprej pridobil podatke dejanskega stanja v prostoru (tir, objekti, kataster itd.) in izdelal 3D informacijski model za boljšo predstavbo. Glavni cilj nadgradnje je bil doseči projektno hitrost 160 km/h. Na podlagi zahtev, ki jih določajo tehnični parametri in pravilniki, sem projektiral nov potek osi tira in celotnega železniškega telesa. Na koncu je sledila kontrola vseh izračunanih parametrov. Ko so bili parametri ustrezni, je sledila izdelava 3D informacijskega modela. 3D elemente sem modeliral in jih smiselno združil v delne modele. Za modeliranje sem porabil programsko opremo podjetja Autodesk (Revit, Civil3D).

Sledila je definicija in pripis atributov posameznim elementom. Na koncu sem naredil izvoz v IFC format. V programu Navisworks sem delne modele združil v zbirni model in na koncu izdelal 5D model (terminski plan in stroški).

Izpolnjeni so vsi predhodno zastavljeni cilji. Tekom izdelave sem preučil ogromno literature, ki obravnava informacijsko modeliranje s poudarkom na železniški infrastrukturi. BIM je zelo širok pojem in kaj hitro lahko zaviješ z začrtane poti. V delu sem skušal čim bolj prikazati celoten proces izdelave informacijskega modela železniške infrastrukture. Infrastrukturni projekti so v splošnem veliki in zahtevajo sodelovanje več strok, kjer različni inženirji projektirajo in obdelujejo vsak svoj del, za katerega so pristojni. Zato so določene zadeve v modelu le nakazane in niso izdelane v celoti. Poleg tega veliko stvari glede pristopa BIM v tej panogi še ni natančno definiranih. Ker se je pristop BIM začel uvajati tudi v Sloveniji, je magistrsko delo odlična osnova za nadaljnje raziskovanje in izpopolnjevanje pristopa BIM na področju železniške infrastrukture.

6.2 Ugotovitve

Bim lahko bistveno pripomore k boljši komunikaciji pri projektiranju infrastrukture. Čeprav pristop BIM prinaša veliko koristi, sem se tekom procesa izdelave informacijskega modela srečal s številnimi težavami in omejitvami. V nadaljevanju bodo predstavljene prednosti in slabosti, ki sem jih osebno zaznal pri izdelavi informacijskega modela.

Časovni prihranek. Pristop BIM nam prinaša tudi parametrični pristop projektiranja oziroma oblikovanja elementov. Projektant ima s takim pristopom popoln nadzor nad posameznimi parametri določenega elementa. Koristi parametrizacije sem občutil pri projektiranju osi, nivelete in prečnih profilov. Vsi ti elementi so v tesni medsebojni odvisnosti. S spremembo parametrov enega elementa vplivamo na ostala dva. Vsi elementi se torej z vnosom določenih sprememb takoj posodobijo. To se pozna na velikem časovnem prihranku, ker nam sprememb ni več potrebno popravljati ročno. Enako velja tudi za projektiranje drugih elementov.

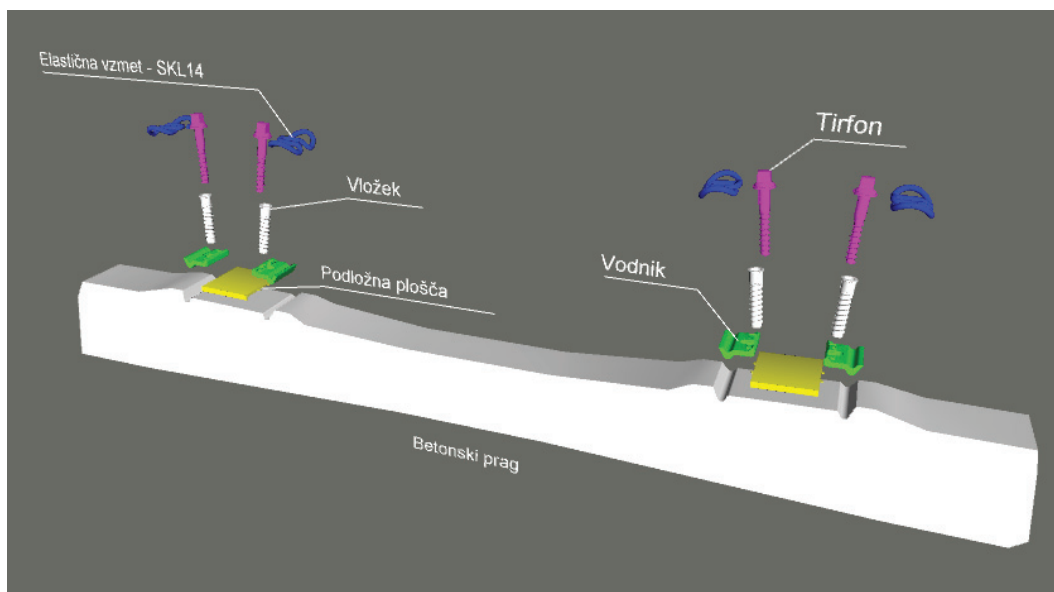
Odkrivanje kolizij. Sodelovanje velikega števila strok in velikost projekta privede do neskladij in kolizij. S pomočjo namenskih programskih orodij sem naredil analizo kolizij zbirnega modela. Odkril sem številne nepravilnosti, ki jih s klasičnim projektiranjem verjetno ne bi odkril. Nepravilnosti bi se pri klasičnem projektiranju pokazale in reševale med izvedbo projekta. Tako sem odkril, da so betonska sidra vozne mreže v koliziji s protihrupno ograjo. Odprava težave med izvedbo projekta bi pripeljala do dodatnih stroškov in zamud.

