

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

**PRIHODNOST RAZVOJA NOVIH
KOLESARSKIH POVEZAV NA PRIMERU
TUNELA LEGI KAMEN**

Kandidat: Matej Bračič inž. rud. in geot.

Vrsta študija: Izredni študij

Študijski program: Gradbeništvo

Mentor predavatelj: Bojan Dapčević, uni. dipl. inž. grad.

Mentor v podjetju: Florijan Rot, univ. dipl. inž. grad.

Lektor: Marjana Šoš, prof. slov. in soc.

Maribor, 2023

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Matej Bračič, sem avtor diplomskega dela »Prihodnost razvoja novih kolesarskih povezav na primeru tunela Legi kamen«, ki sem ga napisal pod mentorstvom g. Bojana Dapčeviča, uni. dipl. inž. grad.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagijatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot moje lastne – kaznivo 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); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, maj 2023

Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju g. Bojanu Dapčeviću, uni. dipl. inž. grad. za pomoč in vodenje pri opravljanju diplomskega dela. Prav tako se zahvaljujem mentorju v podjetju g. Florijan Rotu.

Posebna zahvala gre družbi RGP d. o. o. in vsem sodelavcem.

POVZETEK

Diplomsko delo opisuje in analizira gradnjo kolesarske povezave Huda luknja med Velenjem in Mislinjo, podrobneje predor Legi kamen, ki je eden izmed objektov na omenjeni kolesarski povezavi in edini predor, kjer je potrebna novogradnja. Glavne teme diplomskega dela so izvedba izkopa predora in primarno podpiranje predora Legi kamen.

V prvem delu predstavim postopke pričetka del na projektu izgradnje predora Legi kamen. Najprej je potrebno izbrati strokovno in homogeno delovno skupino s potrebnim kadrom za nemoteno izvajanje del. Planski tim nato sestavi terminski in finančni plan dela, ki ju je potrebno predati naročniku. Za lažjo izvedbo del se pripravijo tudi plani delovne sile, materialov in mehanizacije. Pred pričetkom del je potrebno izvesti vsa pripravljalna dela, med katerimi so najobsežnejša dela priprave in organizacije gradbišča z vsemi objekti, inštalacijami in opremo. Gradbišče je potrebno pripraviti skladno z Zakonom o varnosti in zdravja pri delu in Zakonom o varovanju okolja, nato pa te zakone tudi upoštevati skozi celotno gradnjo. Poleg naštetega je pri izgradnji predora potrebno zaradi razstreljevanja upoštevati še dodatne predpise in zakone (zakon o Rudarstvu in zakon o eksplozivnih delih). Predor legi kamen je bil zgrajen po novi avstrijski metodi gradnje predorov. V nadaljevanju diplomskega dela predstavim omenjeno metodo v teoriji in na primeru predora Legi kamen. Podrobneje opišem podporne tipe, ki so bili določeni in uporabljeni za primarno podpiranje predora, in materiale potrebne za njihovo izvedbo.

V zadnjem delu diplomskega dela predstavim rezultate raziskovalnega dela, v katerem sem primerjal izvedbo izkopa predora z miniranjem in hipotetično izvedbo izkopa predora z mehničnim odbijanjem. Z rezultati pokažem, da je za določitev ekonomično ustrežnejše metode dela potrebno opraviti stroškovno in časovno analizo dela. Največja razlika med obema metodama dela v korist metode z miniranjem je bila v najtrši hribinski kategoriji, medtem ko je bila najmanjša razlika v najmehkejši hribinski kategoriji. Izvedel sem tudi analizo porabe jekla pri vgradnji paličnih nosilcev in jih primerjal z ostalimi vrstami jeklenih lokov, ki jih uporabljamo v rudarstvu. Izkazalo se je, da smo z uporabo paličnih nosilcev prihranili 65 % jekla, ki bi ga porabili z vgradnjo klasičnih jeklenih lokov TH29, s čimer smo poskrbeli za bolj ekonomično in okolju prijaznejšo metodo dela.

Ključne besede: *predor, organizacija, izkop, primarna podgradnja, nova avstrijska metoda*

ABSTRACT

»The future of new cycling links - the Legi kamen tunnel«

The thesis describes and analyses the construction of the Huda luknja cycling link between Velenje and Mislinja, and more specifically the Legi kamen tunnel, which is one of the facilities on the cycling link and the only tunnel that requires new construction. The main topics of the thesis are the excavation of the tunnel and the primary support of the Legi kamen tunnel.

In the first part, I present the procedures for the start of works on the Legi kamen tunnel project. First of all, it is necessary to select a professional and homogeneous working group with the necessary personnel for the smooth execution of the works. The planning team then draws up a time schedule and a financial plan for the work, which must be submitted to the client. To facilitate the execution of the works, plans for labour, materials and machinery shall also be drawn up. All preparatory work must be carried out before the works start, the most extensive of which is the preparation and organisation of the site with all the facilities, installations and equipment. The site must be prepared in accordance with the Occupational Health and Safety Act and the Environmental Protection Act, and these laws must be complied with throughout construction. In addition to the above, additional regulations and laws (Mining Act and Explosive Works Act) must be observed during the construction of the tunnel due to blasting. The Lega Stone Tunnel was built according to the new Austrian method of tunnelling. In the following part of the thesis I present this method in theory and with the example of the Legi kamen tunnel. I describe in more detail the support types that were specified and used for the primary support of the tunnel and the materials needed for their construction.

In the last part of the thesis, I present the results of my research work, in which I compared the excavation of a tunnel by mining and a hypothetical excavation of a tunnel by mechanical bouncing. The results show that in order to determine the most economically appropriate method of work, it is necessary to carry out a cost and time analysis of the work. The largest difference between the two methods of work in favour of the method with mining was in the hardest hill category, while the smallest difference was in the softest hill category.

I have also carried out an analysis of the steel consumption in the installation of the rod beams and compared them with the other types of steel arches used in mining. It turned out that we saved 65% of the steel that would have been consumed by installing conventional TH29 steel arches by using rod beams, thus providing a more economical and environmentally friendly method of working.

Keywords: *tunnel, organisation, excavation, primary substructure, new Austrian method*

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	6
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	6
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	7
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	7
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	8
2	DELO V PROJEKTNI SKUPINI	9
2.1	IZBIRA SKUPINE ZA USPEŠNO IZVAJANJE DEL NA PROJEKTU	10
2.2	POTREBEN KADER ZA NEMOTENO IZVAJANJE DEL	10
2.3	ZAKONODAJNA OSNOVA	11
3	TERMINSKO PLANIRANJE	13
3.1	OSNOVE TERMINSKEGA PLANIRANJA	13
3.2	TERMINSKO PLANIRANJE NA PROJEKTU	14
4	PRIPRAVLJALNA DELA	16
4.1	IZGRADNJA DOSTOPNIH POTI	17
4.2	ČIŠČENJE TERENA	17
4.3	POSTAVITEV MOBILNE BETONARNE	17
4.4	POSTAVITEV VENTILATORSKE POSTAJE	18
4.5	POSTAVITEV KOMPRESORSKE POSTAJE	18
4.6	DOVOD ELEKTRIČNE ENERGIJE NA DELOVIŠČE	19
4.7	DOVOD PITNE VODE	19
4.8	POSTAVITEV SKLADIŠČA RAZSTRELIVA	19
4.9	POSTAVITEV LABORATORIJA	19
4.10	POSTAVITEV GRADBIŠČNIH IN SPREMLJEVALNIH OBJEKTOV	19
4.11	UREDITEV PLATOJA ZA TEŽKO GRADBENO MEHANIZACIJO	20
4.12	ZAVAROVANJE GRADBIŠČA	20
4.13	PRIPRAVA ODLAGALIŠČA	20
5	VARNOST IN ZDRAVJE PRI DELU	21
5.1	VARNOSTNI UKREPI PRI VRTANJU	22
5.2	VARNOSTNI UKREPI PRI RAZSTRELJEVANJU	23
5.2.1	<i>Varnostni ukrepi za odpravo nevarnosti v porušenih conah ter pri vdorih vode in mulja</i>	<i>24</i>
5.2.2	<i>Varnost pred seizmičnim vplivom razstreljevanja</i>	<i>24</i>
5.2.3	<i>Varnost pred razmetom razstreljenega materiala in padanjem labilnih skal na pobočju</i>	<i>25</i>
5.2.4	<i>Varnost pred zračnim udarnim valom</i>	<i>26</i>

5.2.5	<i>Varnost pred strupenimi in dušljivimi plini in toplotnim učinkom</i>	26
5.2.6	<i>Reševanje zatajenih min</i>	26
5.2.7	<i>Varnostni ukrepi pred nevarnostmi električnega toka</i>	27
5.3	SPLOŠNI IN DRUGI VARNOSTNI UKREPI	28
6	VAROVANJE OKOLJA	30
6.1	VAROVANJE KAKOVOSTI ZRAKA IN ZAŠČITA PRED PRAŠNIMI DELCI	30
6.2	PREMEŠČANJE IN PRETOVARJANJE	30
6.3	EKOLOŠKO NEOPOREČNI MATERIALI ZA VGRADNJO	30
6.4	VAROVANJE VODA	30
6.4.1	<i>Preprečevanje onesnaženja podtalnih voda</i>	30
6.4.2	<i>Preprečevanje onesnaženja površinskih voda</i>	31
6.5	VAROVANJE PRED ČEZMERNIM HRUPOM	31
6.6	VARSTVO PRED POŽAROM	32
6.7	UPORABA STROJEV Z VIBRACIJAMI	32
7	TEHNOLOGIJA IZVEDBE IZKOPA IN PRIMARNE PODGRADNJE	33
7.1	SPLOŠNI PODATKI O PREDORU LEGI KAMEN	33
7.2	NOVA AVSTRIJSKA METODA GRADNJE PREDOROV	34
7.3	UPORABLJENI PODPORNİ TIPI	37
7.3.1	<i>Podporni tip K+S-7/10,84 na južnem portalu</i>	37
7.3.2	<i>Podporni tip K+S-4/4,06</i>	38
7.3.3	<i>Podporni tip K+S-7/15,56 na severnem portalu</i>	38
7.4	OSNOVNI MATERIALI IN POLPROIZVODI ZA IZGRADNJO PRIMARNEGA PODPIRANJA	39
7.4.1	<i>Armaturna mreža</i>	39
7.4.2	<i>Betonski proizvodi (suhe mešanice, mokre mešanice)</i>	40
7.4.3	<i>Sidra in sulice</i>	40
7.4.4	<i>Cevni ščit</i>	40
7.4.5	<i>Razstrelivo in detonatorji</i>	41
7.5	TEHNOLOGIJA IN FAZE IZKOPA PREDORSKE CEVI PREDORA LEGI KAMEN	43
7.5.1	<i>Vrtanje vrtin za miniranje, polnjenje vrtin in odstrel</i>	44
7.5.2	<i>Odvoz izkopanega materiala</i>	46
7.5.3	<i>Čiščenje izkopnega čela</i>	46
7.5.4	<i>Varovalni obrizg izkopnega čela</i>	46
7.5.5	<i>Vgrajevanje armaturnih mrež in paličnih nosilcev</i>	46
7.5.6	<i>Vgrajevanje brizganega betona</i>	47
7.5.7	<i>Vgrajevanje sider</i>	48
7.5.8	<i>Predvrtavanje</i>	49

8	ANALIZA POCENITVE IN POSPEŠITVE IZKOPA PREDORA Z MINIRANJEM V PRIMERJAVI S HIDRAVLIČNIM ODBIJANJEM.....	50
8.1	MINIRANJE	50
8.2	PRIMERJAVA MINIRANJA IN MEHANIČNEGA ODBIJANJA	52
8.3	ANALIZA STROŠKOV IN PRIHODKOV PRI IZKOPU PREDORA Z MINIRANJEM	52
8.4	ANALIZA STROŠKOV IN PRIHODKOV PRI IZKOPU PREDORA Z MEHANIČNIM ODBIJANJEM	53
8.5	PRIMERJAVA IZKOPA PREDORA Z MINIRANJEM IN IZKOPA PREDORA Z MEHANIČNIM ODBIJANJEM	54
9	ANALIZA PORABE JEKLA PRI VGRADNJI PALIČNIH NOSILCEV	56
9.1	JEKLENI LOKI S TH PROFILI	56
9.2	PALIČNI NOSILCI	56
9.3	VGRADNJA JEKLENIH LOKOV	57
9.4	PRIMERJAVA PORABE JEKLA PRI PODPIRANJU PREDORA S PALIČNIMI NOSILCI IN KLASIČNIMI TH LOKI	58
10	PREDVIDEVANJA ZMANŠANJA PROMETA IN EMISIJ PLINOV ZARADI VEČ KOLESARJENJA IN MANJ UPORABE PREVOZNIH SREDSTEV Z MOTORJI NA NOTRANJE IZGOREVANJE	60
10.1	OBREMENJENOST OBSTOJEČE REGIONALNE CESTE NA TEM OBMOČJU	60
10.2	PREDVIDEVANJE ZMANJŠANJA PROMETA IN EMISIJ PLINOV	61
11	KROVNA TEMA: PRIHODNOST RAZVOJA NOVIH KOLESARSKIH POVEZAV NA PRIMERU TUNELA LEGI KAMENI	63
11.1	RAZVOJ KOLESARSKIH POVEZAV V SLOVENIJI	63
11.2	PORAST PRODAJE KOLES V SLOVENIJI	65
11.3	PORAST KOLESARSTVA V REGIJI	66
12	SKLEP	67
13	VIRI, LITERATURA.....	69

KAZALO SLIK

SLIKA 1:	PRIMER ORGANIGRAMA ZA ODDAJO INVESTITORJU.....	11
SLIKA 2:	SHEMATIČNI PRIKAZ PODROČIJ UPORABE GRAFIČNIH TERMSKIH PLANOV	14
SLIKA 3:	BETONARNA DRUŽBE RGP D.O.O.....	18
SLIKA 4:	KARAKTERISTIČNI PREČNI PROFIL PREDORA LEGI KAMEN	34
SLIKA 5:	GRAFIČNI PRIKAZ LOČENEGA IZKOPA KALOTE IN STOPNICE.....	35
SLIKA 9:	VGRAJEN CEVNI ŠČIT NA PREDORU LEGI KAMEN	41
SLIKA 10:	RAZSTRELIVO EMULEX 1	42
SLIKA 11:	VRTANJE VRTIN V ČELO PREDORA Z VRTALNO GARNITURO SANDVIK DD311DE	44

SLIKA 12: SHEMA MINIRANJA ZA KORAK 1 M	45
SLIKA 13: SHEMA MINIRANJA ZA KORAK 1 M	45
SLIKA 14: VGRADNJA BRIZGANEGA BETONA V PRIMARNO PODGRADNJO PREDORA	47
SLIKA 15: VGRADNJA IBO SIDER	48
SLIKA 16: MINIRANJE V PREDORU LEGI KAMEN	50
SLIKA 17: PREGLED DELOVIŠČA PO ODSTRELU	51
SLIKA 18: TH LOK	56
SLIKA 19: VGRADNJA PALIČNIH NOSILCEV	57
SLIKA 20: 9092 VOZIL PDLP NA REGIONALNI CESTI MED VELENJEM IN DOLIČEM	61
SLIKA 21: KOLESARKE POVEZAVE V OKOLICI VELENJA IN DOLIČA (Z ZELENO BARVO SO OZNAČENE ŽE IZGRAJENE KOLESARKE POVEZAVE, S SIVO PA SO OZNAČENE KOLESARKE POVEZAVE V PRIPRAVI)	62
SLIKA 22: ŠTEVILČNA KATEGORIZACIJA DRŽAVNIH KOLESARSKIH POVEZAV	65

KAZALO TABEL

TABELA 1: VARNOSTNI UKREPI PRI MINIRANJU	23
TABELA 2: PODPORNİ ELEMENTI PODPORNEGA TIPA K+S-7/10,84	37
TABELA 3: PODPORNİ ELEMENTI PODPORNEGA TIPA K+S-4/4,06	38
TABELA 4: PODPORNİ ELEMENTI PODPORNEGA TIPA K+S-7/15,56	39
TABELA 5: OSNOVNE ZAHTEVANE KARAKTERISTIKE RAZSTRELIV	41
TABELA 6: DOLOČITEV HRIBINSKIH TIPOV OBNAŠANJA (BT)	43
TABELA 7: PRIMERJAVA NAPREDKA, STROŠKOV IN PRIHODKOV PRI IZKOPU PREDORA Z MINIRANJEM IN MEHANIČNIM ODBIJANJEM	52
TABELA 8: PRIKAZ TEŽE PALIČNEGA NOSILCA IZ PROJEKTNE DOKUMENTACIJE	58
TABELA 9: PRIKAZ TEŽE JEKLENIH LOKOV	58
TABELA 10: GRAF PRIKAZA PRODAJE KOLES IN ELEKTRIČNIH KOLES V SLOVENIJI	66

OKRAJŠAVE

- NATM – New Austrian tunneling method (Nova avstrijska metoda za tunelogradnjo)
- VKV – visoko kvalificirani delavec
- KV – kvalificirani delavec
- NK – nekvalificirani delavec
- SN sidro – samonosilno sidro (polna jeklena palica)
- IBO sidro – votla jeklena palica
- TH lok – U oblika jeklene podgradnje

- PLDP – Povprečni letni dnevni promet (povprečno število motornih vozil, ki v 24 urah peljejo v obe smeri mimo števnege mesta na povprečni dan v letu)

1 UVOD

Pri diplomskem delu bom za namene raziskovanja uporabil trenutni projekt v izgradnji z imenom Gradnja kolesarske povezave Huda luknja med Velenjem in Mislinjo, natančneje predor Legi kamen. Predor Legi kamen je eden izmed objektov na tej kolesarski povezavi in edini predor, kjer je potrebna novogradnja, namenjen pa bo kolesarskemu prometu.

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Pri izgradnji predora prihaja do velikih stroškov izvajalca zaradi več različnih dejavnikov, kot so:

- najem mehanizacije, ki mora biti na gradbišču čez celotno izgradnjo zaradi hitro menjajoče faznosti del,
- material, kot je jeklo, brizgani cementni beton, razstrelivo,
- izučena delovna sila z izkušnjami dela v predoru, kot so minerci, geodeti, geologi, strojniki, delavci,
- omejen delovni prostor, predvsem v manjšem predoru, kot je Legi kamen.

Zaradi zgoraj omenjenih dejavnikov je pri gradnji ključnega pomena dobra organizacija in pravilno zastavljeni postopki del, da stroški izgradnje ne presežejo pogodbene vrednosti.

