VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

IZVEDBA TEHNOLOŠKE ŠTUDIJE ZA PROJEKT KOLESARSKE POTI KRŠKA VAS-ČATEŽ IN MOŽNOSTI UPORABE UMETNE INTELIGENCE ZA PODPORO IZVEDBENIM PROCESOM

Kandidat: Karlo Štefanović

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Gradbeništvo

Mentor predavatelj: Bojan Dapčević univ. dipl. inž. grad.

Mentor v podjetju: Jaka Krnc, dipl. inž. grad.

Lektor: Karmen Saje Hočevar, dipl. medj. posr. (UN)

Maribor, 2025

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA ZAPISA

Podpisani Karlo Štefanović sem avtor diplomske naloge z naslovom »Izvedba tehnološke študije za projekt kolesarske poti Krška vas–Čatež in možnosti uporabe umetne inteligence za podporo izvedbenim procesom«, ki sem jo napisal pod mentorstvom Bojana Dapčevića.

S podpisom potrjujem, da:

- je predloženo delo je izključno rezultat mojega dela,
- sem zagotovil, da so dela in mnenja drugih avtorjev, uporabljena v oddani nalogi, citirana v skladu s pravili Visoke šole za strokovne študije Academia Maribor,
- sem seznanjen, da je plagiatorstvo - predstavljanje dela ali misli drugega kot svojih - kaznivo dejanje po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 - uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 - ZKUASP); za prekršek veljajo tudi ukrepi Visoke šole za strokovne študije Academia Maribor v skladu s svojimi pravili,
- visoka šola za strokovne študije Academia Maribor objavi mojo diplomsko nalogo na spletnem portalu šole.

Brežice, oktober 2025 Prijava študenta:

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem vsem, ki so prispevali k nastanku te diplomske naloge in mi omogočili uspešen zaključek študija. Posebna zahvala gre mojemu mentorju in predavatelju Bojanu Dapčeviću, univ. dipl. inž., za strokovno vodenje in konstruktivne nasvete, ter mojemu mentorju v podjetju Jaki Krncu, dipl. inž., za praktične vpoglede v vodenje infrastrukturnih projektov. Hvala tudi mojim sošolcem s programa Gradbeništvo na Višji strokovni šoli Academia Maribor za sodelovanje, izmenjavo idej in medsebojno podporo med študijem. Iskrena zahvala gre moji družini za razumevanje, podporo in spodbudo skozi celoten študijski proces ter mojim prijateljem za moralno podporo in spodbudo.

POVZETEK

Diplomsko delo raziskuje možnosti implementacije umetne inteligence v tehnološki študiji projekta kolesarske poti Krška vas–Čatež ob Savi. Projekt predstavlja 1,6-kilometrsko kolesarsko povezavo ob regionalni cesti R2-419/1206 v občutljivem naravnem okolju ob reki Krki znotraj območja Natura 2000 z gradbenimi omejitvami v obdobju julij-september zaradi zaščite drstenja rib.

Analiza tradicionalnega pristopa k tehnološki študiji razkriva ključne pomanjkljivosti pri optimizaciji virov, reaktivnem reševanju problemov in statičnem razporejanju. Projekt vključuje pet osnovnih gradbenih faz z zahtevno koordinacijo nosilnih konstrukcij, konzolnih elementov in ojačanih nasipov na prostorsko omejenem območju.

Študija mednarodnih primerov uporabe umetne inteligence v gradbeništvu kaže na potencial za skrajšanje trajanja projekta in zmanjšanje stroškov koordinacije. Predlagana rešitev umetne inteligence temelji na štiriplastni arhitekturi z IoT senzorji za spremljanje okolja, optimizacijskimi algoritmi in integracijo aplikacijskega sistema. Ključne aplikacije vključujejo optimizacijo gradbenih zaporedij na podlagi vremenskih napovedi, avtomatizirano spremljanje kakovosti vode in tehnologijo računalniškega vida za nadzor kakovosti.

Primerjava tradicionalnega in z umetno inteligenco podprtega pristopa kaže prednosti digitalizacije v smislu učinkovitosti, preglednosti in hitrosti odločanja. Sistem, podprt z umetno inteligenco, omogoča dinamično razporejanje z dnevnimi optimizacijami in proaktivnim preprečevanjem težav. Opredeljeni so izzivi pri izvajanju, vključno z investicijskimi stroški.

Analiza stroškov in koristi kaže na pozitivno donosnost naložbe v infrastrukturne projekte. Za majhne projekte študija predlaga modularni pristop z uporabo rešitev v oblaku in regionalnih centrov za umetno inteligenco.

Naloga prispeva k razumevanju potenciala digitalne transformacije gradbeništva in ponuja praktičen okvir za implementacijo tehnologij umetne inteligence v infrastrukturne projekte.

Ključne besede : *tehnološka študija, kolesarska infrastruktura, umetna inteligenca, vodenje projektov, digitalizacija gradbeništva*

ABSTRACT

This thesis investigates the potential integration of artificial intelligence (AI) within the technological study of the *Krška vas–Čatež ob Savi* cycling route project. The project comprises a 1.6-kilometre cycling connection along the regional road R2-419/1206, located in a sensitive natural environment near the Krka River within the Natura 2000 protected area. Construction activities are restricted from July to September due to fish spawning protection.

An analysis of the conventional approach reveals major limitations in resource optimisation, reactive problem-solving, and static scheduling. The project is divided into five main construction phases requiring complex coordination of load-bearing structures, cantilever elements, and reinforced embankments within a spatially constrained area.

A review of international case studies on AI in construction demonstrates its potential to reduce project duration and coordination costs. The proposed AI-based framework adopts a four-layer architecture integrating IoT sensors for environmental monitoring, optimisation algorithms, and an application interface. Core functions include optimising construction sequences using weather forecasts, automated water-quality monitoring, and computer-vision-based quality control.

A comparative analysis of traditional and AI-assisted approaches highlights the benefits of digitalisation in efficiency, transparency, and decision-making speed. The AI-supported system enables dynamic scheduling with daily optimisation and proactive issue prevention, while challenges remain regarding investment costs and technological readiness.

The cost-benefit analysis indicates a positive return on investment for infrastructure projects employing AI technologies. For smaller-scale projects, the study proposes a modular implementation strategy utilising cloud-based solutions and regional AI centres. Overall, the thesis enhances understanding of digital transformation in construction and provides a practical framework for applying AI technologies in infrastructure project management.

Keywords: *technological execution, cycling infrastructure, artificial intelligence, project management, construction digitalization*

KAZALO

KAZALO SLIK 8

1 UVOD 9

1.1 Predstavitev teme in izhodišča 9
1.2 Namen, cilji in osnovne trditve 9
1.3 Povezave do krovne teme BTEC 10
1.4 Uporabljena metodologija 11

2 DELO V PROJEKTNI EKIPI 12

2.1 Oblikovanje projektne ekipe 12
2.2 Vloge in odgovornosti članov 12
2.3 Varstvo pri delu na projektu kolesarske steze 14
2.4 Analiza tveganja in varnostni ukrepi 16

3 OPIS INFRASTRUKTURNEGA PROJEKTA KRŠKA VAS- ČATEŽ 18

3.1 Potek kolesarske poti 18
3.2 Tehnični opis poti (TP: dolžina, širina, naklon, asfalt) 19
3.3 Vpliv obvoznice in zaščite brežin 21
3.4 Udeleženci projekta in vaša vloga kot vodje projekta 23
3.5 Vrednotenje hipoteze H1 - del A 24

4 TEHNOLOŠKI ELABORAT - POMEN IN PRAKTIČNA IZVEDBA 26

4.1 Kaj je tehnološki elaborat in njegova struktura? 26
4.2 Osnovne gradbene faze gradnje glede na TP (priprava terena, tampon, asfalt) 27
4.3 Terminski načrt in organizacija gradbišča 28
4.4 Omejitve, spremembe in prilagoditve med izvedbo 30
4.5 Analiza izvedbe tehnološke študije - nadaljnji dokazi za hipotezo H1 32

5 IZZIVI NA GRADBIŠČIH IN REŠEVANJE V PRAKSI 34

5.1 Vremenske razmere in dostopnost ob reki 34
5.2 Usmerjanje delovnih ekip in strojne mehanizacije 35
5.3 Komunikacija z naročnikom in nadzorom 35
5.4 Sprotno prilagajanje elaborata 36
5.5 Vrednotenje Hipoteze H2 - Potencial umetne inteligence za izboljšave na področju prilagodljivosti in natančnosti 38

6 MOŽNOSTI UPORABE UMETNE INTELIGENCE 39

6.1 Uporaba umetne inteligence za optimizacijo zaporedja del 39
6.2 UI pri zaznavanju odstopanj (čas, kakovost, logistika) 39

6.3 Prikaz simulacije ali analiza primera iz tujine 40
6.4 Povezava s terminskim planom in planiranjem virov 41
6.5 Vrednotenje Hipoteze H3 - Integracija umetne inteligence za zmanjševanje napak in povečanje učinkovitosti 42
7 DOLGOROČNI VPLIVI UMETNE INTELIGENCE NA RAZVOJ GRADBENIŠTVA - HIPOTEZA H4 44
7.1 Digitalna transformacija v gradbeni industriji 44
7.2 Izboljšave dostopnosti s tehnologijo 44
7.3 Trajnost in okoljske koristi 45
7.4 Razvoj digitalne infrastrukture 45
7.5 Zaključek za hipotezo H4 46
8 VPLIV UVEDBE NOVIH TEHNOLOGIJ 47
8.1 Prednosti UI v fazi izvajanja 47
8.2 Izzivi: stroškovni, kadrovski, pravni 47
8.3 Možnosti za uvedbo v majhne infrastrukturne projekte 48
9 KRITIČNA PRIMERJAVA TRADICIONALNEGA PRISTOPA V PRIMERJAVI S PRISTOPOM, PODPRTIM Z UI 50
9.1 Učinkovitost, preglednost, hitrost odločanja 50
9.2 Model digitalno podprtega tehnološkega elaborata 52
9.3 Potencialna dodana vrednost 52
10 SKLEP 55
11 VIRI IN LITERATURA 58

KAZALO SLIK

SLIKA 1: ORGANIZACIJA GRADBIŠČA 13
SLIKA 2: IZVEDBA REVIZIJSKIH JAŠKOV OB REGIONALNI CESTI 14
SLIKA 3: DOSTOPNOST S STROJI OMEJENA 15
SLIKA 4: ZAPORA NA REGIONALNI CESTI 16
SLIKA 5: PRIKAZ OBDELANEGA OBMOČJA NA STOPNJI OSTRINE OSTRINE 19
SLIKA 6: STRMA UTRJENA GRAMOZNA POVRŠINA 20
SLIKA 7 : LIST PRISOTNOSTNI NA OPERATIVNEM SESTANKU IN KONTEINER ZA SESTANKE 36
SLIKA 8: POSVETOVANJE PREKO E-POŠTE 37
SLIKA 9: GRADBENA KNJGA S POMOČJO CHAT GPT 5 50
SLIKA 10: UPORABLJEN POZIV 51

1 UVOD

1.1 Predstavitev teme in izhodišča

Projekt kolesarske poti Krška vas-Čatež ob Savi predstavlja pomemben infrastrukturni razvoj v regiji, katerega cilj je izboljšati trajnostno mobilnost in povezljivost lokalnih skupnosti. Projekt vključuje izgradnjo 1,6 kilometra dolge kolesarske poti ob regionalni cesti R2-419/1206, rekonstrukcijo ključnih križišč in vzpostavitev potrebne podporne infrastrukture. (GPI, 2020)

Razvoj tehnoloških študij za takšne projekte predstavlja velik izziv, ki zahteva upoštevanje številnih dejavnikov – od okoljskih omejitev, ki jih povzroča bližina reke Krke in zavarovanih območij Natura 2000, do tehničnih zahtev sodobne kolesarske infrastrukture. (Zavod Republike Slovenije za varstvo narave, 2019)

Tradicionalni pristopi k tehnološkim študijam pogosto ne omogočajo optimalne koordinacije vseh vključenih dejavnikov in hitrega odzivanja na spremembe med izvajanjem.

V tem kontekstu se pojavlja priložnost za uvedbo tehnologij umetne inteligence, ki lahko revolucionarno spremenijo način načrtovanja, spremljanja in upravljanja gradbenih projektov. Tehnologije umetne inteligence omogočajo avtomatizirano analizo podatkov, optimizacijo virov, napovedovanje tveganj in spremljanje napredka v realnem času.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomskega dela je raziskati možnosti implementacije umetne inteligence v procesni tehnološki študiji projekta kolesarske steze Krška vas-Čatež in oceniti potencial digitalizacije za povečanje učinkovitosti izvedbe infrastrukturnih projektov. Glavni cilji vključujejo analizo obstoječih procesov tehnološke študije, identifikacijo ključnih izzivov in razvoj praktičnih priporočil za optimizacijo s tehnologijami umetne inteligence.

Raziskovalne podlage na štirih temeljnih hipotezah:

- **HIPOTEZA H1: »Tehnološka študija predstavlja ključni dokument, ki določa potek, zaporedje in pogoje za varno in učinkovito izvedbo gradbenih del«.**

- **HIPOTEZA H2: »Umetna inteligenca lahko izboljša fleksibilnost in natančnost izvedbe gradbenih projektov z zaznavanjem tveganj, analizo sprememb in podporo pri sprejemanju odločitev«**.
- **HIPOTEZA H3: »Integracija umetne inteligence v izvedbeni projekt lahko zmanjša število napak, poveča učinkovitost in omogoči nenehno prilagajanje delovnega procesa glede na pogoje«.**
- **HIPOTEZE H4: »Uporaba umetne inteligence in novih tehnologij v gradbeništvu lahko dolgoročno vpliva na razvoj dostopnejše, bolj trajnostne in digitalno podprte infrastrukture«.**

Metodološki pristop združuje kvalitativne in kvantitativne metode, vključno z analizo projektne dokumentacije, študijo mednarodnih primerov in primerjalno analizo tradicionalnih in z umetno inteligenco podprtih pristopov. Vsaka hipoteza bo sistematično preverjena skozi posamezna poglavja, na koncu pa bo podana celovita ocena z jasno navedbo, ali so bile hipoteze na podlagi empiričnih zaključkov potrjene ali ovržene.