Količine in podatki. Iz modela hitro dobimo količine, ki so potrebne za popis del. Predvsem prihranimo veliko časa pri količinah, ki se nanašajo na zemeljska dela. Prostornin in površin nam ni več potrebno določiti ročno s planimetriranjem prečnih profilov. Poleg tega se ob morebitnih spremembah količine avtomatsko posodobijo.

Simulacija in vizualizacija. Z uvozom terminskega plana in stroškov naredimo simulacijo gradnje, ki prikazuje aktivnosti in z njimi povezane stroške v realnem času. Sama vizualizacija pa je odlična za prikaz načrtovanega projekta širši laični javnosti.

Procesiranje terenskih podatkov. Današnja tehnologija nam omogoča lahek dostop do terenskih podatkov z visoko natančnostjo. Govorimo o oblaku točk, ki predstavljajo teren. Vsaka taka točka nosi podatek o njeni poziciji v prostoru. Bistvo infrastrukturnega projekta je ravno njegova interakcija s terenom. Običajno so projekti železniških odsekov dolgi nekaj 100 metrov ali kilometrov, kar vpliva tudi na izbiro večjega območja terenskih podatkov. Opravka imamo z enormnimi količinami terenskih podatkov, kar zahteva večje procesorske moči za normalno delo. Delno lahko težavo odpravimo s poenostavitvijo terena, s katero posledično izgubimo določeno natančnost. Izguba natančnosti je odvisna od razgibanosti terena. Tako bo na primer napaka pri poenostavitvi ravnega terena veliko manjša kot pri razgibanem hribovitem/goratem terenu. Druga varianta, ki sem jo tudi sam uporabil, je razdelitev na manjše odseke, v mojem primeru dolžine 100 m. Čeprav na tak način ohranimo natančnost izvornega terena, si delamo dodatno delo, ker dobimo večje število kosov terena.

Izvoz zapletene geometrije v IFC. Za potrebe BIM modela sem detajlno zmodeliral železniški prag vključno s pritrditvenim priborom. Pragi so vzdolž tira razporejeni na vsakih 60 cm. Pri izvozu modela pragov v IFC format sem naletel na težavo. Zaradi prezapletene geometrije in velikega števila elementov program izvoza ni uspel narediti.



Slika 50: 3D model betonskega praga
Figure 50: 3D model of concrete sleeper

Kljub odstranitvi pritrdilnega pribora mi še vedno ni uspelo narediti IFC datoteke. Temu je botrovalo veliko število elementov (cca. 10000 pragov/tir). Izvoz mi je uspel šele, ko sem model razdelil na večje število manjših kosov. Kljub uspehu pa so bile te datoteke zelo velike in popolnoma neprimerne za uporabo. Bolj kot je geometrija zapletena in večje kot je število elementov, bolj je kompleksen zapis v IFC format. Posledično je velikost datoteke velika. Zaradi te izkušnje sem model pragov v zbirnem modelu izpustil.

6.2.1 Nadaljnje delo s pristopom BIM v železniški infrastrukturi

Če se orientiramo po Bew-Richardsovem modelu stopnje zrelosti pristopa BIM, menim, da se trenutno nahajamo nekje na prehodu med 1. in 2. stopnjo. Kljub temu, da večina dela še vedno poteka v 2D CAD tehnologiji, je opazna vztrajna rast uporabe pristopa BIM. Primer implementacije pristopa BIM v slovenski prostor je projekt drugega železniškega tira Divača–Koper.

Velika težava pri izdelovanju informacijskega modela so podatki. Pri izdelavi modela sem se velikokrat spraševal, kateri podatki so zares pomembni in uporabni za kvaliteten informacijski model železniške infrastrukture in katere podatke bo izvajalec oziroma upravljalec uporabljal. Pomembno je, da imamo podatke, ki jih potrebujemo, in imamo od njih koristi. Menim, da bi se morala na državnem nivoju vzpostaviti standardna baza podatkov, ki bi bila projektantom na voljo pri izdelavi informacijskih modelov. Ta naj bi bila obvezujoča za vse projektante. Tako ne bi prihajalo do dilem, kateri podatek naj posamezni element vsebuje.