Na predoru Legi kamen, ki je edini novozgrajeni predor na kolesarski trasi, smo za izgradnjo uporabljali novo avstrijsko metodo, kjer se primarno podpiranje predora izvede z brizganim cementnim betonom. V delu predora smo za postavitev primarne podgradnje uporabili palične nosilce namesto TH lokov, ki se uporabljajo v rudarske namene. V diplomskem delu bom predstavil razlike med omenjenima podpornima elementoma.

Pri izkopu smo uporabljali metodo z miniranjem, kateri alternativa je metoda s hidravličnim odbijanjem. Izvedel bom finančno in časovno analizo projekta in primerjal obe metodi dela.

Z izgradnjo kolesarske povezave od Velenja do Mislinje se bo na tem območju predvidoma povečal kolesarski promet. To bo pripomoglo k zmanjšanju cestnega prometa na zelo obremenjenem območju, saj je cesta čez Hudo luknjo najkrajša povezava med Velenjem in Koroško.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomskega dela je opisati postopke del, organizacijske probleme in njihove rešitve pri organizaciji gradbišča, pripravljala dela za projekt, izbiro tehnologije izkopa in primarnega podpiranja predora, izdelavo terminskih in finančnih planov.

Opisal bom tudi postopke, ki so potrebni, da delo poteka skladno z Zakonom o varnosti in zdravju pri delu in Zakonom o varstvu okolja.

Odgovoril bom na slednje hipoteze:

- H1: Pocenitev in pospešitev izkopa tunela z miniranjem namesto s hidravličnim odbijanjem, predviden privarčevani čas in strošek 20 %.
- H2: Izbira izkopne tehnologije in zaščitnih ukrepov z uporabo paličnih nosilcev namesto TH lokov, varčevanje pri uporabi surovine – manjša poraba železa za 35 %.
- H3: Zmanjšanje emisij plinov zaradi uporabe kolesarske poti.
- H4: Izgradnja kolesarskih povezav za zmanjšanje cestnega prometa kot primer trajnostne gradnje, povečanje kolesarjenja za 20 %.

1.3 Predpostavke in omejitve

Družba RGP d. o. o. je partner pri analiziranem projektu Gradnja kolesarske povezave Huda luknja med Velenjem in Mislinjo in izvajalec predora Legi kamen. Vsi finančni podatki so poslovna skrivnost podjetja, zaradi česar so finančni plani in njihove analize, predstavljene v diplomskem delu, izražene v enotah ali odstotkih. Poleg tega v diplomskem delu ne predstavim, kolikšen je promet in dobiček celotnega projekta.

Kolesarska povezava je bila v času oddaje diplomskega dela še v izgradnji, zaradi česar/zato ni možno oceniti, v kolikšni meri bo pripomogla k povečanju kolesarskega prometa in zmanjšanju cestnega prometa.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Pri pisanju diplomskega dela bom uporabil analitični pristop raziskovanja in deskriptivni pristop. Za deskriptivni pristop sem se odločil, ker je večji del diplomske naloge tesno povezan s prakso in z dejansko analizo stanja na gradbišču.

Metode raziskovanja temeljijo na predpisih in normativih, ki so določeni za gradnjo predorov, ter tehničnih rešitvah podjetja RGP d. o. o.

2 DELO V PROJEKTNI SKUPINI

Predpriprave za pisanje diplomskega dela so potekale na sedežu podjetja RGP. Ustvarili smo projektno skupino, v kateri smo določili naloge za projekt Gradnja kolesarske povezave med Velenjem in Mislinjo. Takšna skupina je zajemala vodjo projekta, vodjo gradbišča, komercialista, obračunskega tehnika in osebo za pripravo del. V skupini sem opravljala vlogo vodje projekta, saj sem dober izvajalec, logik in imam potrebno tehnično znanje. Prav tako imam opravljen strokovni izpit in reference, ki so predpogoj za moje imenovanje. Kot vodja sem sodeloval pri vseh nalogah na projektu.

Na prvem srečanju sem skupini predstavil zahteve naročnika in dogovore s partnerji na projektu. Seznanil sem jih, da je potrebno pred pričetkom del posredovati finančni in časovni plan del ter urediti nadzorni objekt, kjer bo prostor za pisarne in operativne sestanke.

Prvi pristop skupine je bila izdelava terminskega plana, ki ga je zahteval naročnik, da lahko med izvajanjem del spremlja napredek in določi ustreznost del izvajalca. Od podpisa pogodbe in roka za zaključek gradbenih del je bilo 18 mesecev in 20 dni. Dela v terminskem planu smo porazdelili tako, da smo lahko na projektu vedno imeli dve skupini delavcev, razen v času izkopa. V tem času smo predvideli štiri skupine delavcev, ki so na predoru Legi kamen izkop izvajali brez prekinitev.

Nadaljevali smo s finančnim planom, ki je sovpadal z izvedenimi deli v terminskem planu. Hkrati smo izdelali tudi plan stroškov in mehanizacije, kjer je sodeloval tudi komercialist, ki je bil odgovoren za pripravo ponudbe in finančno analizo postavk iz popisa del.

Oseba odgovorna za pripravo del je pričela z izdelavo elaboratov. Najprej je izdelala elaborat za organizacijo gradbišča in nadaljevala z elaboratom za izvedbo del v vsakem od štirih predorov na trasi.

Po izvedenih elaboratih je vodja gradbišča po temeljitem pregledu terminskega plana in plana materiala, delavcev in mehanizacije določil postopke izvajanja del.

Delo v projektni skupini je bilo uspešno, vloge so bile dobro razporejene. Čeprav je vsak član imel določene naloge, smo se reševanja nalog lotili kot skupina in tako prišli do kakovostnih izdelkov. Z dobro organizacijo smo hitro prišli do dobrih rešitev.

2.1 Izbira skupine za uspešno izvajanje del na projektu

Najpomembnejša naloga vodje projekta za uspešno izveden projekt je učinkovita projektna skupina, ki mora biti usklajena in dobro delujoča. Sodelavce v projektu si izbiram na podlagi njihovih znanj in sposobnosti in ali so na razpolago v času trajanja projekta. Ustvariti je potrebno okolje, kjer je pomembno sodelovanje in skupinsko delo, da je načrtovanje, odločanje in izvajanje učinkovitejše.

2.2 Potreben kader za nemoteno izvajanje del

Za stalno prisotnost na projektu Gradnja kolesarske povezave Huda luknja med Velenjem in Mislinjo so potrebni:

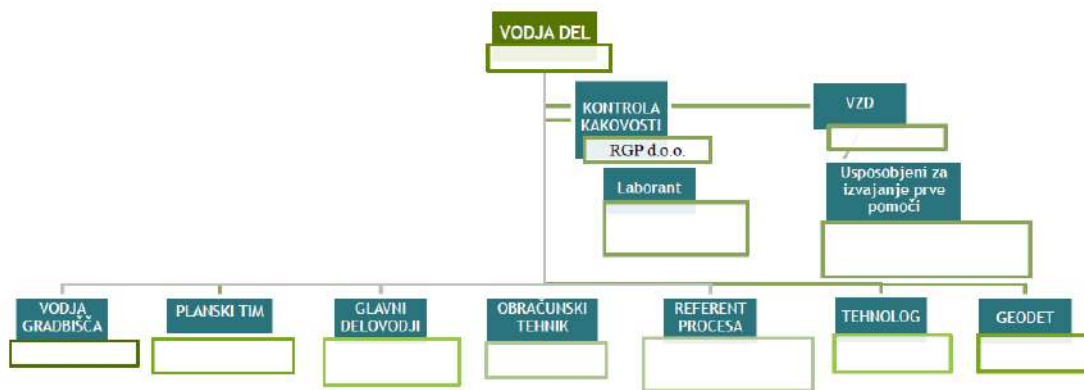
- vodja del,
- vodja gradbišča,
- obračunski tehnik,
- referent procesa,
- delovodja 2x (4x med izkopom predora Legi kamen),
- skupinovodja 2x (4x med izkopom predora Legi kamen),
- strojnik za delo z vrtno garnituro (3x med izkopom predora Legi kamen),
- strojnik za delo z robotom za brizganje betona (3x med izkopom predora Legi kamen),
- delavec VKV 4x (8x med izkopom predora Legi kamen),
- delavec KV 8x (16x med izkopom predora Legi kamen),
- delavec NK 4x (8x med izkopom predora Legi kamen).

ORGANIGRAM IZVAJALCA DEL

Projekt: Gradnja kolesarske povezave Huda luknja med Velenjem in Mislinjo



RGP d.o.o.,
rudarski gradbeni programi
Rudarska 6
3320 Velenje
Slovenija
T +386 (0)3 898 23 70
E info@rgp.si
www.rgp.si



Slika 1: Primer organigrama za oddajo investitorju

Vir: lasten vir

Za občasno prisotnost na projektu Gradnja kolesarske povezave Huda luknja med Velenjem in Mislinjo so potrebni:

- vodja razstreljevanja,
- miner,
- pomočnik minerja,
- tehnolog,
- geodet,
- pomočnik geodeta,
- geolog,
- laborant za izvedbo notranje kontrole kakovosti.

2.3 Zakonodajna osnova

Kot krovni zakon za izgradnjo predora velja Zakon o rudarstvu (ZRud). Na podlagi le-tega je za vodenje izkopnih del potrebno imenovati tehničnega vodjo prezračevanja in miniranja, ki

izpolnjuje pogoje za tehničnega vodjo izgradnje podzemnih prostorov po ZRud. Prav tako se imenuje vodjo razstreljevanja (odgovorna oseba razstreljevalnih del), ki opravlja naloge vodenja celotnega procesa in dela pri razstreljevanju v predoru. Razstreljevanje izvaja miner, ki mora imeti certifikat za specialistična miniranja pri izdelavi predorov v skladu z Zakonom o eksplozivih.

3 TERMINSKO PLANIRANJE

3.1 Osnove terminskega planiranja

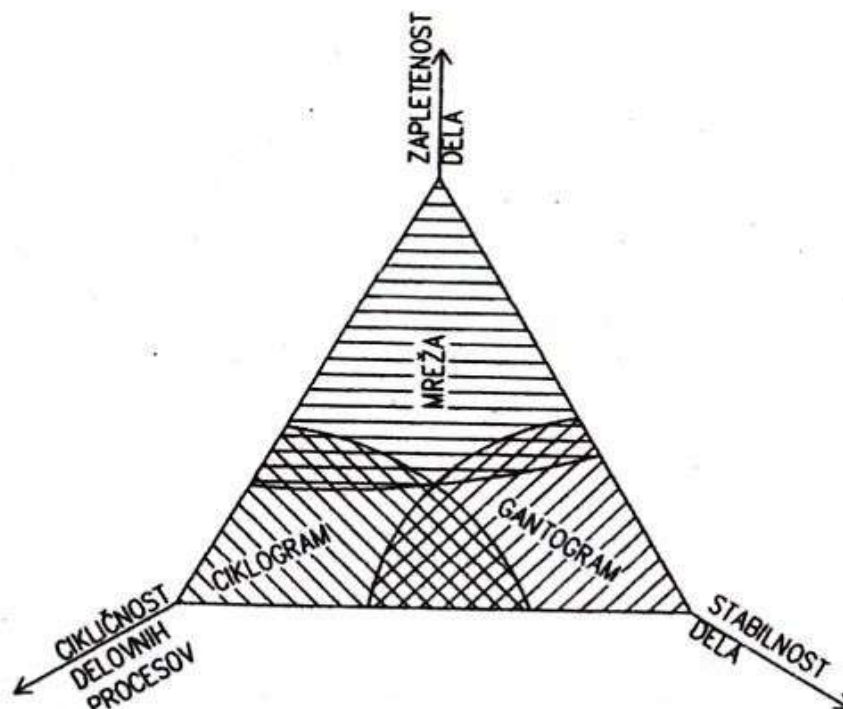
Terminski plani so najpomembnejši plani operativnega planiranja, saj služijo kot osnova za izdelavo spremljajočih planov in kot osnova za organizacijske ukrepe (vodenje, pravočasno izvajanje del, časovna kontrola izvajanja del). Terminski plani se izdelujejo za različna razdobja, tako ločimo generalne in detajlne plane.

S terminskimi plani določamo termine za izvršitev aktivnosti, vrstni red izvajanja aktivnosti in usklajenost izvajanja aktivnosti. Vse to lahko prikažemo grafično z naslednjimi tehnikami:

- gantogramska ali blokovna tehnika,
- ciklogramska ali taktna tehnika,
- ortogonalna tehnika in
- tehnika mrežnega planiranja.

Rezultati uporabe naštetih tehnik so gantogrami, ciklogrami, ortogonalni plani in mrežni diagrami. S pomočjo gantogramske tehnike planiranja in tehnik mrežnega planiranja se lahko izdelata tudi številčne terminske plane.

Vsekakor imajo grafični terminski plani veliko prednost pred številčnimi terminskimi plani; predvsem od tehnološke zapletenosti dela (aktivnosti) in od cikličnosti ponavljanja delovnih procesov je v glavnem odvisno, katero tehniko terminskega planiranja bomo izbrali. (Pšunder, 2009)



Slika 2: Shematični prikaz področij uporabe grafičnih terminskih planov

Vir: (Pšunder, 2009)

3.2 Terminsko planiranje na projektu

Na projektu Gradnja kolesarske povezave Huda luknja med Velenjem in Mislinjo pri gradnji sodelujemo štirje partnerji, kjer je vodilni partner Strabag d. o. o.. Naročnik je želel imeti pred začetkom izvajanja del generalni terminski plan del. Planerski tim družbe RGP d. o. o. je izdelal terminski plan izvedbe del za gradnjo in sanacijo predorov, s katerim je prikazal časovni potek izvajanja rudarskih, gradbenih in obrtniških del. Glede na stabilnost del je izbral gantogramsko tehniko terminskega planiranja. Terminski plan je bil izdelan s pomočjo programa Microsoft PROJECT 2013. Terminski plan je posredoval vodilnemu partnerju, ki ga je uskladił z ostalimi partnerji, in ga predal naročniku kot generalni terminski plan.

Po izdelavi generalnega terminskega plana je planerski tim izdelal tudi plan nabave in dobave materialov, plan najema mehanizacije in plan potreb po delovni sili, ki so bili predani pristojnim službam nabave, mehanizacije in operative. Omenjeni plani so ključni za nemoteno izvajanje del na projektu.

Naročnik je zahteval tudi izdelavo tedenskih planov, ki jih je potrebno sprotno predajati nadzornemu inženirju do petka tekočega tedna za prihodnji delovni teden. Tedenski plani vsebujejo poleg načrtovanih faz del tudi vsa obvestila za nadzornega inženirja, zunanjo kontrolo kakovosti in notranjo kontrolo kakovosti (pregled armature, pregled temeljnih tal, betoniranje).

4 PRIPRAVLJALNA DELA

Pred pričetkom podzemnih del je treba opraviti obsežna pripravljalna dela. Med pripravljalna dela prištevamo vse zakoličbe, pripravo in organizacijo gradbišča z vsemi objekti, instalacijami in orodji, zagotovitvijo varnostnih in higiensko tehničnih pogojev in predpisanimi oznakami gradbišča. V ta segment prištevamo tudi stalni in občasni nadzor pri gradnji objekta, vključuje razna merjenja in izračune stabilnosti objekta glede na geološke razmere terena. Ta dela je potrebno kvalitetno, ekonomično in temeljito izvesti. Pri tem je treba upoštevati veljavne zakone o varstvu pri delu, o graditvi objektov, o varstvu okolja, o urejanju naselij in drugih posegov v prostor, idr.

Med pripravljalna dela sodijo:

- izgradnja dostopnih poti,
- čiščenje terena,
- postavitve mobilne betonarne,
- postavitve ventilatorske postaje,
- postavitve kompresorske postaje,
- dovod električne energije na delovišče,
- dovod pitne vode,
- postavitve skladišča razstreliva,
- postavitve laboratorija,
- postavitve spremljevalnih objektov,
- postavitve gradbiščnih objektov,
- ureditev platoja za težko gradbeno mehanizacijo,
- zavarovanje gradbišča,
- priprava odlagališča.

Pripravljalna dela za predor Legi kamen podrobno opišem v naslednjih poglavjih.

4.1 Izgradnja dostopnih poti

Pred pričetkom del smo si morali omogočiti dostop do svojega gradbišča. Po dostavnih poteh se odvija močan transportni promet, saj se uporabljajo za dostavo najrazličnejšega materiala in za odvoz izkopanine.

Dostopna pot mora biti kvalitetno narejena in dovolj široka. Dobro je, da so poti dobro utrjene, da so urejene brežine in da je kvalitetno urejeno odvodnjavanje. V nasprotnem primeru nekvalitetna pot v času neugodnih vremenskih razmer propade in se sesuje.

4.2 Čiščenje terena

Na območju gradbišč in gradbiščnih prostorov smo teren očistili grmovja, vej, dreves, panjev, znakov, ograj, zidov, obstoječih vozišč, robnikov.

4.3 Postavitev mobilne betonarne

Pri gradnji večjih podzemnih objektov je smotrna postavitev lastne betonarne. S tem je zagotovljena kontinuirana dostava večjih količin betona in časovna neodvisnost od drugih betonarn, saj delo na gradbišču v nekaterih fazah poteka tudi 24 ur na dan.

Ker ima družba RGP d. o. o. v bližini gradbišča že lastno betonarno, postavitev nove betonarne na gradbišče ni bila potrebna.



Slika 3: Betonarna družbe RGP d. o. o.

Vir: (lasten vir)

4.4 Postavitev ventilatorske postaje

Za normalno delo v podzemnih prostorih smo v času izkopa morali v te prostore dovajati zadostno količino svežega zraka preko ventilatorske postaje. Namen prezračevanja poleg dovajanja svežega zraka je tudi redčenje škodljivih plinov in izboljšanje klimatskih pogojev. Moč ventilatorja in potreben pretok zraka sta navedena v Rudarskem projektu, ustrezne teste pa je izvedla služba za zračenje iz Premogovnika Velenje.

4.5 Postavitev kompresorske postaje

Danes si ne moremo zamisliti podzemnega delovišča brez komprimiranega zraka, saj večina mehanizacije in ročnih orodij deluje na komprimiran zrak.

Kompresorsko postajo, ki služi za transport zraka po ceveh do delovišča in za dovod vode pod tlakom, smo postavili pred južni portal predora.

4.6 Dovod električne energije na delovišče

Električna energija je na gradbišču nujno potrebna za izvajanje gradbenih del, zagotavljanje osvetljenosti delovišča, pogon kompresorske in ventilatorske postaje ter ostalih porabnikov električne energije. Ker v bližini predora Legi kamen ni električnega voda, smo napajanje rešili z agregatom ustrezne moči.

4.7 Dovod pitne vode

Na gradbišču je obvezen tudi dovod pitne vode, ki je potrebna za ljudi, delavnico, laboratorij, za morebitno gašenje in za tehnološko uporabo (npr. vrtalni stroj). Problem dovoda pitne vode na gradbišče je podoben kot pri dovodu električne energije, in sicer oddaljenost od glavnega voda.