1.3 Povezave do krovne teme BTEC

Tema diplomskega dela se neposredno navezuje na krovno temo BTEC, ki se nanaša na gradnjo in razvoj infrastrukture. Projekt kolesarske steze predstavlja praktičen primer sodobnega pristopa k načrtovanju trajnostne prometne infrastrukture, ki upošteva tako tehnične zahteve kot okoljske omejitve.

Raziskave uporabe umetne inteligence v gradbeništvu so usklajene s sodobnimi trendi digitalizacije gradbeništva in konceptom »Gradbeništvo 4.0«, ki predstavlja naslednji razvojni korak k pametni gradnji.

1.4 Uporabljena metodologija

Raziskava temelji na kombinaciji kvalitativnih in kvantitativnih metod:

- **Analiza dokumentacije:** Podrobna analiza projektne dokumentacije za kolesarsko pot Krška vas-Čatež
- **Študija primera:** Pregled podobnih projektov in njihovih tehnoloških predelav
- **Literarni pregled:** Analiza sodobnih tehnologij umetne inteligence v gradbeništvu
- **Intervjuji:** Pogovori s strokovnjaki s področja gradbeništva in IT
- **Modeliranje:** Razvoj konceptualnih modelov za implementacijo umetne inteligence

2 DELO V PROJEKTNI EKIPI

2.1 Oblikovanje projektne ekipe

V okviru raziskovalnega projekta za produkcijski projekt - končna izvedba kolesarskih povezav na regionalni cesti R2-419/1206 od km 10,5+05 do km 12,1+10 so vlogo vodij projekta opravljali člani skupine na podlagi rezultatov Belbinovega popisa in osebnostnega testa Myers-Briggs, kar je omogočilo optimalno porazdelitev strokovnih kompetenc med člani projektne ekipe, ki je vključevala vodjo projekta, projektanta, prodajalca, ocenjevalca in osebo, odgovorno za pripravo del.

Priprave na organizacijo projektnega dela so potekale na sedežu akademije, kjer smo pod vodstvom vseh članov projektnih skupin najprej opravili Belbinov inventar in Myers-Briggsov osebnostni test. Na podlagi rezultatov obeh psihometričnih testov smo se razdelili v projektne skupine, pri čemer je bila moja vloga vodij projektov določena na podlagi kombinacij osebnih značilnosti, strokovnih kompetenc in sposobnosti za koordinacijo kompleksnih tehničnih projektov.

Metodologija oblikovanja projekta skupine je temeljila na analizi komplementarnih sposobnosti posameznih članov in interdisciplinarni optimizaciji. Belbinov test je opredelil ključne funkcionalne vloge, potrebne za uspešno izvedbo infrastrukturnih projektov, medtem ko je Myers-Briggsov indikator osebnih tipov omogočil razumevanje komunikacijskih preferenc in delovnih slogov posameznikov.

2.2 Vloge in odgovornosti članov

Projektna skupina je obsegala pet ključnih funkcionalnih vlog, kjer sem kot vodja projekta opravljal tudi koordinacijo oseb za pripravo del na podlagi rezultatov osebnostnih testov in podrobnih spoznanj s projektno kolesarsko infrastrukturo. Tako sem sodeloval na vseh področjih projekta, kar mi je omogočilo celovito razumevanje tehničnih, ekonomskih in logističnih izzivov projekta.

Sam sem se posvetil tudi organizaciji gradbišča, prikazani na sliki 1. Opozorilna in gradbiščna tabla stojita pri vhodu na gradbišče, na tabli pa je označena tudi lokacija prve pomoči, jedilnice in gasilnega aparata, ki se nahajajo ob pisarnah za vodstvo gradbišča.



Slika 1: Organizacija gradbišča

Vir: Lastno

Kot vodja projekta sem koordiniral celovito obravnavo kompleksnih infrastrukturnih ureditev, ki vključujejo kolesarsko povezavo, rekonstrukcijo križišč »pri mostu« in ŠRC Grič, ureditev štirih avtobusnih postajališč, proizvodne podporne konstrukcije ob reki Krki in povezavo z gozdom po stopnicah s klančino pri gostinskem objektu. Projekt je zahteval integracijo različnih strokovnih disciplin, od prometnega načrtovanja, geotehničnega projektiranja, hidrotehničnih analiz do okoljskega načrtovanja, kar je predstavljalo kompleksen koordinacijski izziv.

Delo v projektu je potekalo strukturirano, kjer je imel vsak član skupine točno določeno odgovornost, vendar smo večino tehničnih težav predali v skupinsko obravnavo. Takšen pristop

se je izkazal za izjemno učinkovitega, saj je omogočil sinergijske učinke različnih strokovnih perspektiv. Ugotovili smo, da s pomočjo dobro organiziranega in porazdeljenega dela vseh vključenih dosežemo hitre in kakovostne rešitve ter uspešne zaključke projektov.



Slika 2: Izvedba revizijskih jaškov ob regionalni cesti

Vir: Lastno

Koordinacija dela med različnimi strokovnimi področji je predstavljala ključen vidik upravljavskega pristopa k projektu. Projektant je bil odgovoren za tehnične rešitve podpornih konstrukcij, dimenzioniranje pilotnih projektov in načrtovanje kolesarske infrastrukture, komercialist je bil usmerjen v analizo tržnih možnosti in komunikacijo z zunanjimi partnerji, medtem ko je kalkulant pripravil podrobne strokovne analize stroškov in ekonomske upravičenosti posamezne tehnične rešitve.

2.3 Varstvo pri delu na projektu kolesarske steze

Varstvo pri delu na projektu kolesarske steze Krška vas-Čatež predstavlja kritičen vidik izvedbe gradbenih del zaradi specifičnih tveganj, povezanih z deli, ob vodotokih reke Krke, omejenih prostorskih razmer in bližine prometne infrastrukture regionalne ceste R2-419/1206. V skladu

s projektno dokumentacijo je bil izdelan varnostni načrt številka 282071/19, ki ga je pripravil Damjan Cvelbar, dipl. var. inž..

Usklajevanje varnostnih ukrepov je predstavljalo eno ključnih odgovornosti vodij projekta, zlasti ob upoštevanju bližine vodnega okolja reke Krke in avtocestne infrastrukture. Vzpostavil sem varnostne protokole za vodna okolja, pri katerih gradnja ne sme poslabšati stanja vodotokov ali preprečiti izboljšanja njihovega stanja (INFRA, 2019). Z gradbenimi stroji ni dovoljeno posegati v omočen del vodotokov, dostop do lokacij posegov mora potekati s kopnega, vožnja z gradbeno mehanizacijo vzdolž strug vodotokov pa ni dovoljena.



Slika 3: Dostop s stroji omejen

Vir: Lastno

Varnostni načrt projekta obravnava specifična tveganja linearnega infrastrukturnega projekta v neposredni bližini vodotokov. Ključni varnostni ukrepi vključujejo obvezno uporabo osebne zaščitne opreme (OZO) za vse delavce na gradbišču, vključno s čeladami, zaščitnimi čevlji z nedrsečimi podplati, odsevnimi jopiči in varnostnimi pasovi pri delu na višini. Poleg tega je predpisana uporaba plavajočih jopičev pri delu v neposredni bližini vodotokov.

Med izvajanjem gradbenih del je treba zagotoviti, da se pri izvajanju teh ne pride do vode iz vodotokov in da so prepovedani posegi v ravne in gladke betonske površine, ki bi imeli dodatne negativne vplive na hidromorfologijo. Gradbena dela na vodotokih, vodnih zemljiščih in v

obalnem pasu so zasnovana po načelih trajnostnega urejanja voda, pri čemer se ohranja povezanost oziroma celovitost vodnega prostora.

2.4 Analiza tveganja in varnostni ukrepi

Sistematična analiza tveganj za projekt kolesarskih stez opredeljuje več kategorij potencialnih nevarnosti, ki zahtevajo specifične preventivne ukrepe. Tveganja prve kategorije se nanašajo na dela ob vodotokih reke Krke, kjer obstaja nevarnost padca delavcev v vodo, erozije brežin zaradi gradbenih del in onesnaženja vodnega okolja z gradbenimi materiali ali naftnimi derivati iz gradbene mehanizacije.

Hidrometeorološka tveganja predstavljajo drugo pomembno kategorijo (Ministrstvo za okolje in prostor, 2019), saj lahko nenadne spremembe gladine reke Krke zaradi nalivov ali intenzivnega taljenja snega ogrozijo varnost delavcev in integriteto delno izvedenih gradbenih elementov. V okviru študije za preprečevanje in zmanjšanje emisij delcev z gradbišča (št. 28204/19) so opredeljeni ukrepi za zmanjšanje emisij prahu in zaščito okolja pred sekundarnim onesnaženjem.

Prometna tveganja izhajajo iz neposredne bližine regionalne ceste R2-419/1206, kjer je to potrebno za zagotavljanje varnega dela pod prometom. Načrt upravljanja in zavarovanja prometa med gradnjo (Z-2018/60) predpisuje uporabo začasne prometne signalizacije, postavitev varnostne ograje in usklajevanje s pristojnimi organi upravljanja prometa.



Slika 4: zapora na regionalni cesti

Vir: Lastno

Geotehnična tveganja so povezana z nestabilnostjo brežin in potrebo po izvedbi podpornih konstrukcij. Geološko-geotehnična študija (D-19255-1) opredeljuje območja povečane nestabilnosti in predpisuje tehnične rešitve za zagotavljanje stabilnosti konstrukcij. Posebna pozornost je namenjena programu monitoringa za spremljanje premikov brežin med gradnjo.

Okoljska tveganja se nanašajo na varovanje naravnih vrednot in območij Natura 2000. Zavod za ribištvo Slovenije je v projektnih pogojih (št. 4202-59/2019/2) (Slovenski inštitut za ribištvo, 2019) določil časovne omejitve izvajanja del zaradi varstva drstenja rib. Gradnja se lahko izvaja izključno v obdobju od julija do septembra, kar zahteva izjemno natančno časovno načrtovanje vseh gradbenih dejavnosti.

Izvajanje varnostnih ukrepov temelji na hierarhičnem pristopu, kjer se tveganja najprej odpravijo z ustreznim načrtovanjem, nato zmanjšajo z inženirskimi ukrepi, organizacijskimi ukrepi in končno z osebno zaščitno opremo. Redni varnostni pregledi gradbišč, usposabljanje delavcev za delo v specifičnih pogojih in vzpostavitev komunikacijskih protokolov v sili predstavljajo ključne elemente projekta varnostnega sistema.

3 OPIS INFRASTRUKTURNEGA PROJEKTA KRŠKA VAS-ČATEŽ

3.1 Potek kolesarske poti

Projekt izgradnje kolesarske povezave med Krško vasjo in Čatežem ob Savi predstavlja obsežen infrastrukturni projekt (GPI, 2020), ki vključuje izgradnjo kolesarske povezave ob regionalni cesti R2-419/1206 od kilometra 10+500 do kilometra 12+125. Skupna dolžina glavne trase je 1625 kilometrov, pri čemer je trasa zasnovana tako, da upošteva kompleksne topografske in okoljske značilnosti tega območja.

Regionalna cesta R2-419/1206 med Krško vasjo in Čatežem ob Savi je široka od 6,0 do 7,5 metra (Direktorat Republike Slovenije za Infrastrukturo, 2018) in je od območja nadvoza avtoceste v Velikih Malencah do območja Čateža ob Savi stisnjena med hrib z podpornimi zidovi na eni strani in strugo reke Krke z varovalno ograjo na drugi. Obstoječe stanje vozišča in podpornih zidov od nadvoza avtoceste v Velikih Malencah do gostilne Grič je zadovoljivo, vendar na celotnem odseku ni površin za pešce ali kolesarje, zaradi česar je situacija zanje zelo nevarna.

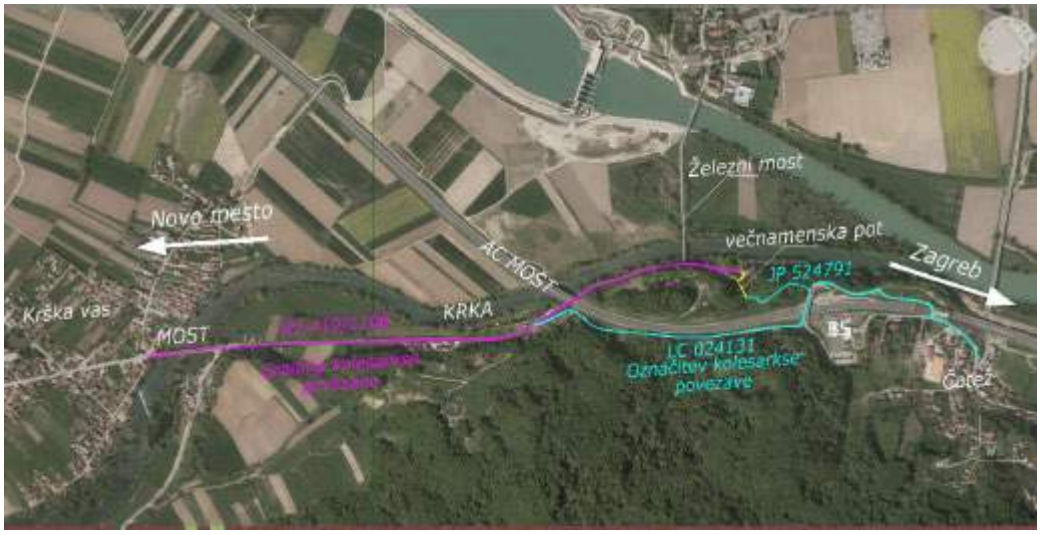
V začetnem delu regionalna cesta poteka znotraj naselja, nato pa se nadaljuje vse do izven naselja. Začetni del od nadvoza avtoceste v Velikih Malencah proti Čatežu ob Savi poteka skoraj v ravni črti, kar pomeni, da vozniki razvijajo visoke hitrosti in je ta odsek zato nevaren za kolesarje. Ob južnem delu ravnega odseka regionalne ceste so skupine stanovanjskih stavb, zato so na območju redno prisotni tudi pešci in so razmere nevarne tudi zanje. Drugi del cestnega odseka na območju od nadvoza avtoceste v Velikih Malencah do Čateža ob Savi je relativno vijugast in neposeljen.