Stopnjo določenosti informacijskega modela določi naročnik projekta. Tu se je potrebno vprašati, ali je potrebno vse elemente modelirati na istem nivoju. Primer so pragi, ki sem jih detajlno zmodeliral in jih na koncu zaradi kompleksnosti nisem uporabil. Menim, da bi bilo bolj smiselno modelirati enostavno klado, ki bi ji poleg karakteristik praga pripisal tudi potrebne podatke o pritrdilnem priboru. Seveda model izgleda lepše z dodelanimi detajli, vendar geometrija ni bistvenega pomena informacijskega modeliranja. Lahko rečemo, da je nekakšen stranski produkt za boljšo predstavo in izdelavo dobre vizualizacije, ki jo predstavimo javnosti.

BIM način projektiranja se je kljub pomankljivostim, ki jih (trenutno) vsebuje, izkazal za zelo uporabnega. Gre za popolnoma drugačno filozofijo projektiranja, kot je klasično CAD načrtovanje, ki jo je potrebno postopoma osvojiti. Razne organizacije skrbijo za stalno izboljševanje standardov, izmenjavo podatkov in odpravo pomanjkljivosti. Programska oprema se ves čas nadgrajuje. S tem postaja pristop BIM vsak dan kvalitetnejši in zanesljivejši. Tako bomo lahko projekt optimizirali in izključili vse napake in nepravilnosti, ki bi se lahko pojavile.

»Ta stran je namenoma prazna«

VIRI

- [1] Zgonc, B. 1996. Železnice I. Projektiranje, gradnja in vzdrževanje prog. [Univerzitetni učbenik]. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 204 str.
- [2] Odločba št. 1692/96/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. julija 1996 o smernicah Skupnosti za razvoj vseevropskega prometnega omrežja. Uradni list EU št. 1692/96/ES/1996: 364-466.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:31996D1692&qid=1474454558980&from=SL>
(Pridobljeno 8. 3. 2019.)
- [3] Uredba Evropskega parlamenta in sveta o smernicah Unije za razvoj vseevropskega prometnega omrežja. Bruselj
<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0650:FIN:SL:PDF>
(Pridobljeno 8. 3. 2019.)
- [4] Evropska komisija. 2013. Nova politika EU za prometno infrastrukturo – ozadje. Bruselj: 1-7.
[http://europa.eu/rapid/press-release MEMO-13-897 sl.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-13-897_sl.htm) (Pridobljeno 8. 3. 2019.)
- [5] Slovenske železnice. Predpisi.
<https://www.slo-zeleznice.si/sl/infrastruktura/osebna-izkaznica/predpisi>
(Pridobljeno 11. 3. 2019.)
- [6] DIREKTIVA (EU) 2016/797 EVROPSKEGA PARLAMENTA IN SVETA z dne 11. maja 2016 o interoperabilnosti železniškega Sistema v Evropski uniji. Uradni list EU št. 138/2016
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=OJ:JOL_2016_138_R_0002&from=SL
(Pridobljeno 8. 3. 2019.)
- [7] Vozel, Đ. 2016. Proces projektiranja železniške infrastrukture do pridobitve pravice za gradnjo. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba Đ. Vozel): 61 str.
- [8] Uredba komisije (EU) št. 1299/2014 z dne 18. novembra 2014 o tehničnih specifikacijah za interoperabilnost v zvezi s podsistemom „infrastruktura“ železniškega sistema v Evropski uniji. Uradni list EU št. 1299/2014.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=OJ:JOL_2014_356_R_0001&from=SL
(Pridobljeno 7. 3. 2019.)
- [9] Zakon o varnosti v železniškem prometu. 2018. Uradni list RS št. 30/18.
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO7529> (Pridobljeno 11. 3. 2019.)
- [10] Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog. Uradni list RS št. 92/10, 38/16 in 30/18 – ZVZeIP-1.
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV8672#>
(Pridobljeno 27. 2. 2019.)

- [11] Pravilnik o spodnjem ustroju železniških prog. Uradni list RS št. 93/13 in 30/18 – ZVZeip-1.
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV11268#>
(Pridobljeno 27. 2. 2019.)
- [14] Zgonc, B. 2012. Železniška infrastruktura. Portorož, Univerza v Ljubljani Fakulteta za pomorstvo in promet: 210 str.
- [15] Pravilnik o podrobnejši vsebini dokumentacije in obrazcih, povezanih z graditvijo objektov. Uradni list RS št. 36/18 in 51/18 – popr.
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV13306>
(Pridobljeno 27. 2. 2019.)
- [14] Škerbec, E. 2019. Projektna dokumentacija po GZ. Osebna komunikacija. (2. 3. 2019.)
- [15] Blejec, J. 2019. Projektna dokumentacija po GZ. Osebna komunikacija. (1. 3. 2019.)
- [16] Ozonzeadi, O. 2018. Governance of Railway Investment Projects (GRIP) application for Thameslink Programme.
<https://uhoun19qey9384ovv24t33c1-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2018/10/GRIP-application.pdf>
(Pridobljeno 8. 3. 2020)
- [17] Nigel Wordsworth. 2019. GRIP (Governance for Railway Investment Projects) process explained.
<https://www.railengineer.co.uk/2019/04/01/grip-governance-for-railway-investment-projects-process-explained/> (Pridobljeno 8. 3. 2020)
- [18] PRAVILNIK o pogojih in postopku za začetek, izvajanje in dokončanje tekočega in investicijskega vzdrževanja ter vzdrževalnih del v javno korist na področju železniške infrastrukture. Uradni list RS št. 82/2006.
<https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2006-01-3572?sop=2006-01-3572> (Pridobljeno 28. 3. 2019.)
- [19] National Institute of Building Sciences. 2013. National BIM Standard - United States. Version 3.
<https://www.nationalbimstandard.org/buildingSMART-alliance-Releases-NBIMS-USVersion-3> (Pridobljeno 28. 3. 2019.)
- [20] ISO 16757-1:2015: Data structures for electronic product catalogues for building services – Part 1: Concepts, architecture and model.
http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=57613
(Pridobljeno 28. 3. 2019.)
- [21] BS 8536:2010: Facility management briefing – Code of practice
<http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030212807>
(Pridobljeno 28. 3. 2019.)