Na predor Legi kamen dobivamo tehnološko vodo iz bližnjega vodovoda, pitno vodo za ljudi pa pripeljemo v večjih zbiralnikih za vodo in je na voljo na dveh pitnikih.

4.8 Postavitev skladišča razstreliva

Lokacija skladišča razstreliva je bila v Kamnolomu Paka in je izbrana tako, da ne ogroža gradbišča, ljudi, naselja in ostalega okolja. Za skladišče razstreliva smo pridobili vsa soglasja. Dostop do skladišča je enostaven za dovoz in odvoz eksploziva. Skladišče razstreliva je varovano z zaklenjeno ograjo.

4.9 Postavitev laboratorija

Laboratorij je potrebno imeti za tekoče preiskave kvalitete gradnje. Te se opravljajo za pripravo betona, brizganega betona, dodatkov za beton, malte, zbitosti zemljine in za vgrajene materiale. Laboratorij družbe RGP d. o. o. je lociran v neposredni bližini betonarne.

4.10 Postavitev gradbiščnih in spremljevalnih objektov

Na gradbišču smo postavili bivalne objekte za tehnično osebje in delovno silo z vso potrebno infrastrukturo. Sem spadajo pisarne, garderobe, jedilnica in sanitarni prostor.

Za hitro odpravo okvar na infrastrukturi in opremi, ki se uporablja pri gradnji podzemnega prostora, smo uporabljali lastne spremljevalne objekte, kot sta mehanična in elektro delavnica.

4.11 Ureditev platoja za težko gradbeno mehanizacijo

Na gradbišču je predviden prostor za parkiranje gradbene mehanizacije. Na tem prostoru so lovilci olj, tla pa so dobro utrjena. Prav tako je vgrajena oprema za čiščenje koles pred vožnjo po javnih cestah.

4.12 Zavarovanje gradbišča

Gradbišče smo zavarovali z varovalno ograjo, kot narekujejo varstveni predpisi. Na ograjo smo razobesili opozorilne table. Za lažje gibanje po gradbišču v nočnem času smo gradbišče razsvetliti.

4.13 Priprava odlagališča

Za izkopani material smo predvideli odlagališče. Pred pričetkom uporabe odlagališča smo pridobili vsa soglasja. Odlagališče smo očistili in do njega speljali dostopno pot, pripravili temeljna tla in izdelali prepuste ali drenaže. Odlagani material smo sproti utrjevali.

5 VARNOST IN ZDRAVJE PRI DELU

Med vsemi sodelujočimi podjetji na delovišču se je sklenil pisni sporazum o varstvu in zdravju pri delu na skupnem delovišču. V tem so razmejene odgovornosti med posameznimi vodji del za določene faze dela in vodjem gradnje, ki koordinira njihova dela.

Za izvajanje razstreljevanja je potrebno upoštevati veljavno zakonodajo in predpise za tovrstna dela, projektno dokumentacijo in navodila izdana za posamezna dela.

Pri razstreljevanju je poleg ostalih predpisov in zakonov, ki se neposredno nanašajo tudi na to področje, potrebno dosledno upoštevati predpise, ki so navedeni v Rudarskem projektu. Poleg teh predpisov je potrebno upoštevati še (IRGO d.o.o, 2022):

- avstrijske norme ENOM ÖNORM 9020 (leto 2015),
- DIN 4150 – norme o varnosti proti streslajem pri razstreljevanju,
- navodila proizvajalcev razstreliva,
- Splošni akt o varnosti in zdravju pri delu in interne pravilnike izvajalca razstreljevanih del.

Vodja razstreljevalnih del mora skrbeti za pravilno delo minerjev in ostalih sodelujočih ter poskrbeti za varnost in obveščenost okolice ob miniranju.

Vsi sodelujoči pri razstreljevanju morajo imeti ustrezeni preizkus znanja iz varstva pri delu in ustrezeni zdravstveni pregled.

Vodja razstreljevalnih del mora vsem sodelujočim pri razstreljevanju dati navodila in jih podučiti o nevarnostih in načinu opravljanja naročenih opravil. Kot posebne nevarnosti pri miniranju nastopajo:

- nevarnost seizmičnega (potresnega) učinka miniranja,
- nevarnost pred razmetom miniranega materiala in nevarnost skal na brežini,
- nevarnost zračnega udarnega vala (tlaka),
- nevarnost pred strupenim in dušilnim učinkom plinastih produktov eksplozije,
- nevarnost toplotnega učinka,
- nevarnost plinov,
- nevarnost vdora vode,

- nevarnost zatajenih min.

Vsaka od navedenih nevarnosti in varnostni ukrepi so obdelani v nadaljevanju.

5.1 Varnostni ukrepi pri vrtanju

Pri izvajanju del vrtanja vrtin je potrebno upoštevati naslednje varnostne ukrepe:

- V času vrtanja mora biti delovišče zavarovano tako, da ni mogoč neopazen pristop nepoklicanih oseb. Zavarovanje je lahko fizično z ograjo, vrvico, opozorilnimi napisi ali z nadzorom vodje garniture ali odgovornega vrtalca.
- Material za vrtanje (drogove, spojnice, krone) se hrani na delovišču v zaboji ali stojalu. Na delovišču se ne hranijo nevarne snovi.
- Mazivo in gorivo za stroje se dovaža dnevno, in sicer za dnevno potrebo ene ali več izmen, če se dela v več izmenah.
- Nevarno območje je bližina vrtalne garniture in kompresorja oziroma bližina cevi za stisnjeni zrak. Zadrževanje ob strojih je dovoljeno samo delavcem odrejenim za delo s stroji.
- Na delovišču nastajajo izpušni plini motorjev. Vrtalec mora stati izven smeri toka izpušnih plinov.
- Pri vrtanju nastaja prah, ki ga ujame odpraševalna naprava. Na vrtalnih garniturah, ki nimajo odpraševalne naprave, mora vrtalec stati izven smeri zračnega toka oz. mora imeti ustrezno zaščitno sredstvo.
- Pri vrtanju nastaja tudi hrup, ki ga ni mogoče odpraviti, zato je obvezna uporaba osebnih zaščitnih sredstev za zaščito sluha.
- Za dela pri vrtanju v podzemnih pogojih je delovišče potrebno osvetliti z reflektorji, napajanimi iz alternatorja na kompresorju ali stroju z napetostjo do 24 V.
- Vrtalno garnituro se postavi takoj na mesto vrtanja. Posebna pozornost naj velja usklajenem delu vrtanja in drugih del na delovišču. Vrtanje ne sme ogrožati drugih del in druga dela ne smejo ogrožati dela pri vrtanju.
- Pred vsakim začetkom dela je potrebno vizualno pregledati vse najvažnejše sklope garniture in kompresorja, ugotoviti stanje na delovišču in odstraniti vse očitne nevarnosti. Pred

vrtanjem horizontalnih vrtin je treba podrobno pregledati steno brežine in jo po potrebi očistiti oz. zrušiti vse dele, ki visijo in bi se lahko pri vrtanju odkrušili.

- Vrtalna garnitura mora biti opremljena z ustreznim gasilnim aparatom. Ta mora biti pregledan po navodilih proizvajalca.
- Z vrtalno garnituro smejo delati samo ustrezno usposobljeni delavci, ki morajo biti oz. morajo imeti preizkus znanja iz varstva pri delu in zdravniški pregled.
- Dokumentacija o preveri znanja in zdravniškem pregledu oz. zdravstveni sposobnosti se hrani v podjetju. Delavci morajo imeti pri sebi izkaznico z vpisanimi pregledi in preverjanju znanja, potrjeno s strani pooblaščenih oseb.
- Pri delu na strmini mora biti vrtalna garnitura zavarovana proti zdrsu.

5.2 Varnostni ukrepi pri razstreljevanju

Za varno in kvalitetno izvajanje del razstreljevanja je potrebno izvajati naslednje tehnične in organizacijske ukrepe.

Tabela 1: Varnostni ukrepi pri miniranju

Tehnični ukrepi	Organizacijski ukrepi
Izbira razstreliva	Premeriti razstrelilno mrežo
Preverjanje polnitve razstreliva	Izdelati napoved tresljajev
Izbira vžigalnih sredstev	Določiti parametre vrtanja
Preverjanje pravilnega zaporedja vžiga	Ugotoviti količino polnjenja
Preverjanje razstrelilne mreže	Izbor razstreliva
Preverjanje pribora	Določiti postopek razstreljevanja
Preverjanje položaja in smeri vrtin	Določiti sistem vžiga
Natančna razdelitev razstreliva na posamezne vrtine	Določiti zaporedje vžiga
Določitev varnostnih razdalj	Pregled in analiza razstreljevanja
Meritve tresljajev	Obrat prilagoditi terminom razstreljevanja

5.2.1 Varnostni ukrepi za odpravo nevarnosti v porušenih conah ter pri vdorih vode in mulja

Kadar je na osnovi projektne dokumentacije in varnostnega predvrtavanja pri napredovanju predora ugotovljeno nevarno območje ali pa so nastopili znaki, ki to nevarnost napovedujejo (dotoki vode, povečanje hitrosti penetracije svedra ipd.), je potrebno obravnavati območje pred čelom delovišča kot nevarno za nastanek nenadnega izbruha.

V času polnjenja vrtin se sme opravljati redna dela na mestih, ki so oddaljena več kot 30 m od mesta polnjenja. Med vrtanjem minskih vrtin naj bo posvečena maksimalna pozornost pojavom, ki jih morajo delavci zasledovati pri vrtanju:

- povečani hribinski pritiski, luščenje in izpadanje kosov hribine s čela predora, intenzivno nastajanje razpok;
- pronicanje vode, zamakanje in iztekanje vode iz vrtin v čelu predora;
- posebna previdnost je potrebna ob vrnitvi na delovišče po končanem miniranju – pred pričetkom nadaljevanja del je potrebno delovišče dobro pregledati, oceniti stanje podgradnje, spremljati koncentracije plinov in oceniti, ali količina odstreljenega čela ustreza razstreljenemu minskemu polju;
- pri napredovanju skozi nevarno območje je potrebno zagotoviti maksimalno usposobljenost moštva in nadzorno-tehničnega osebja za izvajanje del, tudi za umik iz nevarnega območja.

Opisani režim varnostnih ukrepov se mora izvajati tako dolgo, dokler čelo predora ne pride izven nevarnega območja.

5.2.2 Varnost pred seizmičnim vplivom razstreljevanja

Potresi pri miniranju so v direktni zvezi s količino razstreliva, ki je trenutno inicirana oz. je inicirana v nekem milisekundnem intervalu, ki mora biti daljši od 10 milisekund. Na potres oz. stopnjo potresa vplivajo tudi drugi faktorji, kot so vrsta tal, po katerih se potres prenaša,

oddaljenost od mesta miniranja, način miniranja itd. Ker so ti faktorji v glavnem dani in jih ne moremo spreminjati, ostane kot odločilni faktor, s katerim vplivamo na velikost potresa, količina razstreliva na milisekundni interval.

Količine razstreliva na milisekundni interval so pomembne poleg varovanja okolice tudi za kvalitetno izvedbo razstreljevanja, zato je razstreljevanje potrebno izvajati v skladu s shemami razstreljevanja.

5.2.3 Varnost pred razmetom razstreljenega materiala in padanjem labilnih skal na pobočju

Prekomernega razleta miniranega materiala ne pričakujemo, lahko pa ga omejujemo s tehničnimi ukrepi, kot so:

- optimalna specifična poraba razstreliva,
- pravilna koncentracija razstreliva v vrtini,
- zadostna izbojnica in zadostna dolžina čepa,
- uporaba posebnih čepov,
- uporaba pregrad za preprečitev razmeta.

Hkrati ob izpolnjevanju teh ukrepov je potrebno upoštevati še lego minskega polja in ogroženih objektov z ozirom na nevarnosti razleta, kot tudi na vrsto in kvaliteto kamnine, v kateri se izvaja miniranje. Natančnega izračuna mej ogroženega področja ni, zato pa obstaja več izkustvenih pravil, ki jih je potrebno strogo upoštevati. Ta pravila so naslednja:

- vsako zmanjševanje izbojnice ob enaki eksplozivni polnitvi poveča nevarnost razleta,
- vsako povečanje specifične porabe razstreliva poveča nevarnost razleta,
- vsako zmanjšanje dolžine čepa poveča nevarnost razleta,
- kontrolirati je potrebno koncentracijo eksplozivne polnitve v vrtini, zlasti v primeru mokrih vrtin,
- kontrolirati je potrebno eksplozivne polnitve v oslavljenih conah (razpoke, vložki gline ipd.),
- upoštevati je potrebno smer odpiranja minskega polja in na ta način delno usmeriti razlet.

Na osnovi izkušenj pri razstreljevanju v predorih je privzeta splošna meja ogroženega področja pred razletom, ki je $R1 = 200$ m za ljudi in $R2 = 100$ m za stroje in naprave. Zmanjševanje meja tega ogroženega območja je dovoljena le ob uporabi dodatnih varovalnih ukrepov (daljši čepi, specialni čepi, idr.) ali uporabi zaklonov za ljudi in zavarovanje strojev in naprav. Način zavarovanja mora biti opredeljen v načrtu razstreljevanja, ki ga za vsako razstreljevanje izdelava vodja razstreljevalnih del.

5.2.4 Varnost pred zračnim udarnim valom

Vsako miniranje povzroči hitro spremembo tlaka v okoliškem zraku, kar se odraža kot zračni udar. Glede na pogostost razstreljevanja je lahko zračni tlak do 1 milibara (0,1 kPa). Vrtine v minskih poljih bodo zamašene, zato količino razstreliva, ki jo iniciramo v intervalu 100 milisekund, delimo s 150. Tako dobimo količino razstreliva, ki jo upoštevamo v izračunu. Največja količina razstreliva detonirana v 100 ms je največ 15 kg.

5.2.5 Varnost pred strupenimi in dušljivimi plini in toplotnim učinkom

Pri razstreljevanju v predoru je prisotna nevarnost pred strupenimi in dušljivi učinki miniranja. Po vsakem miniranju je potrebno počakati, da se poleže prah in razkadijo plini, šele potem je potreben pregled delovišča.

Nevarnost toplotnega učinka je prisotna izjemoma, če se v bližini nahajajo gorljive snovi ali predmeti. Neposredno okolico minskega polja je potrebno očistiti in odstraniti vse vnetljive snovi.

Plini, ki nastanejo pri miniranju pri popolni detonaciji, so nestrupeni in ne predstavljajo nevarnosti za okolico. Pri eventualni nepopolni detonaciji pa nastajajo strupeni plini, ki se morajo razredčiti in razkrojiti s prezračevanjem. Šele takrat se lahko nadaljuje z deli.

5.2.6 Reševanje zatajenih min

Pri izvedbi razstreljevanja obstaja možnost pojava zatajenih min iz zelo različnih vzrokov. V primeru ugotovitve zatajenih min ob pregledu minskega polja po odstrelu mora vodja

razstreljevalnih del zavarovati okolico in prepovedati izvajanja kakršnihkoli del, ki niso povezana z reševanjem zatajenih min.

Vodja razstreljevalnih del mora, glede na vzrok nastanka zatajenih min in konkretne pogoje, določiti način njihovega reševanja in uničenja. S tem seznani vse zaposlene na odpravi zatajenih min in o tem obvesti vodjo gradnje v predoru.

Za reševanje zatajenih min je potrebno upoštevati nekaj osnovnih ukrepov:

- kadar se ugotovi, da so po miniranju ostale zatajene mine, je potrebno dela na tem območju takoj ustaviti,
- delovno območje je potrebno zavarovati, da se prepreči dostop nepooblaščenih oseb in strojev do tega območja,
- reševanje zatajenih min mora izvajati miner/strelec, ki je polnil minske vrtine,
- izkopanino iz območja zatajitve je potrebno po reševanju zatajenih min posebej deponirati in pregledati,
- ostanke razstrelilnih sredstev je potrebno ločiti in jih uničiti po navodilih vodje razstreljevalnih del.

Šele po odpravljenih zatajenih minah in odstranjenem razstrelivu in drugih razstrelilnih sredstev se lahko nadaljuje delo v ogroženem območju. O zatajenih minah je potrebno voditi predpisano evidenco.

5.2.7 Varnostni ukrepi pred nevarnostmi električnega toka

Vzrok nekontroliranega aktiviranja razstreliva so lahko tudi induktivni tokovi, ki lahko aktivirajo električne detonatorje, zato je potrebno upoštevati odmike takega minskega polja od izvirov električne energije ali od radijskih oddajnikov.

V območju predora Legi kamen ni visoko napetostnih električnih vodov ali radijskih oddajnikov, ki bi lahko predstavljali nevarnost nekontroliranega aktiviranja razstreliva.

V primeru pojava neviht in nevarnosti udara strele je potrebno prenehati z deli razstreljevanja v predoru. Vodnike električnih detonatorjev je potrebno vezati kratkostično in jih izolirati. Z deli razstreljevanja se lahko nadaljuje šele po končanju nevarnosti.

5.3 Splošni in drugi varnostni ukrepi

Ogroženo območje v predoru mora biti v času miniranja zavarovano s stražami. Straže opozarjajo osebe, da se umaknejo in ne dovoljujejo nikomur vstopa v ogroženo območje dokler ni dan signal, da je razstreljevanje končano. Vodja razstreljevalnih del mora vsakemu stražarju določiti njegovo območje varovanja. Stražarji morajo imeti rdeče zastavice. V krogu ogroženega območja se morajo slišati zvočni signali za opozorila, ki se morajo razlikovati od vsakdanjih signalov v okolici in se dajejo z minersko sireno.

Pred začetkom razstreljevanja mora vodja razstreljevalnih del pregledati delovišče in okolico ter ugotoviti ogroženo območje, pri čemer mora upoštevati navodila iz načrta razstreljevanja.

Vodja razstreljevanja mora urediti:

- da v času polnjenja minskih vrtin v neposredni bližini ni drugih oseb razen tistih, ki delajo pri razstreljevanju,
- da se v neposredni bližini ne izvajajo druga dela, ki bi lahko ogrožala varnost in zdravje delavcev pri razstreljevanju,
- da obvesti in seznani vse ljudi v neposredni okolici oziroma v ogroženem območju o postopku razstreljevanja, o pomenu opozorilnih signalov, o nevarnostih in o potrebnih postopkih za preprečitev nevarnosti oziroma poškodb (umik, zaščita itd.),
- da fizično zavaruje ogroženo območje s stražo in
- da so ob razstreljevanju dani opozorilni zvočni signali s sireno, in sicer:
 - signal – enkrat dolgo: pomeni začetek nevarnosti, umaknite se iz območja ali v varna zaklonišča; stražarji zavzamejo svoja mesta; signal se daje do 5 min. pred sproženjem min;
 - signal – dvakrat dolgo: pomeni, da je ogroženo območje zavarovano, stražarji so na svojih mestih; signal se daje najmanj 1 minuto po prvem signalu;
 - signal – trikrat dolgo: signal se daje neposredno pred vžigom minskega polja in pomeni vžig min; ta signal se lahko da šele, ko se je odgovorni vodja razstreljevanja prepričal, da je ogroženo območje zavarovano in da ni nihče ostal nezavarovan ali neopažen v ogroženem območju;
 - signal – enkrat kratko: pomeni konec nevarnosti; po tem signalu smejo stražarji zapustiti stražarska mesta.

