

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební



Rekonstrukce tunelů na železniční trati

Tanvald – Kořenov

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Praha, květen 2021

Jakub Vladík



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra geotechniky

Rekonstrukce tunelů na železniční trati

Tanvald – Kořenov

Reconstruction of tunnels on the railway track

Tanvald – Kořenov

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Jakub Vladík

Bakalářský studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí práce: prof. Ing. Matouš Hilar, M.Sc., Ph.D., CEng., MICE

Praha, květen 2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Vladík Jméno: Jakub Osobní číslo: 477087
Zadávající katedra: katedra geotechniky - k135
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Rekonstrukce tunelů na železniční trati Tanvald – Kořenov

Název bakalářské práce anglicky: Reconstruction of tunnels on the railway track Tanvald - Kořenov

Pokyny pro vypracování:

- Popis železniční trati Tanvald – Kořenov zahrnující čtyři tunely
- Popis uvedených tunelů (geotechnické podmínky, parametry, způsob výstavby, zajištění stability výrubu)
- Popis současného stavu uvedených tunelů (vyhodnocení provedených prohlídek a průzkumů)
- Souhrn požadavků na stav tunelů po rekonstrukci z hlediska platných norem a předpisů
- Možnosti zajištění průjezdného průřezu a provozních parametrů (odvodnění, vodonepropustnost, vedení kabelů)
- Popis možných řešení rekonstrukcí starších tunelů, příklady rekonstrukcí jiných tunelů
- Vyhodnocení zjištěných informací, návrh optimálního řešení, závěrečné shrnutí

Seznam doporučené literatury:

- Archivní podklady od správce trati Tanvald – Kořenov
- Záznamy prohlídek a průzkumů tunelů na trati Tanvald – Kořenov
- Skripta zaměřená na Podzemní stavby (Barták, Horák, atd.)
- Odborné články a příspěvky o rekonstrukcích tunelů (časopis Tunel, konference Podzemní stavby)

Jméno vedoucího bakalářské práce: prof. Ing. Matouš Hilar, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 18.2.2021 Termín odevzdání bakalářské práce: 16.5.2021
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci zpracoval samostatně na základě literatury a pramenů, které jsou uvedeny v seznamu literatury.

Jakub Vladík

.....

Abstrakt (CZ)

Obsahem bakalářské práce je popis problémů a návrh oprav tunelů na železniční trati Tanvald – Kořenov. Na této trati se nachází celkem čtyři tunely – Žďárský, Desenský, Dolnopolubenský a Polubenský (uvedeny ve směru z Tanvaldu do Kořenova). Všechny tunely byly postaveny ve stejném období a mají obdobné parametry (jednokolejné tunely, stejný příčný řez, postaveny obdobným způsobem atd.). Od uvedení tunelů do provozu v roce 1902 proběhly v tunelech různé dílčí rekonstrukce a opravy, jejichž důvodem zpravidla bylo zatékání podzemní a srážkové vody skrz horninový masiv do prostoru tunelů, které vedlo k poškození tunelů. Nejvýznamnější opravy byly provedeny okolo roku 1960. Současný stav tunelů byl zaznamenán v rámci prohlídek tunelů. Pro zlepšení představy bylo provedeno i několik kopaných sond.

Klíčová slova: tunel, sanace, rekonstrukce, průsaky vody

Abstract (EN)

The content of this bachelor's work is description of problems and proposal of remedial works associated with the tunnels on the railway track Tanvald – Kořenov. There are four tunnels on this track – Žďárský, Desenský, Dolnopolubenský, Polubenský (listed in direction from Tanvald to Kořenov). All these tunnels were built in the same period and they have similar parameters (single-track tunnels, the same cross-section, similar construction method etc.). There were various partial reconstructions and repairs since the opening of the tunnels in 1902, which were mainly caused by water seepages to the tunnels and consequent damage of the tunnels. The major reconstructions were realised approximately in 1960. Actual state of the tunnels was recorded during their inspections. There were several dug probes realised for better idea about the tunnels.