- [22] ISO 29481-1:2010: Building information modelling – Information delivery manual – Part 1: Methodology and format
http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=45501
(Pridobljeno 28. 3. 2019.)
- [23] Ernstrom, B., Hanson, D., Hill, D., Jarboe, J., Kenig, M., Nies, D., Russell, D., Snyder, L., Webster, T. 2010. Associated General Contractors of America. Contractors' Guide to BIM - Edition 2: 68 str.
- [24] Cerovšek, T. 2010. Informacijsko modeliranje zgradb. Gradbeni vestnik. 59, 3: 206–208.
- [25] Autodesk. 2012. A Framework for Implementing a BIM Business Transformation.
http://images.autodesk.com/adsk/files/Autodesk_ProjectTransformer_wp_en.pdf
(Pridobljeno 28. 3. 2019.)
- [26] Pazlar, T. 2008. Preslikave med arhitekturnimi in računskimi aspekti v informacijskih modelih zgradb. Doktorska disertacija, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba T. Pazlar): 246 str.
- [27] Turk, Ž. 1999. Constrains of product modelling approach in buildings. Durability of Building Materials and Components 8: 2776-2787.
- [28] BSI PAS 1192-5:2015: Specification for security-minded building information modelling, digital built environments and smart asset management
<http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030314119>
(Pridobljeno 28. 3. 2019.)
- [29] NBS (2011) National BIM Report March 2011. RIBA Enterprises Ltd.
www.thenbs.com/pdf/bimResearchReport_2011-03.pdf (Pridobljeno 28. 3. 2019.)
- [30] Engelbart, D. C. 1962. Report: Augmenting Human Intellect. Menlo Park CA, Stanford Research Institute: 10 str.
- [31] Latiffi, A. A., Brahim, J., Syazli Fathi, M. 2014. The Development of Building Information Modeling (BIM) Definition. Applied Mechanics and Materials. Vol. 567: 625–630.
https://www.researchgate.net/publication/264993253_The_Development_of_Building_Inform (Pridobljeno 28. 3. 2019.)
- [32] Wong, K. D. A. 2009. Government Roles in implementing Building Information Modelling Systems Comparison between Hong Kong and The United States. Construction innovation. Vol. 11, 1: 61–76.

- [33] Latiffi, A. A. 2013. Building information Modeling (BIM) Application in Malaysia Construction Industry. International Journal of Construction Engineering and Management. Vol. 2, (4A): 1–6.
- [34] BIM Dictionary. 2019. BIM Implementation.
<https://bimdictionary.com/en/bim-implementation/1/> (Pridobljeno 21. 8. 2019.)
- [35] BIM Dictionary. 2013. BIM Stages.
<https://bimdictionary.com/en/bim-readiness/1/> (Pridobljeno 21. 8. 2019.)
- [36] BIM Dictionary. 2019. BIM Capability.
<https://bimdictionary.com/en/bim-capability/1/> (Pridobljeno 21. 8. 2019.)
- [37] BIM Dictionary. 2013. BIM Stages.
<https://www.bimframework.info/2013/12/bim-stages.html> (Pridobljeno 21. 8. 2019.)
- [38] BIM Dictionary. 2019. BIM Maturity.
<https://bimdictionary.com/en/bim-maturity/1/> (Pridobljeno 21. 8. 2019.)
- [39] LockamyIII, A. 2004. The development of a supply chain management process maturity model using the concepts of business process orientation. Supply Chain Management: An International Journal, 9(4): 272–278.
- [40] McCormack, K. 2008. Supply chain maturity and performance in Brazil. Supply Chain Management: An International Journal, 13(4): 272–282.
- [41] BIM ThinkSpace. 2009. EPISODE 13: THE BIM MATURITY INDEX.
<https://www.bimthinkspace.com/2009/12/episode-13-the-bim-maturity-index.html>
(Pridobljeno 23. 8. 2019.)
- [42] Jayasena, H. S. 2013. Assessing the bim maturity in a bim infant industry. The Second World Construction Symposium 2013: Socio-Economic Sustainability in Construction 14 – 15 June 2013, Colombo, Sri Lanka.
http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC26701.pdf (Pridobljeno 23. 8. 2019.)
- [43] BIM+. 2019. Explaining the levels of BIM.
<http://www.bimplus.co.uk/analysis/explaining-levels-bim/> (Pridobljeno 12. 6. 2019.)
- [44] Richards, B. a., "The UK Maturity model," ed, 2008.
https://www.researchgate.net/figure/The-UK-maturity-Model-Bew-Richards-2008_fig3_279293516 (Pridobljeno 12. 6. 2019.)
- [45] theBIMhub. 2017. BIM Maturity Level.
<https://thebimhub.com/2017/07/14/bim-maturity-level/#.XQDVE1wzY-U>
(Pridobljeno 12. 6. 2019.)
- [46] McPartland, R. 2014. BIM Levels explained.
<https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained> (Pridobljeno 12. 6. 2019.)
- [47] Koutsogiannis, A. 2019. Building Information Modeling: The future of construction
<https://geniebelt.com/blog/bim-maturity-levels> (Pridobljeno 12. 6. 2019.)