Pri izvajanju minerskih del se sme uporabljati samo tista razstrelilna sredstva, ki imajo dovoljenje za uporabo in je njihovo uporabo dovolil odgovorni vodja razstreljevanja. Udarne patrone sme opremljati samo miner. Za izvajanje del razstreljevanja mora vodja razstreljevalnih del izdati posebna navodila, v katerih mora upoštevati navodila proizvajalca posameznega razstrelilnega sredstva. Z razstrelilnimi sredstvi je potrebno rokovati pazljivo. Ta morajo na delovišču biti shranjena na takem mestu, kjer ni nevarnosti pred padajočim kamenjem. Območje minskega polja na oddaljenosti 30 metrov mora biti vidno označeno, dostop do minskega polja pa onemogočen za vse ljudi in stroje, razen za tiste, ki so neposredno udeleženi pri izvajanju razstreljevalnih del.

Izvajalec del mora zagotoviti strokovno usposobljene in izkušene osebe za izvedbo del razstreljevanja, kakor tudi drugih del v predoru.

6 VAROVANJE OKOLJA

Na gradbišču smo zagotavljali varovanje okolja skladno z Zakonom o varstvu okolja.

6.1 Varovanje kakovosti zraka in zaščita pred prašnimi delci

Zagotavljali smo uporabo zaprtih prevoznih sredstev za odpadke in dovoz gradbenega materiala. Gradbena dela se ne smejo opravljati pri hitrostih vetra nad 4 m/s.

V kolikor bi prišlo do pojava prekomernega prašenja ali kopičenja prahu, bi bilo potrebno takoj prenehati z gradbenimi deli, dokler se pomanjkljivosti ali napake ne odpravijo. Izogibali smo se odvečnim manipulacijam s težko gradbeno mehanizacijo in tovornimi vozili.

6.2 Premeščanje in pretovarjanje

Gradbene odpadke nismo odmetavali z višine, ki ni višja od višine posod ali zabojnikov za zbiranje in prevažanje gradbenih odpadkov.

Gradbene odpadke smo zbirali in prevažali v zaprtih ali pokritih posodah ali zabojnikih.

6.3 Ekološko neoporečni materiali za vgradnjo

Vsi materiali, ki so se vgrajevali v objekte in naprave, so ekološko neoporečni. Vsi materiali imajo ustrezne ateste, s katerimi se dokaže njihova neoporečnost.

6.4 Varovanje voda

6.4.1 Preprečevanje onesnaženja podtalnih voda

Vse posege smo opravili tako, da je bilo preprečeno vsakršno onesnaženje podtalnih voda s strupenimi in škodljivimi snovmi.

Goriva in maziva, ki se uporabljajo za nemoteno obratovanje opreme na delovišču, se hranijo v primernih posodah, tako da je preprečeno izhlapevanje v zrak in odtekanje v tla in posledično morda v podtalnico.

Za zmanjšanje reakcijskega časa ob morebitnih nesrečah z delovnimi stroji v času gradnje je bil v bližini lokacije rezervni delovni stroj, s katerim bi lahko izvedli takojšnji izkop onesnažene zemlje.

Posege v tla, dno – na primer med odstranjevanjem krovnih in posebno še nosilnih plasti tal, smo izvajali tako, da površina tal ni bila prizadeta.

Pri gradnji smo uporabljali le tehnično ustrezna vozila in naprave.

Pri zemeljskih nasipih in tamponih nismo vgrajevali materialov, ki bi lahko onesnažili podzemno vodo.

6.4.2 Preprečevanje onesnaženja površinskih voda

Gradnjo smo izvajali le v obsegu, določenem z gradbenimi načrti. V območju gradbenih posegov smo upoštevali ukrepe, ki veljajo na vodovarstvenem območju – delo v območju reke Pake in ostalih pritokov.

V času gradnje smo z varstvenimi ukrepi preprečili morebitne izlive nevarnih snovi:

- dostop do površinskih voda in vodne infrastrukture je ostal neoviran,
- prepovedano je bilo odlaganje odpadkov na vodnih zemljiščih,
- na vodnem zemljišču nismo izvajali nobenih dejavnosti in posegov, ki bi lahko ogrožali stabilnost vodnih zemljišč, zmanjševali varnost, ovirali normalen pretok vode, plavin in plavja, ter onemogočali obstoj in razmnoževanje vodnih in obvodnih organizmov,
- dostop do površinskih voda in vodne infrastrukture je za uporabnike ostal neoviran,
- nismo odlagali odpadkov, nasipnih ali kakšnih drugih materialov na vodnih zemljiščih.

6.5 Varovanje pred čezmernim hrupom

Za izvajanje del so se uporabljali stroji in oprema, ki s svojim delovanjem ne presegajo dovoljene ravni hrupa.

Hrupna gradbena dela (gradbena mehanizacija za transport zemljine, transport viškov materiala, dovažanje gradbenega materiala, obratovanje delovnih naprav, delovanje gradbenih in transportnih sredstev) so potekala le v dnevnem času, in sicer med sedmo uro zjutraj in sedemnajsto uro zvečer.

Povečana obremenitev s hrupom ni dosegala oziroma presegala dovoljenih mejnih ravni hrupa za dan 60 db in noč 50 db.

6.6 Varstvo pred požarom

Kontejnerje smo opremili s predpisano protipožarno opremo. Z gasilnimi aparati so opremljeni tudi vsi stroji in vozila. Gasilno opremo smo vsak dan vizualno kontrolirali. Delavci so se držali določil požarnega reda, izvlečki so bili izobešeni na vidnih mestih. Gasilni aparat na prah S9 je bil v delovnem času vedno dostopen.

6.7 Uporaba strojev z vibracijami

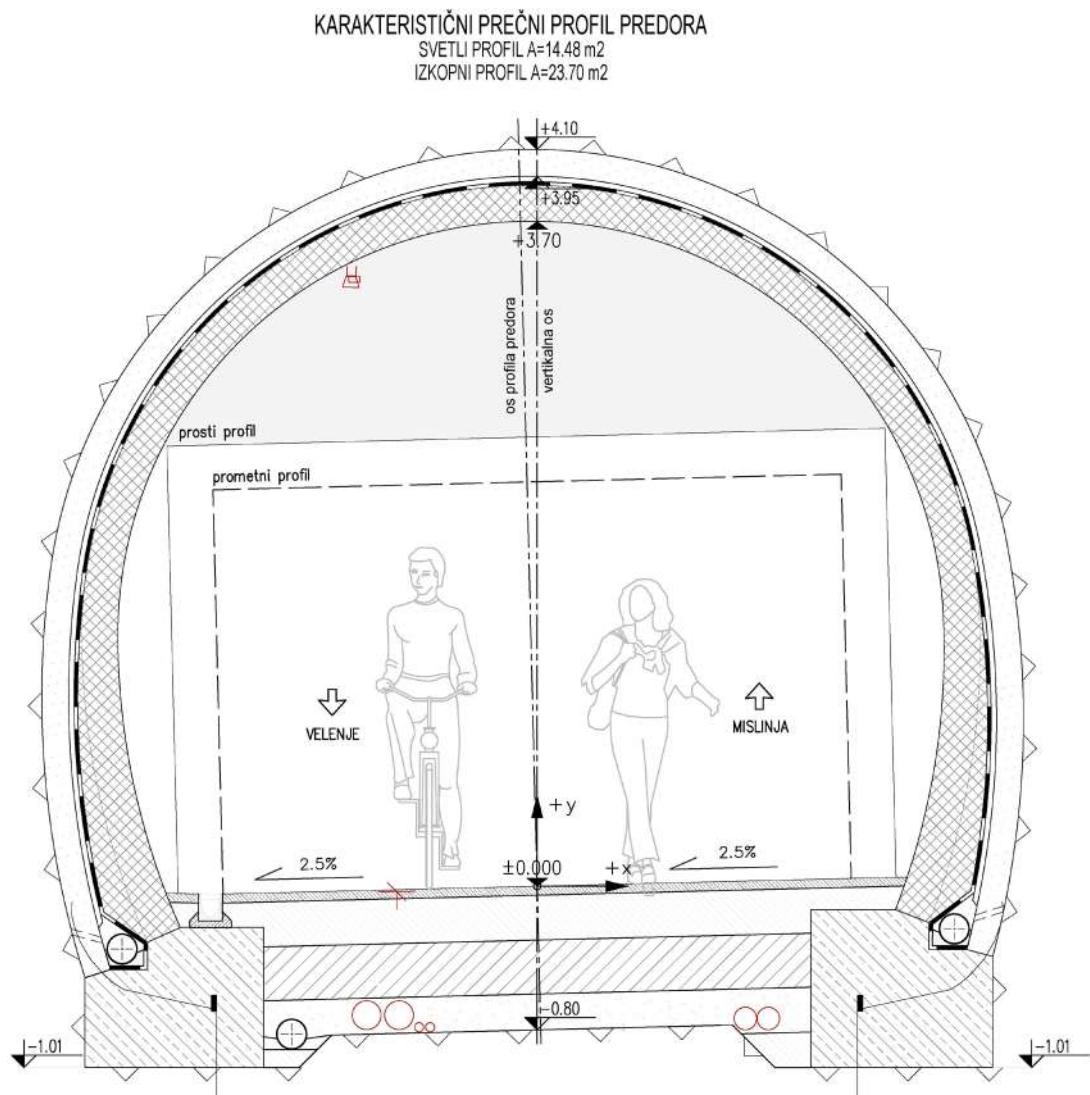
Za utrjevanje raznih plasti terena v območju gradnje smo uporabili stroje, ki obratujejo v frekvenčnem območju 35 Hz. Gradbena dela z gradbeno mehanizacijo, ki povzroča obremenjevanje okolja z vibracijami, smo izvajali le v dnevnem času med sedmo uro zjutraj in sedemnajsto uro zvečer.

7 TEHNOLOGIJA IZVEDBE IZKOPA IN PRIMARNE PODGRADNJE

7.1 *Splošni podatki o predoru Legi kamen*

Predor teče ob cesti in skozi vzpetino povezuje dva dela proge severno in južno od vzpetine, in sicer v smeri trase proge. Predor je izveden v nagibu okoli 3 % proti severu in v skupni dolžini 118,6 m. Ta dolžina vključuje predor in obe portalni konstrukciji. Podzemni izkop predora je izveden v dolžini 105 m. Južni del predora v razdalji 32 m je izveden v rahli krivini z radijem 300 m, osrednji del predora pa v premii.

Predor Legi kamen je namenjen kolesarskemu prometu, svetli profil pa omogoča tudi prehod manjšim vzdrževalnim vozilom. Svetla širina predora znaša 4,0 m, kar omogoča izvedbo dveh kolesarskih stez širine 1,75 m in dveh robnih pasov širine 0,25 m. Svetla višina predora znaša 2,50 m. Večji del predora je brez talnega oboka, notranja obloga pa sloni na temeljih. Prostor med voziščem in tlemi je zapolnjen s kamnito posteljico 0/63 mm, vozišče pa je sestavljeno iz tampona 0/32 mm, v debelini 25 cm, in vezane obrabno zaporne plasti, v debelini 5 cm. Predor ima sistem dreniranja hribinske vode in je izoliran pred dotokanjem vode v predor. Za odvodnjevanje cestiščne vode je predvidena kanaleta na levi strani z južne proti severni strani. Notranja obloga, ki je izdelana iz armiranega betona debeline 0,2 m, zagotavlja trajno nosilnost predora. Tla predora so nagnjena proti levi, z nagibom 2,5 %.



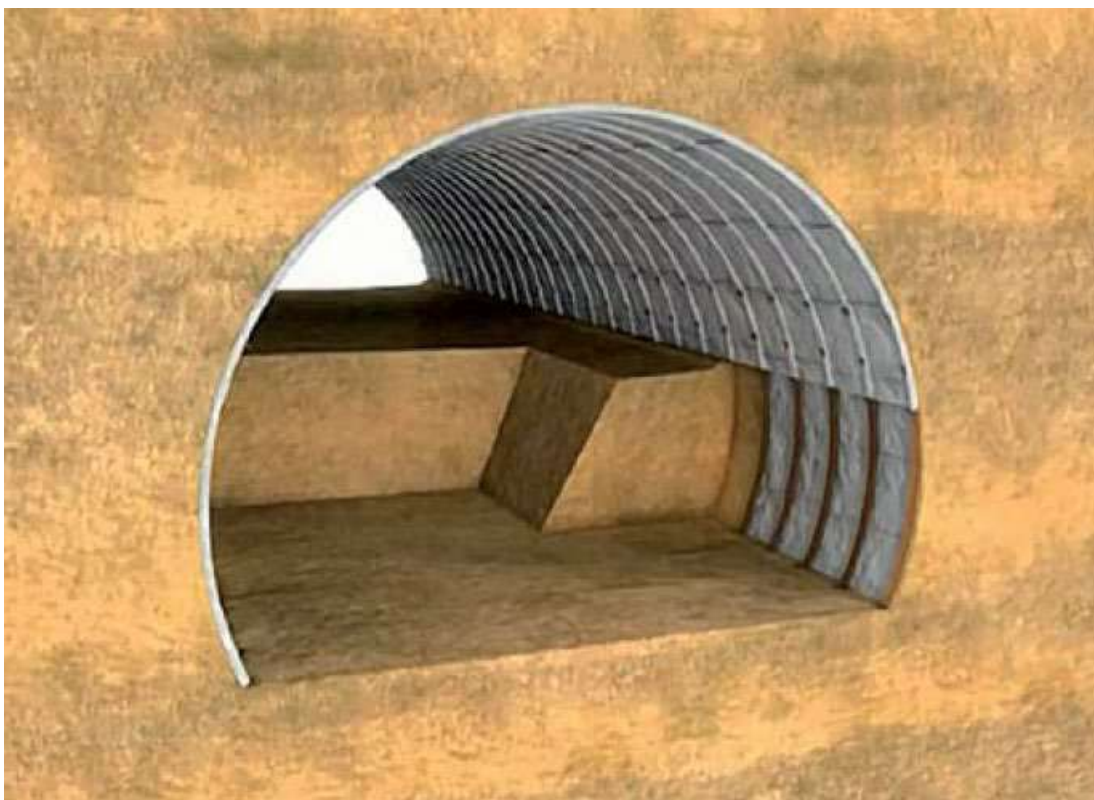
Slika 4: Karakteristični prečni profil predora Legi kamen

Vir: (IRGO d.o.o., 2021)

7.2 Nova avstrijska metoda gradnje predorov

Nova avstrijska metoda gradnje predorov predstavlja filozofijo načrtovanja in splošen, vendar praktičen koncept izdelave podzemnih prostorov. Cilj metode je doseči tehnično dovršeno, varno in ekonomično načrtovanje.

Metoda je zasnovana tako, da hribino okrog območja izkopa obravnava kot breme in hkrati kot nosilni obroč, ki bremena prevzame. Tak pristop loči NATM od drugih načinov načrtovanja predorov, ki hribino okoli prostora obravnavajo izključno kot breme, ki ga mora delno ali v celoti prevzeti obloga (Makovšek, 2015).



Slika 5: Grafični prikaz ločenega izkopa kalote in stopnice

Vir: (Makovšek, 2015)

V obdobju izkopa predora se prek več vmesnih stopenj izvrši prerazporeditev napetostnega stanja v okolni hribini, dokler ni doseženo novo ravnotežje. Da se omogoči uspešna uporaba NATM, je treba upoštevati naslednje:

- postopen izkop in izvajanje podpiranja morata biti vodena tako, da so deformacije v okolni hribini dovolj majhne, da ne pride do zmanjšanja trdnosti hribine;
- izkop je treba izvajati previdno in po potrebi izvesti dodatne ukrepe, da se hribina v okolici čim manj deformira;
- preučiti je treba hidrogeološke pogoje – podtalno vodo, še posebej če nastopa pod visokimi tlaki, je potrebno drenirati, da se zmanjšajo tlaki in se prepreči njen negativni vpliv na nosilnost kamnine;
- obloga predora naj bo relativno tanka in fleksibilna ter izvedena v dobrem stiku z okolno hribino;
- brizgan beton in lahki jekleni loki kot elementi podpiranja morajo biti izvedeni tako, da pomagajo hribini pri ohranjanju njene notranje trdnosti;

- podporni elementi morajo biti takšni, da jih je mogoče prilagajati spremenljivim geološkim razmeram vzdolž objekta, s čimer se je mogoče izogniti generalnim spremembam v načinu podpiranja med samim napredovanjem izkopa;
- meritve deformacij in napetosti v podporju so nujni sestavni del NATM. Z meritvami se preverja pravilnost načrtovanja in izvedbe pred izdelavo zaključne obloge. Inštrumentacija običajno vsebuje optične naprave za izvedbo 3D-meritev deformacij in pomikov notranje obloge, ekstenziometre za oceno obnašanja okolne hribine, tlačne celice, inklinometre, merilce specifičnih deformacij itd.

Navedeni osnovni podatki NATM se ne nanašajo na točno določene tehnike izkopa in načine podpiranja. V preteklem obdobju se je v praksi pokazalo, da uporaba brizganega betona in jeklenih sider ekonomsko najbolj ustreza zahtevam NATM (Makovšek, 2015). Pri podpiranju se uporablja tudi armaturne mreže in podporne jeklene loke.

NATM predpostavlja izdelavo obloge podzemnega objekta v dveh fazah:

1. Primarna obloga se izvede takoj ali v kratkem času po izkopu. Na ta način se zagotovi stabilnost podzemnega objekta med gradnjo. V kasnejši fazi pa primarna obloga postane sestavni del celotne obloge predora. S primarno oblogo je potrebno stabilizirati hribinske deformacije.
2. Sekundarna ali zaključna obloga zagotavlja varnost sistema obloge objekta in enotnost videza notranje površine ter izboljša vodotesnost objekta. Gladka zaključna obloga omogoča boljši pretok zraka skozi objekt in izpolnjuje estetske zahteve ter omogoča lažje vzdrževanje. Za popolno vodoneprepustnost se med osnovno in zaključno oblogo izvede hidroizolacija.