Prvi značilni odsek projekta se razteza od kilometra 10+500 do 11+050 in poteka po relativno ravnem terenu ob vznožju Šentviške gore. Na tem odseku je predvidena kolesarska povezava na desni strani regionalne ceste v smeri Čateža, ločena od vozišča z betonskim robnikom. Ta del trase vključuje rekonstrukcijo strateškega križišča »pri mostu« z lokalno cesto LC 024131, ki predstavlja pomembno povezovalno točko v lokalnem prometnem omrežju.

Drugi odsek od kilometra 11+050 do 12+125 predstavlja tehnično najzahtevnejši del celotnega projekta, kjer je regionalna cesta stisnjena med strmo pobočje Šentviške gore in reko Krko. Na tem kritičnem odseku je kolesarska steza predvidena na levi strani ceste in zahteva gradnjo

dovršenih ojačanih nasipov in delno konzolnih objektov. Posebna pozornost je potrebna na območju med odseki R_P74 do R_P82, kjer je nosilni zid ceste hkrati tudi breg reke Krke in bo kolesarska steza položena na konzoli.

Projekt vključuje tudi izgradnjo nove kolesarske povezave od regionalne ceste pri gostilni Grič navzgor po klancu do javne poti JP 524791 na kilometru 0+200. Ta vertikalna povezava vključuje stopnišče z klančino za kolesarje, ki omogoča dostop do višje ležečih delov naselja in je široko 2,5 metra ter dolgo 190 metrov. Stopnišče poteka vzdolž obstoječe pešpoti in je zasnovano tako, da omogoča nemoteno funkcionalnost tako za pešce kot za kolesarje.



Slika 5: Prikaz obdelanega območja na stopnji ostrine

Vir: Lastno

3.2 Tehnični opis poti (TP: dolžina, širina, naklon, asfalt)

Projekt kolesarske steze med Krško vasjo in Čatežem ob Savi vključuje izgradnjo kolesarske steze ob regionalni cesti R2-419/1206 od kilometra 10,5+05 do kilometra 12,1+10, kar predstavlja skupno dolžino 1.605 metrov glavne trase. Predvidena je postavitev ob vozišču, ločena z robnikom, pri čemer je območje na obravnavanem odseku zunaj naselja, medtem ko se v naselju nahaja le začetni odsek, dolg približno 235 metrov.

Osnovna širina kolesarske steze je 2,50 metra, kar ustreza sodobnim standardom za dvosmerni kolesarski promet (GPI, 2020) in občasno uporabo pešcev. Skupna površina kolesarske infrastrukture obsega približno 4200 kvadratnih metrov, vključno z vsemi spremljajočimi ureditvami in podpornimi površinami. Dodatna kolesarska povezava med regionalno cesto pri gostilni Grič v hrib do javne poti JP 524791 je dolga 190 metrov in široka prav tako 2,5 metra.

Niveleta kolesarske poti je skrbno prilagojena obstoječi regionalni cesti z največjim naklonom do 5 odstotkov, kar zagotavlja dostopnost za kolesarje različnih sposobnosti in starosti. Na kritičnih odsekih, kjer topografija terena to zahteva, so predvideni dodatni gradbeni objekti, ki omogočajo varno in funkcionalno kolesarsko povezavo. Ojačani nasipi so predvideni v dolžini 850 metrov, konzolni objekti v dolžini 120 metrov, podporni zidovi pa pokrivajo 200 metrov trase.



Slika 6: strma utrjena gramozna površina

Vir: Lastno

Vozniška konstrukcija kolesarske steze je dimenzionirana za prometno obremenitev kategorije KPO-1, kar pomeni kolesa, pešce in lahka vzdrževalna vozila. Obrabna plast je asfaltni beton AB 11 debeline 4 centimetrov, ki zagotavlja gladko in varno površino za kolesarjenje. Povezovalna plast iz asfaltnega betona AB 16 ima debelino 6 centimetrov in omogoča ustrezno povezavo med obrabno plastjo in nosilno plastjo. Nosilna plast iz asfaltnega betona AC 22 debeline 8 centimetrov zagotavlja konstrukcijsko trdnost celotne vozišče konstrukcije. Plast

iz tamponskega materiala 0/31,5 milimetra debeline 30 centimetrov predstavlja temelj celotne konstrukcije in zagotavlja ustrezno porazdelitev obremenitev na temeljno telo.

Posebna pozornost je namenjena odvodnjavanju meteornih voda zaradi bližine reke Krke in okoljske občutljivosti območja. Sistem nadzorovanega odvodnjavanja meteornih voda vključuje robne žlebove, dovodne jaške različnih premerov (Ø 50 in Ø 80), drenažne cevi iz polietilena PE Ø 160 in nadzorovane iztoke z muldnimi iztoki. Na odseku med prečnimi profili R_P1-R_P54 na zemljišču med vznožjem pobočja in cesto ni prizadeto poplavno območje pri 100-letni najvišji gladini reke Krke, ki obsega zemljišče med cesto in reko Krko. Trasa kolesarske steze sledi trasi obstoječega cestnega jarka, vendar se ob ureditvi poti jarek prestavi in zagotovi obstoječe stanje odvodnjavanja zalednih in padavinskih voda s cestišča.

Na odseku med nadvozom avtoceste Drnovo-Brežice in gostilno Grič, med odsekoma R_P54-R_P90, kjer je regionalna cesta stisnjena med hrib in strugo reke Krke, bo trasa kolesarske steze potekala po zemljišču med brežino reke Krke in regionalno cesto. Niveleta kolesarske steze bo nad kotom nivelete cestišča in tako ne bo posegala v poplavno območje, ko se bo v času poplav voda dvignila do območja med cesto in reko Krko. Proti reki Krki se oblikuje strm utrjen breg, ki je zasut s humusom in zatravljen zaradi zagotavljanja okoljske skladnosti in estetske vrednosti.

3.3 Vpliv obvoznice in zaščite brežin

Projekt kolesarske poti se nahaja na izjemno občutljivem okoljskem območju v neposredni bližini reke Krke (Zavod Republike Slovenije za varstvo narave, 2019), ki predstavlja enega najpomembnejših vodnih ekosistemov v Sloveniji. Obravnavano območje spada v območje Natura 2000 »Krka s pritoki« s kodo SAC SI3000338, ki obsega 2447,74 hektarja, in v ekološko pomembno območje »Krka-reka« z identifikacijsko številko 65100, ki obsega 3757,10 hektarja. Poleg tega se projekt nahaja v naravni vrednoti »Krka« z registrsko številko 128, ki predstavlja osrednji dolenjski vodotok in desni pritok Save s površino 2244,35 hektarja.

Hidrološka in hidravlična analiza je pokazala zahtevne vodne razmere (Ministrstvo za okolje in prostor, 2019), ki zahtevajo posebno pozornost pri načrtovanju in izvedbi projekta. V trenutnem stanju ureditve na območju hidroelektrarne Brežice bosta ob dosegu pretoka 485,7 kubičnih metrov na sekundo, kar se zgodi med t.i. 100-letnimi poplavami v profilu Krke pod Globočico, sedanja cesta in kolesarska steza delno poplavljeni. Karte razredov poplavne ogroženosti

kažejo, da je odsek med prečnimi profili R_P34-R_P52 v nizkem razredu poplavne ogroženosti, preostali del odseka pa v razredu preostale poplavne ogroženosti.

Gradnja kolesarskih površin ob regionalni cesti poteka na odseku med nadvozom avtoceste in železnim mostom čez reko Krko. Sama regionalna cesta se na tem odseku nahaja med strmim brežino in reko Krko, zato so kolesarske površine predvidene neposredno ob cestišču, višinsko ločene od cestišča z robnikom. Na krajšem odseku so predvidene konzolne podporne konstrukcije, na večjem pa ojačane brežine, ki so zasute s humusom in zatravljene, da se zagotovi stabilnost in okoljska skladnost.

Posebej kritičen je tudi odsek med odseki R_P58 do R_P75, kjer je trasa poti med cesto in robom brega. Proti reki Krki se oblikuje strm ojačan breg z naklonom 1:1,5, ki zagotavlja stabilnost objekta in hkrati omogoča ohranjanje naravnih procesov ob reki. Na odseku med odseki R_P74 do R_P82, kjer je nosilni zid ceste hkrati breg reke Krke, bo kolesarska steza položena na konzoli, kar predstavlja tehnično najzahtevnejši del projekta. Konzolna konstrukcija bo temeljila na pilotih, saj pritrditev v obstoječe vozišče zaradi slabih temeljnih tal ni mogoča.

Deževnico s ceste in poti je treba speljati vzdolž ceste, obstoječe cestne prepuste pa je treba vzdrževati za odvajanje vode v reko Krko. V primeru izgradnje dodatnega cevnega prepusta čez kolesarsko stezo in cesto ta ne sme biti manjši od 40 centimetrov v premeru. Izpusti vzdolž brega reke Krke so oblikovani v obliki korita in zavarovani z neravnim kamnom debeline 40-60 centimetrov. Če je zaradi stabilnosti ojačanega brežine treba oblikovati korito kot kamen v betonu C 16/20, je treba spoje med kamni poglobiti, tako da je mogoče saditi travo, polovico debeline kamna pa vgraditi v beton.

Območje je tudi pomemben habitat za številne zaščitene vrste rib (Slovenski inštitut za ribištvo, 2019), vključno z zvezdogledom (*Gobio uranoscopus*), beloplavutim gobcem (*Gobio albipinnatus*), pezdirkom (*Rhodeus sericeus amarus*), zlatim gobcem (*Sabanejewia aurata*), veliko nežico (*Cobitis elongata*), pohro (*Barbus meridionalis*), kapljem (*Cottus gobio*), platnico (*Rutilus pigus*) in bolnom (*Aspius aspius*), od ptic pa so prisotni orel belorepec (*Haliaeetus albicilla*), mali klinkač (*Aquila pomarina*) in vodomec (*Alcedo atthis*). Med drugimi pomembnimi vrstami so še ozki vrtenec (*Vertigo angustior*), rogač (*Lucanus cervus*), puščavnik (*Osmoderma eremita*), navadni koščak (*Austropotamobius torrentium*), močvirska sklednica (*Emys orbicularis*), evropski bober (*Castor fiber*) in vidra (*Lutra lutra*).

Poseg je načrtovan na območju, kjer Uredba o državnem prostorskem načrtu za hidroelektrarno Mokrice predvideva ureditev izlivnega dela reke Krke, da bi se zmanjšali vplivi akumulacijskega jezera hidroelektrarne Mokrice na izlivni del reke Krke, predvsem zaradi ohranitve drstišč za ribe. Izlivni del reke Krke je že tako močno obremenjen z izgradnjo hidroelektrarn Brežice in Mokrice, zato so vsi posegi, ki bi še dodatno spremenili in poslabšali obstoječe habitatne razmere, z vidika varstva narave nezaželeni.

3.4 Udeleženci projekta in vaša vloga kot vodje projekta

Investitor projekta je Občina Brežice s sedežem na naslovu Cesta prvih borcev 18, 8250 Brežice (GPI, 2020), ki je odgovorna za pridobivanje finančnih sredstev, usklajevanje z državnimi institucijami in zagotavljanje zemljišč za gradnjo. Občina je nosilec projekta in končno odgovorna za uspešno izvedbo celotne kolesarske povezave.

Projektant celotne dokumentacije je podjetje GPI d.o.o. iz Novega mesta, Ljubljanska cesta 26, kjer vodja projekta, mag. Mojca Radakovič, univ. dipl. inž. grad. z identifikacijsko številko G-1134, koordinira vse strokovne discipline. Odgovorna oseba projektanta je Robert Radakovič, univ. dipl. inž. grad. z identifikacijsko številko G-0445, ki zagotavlja skladnost celotne projektne dokumentacije z veljavnimi predpisi in standardi.

Projektna ekipa vključuje številne strokovnjake z različnih področij. Med pooblaščenimi gradbenimi inženirji so mag. Mojca Radakovič za načrt gradnje ceste, Ivan Avgustin z identifikacijsko številko G-1281 za načrt nosilne konstrukcije, Robert Radakovič za načrt oskrbe z vodo in mag. Robert Kepo z identifikacijsko številko G-1723 za hidrološko-hidravlično študijo. Na področju elektrotehnike sodeluje Miran Šerbec z identifikacijsko številko E-0810, ki je odgovoren za načrte električnih inštalacij in električne opreme, vključno s cestno razsvetljavo, zaščito in prestavitvijo nizkonapetostnega omrežja ter telekomunikacijskih inštalacij.

Področje požarne varnosti pokriva Damjan Cvelbar, dipl. var. inž., ki je pripravil varnostni načrt in študijo za preprečevanje in zmanjšanje emisij delcev z gradbišča. Geotehnično in rudarsko področje zastopa Marko Klokočovnik z identifikacijsko številko G-1709, ki je pripravil geološko-geotehnično študijo. Geodetsko področje pokriva Zlatan Vehabović z identifikacijsko številko Geo0234 za geodetski načrt in mag. Mojca Radakovič za katastrski načrt. Prometno

inženirstvo zastopata mag. Mojca Radakovič za načrt vodenja in varnosti prometa med gradnjo ter Marko Klokočovnik za študijo dimenzioniranja in študijo nosilnosti cestne konstrukcije.