- [48] Designing Buildings. 2019. BIM maturity model.
https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/BIM_maturity_levels
(Pridobljeno 12. 6. 2019.)
- [49] BIM ThinkSpace. 2008. EPISODE 8: UNDERSTANDING BIM STAGES.
<https://www.bimthinkspace.com/2008/02/the-bim-episode.html>
(Pridobljeno 12. 6. 2019.)
- [50] BIM Community. 2019. BIM adoption around the World.
<https://www.bimcommunity.com/news/load/1086/bim-adoption-around-the-world>
(Pridobljeno 15. 6. 2019.)
- [51] Geospatial World. 2018. BIM adoption around the world: how good are we.
<https://www.geospatialworld.net/article/bim-adoption-around-the-world-how-good-are-we/> (Pridobljeno 15. 6. 2019.)
- [52] Designing Buildings. 2019. Level of detail for BIM.
https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Level_of_detail_for_BIM
(Pridobljeno 20.6.2019.)
- [53] Adams, B. 2017. Levels of Development / Levels of Detail / LOD explained.
<https://www.redstackshop.com.au/levels-of-development-levels-of-detail-lod-explained> (Pridobljeno 20.6.2019.)
- [54] The American Institute of Architects. Leto. G202-2013 Project BIM Protocol.
<https://www.aiacontracts.org/contract-documents/19016-project-bim-protocol>
(Pridobljeno 20.6.2019.)
- [55] BIMForum. 2013. Level of development specification.
<https://bimforum.org/wp-content/uploads/2013/08/2013-LOD-Specification.pdf>
(Pridobljeno 20.6.2019.)
- [56] buildingSMART. 2008. History
<http://www.buildingsmart.org/about/about-buildingsmart/history/>
(Pridobljeno 01.07.2019.)
- [57] buildingSMART. 2017. IFC introduction.
<https://www.buildingsmart.org/about/what-is-openbim/ifc-introduction/>
(Pridobljeno 01.07.2019.)
- [58] Zigurat Global Institute Technology. 2019. IFC and BIM interoperability.
<https://www.e-zigurat.com/blog/en/ifc-and-bim-interoperability/>
(Pridobljeno 01.07.2019.)
- [59] Cerovšek, T. 2005. Informacijski modeli zgradb in standardizacija – Razvoj in uporaba ISO STEP, CIS2 in IFC. Gradbeni vestnik 54, avgust: 190–208.

- [60] Jensen, H. 2015. Industry Foundation Classes - A study of its requested use in Configura.Final thesis. Linköping, Linköping University (samozaložba H. Jensen): 54 str.
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:823919/FULLTEXT01.pdf>
(Pridobljeno 01. 07.2019.)
- [61] The BIM center. 2016. Understanding BIM Data and File formats.
<https://www.thebimcenter.com/2016/04/understanding-bim-data-and-file-formats.html>
(Pridobljeno 02. 07. 2019.)
- [62] Elea iC. 2019. BIM izvedbeni načrt.
- [63] Rail Baltica. 2019. Design Guidelines BIM Manual.
- [64] RailEngineer. 2015. Application of BIM on infrastructure projects.
<https://www.railengineer.co.uk/2015/02/06/application-of-bim-on-infrastructure-projects/> (Pridobljeno: 3. 8. 2019.)
- [65] Building Information Menegment. 2012. The Definition of Job Order Contracting – What is JOC.
<https://buildinginformationmanagement.wordpress.com/category/joc-software/page/3/>
(Pridobljeno: 3. 8. 2019.)
- [66] Strafaci, A. 2010. BIM for road and highway design. PositionIT. 3, 22: 55–57.
<http://www.ee.co.za/wp-content/uploads/legacy/PositionIT%202009/PositionIT%202010/BIM%20for%20road.pdf> (Pridobljeno: 3. 8. 2019.)
- [67] Autodesk. 2011. BIM Solution for Road and Highways.
https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/industries/civil-infrastructure/road-highway-design-infrastructure/Docs/autodesk_roadsandhighways_us_final.pdf
(Pridobljeno: 3. 8. 2019.)
- [68] Mattsson, M., Rodny, M. 2013. BIM in Infrastructure. Using BIM to increase efficiency through the elimination of wasteful activities. Stockholm: KTH.
<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:643659/FULLTEXT01.pdf>
(Pridobljeno: 3. 8. 2019.)
- [69] Systra. 2018. Moving to BIM for railway infrastructure.
https://www.systracanada.com/IMG/pdf/solutions_bim_en.pdf
(Pridobljeno: 3. 8. 2019.)