NATM se je v preteklih treh desetletjih pokazala kot zelo uspešna predvsem zaradi svoje prilagodljivosti različnim hribinskim razmeram, pri čemer omogoča kar največjo možnost izbire gradbenih in izkopnih metod in izvedbe predorske obloge. Poleg tega je NATM mogoče uporabljati za načrtovanje podzemnih objektov vseh velikosti in oblik, z možnostjo takojšnjega ekonomičnega popravka zaradi spremenljivih hribinskih pogojev, kar omogoča izvedbo podzemnega objekta v zelo težavnih hribinskih razmerah (Makovšek, 2015).

7.3 Uporabljeni podporni tipi

Za primarno podpiranje predora Legi kamen je projektant predvidel sedem različnih podpornih tipov. Ker je bila geologija predora različna od predvidene, je projektant po izvedbi predvrtavanj določil tri, s katerimi smo izvedli celotno primarno podgradno predora. Predstavil jih bom v naslednjih poglavjih.

7.3.1 Podporni tip K+S-7/10,84 na južnem portalu

Izkop na južnem portalu se je izvajal na portalnem območju pod nizkim nadkritjem. Izkop se je izvajal v razpokanem dolomitu na stacionaži predora med 0 m in 28 m.

Izkop kalote in stopnice se je izvajal v korakih do 1,0 m, ob sprotne vgrajevanju predpisanih podpornih ukrepov. Izkop je bil zaščiten z vgradnjo brizganega cementnega betona C25/30, debeline 15 cm, jeklenimi nosilci PS 50-20-25 in eno armaturno mrežo Q189. Pred vsakim korakom se je izvedla zaščita iz samouvrtanih injektiranih sulic. Čelo izkopa je zaščiteno z brizganim betonom debeline 3-5 cm.

SN sidra dolžine 3,0 m in nosilnosti 240 kN so bila vgrajena en korak za izkopnim čelom samo na desni strani in v spodnjem delu na levi strani.

Izkop za talni obok se je izvedel brez dodatnih podpornih ukrepov.

Tabela 2: Podporni elementi podpornega tipa K+S-7/10,84

BT2 (PORTAL JUŽ)			KALOTA+STOPNICA				K+S-7/10,84			
Deformacijska toleranca [cm]: 3-0			Nadprofi - ūp [cm]: 20.0				Linija 1a [m]: 11.77			
Izkopna površina [m2]: 21.60			OPIS PODPORNEGA UKREPA				Izkopni korak [m] do: 1.00			
Mesto vgradnje	Čas vgradnje	Podporni ukrep na 1m' predora	Tip	Delež	Količina	Enota	Enota	Količina	Faktor	Delno št.
F	takoj po izkopu	Brizgani beton	Čelo	50%	10.800	m2	m3	0.324	14,0	4,54
F	takoj po izkopu	Brizgani beton	Čelo	50%	10.800	m2	m3	0.540	14,0	7,56
R,S	pred izkopom naslednjega koraka	Brizgani beton	Kalota in stopnica		11.770	m2	m3	1.766	20,0	35,31
R,S	pred izkopom naslednjega koraka	Jeklena mreža	Zunanja stran z lokom		0,036	t	m2	11,770	1,0	11,77
R,S	pred izkopom naslednjega koraka	Jekleni lok	Jekleni lok		0,120	t	m	11,770	2,0	23,54
R,S	največ 1 korak za izkopnim čelom	Sidro	Sidro v malti		4,000	kos	m	12,000	1,1	13,20
R,S	pred izkopom naslednjega koraka	Sulice	Samouvrtane injektirane sulice		21,000	kos	m	63,000	1,3	81,90
R,S	pred izkopom naslednjega koraka	Brizgani beton	Zapolnitev klina in več izkopa		0,273	m3	m3	0,273	14,0	3,83
Vsota										181,64
Računska površina [m2]										16,75
Podporno število										10,84
BT2			TALNI OBOK				TO-1/1			
Deformacijska toleranca [cm]: 0			Nadprofi - ūp [cm]: 10.0				Linija 1a [m]: 0.00			
Izkopna površina [m2]: 2.41			OPIS PODPORNEGA UKREPA				Izkopni korak [m] do: 37.00			
Mesto vgradnje	Čas vgradnje	Podporni ukrep na 1m' predora	Tip	Delež	Količina	Enota	Enota	Količina	Faktor	Delno št.
I	po izkopu talnega oboka	Podlošni beton v talnem oboku; d=10cm			0,506	m3	m3	0,506		
I	po izkopu talnega oboka	Beton	Beton v temelju		1,486	m3	m3	1,486		
										0,00
Računska površina [m2]										0,00
Podporno število										1

Vir: (IRGO d.o.o., 2021)

7.3.2 Podporni tip K+S-4/4,06

Izkop v hribinski kategoriji BT2 se je izvedel v največji dolžini, v osrednjem delu predora. Izkop, kjer se je vgradil podporni tip K+S-4/4,06, se je izvajal v dolomitu na stacionaži predora med 28 m in 95 m.

Izkop kalote in stopnice se je izvajal v korakih do 2,0 m, ob sprotne vgrajevanju predpisanih podpornih ukrepov. Izkop je bil ščiten z vgradnjo brizganega cementnega betona C25/30, debeline 15 cm, in eno armaturno mrežo Q189.

SN sidra dolžine 3,00 m in nosilnosti 240 kN so bila vgrajena en korak za izkopnim čelom, z razmikom 2,0 m.

Izkop za talni obok se je izvedel brez dodatnih podpornih ukrepov.

Tabela 3: Podporni elementi podpornega tipa K+S-4/4,06

BT2			KALOTA+STOPNICA				K+S-4/4,06			
Deformacijska toleranca [cm]: 3.0			Nadprofil - ūp [cm]: 20.0				Linija 1a [m]: 11.77			
Izkopna površina [m ²]: 21.60			OPIS PODPORNEGA UKREPA				Izkopni korak [m] do: 2.00			
Mesto vgradnje	Čas vgradnje	Podporni ukrep na 1m ² predora	Tip	Delež	Količina	Enota	Enota	Količina	Faktor	Delno št.
R,S	pred izkopom naslednjega koraka	Brizgani beton	Kalota in stopnica	C25/30, XC2, ds=15cm	11,770	m ²	m ³	1,766	20,0	35,31
R,S	pred izkopom naslednjega koraka	Jeklena mreža	Zunanja stran brez loka	B500B, Q189 (3.03kg/m ²)	0,036	t	m ²	11,770	2,0	23,54
R,S	pred izkopom naslednjega koraka	Sidro	Sidro v malti	SN sidro, 240kN, 3m	2,750	kos	m	8,250	1,1	9,08
Vsota										67,93
Računska površina[m ²]										16,75
Podporno število										4,06

BT2			TALNI OBOK				TC-1/1			
Deformacijska toleranca [cm]: 0			Nadprofil - ūp [cm]: 10.0				Linija 1a [m]: 0.00			
Izkopna površina [m ²]: 2.41			OPIS PODPORNEGA UKREPA				Izkopni korak [m] do: 37.00			
Mesto vgradnje	Čas vgradnje	Podporni ukrep na 1m ² predora	Tip	Delež	Količina	Enota	Enota	Količina	Faktor	Delno št.
I	po izkopu talnega oboka	Podložni beton v talnem oboku; d=10cm			0,506	m ³	m ³	0,506		
I	po izkopu talnega oboka	Beton	Beton v temelju	C30/37	1,486	m ³	m ³	1,486		
Vsota										0,00
Računska površina[m ²]										0,00
Podporno število										1

Vir: (IRGO d.o.o., 2021)

7.3.3 Podporni tip K+S-7/15,56 na severnem portalu

Podporni tip K+S-7/15,56 v hribinski kategoriji BT7 se je izvajal na severnem portalu. Izkop se je izvedel na stacionaži predora med 95 m in 105 m.

Pred začetkom izkopa se je v teme vgradilo 23 injektiranih jeklenih cevi, premera 114 mm, dolžine 15 m. Prav tako se je v čelo izkopa vgradilo 9 m dolga IBO sidra, razporejena na čelu kalote in stopnice. Čelo izkopa je bilo sistematično zaščiteno z brizganim betonom, debeline 5 cm do 10 cm, od katerega je bila debelejša polovica brizganega betona ojačana z armaturno mrežo Q189.

Izkop kalote in stopnice se je izvajal v korakih do 1,0 m, ob sprotnem vgrajevanju predpisanih podpornih ukrepov. Izkop je bil zaščiten z vgradnjo brizganega cementnega betona C25/30, debeline 20 cm, jeklenimi nosilci PS 70-20-30 in dvema armaturnima mrežama Q189.

IBO sidra, dolžine 3,00 m in nosilnosti 190 kN (sila na meji tečenja), so bila vgrajena en korak za izkopnim čelom, z razmikom 1,0 m.

Izkop v talnem oboku se je zaščitil z brizganim betonom debeline 20 cm in dvema armaturnima mrežama Q189.

Tabela 4: Podporni elementi podpornega tipa K+S-7/15,56

BT7				KALOTA+STOPNICA				K+S-7/15,56			
Deformacijska toleranca [cm]: 5-3-0				Nadprofil - up [cm]: 20,0				Linija 1a [m]: 11,84			
Izkopna površina [m ²]: 22,43				OPIS PODPORNEGA UKREPA				Izkopni korak [m] do: 1,00			
Mesto vgradnje	Čas vgradnje	Podporni ukrep na 1m ² predora	Tip	Delež	Količina	Enota	Enota	Količina	Faktor	Delno št.	
F	pred izkopom naslednjega koraka	Sidra v čelu	Število sider v koraku		1,250	kos	kos	10,000	8,0	80,00	
F	pred izkopom naslednjega koraka	Sidra v čelu	Sidna plošča brez prednapenjanja		5,000	kos	kos	5,000	1,7	8,50	
F	takoj po izkopu	Brizgani beton	Čelo	50%	11,215	m ²	m ³	0,561	14,0	7,85	
F	takoj po izkopu	Brizgani beton	Čelo	50%	11,215	m ²	m ³	1,122	14,0	15,70	
F	takoj po izkopu	Jeklena mreža	Dodatno armiranje, čelo izkopa	50%	0,034	t	m ²	11,215	2,0	22,43	
R,5	takoj po izkopu	Brizgani beton	Kalota in stopnica		11,840	m ²	m ³	2,368	20,0	47,36	
R,5	takoj po izkopu	Jeklena mreža	Zunanja stran z lokom		0,036	t	m ²	11,840	1,0	11,84	
R,5	takoj po izkopu	Jeklena mreža	Notranja stran z lokom		0,036	t	m ²	11,840	1,5	17,76	
R,5	takoj po izkopu	Jekleni lok	Jekleni lok		0,148	t	m	11,840	2,0	23,68	
R,5	največ 1 korak za izkopnim čelom	Sidra	Samsuvrtano injektirano sidro		5,000	kos	m	15,000	1,7	25,50	
R,5	pred izkopom naslednjega koraka	Cevni ščit	Injektirane jeklene cevi Ø114 mm, L=15m, e=0,3m, 23KOS		2,300	kos		0,000		0,00	
Vsota										260,62	
Računska površina [m ²]										16,75	
Podporno število										15,56	

BT7				TALNI OBOK				TD-7/4			
Deformacijska toleranca [cm]: 0,0				Nadprofil - up [cm]: 30,0				Linija 1a [m]: 5,03			
Izkopna površina [m ²]: 3,19				OPIS PODPORNEGA UKREPA				Izkopni korak [m] do: 2,20			
Mesto vgradnje	Čas vgradnje	Podporni ukrep na 1m ² predora	Tip	Delež	Količina	Enota	Enota	Količina	Faktor	Delno št.	
I	pred izkopom naslednjega koraka	Brizgani beton	Talni obok		5,030	m ²	m ³	1,006	12,0	12,07	
I	pred izkopom naslednjega koraka	Jeklena mreža	Zunanja stran brez loka		0,015	t	m ²	5,030	2,0	10,06	
I	pred izkopom naslednjega koraka	Jeklena mreža	Notranja stran brez loka		0,015	t	m ²	5,030	1,5	7,55	
I	po izkopu talnega oboka	Beton	Beton v temelju		0,823	m ³	m ³	0,823			
I	po izkopu talnega oboka	Beton	Beton v talnem oboku		1,111	m ³	m ³	1,111			
Vsota										0,00	
Računska površina [m ²]										0,00	
Podporno število										4	

Vir: (IRGO d.o.o., 2021)

7.4 Osnovni materiali in polproizvodi za izgradnjo primarnega podpiranja

V nadaljevanju bom predstavil vse materiale in polproizvode, ki so bili vgrajeni v primarno podgradnjo predora Legi kamen. Vrsta in količina materiala je odvisna od tipa podpornega sistema, ki ga predvidi in potrdi projektant na podlagi geološke sestave predora. Primarna podgradnja mora imeti dovolj pravilno vgrajenih materialov, da je konstrukcija stabilna, nosilna in varna za izvajanje nadaljnjih del.

7.4.1 Armaturna mreža

Kakovost jekla armaturnih mrež za vgradnjo je bila vsaj B500B, skladno z zahtevami projektanta. Ob dobavi je imelo jeklo predpisan certifikat proizvajalca, dobava na gradbišče pa

je potekala postopno, skladno z izvajanjem del po terminskem planu. Polaganje je potekalo na ustrezno pripravljeno podlago.

7.4.2 Betonski proizvodi (suhe mešanice, mokre mešanice)

Beton (suhe mešanice in mokre mešanice) je bil pripravljen v Betonarni RGP d. o. o., skladno s potrjenimi recepturami iz Projekta betona. Notranjo kontrolo, ki zajema spremljanje vgrajevanja betonov, jemanje vzorcev, kontrolo svežega betona na gradbišču in preiskavo strjenih betonov v laboratoriju, je izvajalo podjetje RGP d. o. o., po potrjenem programu tekoče kontrole. Zunanjo kontrolo je izvajal Gradbeni inštitut ZRMK d. o. o.

7.4.3 Sidra in sulice

Za izgradnjo primarne podgradnje predora Legi kamen smo uporabili več vrst sider in sulic, in sicer:

- SN sidra, dolžine 3,0 m,
- samouvrtana injekcijska sidra (IBO), dolžine 3 m,
- sulice iz rebrastih armaturnih palic, dolžine 3 m,
- samouvrtane injekcijske jeklene sulice, dolžine 3 m.

Ob dobavi so imela sidra in sulice predpisan certifikat proizvajalca.

7.4.4 Cevni ščit

Na portalnem območju severnega dela predora, kjer je bilo povečano tveganje za porušitev hribinske mase, ki je kategorizirana kot zemljina 3. kategorije, smo vgradili cevni ščit, z uporabo jeklenih cevi zunanjega premera 114,3 mm in debeline 6 mm. Dolžina posameznih palic je bila 15 metrov, razmik med njimi pa 0,3 m. Vgradili smo skupno 23 jeklenih cevi.



Slika 6: Vgrajen cevni ščit na predoru Legi kamen

Vir: lasten vir

7.4.5 Razstrelivo in detonatorji

Pri izbiri razstreliva za razstreljevanje v predoru je potrebno upoštevati, da je razstrelivo primerno za opravljanje jamskih in površinskih razstreljevalnih del v srednje trdnih in žilavih hribinah kot rudarsko razstrelivo pri razstreljevanju v ne metanskem območju. Razstrelivo mora biti uporabno v vlažnih pogojih in v vodi.

Uporabili smo razstrelivo Emulex 1. V nadaljevanju je podana tabela z osnovnimi karakteristikami tega razstreliva.

Tabela 5: Osnovne zahtevane karakteristike razstreliv

Lastnost	Enota	Vrednost
Bilanca kisika	% O ₂	+ 2,3 %
Specifična energija	kJ/kg	765
Detonacijska hitrost	m/s	5500 (prosto naloženo, 65 mm premer naboja)
Volumen produktov eksplozije	l/kg	910
Gostota	g/cm ³	1,2



Slika 7: Razstrelivo Emulex 1

Vir: https://www.austinpowder.com/wp-content/uploads/2018/10/Emulex_1_35_03.jpg

Zaradi zahteve po milisekundnem zakasnjevanju vrtin smo uporabili električne milisekundne detonatorje proizvajalca Austin, z nominalnim zakasnilnim intervalom 25 in 50 ms. Vodniki žic so dolžine 3,0 m, polnilni tok pa je 0,45 A.

Električni detonator sestavljajo aluminijast ali bakren tulec, polnjen s primarno in sekundarno razstrelilno polnitvijo ter z zakasnilnikom. Vžigalna kapica je vstavljena v tulec neposredno pred polnitvijo. Zavarovana je pred nenamernim proženjem s statično elektriko z navadnim antistatičnim pokrovom in z varnostno iskrilno režo. Par tokovodnikov je speljan stran od detonatorja skozi, za vodo neprepustno, mašilo v nagubanem grlu ohišja.

Električni detonatorji oznake DEM-s/Fe se uporabljajo za iniciranje razstreliv pri miniranju na površini, v kamnolomih in gradbeništvu ter v tunelih.

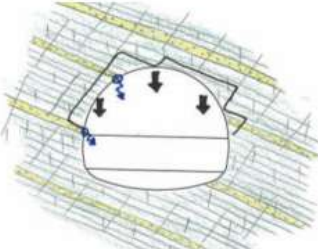
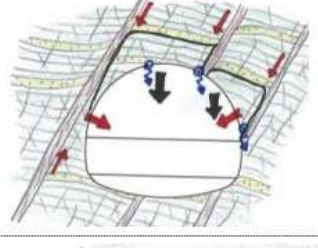
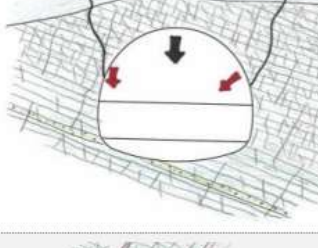
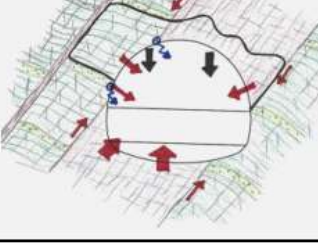
Temperaturno območje uporabe električnih detonatorjev je med -30 in $+50$ °C. Električni detonatorji so vodoodporni pri maksimalnem tlaku 0,3 MPa.

7.5 Tehnologija in faze izkopa predorske cevi predora Legi kamen

Izkop se je izvajal v hribinskih kategorijah BT2 in BT7 z vrtanjem in miniranjem po NATM. Z ozirom na velikost projektiranega profila predora je bila odločitev izvajalca, da se je izkop talnega oboka izvedel z mehničnim odbijanjem z zamikom za čelom kalote in stopnice.

Z ozirom na geološke pogoje se je izkop predora izvajal večinoma s pomočjo vrtanja in miniranja in le v mehkejših conah s pomočjo mehničnega kladiva in bagske žlice. Izkop smo izvajali v smeri južni predvkok – severni predvkok. Izkop smo izvajali v dveh fazah (kalota in stopnica – talni obok). Dolžina izkopnega koraka je bila odvisna od tipa hribine, in sicer od 1,0 m do 2,0 m.