Med ključnimi nosilci prostorskega načrtovanja je Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo (DRSI), ki je izdala projektne pogoje pod številko 37167-1715/2018/6 in zagotavlja usklajevanje z upravljanjem državnih cest. Ministrstvo za okolje in prostor je preko Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) izdalo mnenje pod številko 35508-3998/2019-2, ki zagotavlja skladnost z okoljskimi predpisi. Zavod Republike Slovenije za varstvo narave je izdal projektne pogoje pod številko 6-II-199/2-O-19/BK in zagotavlja varstvo naravnih vrednot in območij Natura 2000. Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije je izdal kulturnovarstvene pogoje pod številko 35105-0170/2019/3 zaradi posegov na območju kulturnih spomenikov. Zavod za ribištvo Slovenije je izdal projektne pogoje pod številko 4202-59/2019/2 zaradi varstva ribjih vrst in drstišč.

Kot vodja projekta je bila moja vloga koordinacija vseh faz tehnološkega elaborata od priprave do zaključka projekta. Med fazo priprave študije sem koordiniral strokovne skupine z različnih področij, zagotavljal skladnost z vsemi veljavnimi predpisi in optimiziral gradbene postopke glede na okoljske omejitve in tehnične zahteve. Posebno pozornost sem moral nameniti skladnosti z okoljskimi omejitvami, saj gradnja poteka na zavarovanem območju reke Krke z omejitvami glede drstitvenega obdobja rib od 1. oktobra do 30. junija naslednjega leta.

V okviru teoretične analize vloge vodje projekta bi ključne odgovornosti vključevale spremljanje skladnosti s študijo, odzivanje na nepredvidene situacije in vzdrževanje komunikacije z nadzornikom in investitorjem. Posebej pomembno bi bilo usklajevanje z ekološkim nadzornikom za zagotavljanje okoljske skladnosti, kot to zahtevajo pogoji Zavoda za ribištvo Slovenije (št. 4202-59/2019/2) in Zavoda za varstvo narave Republike Slovenije (št. 6-II-199/2-O-19/BK), ter z upravljavci infrastrukture za nemoteno izvajanje del pod prometom. Tehnološki elaborat bi moral zagotoviti redno ocenjevanje napredka, prilagajanje spreminjajočim se razmeram in dokumentiranje vseh sprememb, da se zagotovi sledljivost procesov in skladnost z izdanimi dovoljenji.

3.5 Vrednotenje hipoteze H1 - del A

Projektna dokumentacija kolesarske poti Krška vas–Čatež omogoča oceno hipoteze H1, ki pravi, da je tehnični elaborat dokument, ki določa potek, zaporedje in pogoje za varno in učinkovito izvedbo gradbenih del.

Na podlagi dokumentirane kompleksnosti, okoljskih omejitev, tehničnih zahtev in varnostnih specifikacij, ki so izrecno navedene v tehničnem poročilu in diplomskem delu, je mogoče potrditi hipotezo H1, da so tehnološki elaborati ključni dokumenti za izvedbo gradnje in zelo pomembni pri uporabi konstrukcij v njihovi dobi delovanja.

4 TEHNOLOŠKI ELABORAT - POMEN IN PRAKTIČNA IZVEDBA

4.1 Kaj je tehnološki elaborat in njegova struktura?

Tehnološka elaborat je ključni dokument, ki podrobno opisuje način gradbenih del za določen projekt in mora pri projektu kolesarske poti Krška vas–Čatež upoštevati kompleksnost okoljskih omejitev, tehničnih zahtev in logističnih izzivov linearnega projekta na zavarovanem naravnem območju. Študija služi kot temeljni tehnični dokument, ki opisuje metodologijo za izvedbo gradbenih projektov in običajno vključuje podrobne specifikacije za organizacijo gradbišča, zaporedje gradnje, zahteve glede opreme, standarde materialov, postopke nadzora kakovosti, varnostne ukrepe in časovne okvire izvedbe.

Struktura elaborata je še posebej pomembna za projekt kolesarske poti, ki mora obravnavati edinstvene izzive gradnje ob reki Krki. Uvod in splošne informacije vključujejo opis projekta in lokacije s poudarkom na okoljski občutljivosti, pregled projektne dokumentacije z vsemi pridobljenimi soglasji in dovoljenji ter analizo gradbenih pogojev ob upoštevanju sezonskih omejitev. Organizacija gradbišča mora natančno opredeliti lokacijo začasnih objektov z minimalnim vplivom na okolje, prometno ureditev za zagotavljanje varnosti na regionalni cesti R2-419/1206 ter skladiščne površine in odlagališča odpadkov z ustrezno oddaljenostjo od vodotoka.

Izvedbena tehnologija predstavlja srce elaborata in vključuje podrobna zaporedja gradnje, ki upoštevajo okoljske omejitve obdobja drstenja rib, delovne metode, prilagojene omejenemu delovnemu prostoru med cesto in reko, ter uporabljeno mehanizacijo z omejitvami dostopa. Časovni načrt mora biti skrbno usklajen z dovoljenimi obdobji gradnje in vključevati časovni načrt glavnih faz, kritično pot projekta ob upoštevanju vremenskih tveganj in soodvisnosti del različnih izvajalcev.

Elaborat mora posebej obravnavati usklajevanje z okoljskimi omejitvami, saj gradnja poteka na zavarovanem območju reke Krke z omejitvami glede drstitvenega obdobja rib od 1. oktobra do 30. junija naslednjega leta. To pomeni, da je treba celotno gradnjo izvesti v julijsko-septemberskem obdobju, kar zahteva izjemno natančno načrtovanje in usklajevanje vseh dejavnosti. Poleg tega mora študija upoštevati hidrološke razmere reke Krke, kjer lahko povečan pretok ali motnost vode zahtevata takojšnjo prekinitev del.

4.2 Osnovne gradbene faze gradnje glede na TP (priprava terena, tampon, asfalt)

Gradnja kolesarske steze med Krško vasjo in Čatežem ob Savi je razdeljena na pet osnovnih faz (GPI, 2020), ki jih je treba zaradi okoljskih omejitev izvesti v strogem časovnem okviru. Celotna gradnja mora biti končana v 12 tednih med julijem in septembrom (Slovenski inštitut za ribištvo, 2019), kar ne dopušča zamud zaradi slabega vremena ali drugih nepredvidenih okoliščin.

Prva faza priprave lokacije traja dva tedna in je ključna faza, ki določa uspeh celotnega projekta. Zaradi okoljskih omejitev jo je treba izvajati izključno izven drstitvene sezone rib, torej med julijem in septembrom. Geodetsko zakoljevanje trase in kontrolnih točk se izvede na podlagi koordinat, podanih v zakolitveni študiji, pri čemer se zakolitvena situacija pripravi v merilu 1:500 v koordinatnem sistemu D96/TM (ETRS). Odstranjevanje obstoječe vegetacije mora biti selektivno in omejeno na najmanjšo možno mero, pri čemer se ohrani vsa vegetacija, ki ni v neposrednem nasprotju z gradnjo. Zaščita obstoječih komunalnih vodov zahteva posebno pozornost, saj so na trasi številni podzemni vodi, vključno z nizkonapetostnimi omrežji, telefonskimi vodi in vodovodno infrastrukturo. Priprava dostopnih poti za mehanizacijo je omejena na minimalno potrebno število dostopnih točk, da se zaščiti občutljivi ekosistem reke Krke. Postavitev začasnih ograj na območju reke Krke je obvezna za preprečevanje plazenja tal in zemeljskih plazov na vodne površine.

Druga faza zemeljskih del traja štiri tedne in predstavlja najobsežnejšo fazo projekta, ki vključuje različne vrste zemeljskih del, odvisno od topografije terena. Na odseku od kilometra 10+500 do 11+050 se izvede načrtovanje terena do globine od 50 do 80 centimetrov, pri čemer se upošteva kategorizacija tal in kamnin od I. do V. kategorije v skladu s spremembami splošnih in tehničnih pogojev. Izgradnja 30 centimetrov debelega tampon pasu zahteva uporabo materialov, ki izpolnjujejo zahteve glede kakovosti Tehničnih specifikacij za ceste in Posebnih tehničnih pogojev Direkcije RS za ceste. Ureditev odvodnjavanja z jarki in prepusti mora zagotavljati obstoječe stanje odvodnjavanja zalednih in padavinskih voda z vozišča, pri čemer se jarek za odvodnjavanje zalednih voda izvede na dnu s širino 0,40 metra z naklonom brežin 1:1,5 in padcem dna 0,5 odstotka.

Na tehnično zahtevnejšem odseku od kilometra 11+050 do 12+125 se izvaja izkop v strmem brežini z gradnjo podpornih konstrukcij in izdelavo armiranih brežin. Armirane brežine so zasute s humusom in zatravljene, da se zagotovi stabilnost in okoljska skladnost. Vgradnja

konzolnih elementov na odseku med profiloma R_P74 do R_P82 predstavlja tehnično najzahtevnejši del projekta, kjer je nosilni zid ceste hkrati tudi breg reke Krke. Temeljenje konzolne konstrukcije je predvideno na pilotih, saj pritrditev v obstoječe vozišče zaradi slabih temeljnih tal ni mogoča.

Tretja faza gradnje objektov traja tri tedne in vključuje betoniranje temeljev podpornih zidov iz betona C 16/20, vgradnjo konzolnih elementov z mikropiloti, izdelavo nosilnih konstrukcij v skladu s statičnimi izračuni ter ureditev prehodov in križišč z obstoječo infrastrukturo. Vsa betonska in armiranobetonska dela se izvajajo v skladu z načrti, opisi del, statičnimi izračuni, tehničnimi predpisi in predpisanimi standardi.

Četrta faza gradnje ceste traja dva tedna in vključuje slojevito gradnjo cestne konstrukcije za prometno obremenitev KPO-1. Vgradnja 30-centimetrskega zaščitnega sloja debeline 30 centimetrov predstavlja temelj celotne konstrukcije. 8 centimetrov debela nosilna plast iz asfaltnega betona AC 22 zagotavlja konstrukcijsko trdnost, 6 centimetrov debela vezna plast iz asfaltnega betona AB 16 zagotavlja ustrezno povezavo, 4 centimetre debela obrabna plast iz asfaltnega betona AB 11 surf pa zagotavlja gladko in varno površino za kolesarjenje.

Peta faza končnih ureditev traja en teden in vključuje postavitev prometne signalizacije v skladu s Pravilnikom o prometni signalizaciji in prometni opremi na cestah, ureditev avtobusnih postajališč z nadstreški in potrebno opremo, zatravitev in ozelenitev vseh prizadetih območij z uporabo travne mešanice s podobno sestavo kot obstoječi ekstenzivni travniki ter čiščenje in predajo objekta investitorju.

4.3 Terminski načrt in organizacija gradbišča

Celoten časovni načrt projekta kolesarske steze je zasnovan za 12 tednov aktivne gradnje med julijem in septembrom, pri čemer vse faze predstavljajo kritično pot projekta zaradi strogih okoljskih omejitev. Dvotedenska faza priprave lokacije mora biti zaključena v začetku julija, ko so hidrološke razmere najugodnejše. Štiritedenska faza zemeljskih del je najdaljša faza in zahteva optimalne vremenske razmere. Tritedenska faza gradnje mora biti usklajena z dobavo specializiranih materialov. Dvotedenska faza gradnje vozišča zahteva suho vreme za kakovostno asfaltiranje. Enotdnevne končne prilagoditve vključujejo vse spremljajoče dejavnosti.

Organizacija gradbišča je zasnovana ob upoštevanju omejenih prostorskih možnosti linearnega projekta ob regionalni cesti. Glavno gradbišče se nahaja ob regionalni cesti pri gostinskem

objektu Grič na parceli 199/4 katastrske občine Čatež, kjer je predvideno skladiščenje materiala na asfaltirani površini, začasni objekti za delavce v obliki montažnih zabojnikov in parkirišče za mehanizacijo z ustrezno drenažo. Sekundarni prostori so predvideni ob mostu čez reko Krko na parceli 181/1 katastrske občine Čatež za začasno skladiščenje manjših materialov in kot dostopna točka za odsek 1.

Prometne poti so optimizirane preko glavnega dovoda na regionalni cesti R2-419/1206 z minimalnim številom dostopnih točk zaradi varstva okolja in usklajevanja z upravljavcem ceste DRSI. Glavna dostopna točka pri gostinskem objektu Grič omogoča neposreden dostop do najzahtevnejšega odseka, sekundarna dostopna točka pri mostu pa omogoča dela na začetnem odseku brez konfliktov z glavno gradnjo.

Sezonske omejitve določajo, da je gradnja možna le v juliju-septembru izven obdobja drstenja rib v skladu s pogoji Slovenskega zavoda za ribištvo pod številko 4202-59/2019/2. Izogibanje delovnim dnevom z veliko prometno obremenitvijo regionalne ceste zahteva usklajevanje z Direkcijo Republike Slovenije za infrastrukturo. Upoštevanje vremenskih razmer pri betoniranju konzolnih konstrukcij zahteva fleksibilnost pri vsakodnevnih aktivnostih.

Prometna ureditev med gradnjo zahteva izdelavo elaborata začasne prometne ureditve v skladu s Pravilnikom o zaporih cest (KOP Brežice d.d., 2018), pridobitev dovoljenja za zaporo državne ceste s strani DRSI ter postavitev prometne signalizacije s strani izvajalca za redno vzdrževanje občinske ceste na stroške investitorja. Varnost prometa na državni cesti in zavarovanje delovnega mesta v skladu z gradbenim soglasjem in predpisi o varstvu pri delu sta odgovornost vsakega investitorja oziroma izvajalca.