Key words: tunnel, rehabilitation, repair, water seepage

Obsah

1.	Úvod	14
2.	Popis problematiky sanací tunelů	15
2.1.	Akutní opravy	16
2.2.	Velké opravy	16
2.3.	Rekonstrukce	16
2.4.	Obvyklé problémy tunelů	17
2.4.3.	Nedostatečný světlý profil tunelu	19
2.4.4.	Zhoršující se parametry koleje/vozovky	19
2.4.5.	Nevyhovující technologické vybavení	19
3.	Tunely na trati Tanvald – Kořenov	20
3.1.	Historie železniční trati	20
3.2.	Popis úseku trati Tanvald – Kořenov	21
3.3.	Geologické poměry území	26
4.	Předchozí opravy tunelů	31
4.1.	Žďárský tunel	31
4.1.1.	Sanace tunelové trouby	31
4.1.2.	Trubní propustek před vjezdem	36
4.1.3.	Zárubní zeď ve výjezdovém předzářezu	36
4.1.4.	Ochranná deska nad výjezdovým portálem	36
4.1.5.	Přespárování lícních portálových zdí	37
4.2.	Desenský tunel	37
4.2.1.	Rekonstrukce pasu č. 13	37
4.3.	Dolnopolubenský tunel	41
4.3.1.	Venkovní práce	41
4.3.2.	Rekonstrukce tunelu	42
4.3.2.1.	Obezdívka v pasu č. 3	42
4.3.2.2.	Vybudování postranních tunelových stok	44
4.3.2.3.	Povrchové úpravy	47
4.4.	Polubenský tunel	47
4.4.1.	Rekonstrukce obezdívky a povrchové úpravy	47
4.4.1.1.	Postup prací	48
4.4.1.2.	Obkladní obezdívka s PVC izolací	49
4.4.1.3.	Nosná obezdívka	49
4.4.1.4.	Přestavba portálu	53

5.	Zadání sanace tunelů podle Správy železnic	54
5.1.	Správa železnic	54
5.2.	Specifikace úseku	54
5.3.	Požadavky na technické řešení	55
5.4.	Technická specifikace	55
5.4.1.	Tunel Žďárský km 27,776-27,843	55
5.4.2.	Tunel Desenský km 29,438-29,690	56
5.4.3.	Tunel Dolnopolubenský km 30,375-30,542	56
5.4.4.	Tunel Polubenský km 32,691-33,631	56
6.	Žďárský tunel.....	58
6.1.	Popis problémů	58
6.1.1.	Tunelová trouba	58
6.1.2.	Portálové oblasti	61
6.2.	System oprav.....	62
6.2.1.	Stříkaná izolace	65
7.	Desenský tunel	66
7.1.	Popis problémů	66
7.1.1.	Tunelová trouba	66
7.1.2.	Portálové oblasti	71
7.2.	System oprav.....	71
8.	Dolnopolubenský tunel	76
8.1.	Popis problémů	76
8.1.1.	Tunelová trouba	76
8.1.2.	Portálové oblasti	78
8.2.	System oprav.....	79
9.	Polubenský tunel.....	84
9.1.	Popis problémů	84
9.1.1.	Tunelová trouba	84
9.1.2.	Portálové oblasti	91
9.2.	System oprav.....	92
10.	Závěr.....	96

Poděkování

Ze všeho nejdřív bych rád poděkoval lidem, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout. Děkuji vedoucímu práce prof. Ing. Matoušovi Hilarovi, M.Sc., Ph.D., CEng., MICE za konzultace a cenné rady. Dále bych rád poděkoval Ing. Liborovi Maříkovi, který mi poskytl pracovní příležitost ve firmě SAGASTA s.r.o., zasvětil mě do projektu Tanvald – Kořenov a zapůjčil mi archivní dokumentaci a fotodokumentaci projektu. V neposlední řadě bych rád poděkoval Ing. Martinovi Svobodovi z firmy SAGASTA s.r.o., od kterého jsem se toho mnoho přiučil a Ing. Tomášovi Vladíkovi, který mi pomohl se závěrečnou korekturou práce.

1. Úvod

Téma sanací tunelů obecně je poměrně složitá záležitost. Existuje spousta oficiálních dokumentů (Vyhláška č. 137/1998, ČSN ISO 13822 – Zásady navrhování konstrukcí, příslušné EN a ČSN pro betonové konstrukce a izolace konstrukcí, TKP staveb státních drah a další...), které se tímto tématem nepřímo zabývají a jsou závazné, ale tyto dokumenty jsou velmi nesourodé, komplexněji je daná problematika v ČR zpracovaná pouze v jedné publikaci [1].