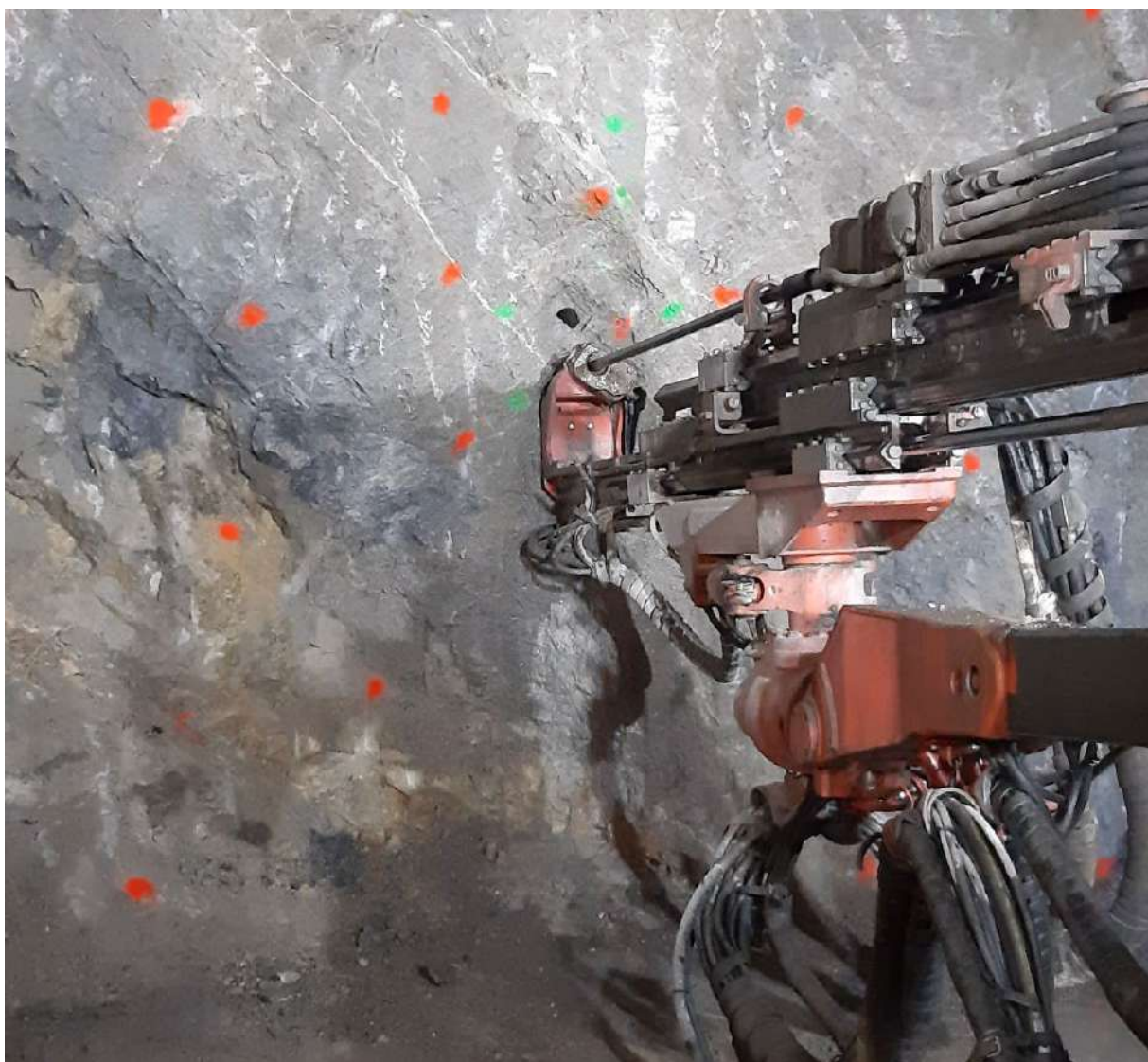
Tabela 6: Določitev hribinskih tipov obnašanja (BT)

BT	Geomehansko stanje	Porušitveni mehanizem
2		Stabilno s možnostjo nastanka bloka po diskontinuitetah
3		Plitva strižna porušitev
7		Strižna porušitev pod nizkim napetostmi
10		Nabrekanje ob prisotnosti gline

Vir: (Žibert, 2016)

7.5.1 Vrtanje vrtin za miniranje, polnjenje vrtin in odstrel

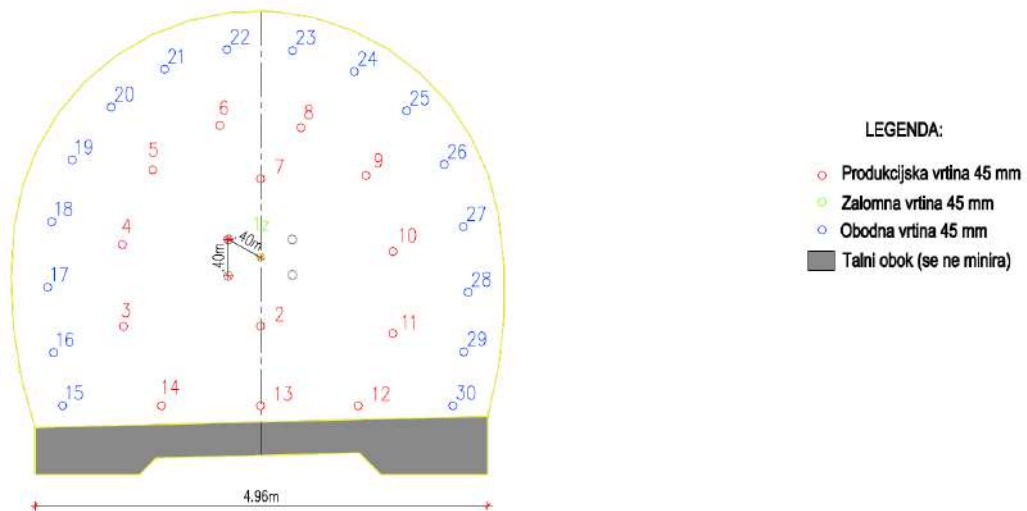
Vrtanje vrtin za miniranje se je izvajalo na osnovi Rudarskega projekta. Vrtali smo s pomočjo vrtalne garniture Sandvik DD311DE, z uporabo komprimiranega zraka. Miner in pomočnik minerja sta izvedla polnjenje vrtin, vezavo minskega polja in odstrel, skladno z načrtom miniranja, ki je prav tako del Rudarskega projekta.



Slika 8: Vrtanje vrtin v čelo predora z vrtalno garnituro Sandvik DD311DE

Vir: lastni vir

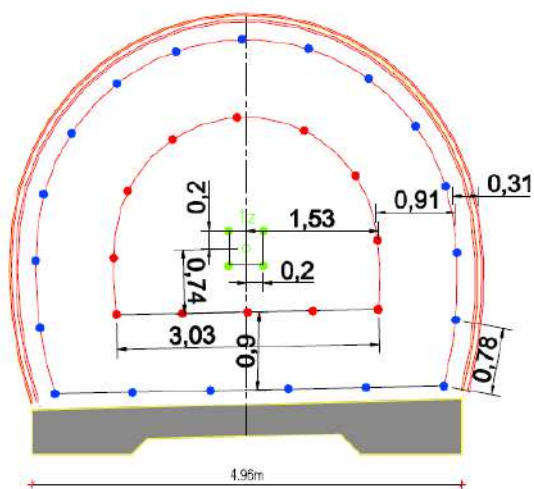
PREDOR LEGI KAMEN
SHEMA MINIRANJA kategorija 2 (korak 2m)



Slika 9: Shema miniranja za korak 1 m

Vir: (IRGO d.o.o, 2022)

PREDOR LEGI KAMEN
SHEMA MINIRANJA kategorija 4 (korak 1m)



Slika 10: Shema miniranja za korak 1 m

Vir: (IRGO d.o.o, 2022)

7.5.2 Odvoz izkopanega materiala

Odminirani material smo po ustrezni prezračitvi predora izvažali s pomočjo nakladača na začasno deponijo na gradbišču. Material se kasneje nakladal na kamione in transportiral na stalno deponijo. V fazi izvoza materiala je bil prepovedan vsak dostop delavcem in strojem v predor, o čemer so morali biti seznanjeni vsi sodelujoči na gradbišču.

7.5.3 Čiščenje izkopnega čela

Pred vsakim nadaljevanjem izkopa smo čelno steno izkopa očistili z bagrom, kar pomeni odstranitev vseh razmajanih kosov hribine. Vse to je povečalo varnost pred izvajanjem naslednjih faz v predoru. Z nakladačem smo nato poravnali tla na območju čela delovišča, da je bil omogočen neoviran dostop ostalim strojem neposredno do delovišča.

7.5.4 Varovalni obrizg izkopnega čela

V primeru nestabilne hribine smo na čelo predora vgradili varovalni obrizg iz torkreta za zagotavljanje varnosti v fazi vgradnje armaturnih mrež in paličnih nosilcev. Varovalni obrizg izkopnega čela smo izvajali zgolj v podpornih tipih K+S-7/10,84 na južnem portalu in K+S-7/15,56 na severnem portalu.

7.5.5 Vgrajevanje armaturnih mrež in paličnih nosilcev

Mreže smo pritrdili na predhodno postavljena sidra in predhodne dele mrež, ki služijo za preklope oziroma na predhodno postavljene loke. Armaturno mrežo smo vgradili s predpisanimi preklopi med posameznimi mrežami v vzdolžni in prečni smeri in smo se kar v največji meri prilagajali hribini. Delo smo opravljali s pomočjo dvižne platforme, ki omogoča varen dvig delavca, in žlice kopača.

Palični nosilci so se iz posameznih kosov in ustreznih preklapov sestavili neposredno na delovišču s pomočjo vijčenja v horizontalnem položaju. Sestavljen palični nosilec smo s pomočjo bagske žlice postavili v položaj, ki je bil predviden po projektu na ustrezni oddaljenosti od predhodno postavljenega paličnega segmenta.

7.5.6 Vgrajevanje brizganega betona

Vgrajevanje smo izvajali po postopku mokrega vgrajevanja s tekočim nelakalnim pospeševalcem vezanja. Mokro betonsko mešanico za brizgan beton smo na gradbišče dostavljali sproti z avtomešalcem. Vgradnja je potekala s pomočjo stroja za brizgan beton nazivne kapacitete od 15–20 m³. Beton se je vgrajeval s pomočjo komprimiranega zraka tako, da oddaljenost šobe od površine za nanos torkreta ni presegala 1,5 m. Nanos brizganega betona je bil pravokoten na površino. Maksimalna debelina enega sloja nanosa je bila 10 cm.



Slika 11: Vgradnja brizganega betona v primarno podgradnjo predora

Vir: lastni vir

7.5.7 Vgrajevanje sider

Sidra v predoru predstavljajo del primarne podgradnje. V predoru so vgrajena SN in IBO sidra dolžine 3,0 m, in sicer v različnih rasterjih glede na geomehanske pogoje. SN sidra smo vgradili s pomočjo vrtalne garniture. Po zavrtanju sidra smo preko tega izvedli injektiranje s cementno injekcijsko maso, pripravljeno v injekcijskem mešalcu. Po vrtanju smo posamezno vrtino napolnili po cevi s cementno injekcijsko maso, pripravljeno v injekcijskem mešalcu – črpalki MAI 400. Vrtino smo napolnili do te mere, da je kasneje vtisnjena rebrasta palica sidra iztisnila del mase iz vrtine, kar je pomenilo, da je sidrna vrtina ustrezno zapolnjena s sidrno maso in sidrno palico. Na tako vgrajeno sidro smo pritrdili sidrno ploščico in matico. Po strditvi injekcijske mase smo matico privili do predvidene sile, kar omogoča polno aktiviranje sidra.



Slika 12: Vgradnja IBO sider

Vir: lastni vir

7.5.8 Predvrtavanje

Predvrtavanja smo izvedli v območjih predvidenih prelomnih con in v območjih predvidene spremembe geoloških pogojev. Na teh območjih je ocenjena večja možnost pojava nenadnih vtokov vode. Predvrtavanja smo izvedli z udarnim vrtanjem vrtin premera najmanj 51 mm v čelo predora, s preklopom vrtin 5 m.

8 ANALIZA POCENITVE IN POSPEŠITVE IZKOPA PREDORA Z MINIRANJEM V PRIMERJAVI S HIDRAVLIČNIM ODBIJANJEM

V poglavju bom predstavil postopek miniranja za izkop predora Legi kamen in izvedel analizo napredka, stroškov in prihodkov. Rezultate bom primerjal s teoretičnim izkopom predora z mehaničnim odbijanjem.

8.1 Miniranje

V trdni hribini se vrtanju in razstreljevanju ne moremo izogniti. Globino enkratne odstrelitve določamo na podlagi lastnosti hribine, z upoštevanjem možnosti optimalnega sistema dela. Minerske sheme morajo biti določene za vsak hribinski tip in so del Rudarskega projekta. Za predor Legi kamen so določene štiri sheme miniranja, vendar smo zaradi geoloških razmer uporabili le dve, in sicer za korak globine 1,0 m in korak globine 2,0 m.



Slika 13: Miniranje v predoru Legi kamen

Vir: lastni vir

Delovni cikel zajema naslednje glavne delovne operacije:

- vrtanje minskih vrtin,
- polnjenje z razstrelivom,

- umik ljudi,
- odstrelitev,
- prezračevanje,
- pregled delovišča.



Slika 14: Pregled delovišča po odstredu

Vir: lastni vir

Med pomožne operacije spadajo črpanje vode, kontrola globine odstrela in predvrtavanje.

Naloge minerja in njegovega pomočnika so:

- določitev količine razstreliva,
- polnjenje strelnih lukenj,

- povezava nabojev,
- zamašitev strelnih vrtin,
- vžig razstreliva – odstrel.

8.2 Primerjava miniranja in mehaničnega odbijanja

Tabela 7: Primerjava napredka, stroškov in prihodkov pri izkopu predora z miniranjem in mehaničnim odbijanjem

ANALIZA NAPREDKA, STROŠKOV IN PRIHODKOV PRI IZKOPU PREDORA Z MINIRANJEM				
	Podporni tip K+S-7/10,84	Podporni tip K+S-4/4,06	Podporni tip K+S-7/15,56	Skupaj/ Povprečje
Izvedena dolžina (m):	28	67	10	105
Skupno število dni za izvedbo (dan):	16	34	7	57
Izvedena dolžina na dan (m'/dan):	1,75	1,97	1,43	1,84
Strošek celotnega podpornega tipa (%):	33,65	48,54	17,81	100,00
Strošek na meter izvedbe (‰):	12,02	7,25	17,81	9,52
Prihodek celotnega podpornega tipa (%):	31,23	44,93	23,84	100,00
Prihodek na meter izvedbe (‰):	11,15	6,71	23,84	9,52

ANALIZA NAPREDKA, STROŠKOV IN PRIHODKOV PRI IZKOPU PREDORA Z MEHANIČNIM ODBIJANJEM				
	Podporni tip K+S-7/10,84	Podporni tip K+S-4/4,06	Podporni tip K+S-7/15,56	Skupaj/ Povprečje
Izvedena dolžina (m):	28	67	10	105
Skupno število dni za izvedbo (dan):	23	56	7	86
Izvedena dolžina na dan (m'/dan):	1,22	1,20	1,43	1,22
Strošek celotnega podpornega tipa (%):	30,691	55,793	13,516	100,000
Strošek za meter izvedbe (‰):	10,961	8,327	13,516	9,524
Strošek podpornega tipa v primerjavi z miniranjem (‰):	118,73	149,60	98,79	130,17

Vir: lasten vir

8.3 Analiza stroškov in prihodkov pri izkopu predora z miniranjem

Izkop in primarno podpiranje predora Legi kamen smo izvedli v treh podpornih tipih, kot je prikazano v zgornjih tabelah (glej: tabela 4). V prvih dveh vrsticah je izpisana dolžina posameznega odseka in število dni, ki smo jih potrebovali, da smo dokončali izkop in primarno podpiranje. V tretji vrstici je izpisan dnevni napredek za vsak podporni tip. Skladno s

pričakovanji je napredek pri posameznem podpornem tipu obratno sorazmeren s količino zahtevanih podpornih ukrepov. Povprečnega dnevnega napredka (1,84 m'/dan) ne smemo primerjati z dnevnim napredkom pri gradnji daljših in površinsko večjih predorov. Pri teh namreč pride do kontinuitete dela, prav tako ni težav z manipulacijo mehanizacije na majhnem prostoru, zato je dnevni napredek pri teh v povprečju nekajkrat večji.

Stroškov, ki so poslovna skrivnost podjetja, ne morem navesti v številkah, zato sem jih navedel v odstotkih glede na celoten strošek izkopa in primarnega podpiranja. Za potrebe analize sem zbral vse večje stroške na projektu in jih porazdelil na posamezne podporne tipe. Med večje stroške sem štel interne in eksterne stroške materialov, dela, najema mehanizacije, prevozov, goriva, gradbišča in uprave. Tako kot pri času napredka je tudi strošek izvedbe enega metra predora obratno sorazmeren s količino zahtevanih podpornih ukrepov pri posameznem podpornem tipu, vendar pa so tukaj razlike že občutnejše.

Prihodek je prav tako poslovna skrivnost podjetja, zato sem tudi tega navedel v odstotkih. Zbral sem prihodke po vseh potrjenih postavkah v gradbeni knjigi, ki so del izkopa in primarnega podpiranja, in jih porazdelil po posameznih podpornih tipih. Kljub temu da zaradi poslovnih skrivnosti podjetja ne smem navesti razlike med stroški in prihodki, lahko iz analize razberemo, da je bilo za družbo RGP d. o. o. najbolj dobičkonosno izvajanje del v podpornem tipu K+S-7/15,56, kjer je bil prihodek na meter za kar 6,04 % večji od stroška na meter. Pri delu v preostalih dveh podpornih tipih se odstotek stroška in prihodka dokaj ujemata.

8.4 Analiza stroškov in prihodkov pri izkopu predora z mehaničnim odbijanjem

Izkop predora z mehaničnim odbijanjem smo izvajali v celotnem prečnem prerezu le v zadnjih petih metrih predora, kjer je bila geologija že močno spremenjena, zato so rezultati analize zgolj teoretične narave. Čas izkopa z mehaničnim odbijanjem po celotni dolžini predora sem ocenil na povprečno 10 ur/m'. Ocena je sledila iz izkopa talnega oboka predora, kjer smo uporabili metodo z mehaničnim odbijanjem. Ta zajema približno 15 % celotnega prečnega profila predora, trajal pa je povprečno 1,5 ure/m'. Pri upoštevanju, da so se dela izvajala 24 ur na dan in da celoten postopek povprečnega miniranja traja približno 4 ure, sem ocenil čas, ki bi ga potrebovali, če bi celoten predor izkopali z mehaničnim odbijanjem.