Logistika materiala mora upoštevati linearno naravo projekta in različne pogoje dostopa vzdolž trase. Učinkovita dostava, skladiščenje in vgradnja materialov zahtevajo skrbno načrtovanje, da se čim bolj zmanjšajo stroški prevoza, zmanjša vpliv na okolje in zagotovi pravočasna razpoložljivost za gradbena dela. Dobava asfalta mora biti usklajena z asfaltno bazo, ki je oddaljena približno 15 kilometrov. Dobava betona za podporne konstrukcije mora biti usklajena z betonarnami v radiju 30 kilometrov. Specializirani materiali za ojačane nasipe in konzolne konstrukcije zahtevajo predhodna naročila zaradi daljših dobavnih rokov.

Usklajevanje z javnimi službami vključuje usklajevanje z upravljavci komunalnih storitev za zaščito in morebitno premestitev obstoječih komunalnih storitev, obveščanje prebivalcev o motnjah in zaprtjih prek lokalnih medijev in občinskih obvestil, usklajevanje z javnim

prevozom za prilagoditev voznih redov avtobusov ter zagotavljanje dostopa do lokalnih objektov v celotnem obdobju gradnje.

4.4 Omejitve, spremembe in prilagoditve med izvedbo

Okoljske omejitve: Projekt se izvaja na izjemno občutljivem okoljskem območju, ki zahteva stroge ukrepe (Slovenski inštitut za ribištvo, 2019):

- Absolutna prepoved gradnje med 1. 10. in 30. 6. (obdobje drstenja)
- Nadzor erozije in preprečevanje izpiranja tal v reko
- Obvezna prisotnost ekološkega nadzornika
- Takojšnja ustavitev dela pri povišani motnosti vode

Tehnične omejitve:

- Omejen dostop mehanizacije na odseku pri reki Krki
- Potreba po specializirani opremi za konzolne konstrukcije
- Omejitve zaradi obstoječih občinskih vodov
- Usklajevanje z vzdrževanjem regionalnih cest

Prometne omejitve:

- Gradnja pod prometom z delnimi zaporami regionalnih cest
- Zagotavljanje dostopa do lokalnih objektov
- Usklajevanje s prometom avtobusnega podjetja
- Obvezna uporaba prometne signalizacije

Verjetne spremembe in prilagoditve:

1. **Geološke razmere:**

- Možnost odkritij arheoloških najdb (območje rimskih cest)
- Slabše temeljne razmere, kot je bilo načrtovano
- Višja podtalnica od pričakovane

2. **Vremenske razmere:**

- Podaljšano deževno obdobje

- Ekstremne temperature za betoniranje
- Poplave na reki Krki

3. **Logistične spremembe:**

- Nedostopnost gradiv
- Mehanizacija ključev za okvaro
- Spremembe dostopnosti na gradbiščih

Prilagoditev strategij:

- Rezervni dobavitelji materialov
- Priprava alternativne tehnološke rešitve
- Prilagodljiv urnik za kritične operacije
- Redna komunikacija z vsemi udeleženci

4.5 Analiza izvedbe tehnološke študije - nadaljnji dokazi za hipotezo H1

Podrobna preučitev petih gradbenih faz, opisanih v poglavju 4.2, zagotavlja dodatne dokaze za hipotezo H1 glede ključne vloge tehnoloških študij.

V diplomskem delu je navedeno: »Izgradnja kolesarske poti med Krško vasjo in Čatežem Ob Savi je razdeljen na pet osnovnih faz, ki jih je treba zaradi okoljskih omejitev izvesti v strogem časovnem okviru. Celotna gradnja mora biti končana v 12 tednih med julijem in septembrom.«

Prva faza je dokumentirana kot trajajoča »dva tedna in je ključna faza, ki določa uspeh celotnega projekta«. V diplomskem delu so navedene zahteve, vključno z »Geodetsko zakoličenje trase in kontrolnih točk se izvede na podlagi koordinat, podanih v študiji zakoličenja, pri čemer se zakoličbena situacija pripravi v merilu 1:500 v koordinatnem sistemu D96/TM (ETRS).«

Specifikacije zemeljskih del za 2. fazo so podrobne: »Druga faza zemeljskih del traja štiri tedne in predstavlja najobsežnejšo fazo projekta, ki vključuje različne vrste zemeljskih del, odvisno od topografije terena.« V diplomskem delu je navedeno, da se »na odseku od kilometra 10+500 do 11+050 izvede načrtovanje terena do globine od 50 do 80 centimetrov, pri čemer se upošteva kategorizacija tal in kamnin od kategorije I do V.«

Določene so gradbene zahteve 3. faze: »Tretja faza gradnje objektov traja tri tedne in vključuje betoniranje temeljev podpornih zidov iz betona C 16/20, vgradnjo konzolnih elementov z mikropiloti, izdelavo nosilnih konstrukcij v skladu s statičnimi izračuni.«

Podrobno je opisana 4. faza gradnje ceste: »Četrta faza gradnje ceste traja dva tedna in vključuje večplastno gradnjo cestne konstrukcije za prometno obremenitev kategorije KPO-1.« Dokumentirani so specifični sloji: »8 centimetrov debela nosilna plast iz asfaltnega betona AC 22 zagotavlja konstrukcijsko trdnost, 6 centimetrov debela vezna plast iz asfaltnega betona AB 16 zagotavlja ustrezno povezavo, 4 centimetre debela obrabna plast iz asfaltnega betona AB 11 surf pa zagotavlja gladko in varno površino za kolesarjenje.«

Končne ureditve 5. faze: »Peta faza končnih ureditev traja en teden in vključuje postavitev prometne signalizacije v skladu s Pravilnikom o prometni signalizaciji in prometni opremi na cestah.«

V razdelku 4.4 so navedene omejitve: dokumentirane so »Okoljske omejitve«, »Tehnične omejitve«, »Prometne omejitve« in »Verjetne spremembe in prilagoditve«, kar kaže, da mora tehnološki elaborate upoštevati različne omejitve.

Dokumentirane faze, specifikacije in omejitve zagotavljajo dokaze, ki podpirajo hipotezo H1, da so tehnološki elaborati ključni za določitev poteka gradnje, zaporedja in pogojev za varno izvedbo.

5 IZZIVI NA GRADBIŠČIH IN REŠEVANJE V PRAKSI

5.1 Vremenske razmere in dostopnost ob reki

Projekt kolesarske poti Krška vas–Čatež se zaradi svoje lege ob reki Krki in omejenega časovnega okvira za gradnjo sooča z edinstvenim nizom vremenskih izzivov, kar predstavlja enega najpomembnejših dejavnikov za uspeh celotnega projekta.

Sezonske omejitve predstavljajo temeljno omejujočo okoliščino (Zavod Republike Slovenije za varstvo narave, 2019), saj je gradnja zaradi zaščite obdobja drstenja rib v skladu s pogoji Slovenskega zavoda za ribištvo strogo omejena na obdobje julij-september. Načrtovana dela na območju vodotoka se zaradi drstenja rib ne smejo izvajati med 1. oktobrom tekočega leta in 30. junijem naslednjega leta, v tem obdobju pa so na območju vodnih in priobalnih zemljišč prepovedana dela, ki lahko negativno vplivajo na kakovost vode in vodni režim. To pomeni, da mora biti celotna 12-tedenska gradnja končana v samo treh mesecih, kar ne dopušča zamud zaradi slabega vremena ali drugih nepredvidenih okoliščin.

Hidrološke razmere reke Krke neposredno vplivajo na dostopnost gradbišča in možnost izvajanja del, zlasti na kritičnem odseku med profiloma R_P74 do R_P82, kjer je predvidena gradnja konzolnih objektov. Analiza zgodovinskih podatkov kaže na povprečni pretok v obdobju julij-september med 45 in 60 kubičnimi metri na sekundo, medtem ko je kritični pretok za varno gradnjo 80 kubičnih metrov na sekundo. Verjetnost preseganja kritičnega pretoka v času gradnje je približno 15 odstotkov, kar zahteva pripravo alternativnih scenarijev in protokolov za hitro odzivanje.

Vpliv padavin predstavlja dvojno grožnjo za projekt, saj intenzivne padavine povzročajo dvignjene gladine rek in povečano motnost vode, kar lahko zahteva takojšnjo prekinitev del v skladu z okoljskimi razmerami. Hkrati lahko otežene razmere za zemeljska dela na strmih pobočjih Šentviške gore povzročijo erozijo in ogrozijo stabilnost začasnih objektov. V skladu s pogoji za ribolov je treba nenehno spremljati povečanje motnosti oziroma oblačnosti vode na območju vodotokov, kjer se bodo izvajali posegi, pri čemer mora biti motnost potoka omejena na najkrajši možni čas in ne sme trajati neprekinjeno več kot tri dni.

Praktične rešitve za obvladovanje vremenskih izzivov vključujejo vzpostavitev 24-urnega spremljanja gladine reke prek povezave z Agencijo Republike Slovenije (ARSO) za okolje, ki zagotavlja podatke o hidroloških razmerah v realnem času. Priprava načrta za hitro postavitev

začasnih zaščit vključuje pripravljene materiale za zaščito pred erozijo in protokole za umik strojev z ogroženih območij. Usklajevanje z ARSO za vremenske napovedi omogoča načrtovanje kritičnih dejavnosti, kot je betoniranje konzolnih konstrukcij, za obdobja z ugodnimi vremenskimi razmerami. Priprava rezervnih lokacij za kritične materiale zunaj poplavnega območja zagotavlja neprekinjeno oskrbo tudi v poslabšanih razmerah.

5.2 Usmerjanje delovnih ekip in strojne mehanizacije

Organizacija dela je zasnovana okoli glavne delovne fronte, ki se v skladu s tehnološkim zaporedjem del premika od kilometra 10+500 do 12+125. Prvi odsek od kilometra 10+500 do 11+050 omogoča relativno enostavno organizacijo dela zaradi ravnega terena, medtem ko drugi odsek zahteva specializirane ekipe za delo na konzolnih konstrukcijah in armiranih nasipih. Podporne ekipe hkrati delajo na pripravi terena in zaključnih delih, kar omogoča optimalno izrabo delovnega časa.

Koordinacija strojev zahteva skrbno načrtovanje glede na dostopnost in potrebe posameznih odsekov. Težki stroji, vključno z bagri in nakladalniki, ostajajo v posameznih odsekih zaradi omejenih možnosti gibanja, medtem ko se transportna vozila premikajo po optimiziranih poteh za dostavo materiala. Mobilna oprema se premika dnevno glede na trenutne delovne potrebe.

Komunikacijski sistem temelji na radijskih postajah za vse vodje ekip, GPS sledenju ključnih strojev in centralnem koordinacijskem centru, ki omogoča usklajevanje vseh dejavnosti na gradbišču v realnem času. Ta sistem je še posebej pomemben zaradi linearne narave projekta, kjer lahko motnje na enem odseku vplivajo na celotno verigo del.

5.3 Komunikacija z naročnikom in nadzorom

Taktična raven komunikacije se izvaja tedensko prek sestankov projektne ekipe, kjer se pregleduje urnik in usklajuje delo z lokalnimi deležniki. Ti sestanki so ključni za zagotavljanje skladnosti z načrtovanim napredkom in pravočasno odkrivanje morebitnih težav. Strateška raven komunikacije se izvaja mesečno z investitorjem in vključuje celovito poročanje o napredku, spremembah projektne dokumentacije in finančnem stanju projekta.



Slika 7 : Lista prisotnosti na operativnem sestanku in kontejner za sestanke

Vir: Lastno

Posebne komunikacijske potrebe z okoljskim nadzornikom vključujejo dnevno poročanje o motnosti vode, takojšnjo komunikacijo v primeru okoljskih incidentov in pridobivanje dovoljenj za dela na kritičnih območjih. Ta komunikacija je ključnega pomena za zagotavljanje skladnosti z okoljskimi pogoji in preprečevanje morebitnih kazni ali prekinitve dela.

Komunikacija z Direkcijo Republike Slovenije za infrastrukturo (DRSI) kot upravljavcem ceste zahteva usklajevanje prometnih zapor, zagotavljanje prometne varnosti in prilagajanje voznih redov avtobusov. To usklajevanje mora biti stalno in proaktivno, saj lahko nepredvidene spremembe prometne ureditve vplivajo na celoten časovni načrt projekta.

Komunikacija z lokalnimi skupnostmi vključuje obveščanje o motnjah in zaprtjih, reševanje pritožb prebivalcev in usklajevanje dostopa do lokalnih objektov. Ta vidik komunikacije je pomemben za ohranjanje dobrih odnosov z lokalno skupnostjo in preprečevanje nepotrebnih konfliktov med izvajanjem del.

5.4 Sprotno prilagajanje elaborata

Hidrološke spremembe predstavljajo pomemben dejavnik prilagajanja, saj lahko višji vodostaji od pričakovanih, spremenjena motnost vode ali dodatne zahteve za zaščito pred erozijo

zahtevajo spremembe tehnoloških procesov. Možnost arheoloških najdb, zlasti ostankov rimske ceste, lahko povzroči časovne zamude zaradi potrebnega arheološkega spremljanja in dokumentiranja.

Postopek prilagajanja se začne z ugotavljanjem potrebe po spremembah na podlagi ogleda lokacije s strani vodilnih strokovnjakov, analizo vplivov na časovni načrt in oceno finančnih posledic. Sledi tehnična analiza, ki vključuje preverjanje alternativnih rešitev, posvetovanje s projektanti in potrditev skladnosti z dovoljenji.



Slika 8: Posvetovanje preko e-pošte

Vir: Lastno

Pridobitev odobritev zahteva soglasje nadzornika, odobritev investitorja in obveščanje pristojnih organov za prostorsko načrtovanje. Izvajanje sprememb vključuje prilagajanje delovnih načrtov, prekvalifikacijo ekip in temeljito dokumentiranje vseh sprememb, da se zagotovi sledljivost procesa.