- [70] Haung, S. F., Chen, C. S., Dzung, R. Y. 2011. Design of Track Alignment Using Building Information Modeling. American Society of Civil Engineers.
<https://ir.nctu.edu.tw/bitstream/11536/15381/1/000298735700010.pdf>
(Pridobljeno: 10. 8. 2019.)
- [71] Huang, M. R. 2007. New era railway engineering. Wen Sheng, Taiwan.
- [72] Saje, S. 2017. Globalna parametrizacija modelov BIM za infrastrukturne objekte. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba S. Saje): 67 str.
<https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=105138&lang=slv>
(Pridobljeno: 10. 8. 2019.)
- [73] Autodesk. 2011. BIM Solution for Road and Highways.
https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/industries/civil-infrastructure/road-highway-design-infrastructure/Docs/autodesk_roadsandhighways_us_final.pdf
(pridobljeno 11.6.2019)
- [74] Autodesk. Help. 2018. Overview of AutoCAD Map 3D Toolset Concepts
<https://knowledge.autodesk.com/support/autocad-map-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/MAP3D-Learn/files/GUID-B71F1470-C7DA-4D4A-A8AC-6F41C35A639E-htm.html> (dostopno 19.2.2019)
- [75] Autodesk. Help. 2018. What Is Autodesk Storm and Sanitary Analysis.
<https://knowledge.autodesk.com/support/civil-3d/troubleshooting/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Installation-Civil3D/files/GUID-A4080DA5-3C5C-47E3-9396-F42FD24DBF2C-htm.html>
(Pridobljeno 19.2.2019.)
- [76] Autodesk. AutoCAD Raster Design features
<https://www.autodesk.com/products/autocad/included-toolsets/autocad-raster-design>
(Pridobljeno 19.2.2019.)
- [77] Coppinger, J. 2019. Autodesk ReCap. What is it really.
<https://www.lifewire.com/autodesk-recap-485205> (Pridobljeno 19.2.2019.)
- [78] Autodesk. b. d. Reality capture and 3D scanning software for intelligent model creation.
<https://www.autodesk.com/products/recap/overview> (Pridobljeno 19.2.2019.)
- [79] Autodesk. 2019. 3D model review software for architecture, engineering, and construction.
<https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview> (Pridobljeno 19.2.2019.)
- [80] Autodesk. b. d. Plan and design infrastructure projects in the context of the real world.
<https://www.autodesk.com/products/infraworks/overview> (Pridobljeno 11.6.2019)

- [81] Autodesk. b. d. Multidisciplinary BIM software for higher quality, coordinated designs. <https://www.autodesk.com/products/revit/overview> (Pridobljeno 11.6.2019)
- [82] Bentley. 2015. The Next Generation of Computer-aided Design Software. <https://www.bentley.com/en/products/product-line/modeling-and-visualization-software/microstation> (Pridobljeno 11.6.2019.)
- [83] Bentley. b. d. Solutions for Rail and Transit. <https://www.bentley.com/en/solutions/industries/rail-and-transit> (Pridobljeno 11.6.2019)
- [84] Bentley. b. d. Conceptual Rail Design Software. <https://www.bentley.com/en/products/product-line/civil-design-software/openrail-conceptstation> (Pridobljeno 11.6.2019)
- [85] Benetly. b. d. OpenRail Designer. <https://www.bentley.com/en/products/product-line/civil-design-software/openrail-designer> (11.6.2019.)
- [86] Novapoint. b. d. About Trimble. <https://www.novapoint.com/about/history-vianova-systems> (Pridobljeno 11.6.2019.)
- [87] Novapoint. b. d. Novapoint. <https://www.novapoint.com/products/novapoint> (Pridobljeno 11.6.2019.)
- [88] Novapoint. b. d. Quadri. <https://www.novapoint.com/products/quadri> (Pridobljeno 11.6.2019.)
- [89] Shimonti, P. 2018. BIM vs GIS or BIM and GIS – Why are we still in doubt. <https://www.geospatialworld.net/blogs/bim-vs-gis-or-bim-and-gis/> (Pridobljeno: 10. 8. 2019.)
- [90] Pollock, E. 2018. The great GIS vs BIM debate: Seven years later, the argument becomes an alliance. <https://www.engineering.com/BIM/ArticleID/17335/The-Great-GIS-vs-BIM-Debate-Seven-Years-Later-the-Argument-Becomes-an-Alliance.aspx> (Pridobljeno: 10. 8. 2019.)
- [91] Hadžiahmetović, E. 2012. Upravljanje železniške infrastrukture z uporabo prostorskih informacijskih sistemov. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba E. Hadžiahmetović). <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=86065&lang=slv> (Pridobljeno: 11. 8. 2019.)