Takoj opazimo, da bi s takšnim načinom dela porabili precej več časa, s čimer bi se močno zmanjšal dnevni napredek na predoru, in sicer na povprečno 1,22 m'/dan izvedenega izkopa in

primarnega podpiranja. Isti napredek bi ohranili le v podpornem tipu K+S-7/15,56, del katerega smo zaradi spremembe geologije izvedli z mehaničnem odbijanjem.

Zaradi spremenjenega postopka del bi prišlo do več in manj del glede na postopek izkopa z miniranjem, to pa bi prineslo razliko pri stroških izvedbe.

Več stroškov:

- najem bagra z mehaničnim kladivom,
- dodatne plače delavcev,
- najem manjše vrtalke za vrtanje sider, sulic in cevnega ščita v primarno podgradnjo,
- daljši najem preostale mehanizacije (demper, argegat, kompresor, robot za brizganje betona),
- večji stroški gradbišča.

Manj stroškov:

- nakup razstreliva,
- najem večje vrtalke, ki omogoča hitro vrtanje strelnih vrtin,
- plača minerja in pomočnika minerja.

8.5 Primerjava izkopa predora z miniranjem in izkopa predora z mehaničnim odbijanjem

Časovna primerjava izkopa predora z miniranjem in izkopa predora s hidravličnim odbijanjem na predoru Legi kamen prikaže, da je prvi način učinkovitejši. Izkop predora bi se v primeru uporabe hidravličnega kladiva namesto miniranja podaljšal za 29 dni oziroma 51 %. Predvsem v primeru, kjer so kratki roki izgradnje, visoke kazni za zamudo in podobna geologija predora kot v predoru Legi kamen, izkop predora s hidravličnim odbijanjem ne pride v poštev.

Če se osredotočimo na vsak podporni tip posebej, vidimo, da prihaja do velikih razlik v času izgradnje predora z miniranjem in v času izgradnje predora z mehaničnim odbijanjem. V podpornem tipu K+S-4/4,06, kjer je geologija predora najbolj statično ugodna in je bil predviden napredek za odstrel 2,0 m, bi bila izvedba izkopa z mehaničnim kladivom 22 dni oziroma 65 % daljša, kot je bila pri izkopu z miniranjem. Pri podpornem tipu K+S-7/10,84, kjer je bila geologija statično manj ugodna in je bil predvideni napredek na odstrel zgolj 1,0 m, bi

bila izvedba izkopa z mehaničnim kladivom 7 dni oziroma 44 % daljša, kot je bila pri izkopu z miniranjem. Pri podpornem tipu K+S-7/15,56, kjer smo izvedli le štiri miniranja (predviden napredek na odstrel 1,0 m), preostanek izkopa pa izvedli z mehaničnim kladivom, vidimo, da se časovna razlika ne bi spremenila, tudi če bi celoten odsek izkopali z mehaničnim kladivom.

Bolj kot časovna sprememba vodilne ljudi na projektu zanima stroškovni vpliv spremembe tehnologije izkopa. Rezultati so precej podobni kot pri časovni analizi, saj plače delavcev in najem mehanizacije ter ostale opreme predstavljajo glavnino stroškov projekta. Pri vseh treh podpornih tipih se z rahlimi odstopanji pokaže, da se strošek izvedbe premo sorazmerno poveča z dodatnim časom, potrebnim za izkop z mehaničnim kladivom. Skupno bi se celotna izvedba izkopa in primarnega podpiranja podražila za dobrih 30 %. Opazimo tudi, da se zmanjša razlika med stroškom izvedbe na meter predora pri posameznih podpornih tipih. Na primer pri izkopu predora z miniranjem je razlika v stroških izvedbe na meter podpornega tipa K+S-7/15,56 za 146 % večja od stroškov izvedbe metra podpornega tipa K+S-4/4,06. Pri izkopu predora z mehaničnim odbijanjem pade ta številka na zgolj 62 %.

S tem potrdimo hipotezo H1, ki predvideva pospešitev in pocenitev izgradnje predora z miniranjem namesto s hidravličnim odbijanjem. V hipotezi se predvidi privarčevani čas in strošek za 20 %. Izračun pokaže, da je na primeru predora Legi kamen privarčevani čas povprečja vseh podpornih tipov 50 %, privarčevani strošek pa 30 %.

Iz analize vidimo, da je potrebno biti za stroškovno in tudi časovno optimalno gradnjo predorov prilagodljiv in metodo dela izbrati glede na geologijo predora. Za to je pomembno izvesti dovolj raziskovalnih vrtin za natančno oceno geologije predora. Izvajalec mora sproti izvajati predvrtavanja, da preverja točnost geološke ocene projektanta. Pomembno je tudi, da izvajalec naredi analizo stroškov in s tem pravilno oceni, kdaj je potrebno zamenjati tehnologijo izkopa.

9 ANALIZA PORABE JEKLA PRI VGRADNJI PALIČNIH NOSILCEV

Pri podpiranju delov predorov, kjer prevladujejo slabši podporni tipi, uporabljamo naslednje vrste jeklenih lokov:

- I profili,
- TH profili,
- palični nosilci (oporniki).

9.1 *Jekleni loki s TH profili*

Jekleni lok je sestavljen iz več krivljenih segmentov po projektnih konturah izkopa predorske cevi. Neposredno na gradbišču se posamezni loki spajajo med seboj s predvidenimi preklopi in s pomočjo drsnih spojk (po 2 spojki na preklap). Zategovanje matic poteka s pomočjo pnevmatske pištole.



Slika 15: TH lok

Vir: (Mittal Steel Ostrava a.s., 2005)

9.2 *Palični nosilci*

Palični nosilci so izdelani iz armaturnih palic, ki so skupaj zvarjene skladno s projektantskim načrtom. Prav tako kot TH loki so sestavljeni iz več segmentov. Neposredno na gradbišču se posamezni segmenti sestavljajo s pomočjo vijakov in matic. Zategovanje matic poteka s pomočjo pnevmatske pištole.



Slika 16: Vgradnja paličnih nosilcev

Vir: lasten vir

9.3 Vgradnja jeklenih lokov

Na lesenih podlagah sestavljen del loka za kaloto in stopnico predora se s pomočjo predorskega bagra dvigne in se postavi v položaj, predviden po projektu.

Predpisano medsebojno oddaljenost lokov zagotavljajo distančniki, pritrjeni na posamezne segmente sosednjih lokov. Na novo postavljen lok se poleg žice poveže tudi z armaturno mrežo.

Vezavo mreže na lok in montažo distančnikov opravijo predorski delavci s pomočjo žlice nakladača.

9.4 Primerjava porabe jekla pri podpiranju predora s paličnimi nosilci in klasičnimi TH loki

Na predoru Legi kamen so bili po projektu predvideni in vgrajeni palični nosilci. Vgradnja je bila predvidena v štirih podpornih tipih primarne podgradnje, vendar pa smo zaradi boljših geoloških pogojev od pričakovanih, po potrditvi projektanta, palične nosilce vgradili le v dveh, in sicer v:

- podporni tip K+S-7/10,84 na južnem portalu,
- podporni tip K+S-7/15,56 na severnem portalu.

Tabela 8: Prikaz teže paličnega nosilca iz projektne dokumentacije

POPIS KOLIČIN – PREDOR – NAKLON 2,5% – KALOTA S STOPNICO BT2 (ds=15cm üm=3–0cm, üm=0cm)							
--	--	--	--	--	--	--	--

Poz	Oznaka	G/m'(kg)	kos	L/kos (m)	G/kos(kg)	Lskupno (m)	Gskupno (kg)
5	PALIČNI NOSILEC PS 50/20/25	10,2	2	3,78	38,56	7,56	77,12
6	PALIČNI NOSILEC PS 50/20/25	10,2	2	2,13	21,73	4,26	43,46
KOLIČINA/PALIČNI NOSILEC						11,82	120,58

Vir: (IRGO d.o.o., 2021)

V obeh podpornih tipih so se palični nosilci vgrajevali na razdalji enega metra. V spodnji preglednici je viden prikaz med porabo jekla za izdelavo paličnega nosilca za predor Legi kamen in TH lokov.

Tabela 9: Prikaz teže jeklenih lokov

Vrsta loka	Teža (kg/m')	Dolžina loka (m)	Skupna teža (kg)
TH 16,5	16,70	11,82	197,39
TH 21	20,92	11,82	247,27
TH 29	29,00	11,82	342,78
TH 34	33,90	11,82	400,70
TH 36	35,90	11,82	424,34
Palični nosilec	10,20	11,82	120,58

Pri teži nisem upošteval prekrivanja in veznih elementov. Kot lahko razberemo iz zgornje tabele, je bila uporaba paličnih nosilcev na primeru predora Legi kamen najbolj ekonomična izbira. Če upoštevamo primerjavo med loki TH 29, ki so najpogosteje uporabljeni za podpiranje rudniških predorov, in paličnimi nosilci, ki so projektirani za podpiranje predora Legi kamen, in dejstvo, da je bilo za primarno podpiranje potrebno vgraditi 40 kosov paličnih nosilcev, pridemo do zaključka, da smo z vgradnjo paličnih nosilcev prihranili 8.888 kg jekla.

S tem potrdimo hipotezo H2, ki predvideva, da bo izbira izkopne tehnologije in zaščitnih ukrepov z uporabo paličnih nosilcev namesto TH lokov zmanjšala porabo železa za 35 %. Zmanjšana poraba železa je sicer veliko večja od predvidene, in sicer 65 %.

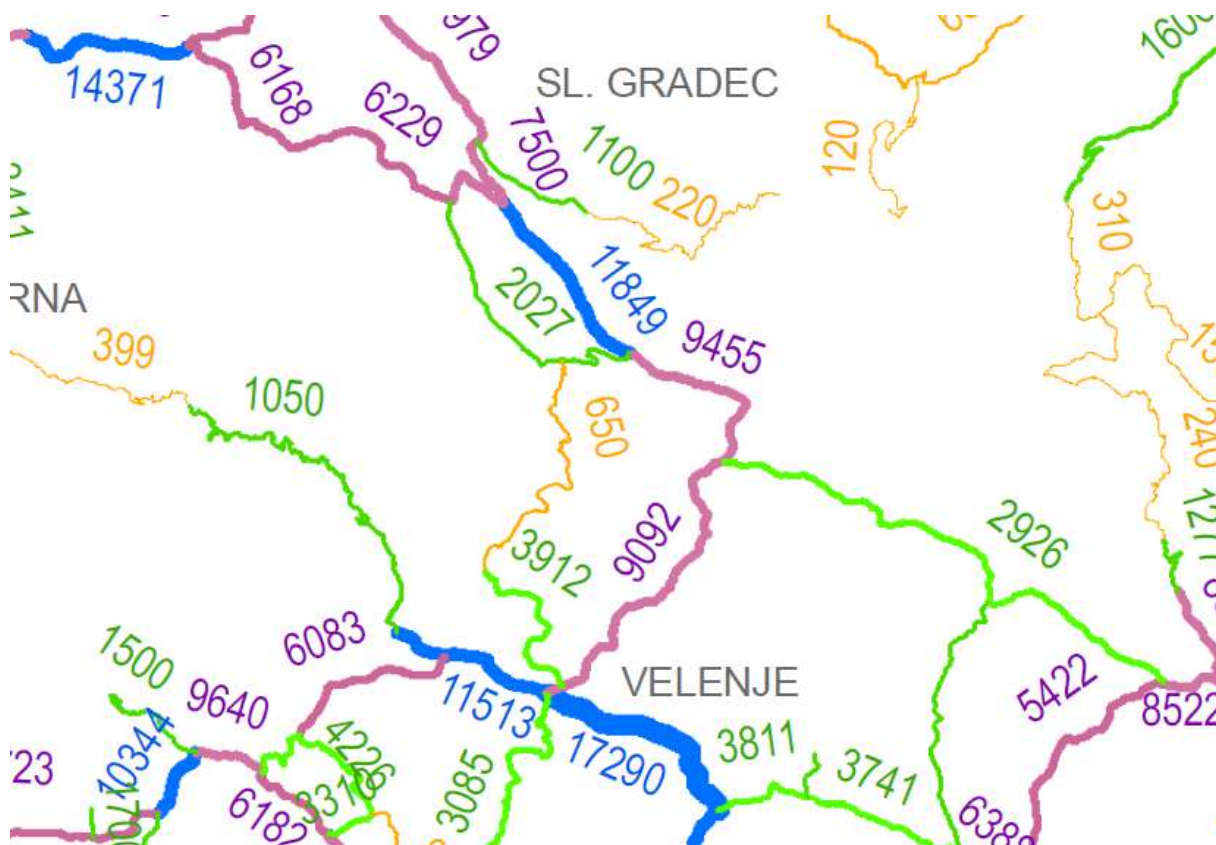
10 PREDVIDEVANJA ZMANŠANJA PROMETA IN EMISIJ PLINOV ZARADI VEČ KOLESARJENJA IN MANJ UPORABE PREVOZNIH SREDSTEV Z MOTORJI NA NOTRANJE IZGOREVANJE

Trenutno edina prometna povezava med Velenjem in Doličem skozi Hudo luknjo je regionalna cesta, ki je zaradi slabe povezanosti Štajerske in Koroške precej obremenjena. Z izgradnjo kolesarske povezave bo območje pridobilo na trajnostni mobilnosti, kar bi lahko zmanjšalo motorni promet. Ker je diplomska naloga pisana v času izgradnje, ni mogoče primerjati podatkov pred in po izgradnji in potrditi ali ovreči predvidevanj v naslednjih poglavjih

10.1 Obremenjenost obstoječe regionalne ceste na tem območju

Po podatkih Ministrstva za javno upravo Republike Slovenije iz leta 2021 je povprečni dnevni letni promet na regionalni cesti med Velenjem in Doličem 9092 vozil. Povprečno se dnevno na tem območju prevaža:

- 93 motorjev,
- 7428 osebnih vozil,
- 59 avtobusov,
- 827 lahkih tovornih vozil,
- 126 srednjih tovornih vozil,
- 131 težkih tovornih vozil,
- 93 tovornjakov s prikolicami,
- 335 vlačilcev.



Slika 17: 9092 vozil PDLP na regionalni cesti med Velenjem in Doličem

Vir: (Ministrstvo za infrastrukturo, 2023)

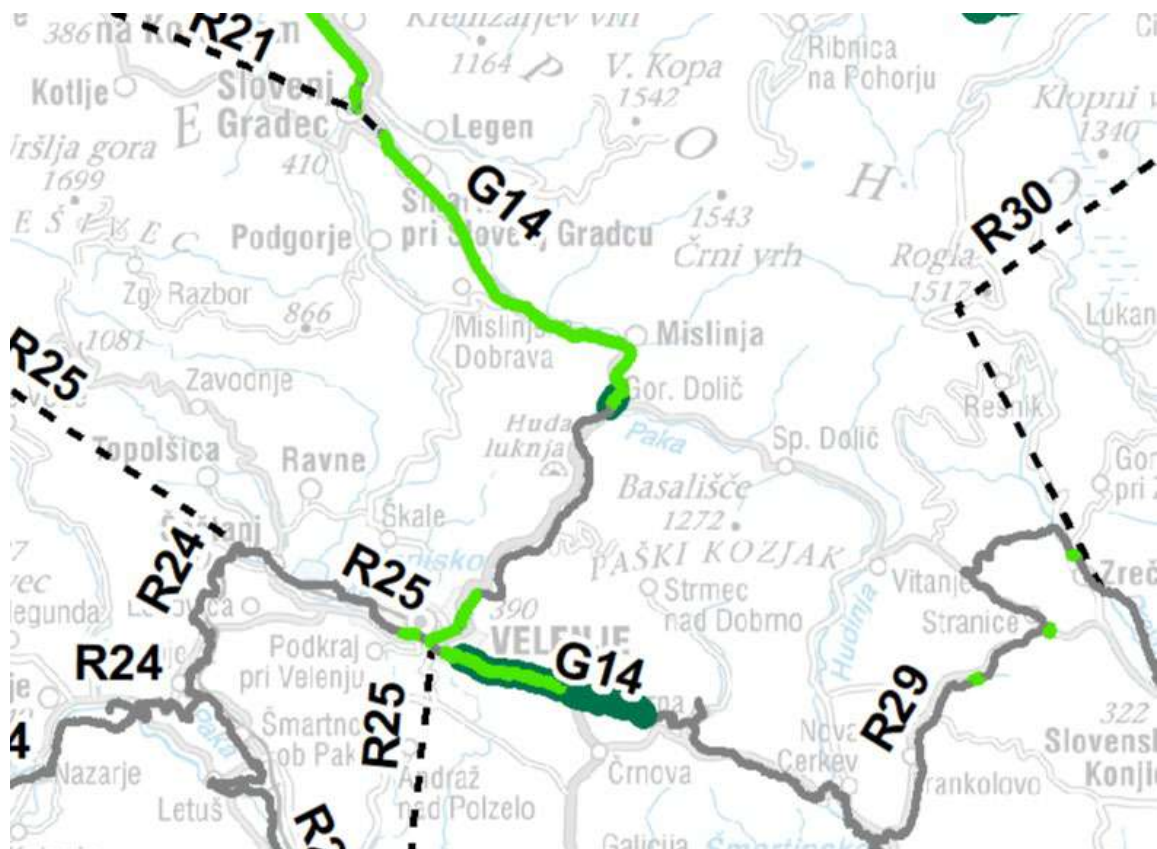
Kot lahko razberemo iz podatkov, je na omenjeni regionalni cesti nadpovprečno število tovornih vozil. Zaradi lokacije ceste lahko sklepamo, da je večina osebnih vozil namenjena dnevnim migracijam.

10.2 Predvidevanje zmanjšanja prometa in emisij plinov

Predvidevam, da zaradi izgradnje kolesarske povezave Huda luknja med Velenjem in Doličem na regionalni cesti, ki povezuje omenjeni občini, ne bo vidnega upada prevoznih sredstev z motorji na notranje izgorevanje. Kolesarska povezava ne bo imela vpliv na količino tovornega prometa, ki bo ostal v enakem ali povečanem obsegu. Predvidevam, da kolesarska povezava prav tako ne bo imela velikega vpliva na količino osebnih vozil. Najverjetneje večina ljudi regionalno cesto uporablja za prevoz na in iz dela. Razdalje v regiji so prevelike, da bi prebivalci nadomestili osebni avtomobil s kolesom, saj bi si s tem časovno precej podaljšali pot. Hipoteze H3 torej v tem trenutku ni mogoče niti potrditi niti ovreči, vendar predvidevam, da se volumen motornega prometa in posledično emisije ne bodo zmanjšale zaradi uporabe kolesarske poti.