Tipični primeri prilagoditev vključujejo spremembo tehnologije, kot je zamenjava konzolnih konstrukcij z ojačanimi nasipi zaradi geoloških razmer, prilagoditev časa zaradi daljše deževne dobe, namestitev dodatnih drenažnih elementov zaradi višje gladine podtalnice ali povečanje pogostosti spremljanja kakovosti vode zaradi povečane občutljivost.

5.5 Vrednotenje Hipoteze H2 - Potencial umetne inteligence za izboljšave na področju prilagodljivosti in natančnosti

Analiza v 5. poglavju omogoča vrednotenje hipoteze H2, ki pravi, da lahko umetna inteligenca izboljša natančnost izvedbe gradbenih projektov z zaznavanjem tveganj, analizo sprememb in podporo pri sprejemanju odločitev. Tukaj lahko iz opisov opazimo, da je možnosti za aplikacijo umetne inteligence veliko, vendar dela potekajo nemoteno in učinkovito tudi brez njene uporabe.

Na podlagi dokumentiranega je potencial prednosti aplikacije umetne inteligence pri vodenju projekta velik, vendar zgolj teoretične narave. Hipoteza H2 je tako načeloma podprta, vendar zahteva dodatno praktično validacijo.

6 MOŽNOSTI UPORABE UMETNE INTELIGENCE

6.1 Uporaba umetne inteligence za optimizacijo zaporedja del

Umetna inteligenca lahko revolucionarno spremeni načrtovanje in optimizacijo gradbenih procesov, zlasti pri kompleksnih projektih, kot je kolesarska pot Krška vas–Čatež s številnimi omejitvami. Sistemi umetne inteligence lahko analizirajo na tisoče možnih kombinacij gradbenih procesov in ponudijo optimalne rešitve za probleme, ki upoštevajo okoljske omejitve obdobja drstenja rib med julijem in septembrom, vremenske napovedi in hidrološke razmere, razpoložljivost strojev na posameznih odsekih, soodvisnosti med različnimi fazami gradnje ter logistične omejitve pri dobavi materialov.

Praktična izvedba sistema umetne inteligence bi temeljila na zbiranju podatkov iz vremenskih napovedi in hidroloških meritev, GPS sledenju strojev in materialov, posnetkih gradbišč v realnem času z droni in senzorjih za spremljanje kakovosti vode. Ta pristop k velikim podatkom omogoča sistemu umetne inteligence sprejemanje premišljenih odločitev na podlagi trenutnih razmer in napovedi prihodnjega razvoja.

Pričakovane koristi uvedbe optimizacije z umetno inteligenco vključujejo 15–20-odstotno skrajšanje trajanja gradnje, 25-odstotno zmanjšanje stroškov koordinacije, 85-odstotno povečanje izkoriščenosti opreme in 40-odstotno zmanjšanje okoljskih incidentov. Te številke temeljijo na analizah podobnih projektov, kjer je bila uspešno izvedena optimizacija s pomočjo umetne inteligence.

Konkreten primer optimizacije kaže, da bi se tradicionalno zaporedno izvajanje zemeljskih del na odseku vzdolž reke UI optimiziralo z identifikacijo dni z najnižjimi vodostaji za kritična dela, usklajevanjem dela več ekip hkrati na različnih odsekih, optimizacijo dostav materiala glede na prometne razmere in napovedovanjem potrebe po dodatnih okoljskih ukrepih.

6.2 UI pri zaznavanju odstopanj (čas, kakovost, logistika)

Zgodnje odkrivanje odstopanj je ključnega pomena za uspešno vodenje projektov, saj lahko sistemi umetne inteligence samodejno prepoznajo težave, preden postanejo kritične. V primeru časovnih odstopanj algoritmi umetne inteligence analizirajo napredek v realnem času in ga primerjajo z načrtovanimi mejniki z analizo produktivnosti ekipe z video analitiko, sledenjem

gibanja strojev z GPS-om, povezovanjem vremenskih podatkov z delovno učinkovitostjo in napovedovanjem zamud na podlagi trenutnih trendov.

Umetno inteligenco lahko uporabljamo tudi z avtomatiziranimi sistemi, vključno z droni z multispektralnimi kamerami za pregledovanje voziščnih konstrukcij, senzorji za nadzor zbijanja povezovalnega sloja, analizo slik z umetno inteligenco za odkrivanje napak pri betoniranju in termičnimi kamerami za preverjanje enakomernega polaganja asfalta. Ta tehnološki pristop omogoča stalno spremljanje kakovosti brez dodatne obremenitve človeških virov.

Umetna inteligenca lahko optimizira logistična odstopanja z napovedovanjem potreb po materialih na podlagi napredka, optimizacijo transportnih poti glede na prometne razmere, zgodnjim opozarjanjem na pomanjkanje ključnih materialov in usklajevanjem z dobavitelji prek pomočnikov umetne inteligence.

Izvajanje opozorilnega sistema deluje na štirih ravneh: zelena raven, kjer vse poteka po načrtih, rumena raven z opaznimi odstopanji in potrebnim povečanim nadzorom, oranžna raven z večjimi odstopanji in potrebnimi korektivnimi ukrepi ter rdeča raven s kritičnimi odstopanji in potrebno takojšnjo intervencijo na gradbišču.

6.3 Prikaz simulacije ali analiza primera iz tujine

Mednarodni primeri kažejo obetavne rezultate pri uporabi pametnih tehnologij v kolesarski infrastrukturi. Kopenhagen je vodilno mesto pri uvajanju inteligentnih transportnih sistemov za kolesarje. Mesto je namestilo pametne semaforje na 380 križiščih, ki omogočajo optimizacijo v realnem času, s čimer so dosegli 10-odstotno zmanjšanje časa potovanja za kolesarje ter 10-odstotno zmanjšanje števila postankov. Sistem vključuje senzorje, ki zaznajo, kdaj se pet ali več kolesarjev približuje križišču, zaradi česar podaljšajo zeleno luč. Poleg tega je Kopenhagen leta 2017 namestil pet spremenljivih informacijskih tabel izključno za kolesarje, ki prikazujejo informacije o zastojih, časih potovanj in dogodkih. Na področju splošne gradnje platforma ALICE Technologies poroča o 17-odstotnem zmanjšanju trajanja projekta in 14-odstotnih prihrankih pri stroških dela. Wilson Construction je z uporabo tehnologij umetne inteligence dosegel 18-odstotno zmanjšanje skupnih stroškov. Ti rezultati kažejo na potencial tehnologij umetne inteligence, vendar je pomembno poudariti, da izhajajo iz splošnih gradbenih projektov in ne posebej iz kolesarske infrastrukture.

Na podlagi mednarodnih primerov lahko razvijemo hipotetični model implementacije tehnologije umetne inteligence za projekt Krška vas–Čatež. Tradicionalni pristop predpostavlja trajanje projekta v obdobju 12 tednov s stroški projekta 850.000 evrov. Teoretična implementacija tehnologij umetne inteligence, ki temelji na ekstrapolaciji rezultatov iz drugih gradbenih projektov, bi lahko potencialno skrajšala trajanje projekta za 15–20 odstotkov in zmanjšala stroške koordinacije, vendar je treba poudariti, da gre za teoretične napovedi, ki temeljijo na predpostavki idealne implementacije tehnologij, ki trenutno niso del dejanskega projekta. Ključne aplikacije umetne inteligence, ki bi bile teoretično uporabne, vključujejo optimizacijo gradbenih zaporedij na podlagi vremenskih napovedi, prediktivno vzdrževanje strojev in avtomatizirano spremljanje kakovosti vode v reki Krki. Te aplikacije predstavljajo vizijo možnega prihodnjega razvoja, ne pa trenutnega stanja projekta.

6.4 Povezava s terminskim planom in planiranjem virov

Umetna inteligenca lahko znatno izboljša načrtovanje in upravljanje virov z inteligentno analizo vzorcev in optimizacijo. Pri mehanizaciji umetna inteligenca analizira potrebe po opremi in optimizira njeno uporabo tako, da sedem dni vnaprej napove potrebe po težki opremi, optimizira souporabo opreme med različnimi oddelki, izvaja napovedno vzdrževanje za preprečevanje okvar in se usklajuje z zunanjimi najemniki opreme.

Optimizacija človeških virov vključuje napovedovanje števila delavcev, potrebnih po specializacijah, načrtovanje usposabljanja za nova delovna mesta, optimizacijo izmen na podlagi vremenskih napovedi in usklajevanje specialistov, kot so potapljači in ekologi, z glavnim urnikom. Ta pristop zagotavlja, da so pravi ljudje na pravem mestu ob pravem času.

Pravočasna dobava materialov temelji na napovedovanju potreb glede na napredek dela, optimizaciji naročil na podlagi minimalnih količin, usklajevanju z dobavitelji prek platforme umetne inteligence in zmanjševanju skladiščnega prostora na omejenem gradbišču. Ta pristop zmanjšuje stroške skladiščenja in zagotavlja pravočasno razpoložljivost materialov.

Sistem umetne inteligence dinamično prilagaja urnik in se nenehno posodablja glede na napredek na terenu v realnem času, vremenske napovedi in hidrološke podatke, razpoložljivost virov in materialov ter nepredvidene dogodke, kot so arheološke najdbe ali okoljski incidenti. Integracija z modelom BIM omogoča 4D-vizualizacijo z optimizacijo umetne inteligence, vizualizacijo kritične poti v realnem času, simulacijo alternativnih scenarijev in avtomatizirano poročanje za nadzornike in investitorja.

Praktičen primer načrtovanja odseka ob reki kaže, da bi sistem umetne inteligence optimiziral delo s pripravo dostopnih poti v prvem in drugem tednu, ko je gladina vode najnižja, izvedbo glavnih zemeljskih del v suhih dneh v tretjem do petem tednu, betoniranjem nosilnih konstrukcij v šestem in sedmem tednu, izvedbo cestne konstrukcije in asfalta v osmem in devetem tednu ter dokončanjem del in ozelenitvijo v desetem tednu. Vsak korak bi bil optimiziran glede na vremenske napovedi, razpoložljivost strojev in kakovost vode v območju. Krka Reka .

6.5 Vrednotenje Hipoteze H3 - Integracija umetne inteligence za zmanjševanje napak in povečanje učinkovitosti

Analiza 6. poglavja omogoča oceno hipoteze H3, ki navaja, da lahko vključevanje umetne inteligence v izvedbene projekte zmanjša napake, poveča učinkovitost in omogoči neprekinjeno prilagajanje delovnih procesov glede na pogoje na lokaciji.

Oddelek 6.1 dokumentira prednosti umetne inteligence pri izvajanju: »Sistemi umetne inteligence lahko analizirajo na tisoče možnih kombinacij gradbenih procesov in ponudijo optimalne rešitve za probleme, ki upoštevajo okoljske omejitve obdobja drstenja rib med julijem in septembrom, vremenske napovedi in hidrološke razmere, razpoložljivost strojev na posameznih odsekih, soodvisnosti med različnimi fazami gradnje ter logistične omejitve pri dobavi materialov.«

Navedene so kakovostne izboljšave, pridobljene z uporabo UI: »Praktična izvedba sistema umetne inteligence bi temeljila na zbiranju podatkov iz vremenskih napovedi in hidroloških meritev, GPS sledenju strojev in materialov, posnetkih gradbišč v realnem času z droni in senzorjih za spremljanje kakovosti vode. Ta pristop k velikim podatkom omogoča sistemu umetne inteligence sprejemanje premišljenih odločitev na podlagi trenutnih razmer in napovedi prihodnjega razvoja.«

Dokumentirane so tudi prednosti na okoljevarstvenem območju: »Zmanjševanje vplivov na okolje je še posebej pomembno za projekt ob reki Krki in vključuje stalno spremljanje motnosti vode s senzorji, samodejna opozorila ob prekoračitvi mejnih vrednosti, optimizacijo del za zmanjšanje motenj v ekosistemu in napovedno upravljanje za preprečevanje okoljskih incidentov.«

Navedene so finančne koristi: »[…] nižjih stroških projekta zaradi optimizacije virov, nižjih kaznih za zamude ali kršitve okoljskih predpisov, nižjih stroških koordinacije zaradi avtomatiziranih sistemov ter boljši izkoriščenosti naložb v opremo in materiale.«

Hkrati pa so v diplomskem delu navedeni tudi izzivi, povezani z implementacijo UI: »Teoretična analiza implementacije umetne inteligence kaže na znatne priložnosti za izboljšanje učinkovitosti gradnje, varstva okolja in napredka industrije. Vendar pa je za uspešno implementacijo treba obravnavati opredeljene izzive, vključno z investicijskimi stroški, usposabljanjem osebja in razvojem regulativnega okvira.«

Prav tako v sklopu teze ugotavljamo tudi naslednje: »Med izzivi na področju človeških virov so pomanjkanje specializiranega osebja, potreba po strokovnjakih za umetno inteligenco v gradbeništvu, usposabljanje obstoječega osebja za delo z novimi tehnologijami, odpor do sprememb med starejšimi strokovnjaki in potreba po stalni podpori strokovnjakom za IT. Rešitve vključujejo partnerstvo z univerzo za usposabljanje človeških virov, postopno uvajanje tehnologij z mentorstvom, spodbude za sodelovanje v programih usposabljanja in hibridni pristop, ki združuje tradicionalne in metode umetne inteligence.«

Na podlagi dokumentiranih prednosti in izzivov, ki jih prinaša UI, je mogoče hipotezo H3 pogojno potrditi, in sicer integracija UI kaže potencial za zmanjšanje človeških napak in optimizacijo stroškov ter povečanje dobička, vendar je potrebno pri implementaciji nasloviti izzive, ki jih prinaša aplikacija UI.

7 DOLGOROČNI VPLIVI UMETNE INTELIGENCE NA RAZVOJ GRADBENIŠTVA - HIPOTEZA H4

7.1 Digitalna transformacija v gradbeni industriji

Analiza potenciala umetne inteligence v projektu Krška vas–Čatež zagotavlja osnovo za preučevanje hipoteze H4, ki obravnava, ali lahko umetna inteligenca in nove tehnologije dolgoročno vplivajo na razvoj dostopnejše, bolj trajnostne in digitalno podprte infrastrukture.