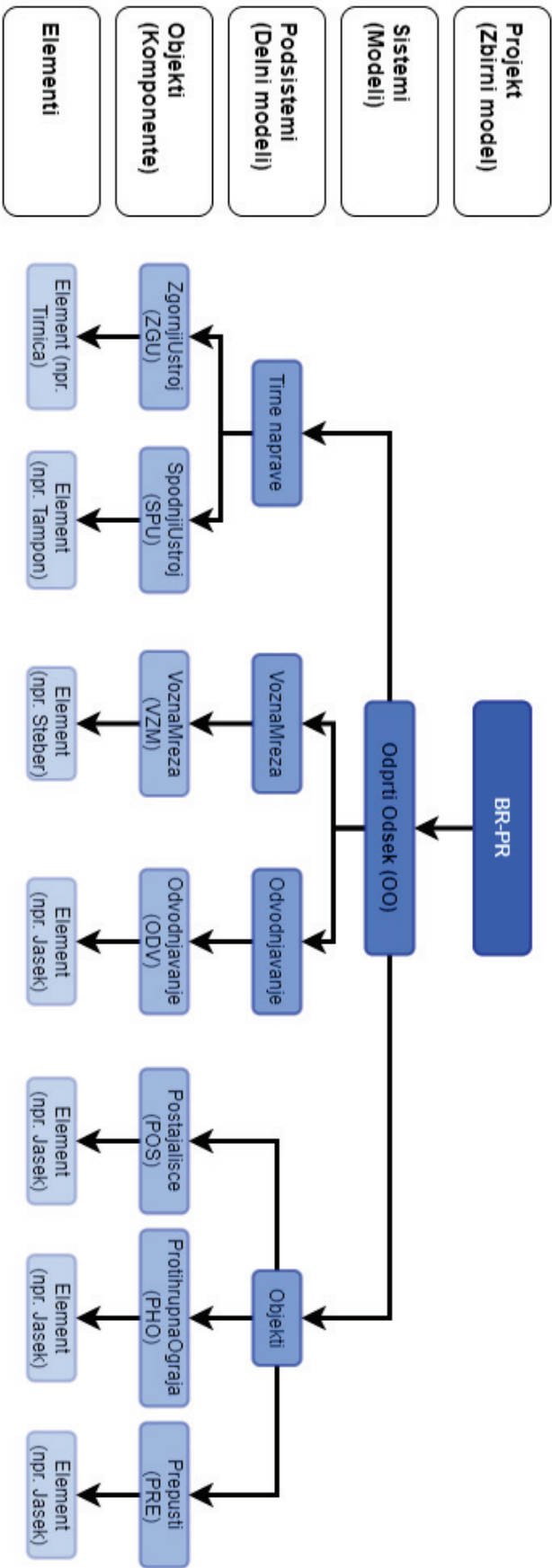
- [92] Mangon, N. 2018. GIS and BIM Integration Will Transform Infrastructure Design and Construction.
<https://www.autodesk.com/redshift/gis-and-bim-integration/> (Pridobljeno: 11. 8. 2019.)
- [93] Vilgertshofer, S., Amann, J., Willenborg, B., Borrmann, A., Kolbe, T. H. 2017. Linking BIM and GIS Models in Infrastructure by Example of IFC and CityGML.
https://www.researchgate.net/profile/Julian_Amann/publication/317572404_Link_BIM_and_GIS_Models_in_Infrastructure_by_Example_of_IFC_and_CityGML/links/59d7b45c458515a5bc1ee16a/Linking-BIM-and-GIS-Models-in-Infrastructure-by-Example-of-IFC-and-CityGML.pdf (Pridobljeno: 15. 8. 2019.)
- [94] Bizer, C., Heath, T., Berners-Lee, T. 2009. Linked Data - The Story So Far. International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS) 5, 1–22.
- [95] Jawaluddeen Sani, M., Abdul Raham, A. 2018. GIS and BIM integration at data level: A review. Conference on Geomatics and Geospatial Technology, Kuala Lumpur, Malaysia.
https://www.researchgate.net/publication/328683270_GIS_AND_BIM_INTEGRATION_AT_DATA_LEVEL_A_REVIEW (Pridobljeno: 15. 8. 2019.)
- [96] DLT. 2018. Digital Design Month: What the Autodesk and ESRI Partnership Means for Government Infrastructure.
<https://www.dlt.com/blog/2018/05/01/digital-design-month-autodesk-esri-partnership/> (Pridobljeno: 15. 8. 2019.)
- [97] Integrating BIM and GIS Workflows
<https://www.spar3d.com/wp-content/uploads/2018/05/Esri-BIM-Roadmap-fig1-e1527254003273.png> (Pridobljeno: 21. 8. 2019.)
- [98] Shimonti, P. 2018. GIS and BIM integration – A must-have for transformational infrastructure design.
<https://www.geospatialworld.net/blogs/gis-and-bim-integration/> (Pridobljeno: 20. 8. 2019.)
- [99] Rajan, D. 2012. What is BIM and where dose GIS fit in.
<https://communityhub.esriuk.com/geoxchange/2012/5/23/what-is-bim-and-where-does-gis-fit-in.html> (Pridobljeno: 20. 8. 2019.)
- [100] Amann, J., Singer, D., Borrmann. 2015. Extension of the upcoming ifc alignment standard with cross sections for road design.
https://www.researchgate.net/publication/282150817_EXTENSION_OF_THE_UPCOMING_IFC_ALIGNMENT_STANDARD_WITH_CROSS_SECTIONS_FOR_ROAD_DESIGN (Pridobljeno 20.6.2019.)