Glede na to da v času pisanja diplomskega dela poteka izgradnja tretje razvojne poti, ki bo prav tako povezovala Štajersko in Koroško, predvidevam, da bo po dokončanju gradnje velik upad prometa na regionalni cesti skozi Hudo luknjo. Predvidevam, da je v očeh naročnika naloga kolesarske povezave Huda luknja:

- višanje nivoja prometne varnosti,
- povezanost že obstoječih kolesarskih povezav,
- spodbujanje športa in rekreacije,
- izboljševanje našega zdravja,
- spodbujanje kolesarskega turizma in športno rekreativnih dogodkov,
- mobilnost mladih,
- podporna infrastruktura drugim storitvam,
- trajnostna mobilnost.



Slika 18: Kolesarske povezave v okolici Velenja in Doliča (z zeleno barvo so označene že izgrajene kolesarske povezave, s sivo pa so označene kolesarske povezave v pripravi)

Vir: (Ministrstvo za infrastrukturo, 2023)

11 KROVNA TEMA: PRIHODNOST RAZVOJA NOVIH KOLESARSKIH POVEZAV NA PRIMERU TUNELA LEGI KAMENI

O zmanjšanju cestnega prometa na regionalni cesti, ki teče poleg kolesarske poti, sem govoril že v prejšnjem poglavju. V tem poglavju se bom osredotočil predvsem na povečanje kolesarstva v regiji, kot posledica izgradnje in razvoja novih kolesarskih poti.

11.1 Razvoj kolesarskih povezav v Sloveniji

Z ustreznim načrtovanjem dinamike izgradnje oziroma vzpostavitve kolesarskih povezav je treba omogočiti uravnotežen razvoj komunikacij s kolesom, čim boljšo dostopnost do vseh območij v Sloveniji, povezavo z mednarodnim kolesarskim sistemom in izboljšati kakovost prometnih storitev v smislu izboljšanja prometne varnosti, racionalne rabe energije in zmanjšanja negativnih vplivov na okolje.

Mreža kolesarskih poti je lahko učinkovita le, če imajo kolesarske površine sklenjen tok in se ne končajo slepo. Kolesarju mora biti vedno omogočeno, da se po doseženem cilju vrne na začetek, po isti ali krajši poti. Sklenjena mreža zagotavlja razbremenitev ostalih cest in učinkovitost posega.

S kolesarsko povezavo Huda luknja bomo pridobili točno to, saj povezuje dve regiji, ki sta bili do sedaj težko dostopni za kolesarski promet zaradi velike obremenjenosti regionalne povezave s cestnim prometom.

Kot kaže moj model, je prihodnost kolesarskih povezav v Sloveniji usmerjena v razvoj in izboljšanje infrastrukture za kolesarje. Slovenija je že sedaj znana po svoji kolesarski kulturi in prelepem naravnem okolju, ki je privlačno za kolesarjenje. V zadnjih letih so bile izvedene številne pobude za spodbujanje kolesarjenja in izgradnjo novih kolesarskih poti, kot je tudi primer novega tunela Legi kamen

Ena od pomembnih pobud je Nacionalni program kolesarjenja, ki ga je Slovenija sprejela leta 2017. Ta program si prizadeva izboljšati kolesarsko infrastrukturo, spodbujati kolesarjenje kot trajnostno obliko prevoza ter povečati varnost in udobje kolesarjev. V okviru programa so

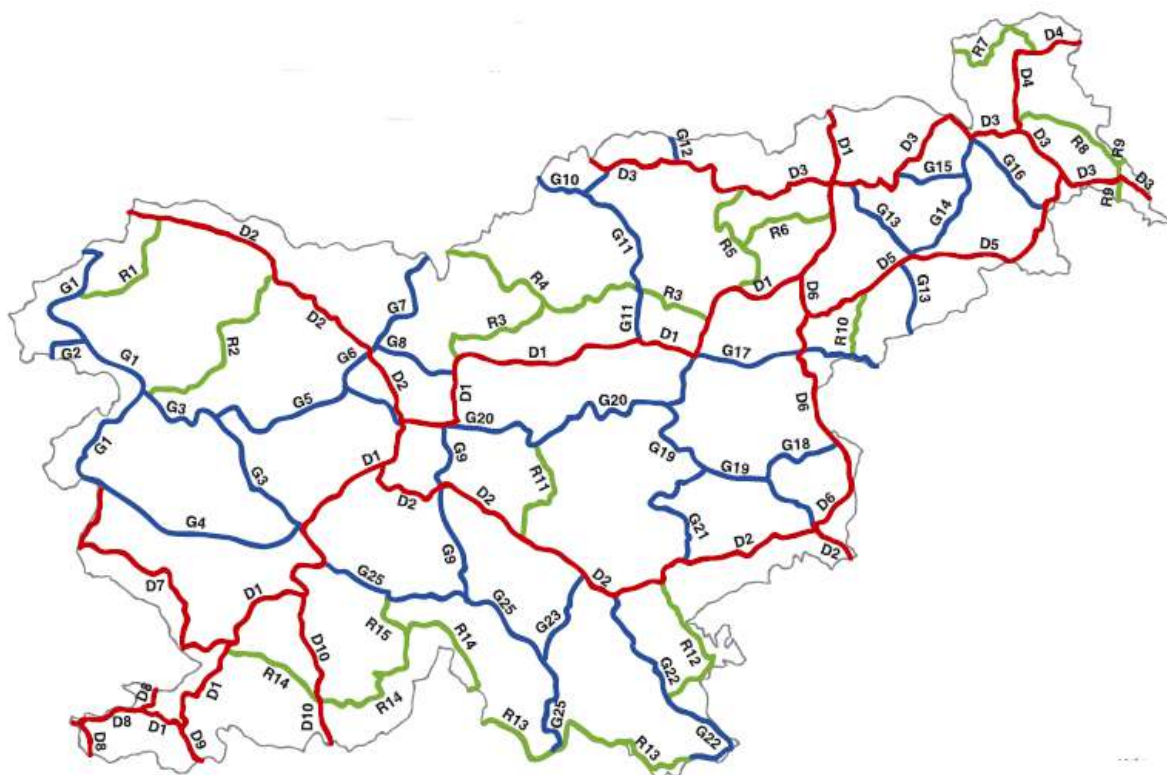
predvidene naložbe v izgradnjo novih kolesarskih poti, obnovo obstoječih poti ter označevanje in promocijo kolesarskih poti.

Poleg tega so v nekaterih mestih že vzpostavljeni sistemi za izposajo koles, ki omogočajo enostavno dostopnost koles tudi tistim, ki nimajo lastnega kolesa. Takšni sistemi spodbujajo uporabo kolesarjenja za kratke mestne vožnje in zmanjšujejo odvisnost od avtomobilov.

V prihodnosti se načrtuje nadaljnja izgradnja kolesarskih poti in povezav med različnimi deli države. Cilj je zagotoviti varne in udobne povezave, ki omogočajo kolesarjem enostaven dostop do mest, turističnih atrakcij, naravnih parkov in drugih pomembnih točk. Prav tako se bo nadaljevala obnova in posodabljanje obstoječih kolesarskih poti, da se izboljša njihova kakovost in varnost.

Slovenija je tudi del mednarodnih kolesarskih poti, kot je na primer Evropska kolesarska pot EuroVelo. Prihodnost kolesarskih povezav v Sloveniji vključuje tudi povezave z drugimi državami, kar omogoča kolesarjem, da raziskujejo večje območje s kolesom.

V skladu s trajnostnimi prizadevanji in zavedanjem o pomenu kolesarjenja za zdravje, okolje in prometno entropijo, je pričakovati, da bo Slovenija še naprej razvijala in izboljševala svojo kolesarsko infrastrukturo ter spodbujala kolesarjenje kot trajnostno možnost prevoza v prihodnosti.



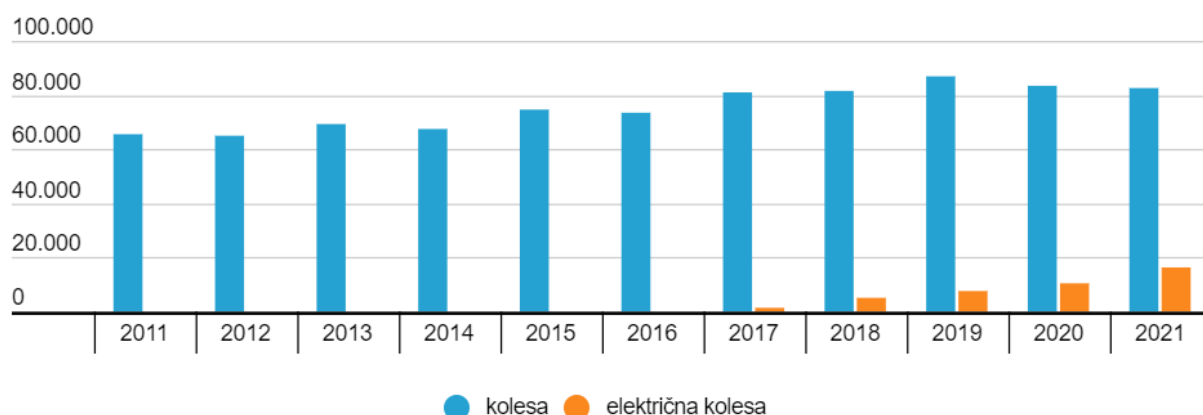
Slika 19: Številčna kategorizacija državnih kolesarskih povezav

Vir: (Ministrstvo za infrastrukturo, 2023)

11.2 Porast prodaje koles v Sloveniji

O vzponu kolesarstva v Sloveniji najbolj pričajo številke prodanih koles. Statistični urad Republike Slovenije razpolaga s podatkom, da se od leta 2017 številka uvoženih koles vedno vrti nad 80.000. Lani smo jih denimo uvozili 82.600, poleg tega pa še 16.400 električnih koles. Zadnja leta se je močno povečal predvsem uvoz slednjih. Pred petimi leti smo jih uvozili nekaj manj kot 1500, lani že desetkrat več. V letu 2021 smo Slovenci opravili 3,8 milijona dnevnih poti, na njih pa smo skupno prepotovali 11,5 milijarde kilometrov. Na statističnem uradu so izračunali, da smo 2,2 odstotka te razdalje, torej 253 milijonov kilometrov, opravili s kolesom.

Tabela 10: Graf prikaza prodaje koles in električnih koles v Sloveniji????



Vir: (Ministrstvo za javno upravo, Prometne obremenitve od leta 1997 dalje, 2023)

11.3 Porast kolesarstva v regiji

O porasti kolesarstva v regiji zaradi izgradnje kolesarske povezave Huda luknja zaenkrat še ne moremo govoriti. Potrebno bi bilo narediti raziskavo po dokončanju del. Bo pa kolesarska povezava Huda luknja ena najdražjih in najlepših kolesarskih povezav v Sloveniji, ki bo tudi zaradi lege pritegnila tako lokalne kolesarje kot tudi kolesarje turiste, predvsem v poletnih mesecih. V Šaleški dolini gradijo tudi kolesarske povezave do Mozirja in Logarske doline ter Dobrne in Celja, kar bo prav tako vplivalo na povečanje števila aktivnih kolesarjev.

Tako lahko predvidevamo, da se bo trend rasti kolesarstva nadaljeval tudi v prihodnje, z vsaj podobno rastjo, kot se je to dogajalo v zadnjem desetletju, ko se je prodaja koles in posledično število aktivnih kolesarjev povečalo za 52 %. S tem potrdimo hipotezo H4, da se bo kolesarjenje v regiji povečalo za vsaj 20 % v naslednjem desetletju.

12 SKLEP

V uvodu diplomskega dela sem predstavil hipoteze, ki sem jih raziskal na primeru kolesarske poti v izgradnji Huda luknja, ki poteka med Velenjem in Mislinjo.

Na primeru predora Legi kamen sem primerjal dve metodi izkopa predora, in sicer izkop z miniranjem in izkop z mehaničnim odbijanjem. Analiziral sem napredek izkopa, stroške izkopa in prihodke pri izkopu. Večina izkopa predora Legi kamen je bila izvedena z metodo miniranja. Za potrebe analize sem stroške in prihodke porazdelil med posamezne podporne tipe in tako izračunal povprečni napredek, stroške izkopa za tekoči meter in prihodke pri izkopu za tekoči meter vsakega podpornega tipa.

Nato sem s teoretičnim sklepanjem in prakso izkopa talnega oboka določil potreben čas za izkop predora z mehaničnim odbijanjem in upošteval manj in več stroškov pri tej izvedbi del v primerjavi z metodo miniranja. Prihodki bi bili isti pri obeh metodah dela.

Z rezultati sem potrdil uvodno hipotezo, v kateri sem trdil, da je izkopna metoda z miniranjem bolj ekonomična in hitrejša od izkopne metode z mehaničnim odbijanjem. Analiza je pokazala, da je največja razlika me obema metodama dela v podpornem tipu, kjer smo izkopali najtrši material. Razlika v času izkopa bi se nam, v primeru izbire metode dela z mehaničnim odbijanjem, povečala za 22 dni oziroma 65 %. Prav tako bi se strošek izkopa povečal za 49,6 %, kar kaže na to, da je za potrebe izkopa v trših kamninah, izbira metode izkopa z miniranjem edina možna izbira.

V drugem podpornem tipu, kjer je bila kamnina mehkejša in je bilo več podpornih ukrepov, se rezultati močno spremenijo. Še vedno je bila izbira metode izkopa z miniranjem pravilna, vendar pa so razlike manjše. Razlika v času izkopa bi se nam, v primeru izbire metode dela z mehaničnim odbijanjem, povečala za 7 dni oziroma 44 %. Strošek izkopa bi se povečal zgolj za 18,7 %. Razlika je še vedno občutna, vendar se opaža, da se v mehkejših kamninah izbira metode z mehaničnim odbijanjem časovno in ekonomsko približa metodi izkopa predora z miniranjem, kar potrjuje tudi rezultati pri izkopu tretjega podpornega tipa.

Pri tretjem podpornem tipu smo izkop izvajali v najmehkejši kamnini v celotnem predoru. Prvih 5 m podpornega tipa smo izvedli z metodo miniranja, naslednjih 5 m pa z metodo mehničnega odbijanja. Razlike v času izkopa, v primeru izbire metode dela z mehaničnim odbijanjem za

celoten odsek, ne bi bilo. Prav tako ocenjujem, da bi se strošek dela izkopa zmanjšal za 1,2 %. Časovne in ekonomske razlike med obema metodama dela na tem odseku praktično ni.

S tem smo potrdili hipotezo H1, ki predvideva pocenitev in pospešitev izkopa tunela z miniranjem namesto s hidravličnim odbijanjem. V hipotezi sem predvidel, da se z miniranjem prihrani 20 % časa in stroška, izračun pa je pokazal, da privarčujemo 50 % časa in 30 % stroškov.

Izvedel sem tudi analizo porabe jekla. V predoru Legi kamen smo vgradili palične nosilce, ki jih je na podlagi statičnih izračunov določil projektant predora. Primerjal sem jih z ostalimi vrstami jeklenih lokov, ki jih uporabljamo predvsem v rudarstvu. Najpogosteje uporabljeni so TH loki in med njimi lok TH29. Izkazalo se je, da smo z uporabo štiridesetih paličnih nosilcev v predoru Legi kamen prihranili 8.888 kg oziroma 65 % jekla, kot bi jih z vgradnjo klasičnih jeklenih lokov TH29, s čimer smo poskrbeli za bolj ekonomično in okolju prijaznejšo metodo dela. Prav tako je bilo palične nosilce lažje vgraditi, zaradi česar smo prihranili pri času vgradnje in strošku najema mehanizacije. S tem sem potrdil hipotezo H2, ki predvideva, da izbira izkopne tehnologije in zaščitnih ukrepov z uporabo paličnih nosilcev namesto TH lokov pripomore k manjši porabi železa za 35 %.

V uvodu sem navedel hipotezo H3, da bo izgradnja kolesarske povezave pripomogla k zmanjšanju uporabe prevoznih sredstev z motorji na notranji pogon na relaciji Velenje–Mislinja (posledično zmanjšanje emisij plinov motorjev z notranjim izgorevanjem). Hipoteze tekom pisanja diplomske naloge nisem mogel preveriti, saj izgradnja kolesarske povezave še ni zaključena. Prav tako v zimskem času cestna povezava Velenje–Mislinja ni obremenjena s kolesarskim prometom zaradi nizkih temperatur zraka. Sklepam pa, da se sam cestni promet ne bo zmanjšal, saj na tem območju kolesarski prevoz ne more služiti kot alternativa motornemu, zato sem hipotezo H3 ovrgel.

Hipoteza H4 predvideva povečanje kolesarjenja za 20 %, kot posledica izgradnje kolesarske povezave. Smiselno bi bilo preveriti mojo hipotezo v naslednjih raziskovalnih delih in primerjati gostoto kolesarskega prometa s preostalimi medkrajevnimi kolesarskimi povezavami v Sloveniji.

Sam bom hipotezo H4 potrdil, saj je v Sloveniji trend povečanja kolesarstva, hkrati pa se v regiji gradijo tri večje medkrajevne kolesarske povezave, kar bi utegnilo trend povečanja kolesarstva še pospešiti.

13 VIRI, LITERATURA

Diplomsko delo – Organizacija, p. i. (2009). Patricija Sakelšek. Maribor: Fakulteta za gradbeništvo Maribor.

Interni sistemski postopki in navodila za delo. (brez datuma). Velenje: Podjetje RGP d.o.o.

IRGO d.o.o. (2022). *Rudarski projekt*. Ljubljana.

IRGO d.o.o. (2021). *Projektna dokumentacija*. Ljubljana.

Makovšek, B. (2015). *Izdelovanje podzemnih prostorov, predorov in jaškov*. Ljubljana: Center RS za poklicno izobraževanje.

Ministrstvo za infrastrukturo, R. S. (21. Februar 2023). *Kolesarska infrastruktura*. Pridobljeno iz <https://www.gov.si teme/kolesarska-infrastruktura>

Ministrstvo za javno upravo, R. S. (21. Februar 2023). *Prometne obremenitve od leta 1997 dalje*. Pridobljeno iz <https://podatki.gov.si/dataset/pldp-karte-prometnih-obremenitev>

Mittal Steel Ostrava a.s. (2005). *Steel mine supports*. Ostrava.

Nikić, D. (2011). Diplomsko delo – Tehnologije izkopa predorov. Maribor: Fakulteta za gradbeništvo Maribor.

Pšunder, M. (2009). *Operativno planiranje*. Maribor: Fakulteta za gradbeništvo.

Žibert, M. (2016). *Predorski sistem Podkraj, Andraž, Veliki vrh*. Ljubljana.