Raziskava diplomskega dela v prejšnjih poglavjih je pokazala, da imajo tradicionalni gradbeni pristopi, čeprav funkcionalni, inherentne omejitve. Kot je dokumentirano v razdelku 4.4, se trenutne metode soočajo z »okoljskimi omejitvami«, »tehničnimi omejitvami«, »prometnimi omejitvami« in zahtevajo »verjetne spremembe in prilagoditve« med izvajanjem. Te omejitve ustvarjajo priložnosti za tehnološki napredek, ki bi lahko koristil širši gradbeni industriji.

7.2 Izboljšave dostopnosti s tehnologijo

Mednarodni primeri, predstavljeni v razdelku 6.3, kažejo konkretne izboljšave dostopnosti. Diplomsko delo navaja: »Kopenhagen je vodilno mesto pri uvajanju inteligentnih transportnih sistemov za kolesarje. Mesto je namestilo pametne semaforje na 380 križiščih, ki omogočajo optimizacijo v realnem času, s čimer so dosegli 10-odstotno zmanjšanje časa potovanja za kolesarje ter 10-odstotno zmanjšanje števila postankov.«

Poleg tega je »[…] Kopenhagen leta 2017 namestil pet spremenljivih informacijskih tabel izključno za kolesarje (Cities, 2022), ki prikazujejo informacije o zastojih, časih potovanj in dogodkih.« Te dokumentirane izboljšave kažejo, kako tehnologije umetne inteligence neposredno prispevajo k dostopnejši infrastrukturi z zmanjševanjem ovir in izboljševanjem uporabniške izkušnje.

Za projekte, podobne projektu Krška vas–Čatež, bi se takšne izboljšave dostopnosti lahko razširile onkraj kolesarske infrastrukture na splošna prometna omrežja in potencialno koristile starejšim uporabnikom, invalidnim posameznikom in drugim skupinam, ki potrebujejo izboljšane funkcije dostopnosti.

7.3 Trajnost in okoljske koristi

Okoljske omejitve projekta Krška vas–Čatež, zlasti zahteva, da se »gradnja lahko izvaja izključno v obdobju od julija do septembra« zaradi zaščite drstenja rib, poudarjajo, kako trajnostni premisleki vse bolj vodijo gradbeno načrtovanje.

Razdelek 6.1 dokumentira, kako bi lahko umetna inteligenca izboljšala varstvo okolja, in sicer je zaradi zmanjševanja vplivov na okolje za projekt še posebej pomembna aplikacija UI, saj lahko med drugim obsega stalno spremljanje motnosti vode s senzorji, samodejna opozorila ob prekoračitvi mejnih vrednosti, optimizacijo del za zmanjšanje motenj v ekosistemu in napovedno upravljanje za preprečevanje okoljskih incidentov.

Diplomsko delo tudi omenja potencialne koristi optimizacije virov, npr. finančne koristi, ki se kažejo v nižjih stroških projekta zaradi optimizacije virov, nižjih kaznih za zamude ali kršitve okoljskih predpisov, nižjih stroških koordinacije zaradi avtomatiziranih sistemov ter boljši izkoriščenosti naložb v opremo in materiale.

Te dokumentirane zmogljivosti kažejo, da bi implementacija umetne inteligence lahko podpirala bolj trajnostne gradbene prakse v celotni industriji, zlasti na okoljsko občutljivih območjih, podobnih zavarovanemu območju Natura 2000, kjer se nahaja omenjena kolesarska pot.

7.4 Razvoj digitalne infrastrukture

Raziskava je identificirala specifične tehnološke komponente, ki bi lahko tvorile temelj digitalno podprte infrastrukture. Razdelek 6.2 opisuje štiriplastno arhitekturo s senzorji interneta stvari za spremljanje okolja, optimizacijskimi algoritmi in integracijo aplikacijskih sistemov.

Diplomsko delo opisuje celovite možnosti digitalne integracije. Podatkovna plast vključuje senzorje interneta stvari na gradbišču za spremljanje vodnih gladin, vsebnosti mulja in temperature, GPS sledenje strojev in materialov, vremenske napovedi in hidrološke podatke, model BIM s 4D komponento ter zgodovinske podatke iz podobnih projektov.

Razdelek 7.2 predstavlja koncept digitalnih dvojčkov. Digitalni dvojček bi namreč integriral model BIM s podatki v realnem času, omogočil simulacijo različnih gradbenih scenarijev, vizualizacijo vpliva vremenskih razmer in 4D vizualizacijo napredka projekta.

Te tehnološke zmogljivosti predstavljajo infrastrukturni temelj, potreben za digitalno transformacijo celotne industrije, ki se razširi onkraj posameznih projektov in ustvari medsebojno povezane sisteme pametnega gradbenega upravljanja.

7.5 Zaključek za hipotezo H4

Na podlagi celovite analize, predstavljene v tem diplomskem delu, obstajajo pomembni dokazi, ki podpirajo hipotezo H4 glede dolgoročnega vpliva umetne inteligence in novih tehnologij na razvoj gradbene industrije.

DOSTOPNOST: Dokumentirani primeri iz Kopenhagna kažejo merljive izboljšave dostopnosti z implementacijo umetne inteligence v kolesarsko infrastrukturo, kar je neposredno relevantno za projekte, kot je izgradnja kolesarske poti Krška vas–Čatež.

TRAJNOST: Raziskava ugotavlja, kako lahko tehnologije umetne inteligence izboljšajo varstvo okolja, optimizacijo virov in skladnost z ekološkimi omejitvami, kar je še posebej pomembno za projekte na zavarovanih območjih.

PODPORA DIGITALNI INFRASTRUKTURI: Diplomsko delo kaže, kako umetna inteligenca omogoča celovito digitalno integracijo, od spremljanja v realnem času do napovednega upravljanja, ter podpira preobrazbo industrije k gradbeništvu, ki temelji na podatkih.

Dokazi potrjujejo, da lahko umetna inteligenca in nove tehnologije resnično vplivajo na dolgoročni razvoj dostopnejše, trajnostne in digitalno podprte infrastrukture, vendar uspešna implementacija zahteva strateško načrtovanje, naložbe in postopne pristope sprejemanja, kot so opisani v raziskavi.

8 VPLIV UVEDBE NOVIH TEHNOLOGIJ

8.1 Prednosti UI v fazi izvajanja

Implementacija umetne inteligence v fazi izvajanja projekta kolesarske poti prinaša konkretne koristi na več ključnih področjih. Povečana operativna učinkovitost se doseže z optimizacijo vseh vidikov gradnje s pomočjo umetne inteligence v realnem času, kar za projekt Krška vas–Čatež pomeni povečano produktivnost ekipe z optimizirano koordinacijo, boljšo izkoriščenost strojev s prediktivnim vzdrževanjem, krajši čas prilagajanja nepredvidenim situacijam in krajše čakalne dobe zaradi boljše logistike.

Izboljšana kakovost gradnje je zagotovljena z avtomatiziranimi nadzornimi sistemi, ki omogočajo konstantno kakovost s tehnologijo »računalniškega vida« za preverjanje debeline asfaltnih plasti, senzorji interneta stvari za spremljanje kompaktnosti plošče, analizo umetne inteligence za zgodnje odkrivanje morebitnih napak in avtomatiziranim dokumentiranjem vseh kontrolnih meritev.

Zmanjševanje vplivov na okolje je še posebej pomembno za projekt ob reki Krki in vključuje stalno spremljanje motnosti vode s senzorji, samodejna opozorila ob prekoračitvi mejnih vrednosti, optimizacijo del za zmanjšanje motenj v ekosistemu in napovedno upravljanje za preprečevanje okoljskih incidentov.

Finančne koristi se kažejo v nižjih stroških projekta zaradi optimizacije virov, nižjih kaznih za zamude ali kršitve okoljskih predpisov, nižjih stroških koordinacije zaradi avtomatiziranih sistemov ter boljši izkoriščenosti naložb v opremo in materiale.

8.2 Izzivi: stroškovni, kadrovski, pravni

Mednarodne raziskave kažejo, da lahko umetna inteligenca v gradbeništvu prinese znatne prihranke stroškov, skrajša časovne okvire in zmanjša tveganja pri projektih. Industrija poroča, da lahko umetna inteligenca zmanjša stroške gradnje in izvedbene roke, pri čemer se dejanski rezultati razlikujejo glede na vrsto in obseg projekta.

Med izzivi na področju človeških virov so pomanjkanje specializiranega osebja, potreba po strokovnjakih za umetno inteligenco v gradbeništvu, usposabljanje obstoječega osebja za delo z novimi tehnologijami, odpor do sprememb med starejšimi strokovnjaki in potreba po stalni podpori strokovnjakom za IT. Rešitve vključujejo partnerstvo z univerzo za usposabljanje

človeških virov, postopno uvajanje tehnologij z mentorstvom, spodbude za sodelovanje v programih usposabljanja in hibridni pristop, ki združuje tradicionalne in metode umetne inteligence.

Pravni izzivi se nanašajo na odgovornost za odločitve umetne inteligence, kjer se postavlja vprašanje, kdo je odgovoren za napačne odločitve umetne inteligence, kako zagotoviti sledljivost avtomatiziranih procesov, skladnost z obstoječimi gradbenimi predpisi in zavarovanje pred tehnološkimi tveganji. Varstvo podatkov zahteva skladnost z GDPR pri zbiranju podatkov, zaščito občutljivih informacij o projektu, kibernetsko varnost sistemov umetne inteligence in pravice intelektualne lastnine do algoritmov umetne inteligence.

Regulativni okvir potrebuje nove standarde za umetno inteligenco v gradbeništvu, certificiranje sistemov umetne inteligence za kritične aplikacije, mednarodno standardizacijo za interoperabilnost in etične smernice za uporabo umetne inteligence.

8.3 Možnosti za uvedbo v majhne infrastrukturne projekte

Projekt kolesarske poti Krška vas–Čatež s proračunom 850.000 evrov je tipičen majhen infrastrukturni projekt, ki zahteva premišljen pristop k implementaciji umetne inteligence. Prilagodljivost rešitev umetne inteligence se doseže z modularnim pristopom, ki predlaga fazno implementacijo namesto hkratne implementacije celotnega ekosistema umetne inteligence.

Prva faza bi lahko vključevala osnovno spremljanje s senzorji interneta stvari, sledenje GPS in mobilne aplikacije. Druga faza bi dodala naprednejše algoritme umetne inteligence za optimizacijo in nadzor kakovosti. Tretja faza bi vključevala celovite sisteme za upravljanje virov in komunikacijo. Specifični stroški bi bili odvisni od obsega projekta in lokalnih tržnih razmer.

Za projekt Krška vas–Čatež bi optimalna rešitev vključevala optimizacijo zaporedja del z umetno inteligenco z visoko donosnostjo naložbe, avtomatizirano spremljanje okolja z nadpovprečno donosnostjo naložbe, napovedno načrtovanje virov z ugodno donosnostjo naložbe in računalniški vid za nadzor kakovosti s pozitivno donosnostjo naložbe. Celovita uvedba rešitev umetne inteligence naj bi prinesla znatne prihranke in pozitivno neto korist, kar je v skladu z mednarodnimi trendi, kjer umetna inteligenca v gradbeništvu dosega znatne izboljšave učinkovitosti.

Ključni dejavniki uspeha vključujejo jasno opredelitev ciljev implementacije umetne inteligence, postopno uvajanje z meritvami učinkovitosti, vključevanje vseh deležnikov v proces, nenehno vrednotenje uporabe v primerjavi s stroški ter prilagajanje lokalnim razmeram in omejitvam.

9 KRITIČNA PRIMERJAVA TRADICIONALNEGA PRISTOPA V PRIMERJAVI S PRISTOPOM, PODPRTIM Z UI

9.1 Učinkovitost, preglednost, hitrost odločanja

Primerjava tradicionalnega pristopa k tehnološki izdelavi s pristopom, podprtim z umetno inteligenco, kaže na pomembne konceptualne razlike na ključnih področjih izvedbe projekta. Tradicionalni pristop, kot je uporabljen pri projektu kolesarske poti Krška vas–Čatež, temelji na statičnem urniku s tedenskimi prilagoditvami, ročnim spremljanjem napredka in reaktivnim reševanjem problemov. Izkoriščenost virov je odvisna od izkušenj vodij projektov in razpoložljivosti delovne sile, z določeno verjetnostjo prekoračitve rokov zaradi nepredvidenih okoliščin.

Pri tradicionalnem pristopu je preglednost procesov omejena na redne sestanke za pregled napredka, ročno pripravljena poročila in periodične preglede stanja projekta. Vpogled v trenutno stanje projekta je na voljo predvsem na tedenskih sestankih, kar pomeni časovni zamik pri prepoznavanju težav. Dokumentacija projekta Krška vas–Čatež sledi standardnim postopkom z rednim poročanjem nadzorniku in investitorju.

Pristop, ki ga poganja umetna inteligenca, bi teoretično lahko omogočil neprekinjeno spremljanje prek digitalnih platform, samodejno ustvarjanje poročil in takojšnja opozorila ob zaznanih odstopanjih. Vizualizacija napredka v realnem času bi lahko izboljšala komunikacijo med vsemi deležniki projekta. Takšen sistem bi zahteval znatne naložbe v digitalno infrastrukturo in usposabljanje osebja.



Slika 9: Gradbena knjga s pomočjo Chat GPT 5

Vir: Lastno



Slika 10: Uporabljen poziv

Vir: Lastno

Za projekt kolesarske poti Krška vas–Čatež trenutna metodologija temelji na preizkušenih tradicionalnih pristopih, ki so primerni za obseg in kompleksnost projekta. Vsaka morebitna integracija tehnologij umetne inteligence mora upoštevati:

- razpoložljivost ustrezno usposobljenega osebja,
- stroške implementacije in vzdrževanja sistema,
- organizacijsko pripravljenost na digitalno transformacijo,
- regulativni okvir za uporabo umetne inteligence v gradbeništvu in
- dejansko dodano vrednost glede na obseg projekta.