Tato práce má za úkol zdokumentovat návrh sanace tunelů na trati Tanvald – Kořenov. Na této trati jsou čtyři tunely, které si jsou v mnoha ohledech velice podobné. Byly vybudovány ve stejném časovém období, mají stejný světlý profil, jsou vyraženy v obdobném horninovém masivu a dá se tedy předpokládat, že byly raženy i stejnou metodou.

Současný stav tunelů však není příliš dobrý. Nehrozí zde sice kolaps konstrukce a opravy nebyly vyhodnoceny jako akutní, ale všechny tunely mají problémy s vodou, která prosakuje puklinami horninového masivu a mnohdy i samotným ostěním tunelu. Tato voda způsobuje následně v tunelech degradace ostění, výluhy, zamrzání v puklinách apod. Asi hlavní důvod, proč se Správa železnic rozhodla pro opravu tunelů v dnešní době, je zaledování, ke kterému dochází v posledním tunelu. Tento problém značně omezuje a ohrožuje provoz v tunelu v zimních měsících.

Úvodní část práce je zaměřena na seznámení s problematikou oprav tunelů obecně. Hlavní část je pak zaměřena na seznámení se samotnými tunely na trati Tanvald – Kořenov. V této části je rozebrána trať, směrové a sklonové poměry, geologie území, minulé opravy tunelů, současný stav a návrh oprav. V hlavní části bylo čerpáno zejména z archivní dokumentace, kterou poskytla firma SAGASTA s.r.o. a dále pak z fotodokumentace skutečného stavu, která byla pořízena Ing. Liborem Maříkem z firmy SAGASTA s.r.o. na dvou pochůzkách trati.

Na trati proběhl zatím jeden typ průzkumné činnosti. Kopané sondy, které byly provedeny v několika staničeních na trati, jsou zdokumentovány fotograficky a v každém staničení byl vytvořen náčrt skutečného stavu konstrukce.

2. Popis problematiky sanací tunelů

Jako u všech liniových staveb se i u tunelů vyskytují různé defekty. Jsou zapříčiněné různými vlivy např. únavou materiálů, agresivitou prostředí, chybou v návrhu (nevhodnými detaily) apod. Tyto vlivy je možné v malém procentu případů určitým způsobem anulovat, ve většině případů však musíme zvolit takové řešení konstrukce, které s takovými vlivy bude počítat a bude proti nim odolné.

Ze všeho nejdřív, se potřebujeme seznámit s problematikou sanací tunelů. Je nutné si uvědomit, jaké problémy mohou v tunelech nastat a definovat jejich závažnost. Tímto problémem se komplexně zabývá Metodická příručka sanací tunelů [1], což je jediný dokument v ČR, který uceleným způsobem zpracovává problematiku sanací tunelů. Proto úvodní kapitoly této bakalářské práce čerpají zejména z daného dokumentu.

Podle závažnosti poruch se tunely dělí do sedmi skupin, stejně jako je tomu u stávajících mostních konstrukcí. Každá z těchto kategorií má svůj klasifikační stupeň (k. s.), kterému odpovídá stav konstrukce od bezvadného – k. s. I. po havarijní – k. s. VII. Každý klasifikační stupeň má definované charakteristiky, podle kterých pak stavební inženýr posuzuje stavební stav konstrukce. Pokud konstrukce má například vzhledové vady, tzn. stav není bezvadný, vady ale nemají vliv na zatížitelnost ani životnost konstrukce, je takový stav hodnocen jako velmi dobrý – k. s. II. Podrobný popis vad a zařazení do kategorií je uveden v tab. 1.