- [101] IFC Alignment. 2015.
<http://www.buildingsmart-tech.org/infrastructure/projects/alignment>
(Pridobljeno 20.6.2019.)
- [102] IFC Alignment. 2015.
<http://www.buildingsmart-tech.org/downloads/ifc/ifc5-extension-projects/ifcalignment/ifcalignment-projectpresentation-cs-1> (Pridobljeno 20.6.2019.)
- [103] BuildingSMART. b. d. Rail, Road & Port development MOUs signed.
<https://www.buildingsmart.org/mous-signed-barcelona-summit/>
(Pridobljeno 20.6.2019.)
- [104] IFC Infra. 2018. IFC für den Infrastrukturbereich.
<https://ifcinfra.de/> (Pridobljeno 20.6.2019.)
- [105] Augele, V. 2017. Comparative Analysis of Building Information Modelling (BIM) and RailTopo-Model/railML in View of their Application to Operationally Relevant Railway Infrastructure. Project Paper in the Field of Intelligent Transportation System. Dresden: Technical University of Dresden.
https://www.railml.org/en/public-relations/scientific-papers.html?file=files/download/papers/230117_TUDresdenAugele_TermPaperComparisonRailTopoModelIFCrailML.pdf (Pridobljeno 22.6.2019.)
- [106] <https://www.semanticscholar.org/paper/IFC-Railway-%3A-A-Semantic-and-Geometric-Modeling-for-Gao-Liu/f5b262e7ee98dd556f1f244fd88e08bb0796547d>
BuildingSMART. 2013. IFC4 officially released.
(Pridobljeno 22.6.2019.)
- [107] BuildingSMART. 2016. Railway BIM Data Standard.
<https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2017/09/bSI-SPEC-Rail.pdf>
(Pridobljeno 22.6.2019.)

Priloga A: IZRAČUN HITROSTI IN NADVIŠANJA V KRIVINAH

[illegible]

Priloga B: SHEMA STRUKTURE MODELOV



»Ta stran je namenoma prazna«

Priloga C: ATRIBUTNA TABELA

ATRIBUTNA TABELA

Set atributov	Atribut	Vrsta vnosa	Enota	Primer vnosa
Klasifikacijski atributi				
BRPR_Klasifikacija	Projekt	besedilo	N/A	BRPR
BRPR_Klasifikacija	Sistem	besedilo	N/A	OdpriOdsek
BRPR_Klasifikacija	Podsistem	besedilo	N/A	TirneNaprave, Objekti, Vozna Mreža, Odvodnjavanje
BRPR_Klasifikacija	Komponenta	besedilo	N/A	ZGU, SPU, VZM, PHO, ODV, POS
BRPR_Klasifikacija	Element	besedilo	N/A	Npr. Tirnica, itd.
Lokacijski atributi				
BRPR_Lokacija	StacionazaZacetek_m	število	m	574600.000
BRPR_Lokacija	StacionazaKonec_m	število	m	574700.000
Atributi za posamezne tipe elementov				
ZgornjiUstroj				
BRPR_Atributi	Tirnica			
	OblikaTirnice	besedilo	N/A	60_E1
	KvalitetaTirnice	besedilo	N/A	R220
BRPR_Atributi	Prag			
	Tip	besedilo	N/A	Betonski_B70
	OsniRazmikPragov_mm	število	mm	600
	Dolžina_cm	število	cm	240
BRPR_Atributi	TirniPribor			
	Tip	besedilo	N/A	Pritrdilni
	Oznaka	besedilo	N/A	SKL14
BRPR_Atributi	TirnaGreda			
	Debelina_cm	število	cm	30
	Frakcija_mm	število	mm	32/64
	VrstaTolcenca	besedilo	N/A	Novi

SpodnjiUstroj				
BRPR_Atributi	Tampon			
	Debelina_m	število	m	0,3
	Frakcija_mm	število	mm	0/32
	Prostornina_m3	število	m3	AvtomatskiVnos
	PrecniNagibPlanuma_%	število	%	5
	Nosilnost_MPa	število	MPa	100
	Zgoscenost_%	število	%	98
BRPR_Atributi	Izkop			
	KategorijaIzkopa	besedilo	N/A	III._kategorija
	NaklonBrezin	besedilo	N/A	1 : 2
	Prostornina_m3	število	m3	AvtomatskiVnos
BRPR_Atributi	Zasip			
	Frakcija_mm	število	mm	0/32
	Prostornina_m3	število	m3	AvtomatskiVnos
	Zgoscenost_%	število	%	98
BRPR_Atributi	Humus			
	Debelina_m	število	m	0,15
	Prostornina_m3	število	m3	AvtomatskiVnos
	Povrsina_m2	število	m2	AvtomatskiVnos