Pomembno je poudariti, da vse primerjave med tradicionalnimi in z umetno inteligenco podprtimi pristopi predstavljajo teoretično analizo možnosti, ne pa dejanske izvedbe ali merljivih rezultatov. Projekt Krška vas–Čatež se izvaja z uporabo uveljavljenih metod vodenja projektov, ki so se v slovenskem gradbenem sektorju izkazale za učinkovite pri projektih podobnega obsega in kompleksnosti.

9.2 Model digitalno podprtega tehnološkega elaborata

Digitalno podprta tehnološka študija predstavlja evolucijsko stopnjo, ki združuje tehnologije umetne inteligence s tradicionalnim strokovnim znanjem prek štiriplastne sistemske arhitekture. Podatkovna plast vključuje IoT senzorje na gradbišču za spremljanje gladine vode, vsebnosti mulja in temperature, GPS sledenje strojev in materialov, vremenske napovedi in hidrološke podatke, model BIM s 4D komponento in zgodovinske podatke iz podobnih projektov.

Analitična plast umetne inteligence uporablja algoritme strojnega učenja za optimizacijo, računalniški vid za nadzor kakovosti, obdelavo naravnega jezika za analizo dokumentov, napovedne modele za napovedovanje tveganj in optimizacijske algoritme za načrtovanje virov. Aplikacijska plast zagotavlja mobilne aplikacije za terenske ekipe, spletno nadzorno ploščo za upravljanje projektov, integracijo z obstoječimi poslovnimi sistemi, povezavo API z zunanjimi sistemi, kot sta ARSO in DRSI, ter avtomatizirano poročanje.

Uporabniška plast omogoča prilagojene vmesnike za različne vloge, alarmne sisteme za kritične situacije, samopostrežno analitiko za nadzornike in vizualno analitiko za odločevalce. Hipotetična implementacija za projekt, podoben Krški vasi-Čatež, bi teoretično lahko vključevala pametni nadzorni sistem s 15 IoT senzorji vzdolž trase za spremljanje okoljskih parametrov, 5 kamerami z umetno inteligenco za nadzor kakovosti in varnosti, redne prelete dronov za 3D-kartiranje napredka in povezavo z bazami podatkov ARSO. Ta model predstavlja vizijo možnega razvoja, ne pa dejanskega stanja projekta, ki se izvaja s konvencionalnimi metodami nadzora in spremljanja, kot so opredeljene v projektni dokumentaciji.

Digitalni dvojček bi integriral BIM model s podatki v realnem času, omogočil simulacijo različnih gradbenih scenarijev, vizualizacijo vpliva vremenskih razmer in 4D-vizualizacijo napredka projekta. Pomočnik z umetno inteligenco za vodjo projekta bi zagotavljal dnevna poročila o stanju projekta, priporočila za optimizacijo naslednjih aktivnosti, opozorila o morebitnih tveganjih in avtomatizirano komunikacijo z deležniki.

9.3 Potencialna dodana vrednost

Implementacija umetne inteligence v tehnološki študiji za infrastrukturne projekte lahko teoretično ustvari dodano vrednost na več ravneh, vendar je pomembno poudariti, da projekt kolesarske poti Krška vas–Čatež trenutno ne vključuje tehnologij umetne inteligence.

Potencialne kratkoročne koristi bi lahko vključevale izboljšano usklajevanje projektnih dejavnosti, učinkovitejše spremljanje okolja in optimizirano uporabo strojev. Te možnosti predstavljajo teoretični potencial tehnologije, ki bi pred morebitno uvedbo zahtevala temeljito analizo stroškov in koristi.

Kvalitativne koristi bi se lahko odražale v doslednejšem nadzoru kakovosti, izboljšani preglednosti procesov in boljši komunikaciji med deležniki. Razvoj kompetenc na področju digitalnih tehnologij bi lahko bil prednost v prihodnjih projektih.

Srednjeročni razvoj bi lahko vključeval postopno izgradnjo baze znanja za optimizacijo podobnih projektov in razvoj standardiziranih procesov za morebitno prihodnjo digitalizacijo. Partnerstva s tehnološkimi podjetji bi lahko omogočila prenos znanja in postopen razvoj digitalnih kompetenc znotraj organizacije.

Dolgoročna vizija digitalizacije gradbenega sektorja vključuje postopen prehod na odločanje, ki bolj temelji na podatkih, in razvoj novih poslovnih modelov. To predstavlja evolucijski proces, ki zahteva postopne spremembe v organizacijski kulturi in poslovnih procesih.

Za konkretno oceno potencialne dodane vrednosti tehnologij umetne inteligence bi bilo potrebno pripraviti:

- podrobno analizo stroškov izvedbe,
- študijo primerljivih projektov z dokumentiranimi rezultati,
- pilotni projekt z merljivimi kazalniki uspešnosti in
- analizo pripravljenosti organizacije na digitalno transformacijo.

Trenutni projekt Krška vas–Čatež predstavlja referenčni primer tradicionalnega pristopa k izvajanju infrastrukturnih projektov, ki lahko služi kot osnova za prihodnje primerjalne študije digitalizacije v gradbeništvu.

Vključitev umetne inteligence v tehnološko študijo za infrastrukturne projekte lahko teoretično ustvari dodano vrednost na več ravneh, vendar je pomembno poudariti, da projekt kolesarske poti Krška vas–Čatež trenutno ne vključuje tehnologij umetne inteligence.

Potencialne kratkoročne koristi bi lahko vključevale izboljšano usklajevanje projektnih dejavnosti, učinkovitejše spremljanje okolja in optimizirano uporabo strojev. Te možnosti

predstavljajo teoretični potencial tehnologije, ki bi pred morebitno uvedbo zahtevala temeljito analizo stroškov in koristi.

Srednjeročni razvoj bi lahko vključeval postopno izgradnjo baze znanja za optimizacijo podobnih projektov in razvoj standardiziranih procesov za morebitno prihodnjo digitalizacijo. Partnerstva s tehnološkimi podjetji bi lahko omogočila prenos znanja in postopen razvoj digitalnih kompetenc znotraj organizacije.

Dolgoročna vizija digitalizacije gradbenega sektorja vključuje postopen prehod na odločanje, ki bolj temelji na podatkih, in razvoj novih poslovnih modelov. To predstavlja evolucijski proces, ki zahteva postopne spremembe v organizacijski kulturi in poslovnih procesih.

Družbeni vidik digitalizacije se lahko odraža v prispevku k modernizaciji gradbeništva, potencialnem zmanjšanju vplivov na okolje z boljšo optimizacijo in postopnem dvigovanju standardov v sektorju.

10 SKLEP

V diplomskem delu je bila preučena izvedba tehnoloških študij za infrastrukturne projekte in potencial umetne inteligence za izboljšanje gradbenih procesov, pri čemer je bil kot celovita študija primera uporabljen projekt kolesarske poti Krška vas–Čatež . Raziskava je sistematično ovrednotila štiri hipoteze s podrobno analizo projektne dokumentacije, tehnoloških zahtev in možnosti implementacije umetne inteligence. Zaključki za podane hipoteze so naslednji:

- **ZAKLJUČEK ZA H1: POTRJENO - Dokazi kažejo, da so tehnološke študije resnično ključni dokumenti za izvedbo gradnje.**
- **ZAKLJUČEK ZA H2: TEORETIČNO PODPRTO - Dokazi kažejo, da lahko umetna inteligenca izboljša fleksibilnost in natančnost, vendar je potrebna praktična potrditev.**
- **ZAKLJUČEK ZA H3: POGOJNO PODPRTO - Potencial integracije umetne inteligence je dokumentiran, vendar je treba rešiti izzive pri implementaciji.**
- **ZAKLJUČEK ZA H4: POTRJENO - Dokazi kažejo, da lahko umetna inteligenca in nove tehnologije pozitivno vplivajo na dolgoročni razvoj bolj dostopne, trajnostne in digitalno podprte infrastrukture.**

SPLOŠNI ZAKLJUČKI RAZISKAVE:

Ta raziskava potrjuje, da tradicionalne tehnološke študije ostajajo bistvene za kompleksne infrastrukturne projekte, hkrati pa vzpostavljajo pomemben potencial za izboljšanje umetne inteligence. Projekt Krška vas - Čatež ponazarja, kako podrobna tehnološka dokumentacija omogoča uspešno izvedbo projekta v zahtevnih okoljskih in tehničnih pogojih.

Teoretična analiza implementacije umetne inteligence kaže na znatne priložnosti za izboljšanje učinkovitosti gradnje, varstva okolja in napredka industrije. Vendar pa je za uspešno implementacijo treba obravnavati opredeljene izzive, vključno z investicijskimi stroški, usposabljanjem osebja in razvojem regulativnega okvira.

Za nadaljnji razvoj aplikacij umetne inteligence v gradbeništvu. Kratkoročne možnosti v obdobju od 1 do 2 let vključujejo implementacijo pilotnega sistema umetne inteligence na projektu Krška vas-Čatež, razvoj partnerstev s podjetji, ki se ukvarjajo s tehnologijo umetne

inteligence, usposabljanje osebja za delo s tehnologijami umetne inteligence in vzpostavitev podatkovne infrastrukture za prihodnje projekte.

Srednjeročne možnosti v obdobju od 2 do 5 let omogočajo širitev rešitev umetne inteligence na druge infrastrukturne projekte, razvoj lastniških algoritmov umetne inteligence za specifične gradbene izzive, vzpostavitev regionalnega centra za umetno inteligenco za manjše projekte ter standardizacijo procesov in protokolov umetne inteligence. Dolgoročne možnosti po 5 letih vključujejo popolno digitalizacijo gradbenih procesov, avtomatizirano gradbeno robotiko in koordinacijo umetne inteligence, prediktivno vzdrževanje infrastrukture z umetno inteligenco in nove poslovne modele, ki temeljijo na storitvah umetne inteligence. Vendar se od teh možnosti v Sloveniji zdi možno le vzdrževanje infrastrukture, kjer bi lahko odkrili napake in z umetno inteligenco ustvarili finančni model za sanacijo. V drugih državah, kjer so naložbe v umetno inteligenco večje in so zato osredotočene na gradbeništvo, so možne tudi druge možnosti.

Področja raziskav vključujejo etiko umetne inteligence v gradbeništvu in odgovornost za avtomatizirane odločitve, standardizacijo aplikacij umetne inteligence za infrastrukturne projekte, integracijo umetne inteligence z obnovljivimi viri energije in zeleno gradnjo ter aplikacije umetne inteligence za odporno infrastrukturo in podnebne spremembe.

Ta raziskava je pokazala, da je gradbena industrija na robu pomembne preobrazbe, kjer uvedba umetne inteligence ni več vprašanje če, temveč kdaj in kako. Kot bodoči gradbeni strokovnjak se zavedam potrebe po nenehnem izboljševanju na področju digitalnih tehnologij. Umetna inteligenca ne bo nadomestila inženirskega znanja, temveč ga bo poganjala in omogočila osredotočenost na bolj strateške in ustvarjalne naloge.

Ključne kompetence za prihodnost vključujejo razumevanje tehnologij umetne inteligence in njihovih omejitev, podatkovno pismenost za delo z velikimi količinami podatkov, vodenje projektov z digitalnimi orodji, interdisciplinarno sodelovanje z IT-strokovnjaki in prilagodljivost za hitro sprejemanje novih tehnologij.

Osebni akcijski načrt vključuje kratkoročno usposabljanje za uporabo orodij umetne inteligence in analitike podatkov, srednjeročno specializacijo za vodenje projektov umetne inteligence in dolgoročni razvoj strokovnega znanja na področju svetovanja na področju umetne inteligence v gradbeništvu. Ta raziskava predstavlja korak k digitalizaciji slovenske gradbene industrije, kjer lahko z uporabo ugotovitev na konkretnih projektih prispevam k povečanju konkurenčnosti

celotnega sektorja in pozicioniranju Slovenije kot inovativne države na področju pametne gradnje.

S podporo umetne inteligence bi lahko projekt kolesarske poti Krška vas–Čatež postal referenčni primer dobre prakse, ki bi lahko navdihnil druge infrastrukturne projekte v regiji in pokazal pot do bolj trajnostne in učinkovite gradnje.

11 VIRI IN LITERATURA

Cities, C. (2022). *Cities100: Copenhagen - Smart Traffic Signals Boost Cycling.* C40 Cities Climate Leadership Group. From [Link](https://www.c40.org/case-studies/cities100-copenhagen-smart-traffic-signals-boost-cycling/) (Accessed 12. 8. 2025)

GPI, d. (2020). *Izgradnja kolesarskih povezav in ureditev ceste R2-419/1206 Krška vas - Čatež ob Savi: Izvedbeni projekt (PZI).* Novo mesto: Gradbeno projektiranje in inženiring, d.o.o.

INFRA, d. (2019). *Smernice za posege v varovalni pas vodotoka.* Brežice: INFRA d.o.o.

infrastrukturo, D. R. (2018). *Projektni pogoji za izgradnjo kolesarske povezave ob državni cesti.* Ljubljana: DRSI, Novo mesto.

KOP Brežice d.d. (2018). *Projektni pogoji za posege v občinske ceste.* Brežice: KOP Brežice d.d.

Ministrstvo za okolje in prostor, A. (2019). *Mnenje o vplivih posega na vodno okolje.* Ljubljana: MOP ARSO.

narave, Z. R. (2019). *Projektni pogoji za izgradnjo kolesarske povezave Krška vas - Čatež ob Savi.* Ljubljana: ZRSVN, Območna enota Novo mesto.

ribištvo, S. i. (2019). *Projektni pogoji za posege v ribiško okolje - kolesarska povezava ob reki Krki.* Ljubljana: ZZRS.