Tab. 1 Klasifikační stupně konstrukce [2]

Klasifikační stupeň	Stav konstrukce	Vady a poruchy konstrukce
I.	Bezvadný	Bez jakýchkoliv zjevných nebo známých vad
II.	Velmi dobrý	Pouze vzhledové vady, které neovlivní zatížitelnost
III.	Dobrý	Větší vady, které ale neovlivňují zatížitelnost
IV.	Uspokojivý	Vady a poruchy, nemající okamžitý nepříznivý vliv na zatížitelnost, které však mohou zatížitelnost v budoucnu ovlivnit

V.	Špatný	Vady a poruchy, ovlivňující sice zatížitelnost, ale odstranitelné ještě bez větších zásahů
VI.	Velmi špatný	Vady a poruchy, ovlivňující zatížitelnost a odstranitelné pouze velkou opravou zahrnující důležité části konstrukce
VII.	Havarijní	Vady a poruchy ovlivňující zatížitelnost takovou měrou, že vyžadují okamžitou nápravu pro odvrácení hrozící katastrofy

V případě tunelů můžeme typy sanace rozdělit do tří kategorií, podle závažnosti stavu konstrukce. Typ, rozsah a závažnost oprav doporučuje investorovi autorizovaná osoba na základě prohlídky tunelu.

2.1. Akutní opravy

Akutní opravy jsou v tunelových stavbách nejčastějším typem oprav. Problémy, které řeší, často omezují nebo ohrožují bezpečný provoz v tunelu. Tyto opravy často nejsou příliš časově náročné a zřídka kdy se kvůli nim přerušuje provoz v tunelu. Nejčastější defekty, které se tímto způsobem řeší, jsou spojené s pronikáním vody do tunelu, degradace spár v obezdívce apod. Akutní opravy velkého rozsahu, kvůli problémům jako např. zasypaní portálu, nebo havarijní stav obezdívky, jsou méně časté a vycházejí ze zanedbané péče o tunel.

2.2. Velké opravy

Problémy, které není potřeba řešit ihned, se řeší velkými opravami. Problémy jako je degradace ostění, zvětralé spárování, plošná zvlhlost, nefunkční podélné odvodnění apod. mají dlouhodobější charakter. K jejich opravě je zpravidla potřebný delší časový úsek ať už z důvodů rozsahu defektu, nebo technologie opravy.

2.3. Rekonstrukce

Pokud je stav tunelu velmi špatný nebo havarijní, je zpravidla potřebná komplexní rekonstrukce. Toto řešení přichází na řadu, pokud je provoz v tunelu nebezpečný. Hrozící vypadávání kamenů z obezdívky, celkový havarijní stav obezdívky, zkorodované kolejnice, nedostatečná tloušťka kolejového lože apod., to jsou hlavní důvody, kvůli kterým se nejčastěji volí toto řešení. Při komplexní rekonstrukci je tunel uzavřen a provoz v něm přerušen.

2.4. Obvyklé problémy tunelů

Tato kapitola bude zaměřena na typy poruch, které se mohou vyskytovat v tunelových stavbách obecně. Některé z těchto problémů se vyskytují i v železničních tunelech na trati Tanvald – Kořenov, těm jsou věnovány samostatné kapitoly.

Abychom dokázali navrhnout účinný způsob sanace, nejprve je třeba pochopit, jak a proč k poruchám v tunelech dochází a jaké mohou mít jednotlivé poruchy následky.

2.4.1. Pronikání vody do tunelu

Tento defekt je asi nejčastějším defektem tunelových staveb. Je důležité pochopit, v jakých případech jsou průsaky do tunelu nebezpečné, a je tedy nutné je sanovat. Samotné průsaky vody přes ostění tunelu parametry tunelu nijak nezhoršují, jsou pouze pohledovou vadou. Důležité a nebezpečné pro životnost tunelu a jeho součástí jsou hlavně důsledky průsaků.

V zimním období je hlavním negativním důsledkem průsaků vody do tunelové trouby možné zaledování. V důsledku mrazu se mohou v místech pronikání vody vytvářet rampouchy (hlavně v klenbě) nebo ledopády (na opěrách). Tento jev je nebezpečný z několika hlavních důvodů. Rampouchy jsou nebezpečné pro pěší provoz v tunelu, čímž se rozumí hlavně prohlídky. Dalším nebezpečím je zmenšování světlého profilu. Hrozí tedy kontakt projíždějícího vozidla s ledem a poškození vozidla nebo samotného tunelu. Třetí velké nebezpečí je možnost zledovatění kolejí nebo vozovky. V takovém případě dochází k výraznému zhoršení přilnavosti, a tedy i ke zhoršení brzdných účinků vozidel. Pokud voda proniká do tunelu štěrbinami v ostění (popř. ve skále) je pravděpodobné, že v takových štěrbinách bude docházet k zamrznání. To povede k rozpínání ledu a popraskání okolního materiálu. Tento princip je společný pro všechny materiály a všechny oblasti ve stavebnictví. Pokud k zamrznání vody dochází v ostění tunelu, je možné, že degradace časem bude ohrožovat statiku tunelu.

Dalším nebezpečím vody je její agresivita. Agresivita vody je nebezpečná např. pro betonové ostění, u kterého může způsobovat tři druhy koroze.

- Koroze I. typu – Dochází k vylouhování látek z betonu. Toto zapříčiňuje tzv. hladová voda, která je velmi měkká a snadno rozpouští Ca(OH)_2 obsažený v betonu. Dochází také ke snížení pH, což přispívá ke korozi výztuže betonu.

- Koroze II. typu – Dochází k vytváření lehce rozpustitelných sloučenin, které buď obalují jádro betonu, nebo rozpouštějí pojivo v betonu. Tento typ koroze může způsobit např. voda s vysokým podílem hořčnatých aniontů.
- Koroze III. typu – Dochází zde k pronikání vody do pórů betonu, kde se následně vytvářejí krystalky. Se zvětšováním objemu těchto krystalů se nejdříve zvětší pevnost betonu, ale s postupem času vede toto zvětšování k roztrhání pórů a vytvoření prasklin. Může docházet až k odpadnutí vrstvy betonu, což opět přispívá k degradaci betonové výztuže i betonu. Tento typ koroze může způsobit voda s obsahem síranů [3].

Voda může být dále rizikem z hlediska vedení elektrického proudu, zejména u železničních tunelů s trakčním vedením.

2.4.2. Degradace ostění

Tento typ degradace je způsoben především působením agresivní podzemní vody, který je popsán v předchozí kapitole, nebo jí způsobuje kombinace vnějších vlivů. Tyto vlivy mohou být různé – zplodiny z diesellových lokomotiv, solanka v přímořských oblastech, působení mrazu, karbonatace atd.

Tento typ defektu zpravidla nestačí hodnotit na základě prohlídky. Pro lepší rozhodování o sanaci je nutné provést průzkum, který nám prozradí příčinu a rozsah degradace. I ten nejjednodušší orientační průzkum snižuje riziko nesprávného řešení sanace.

Pokud je ostění zděné, bývá problém také vydrolování spárování. To vede k vysouvání kamenů, částí kamenů, tvárnic z ostění a potenciálně hrozí nebezpečí vypadnutí. Vydrolování je způsobeno většinou nevhodným materiálem spárovací hmoty, který není odolný vůči agresivním podmínkám, ve kterých se nachází.

V případě velkého namáhání ostění hrozí různé trhliny a praskliny v materiálu ostění. Tento problém není příliš častý, ale vyžaduje způsob sanace. Trhliny jsou nežádoucí jak z hlediska statického, tak z hlediska pronikání agresivních látek do ostění, což např. v případě železobetonového ostění může způsobovat korozi výztuže.

2.4.3. Nedostatečný světlý profil tunelu

Většinou se jedná o případy starších železničních tunelů, jejichž parametry z dnešního hlediska nevyhovují požadovanému provozu na trati. Starší typy vlaků měly menší rozměry, a tedy menší požadavky na průjezdný profil. Tratě se navrhovaly na menší návrhové rychlosti než dnes, s tím jsou také spojené menší poloměry směrových a výškových zaoblení.

Kromě nevyhovujícího příčného profilu pro dnešní vozidla může být tento problém zapříčiněn deformací ostění, nevhodnými úpravami železničního svršku, nebo dřívějšími sanačními zásahy. Dalším problémem je už zmíněné zaledování tunelů v zimním období, které také dočasně zmenšuje průjezdný profil v tunelu.

2.4.4. Zhoršující se parametry koleje/vozovky

Tento typ poruchy je způsoben většinou nefunkčním odvodněním tunelu. V případě starších železničních tunelů se střední odvodňovací stokou hrozí nebezpečí zanesení odvodnění (toto nebezpečí hrozí i u tunelů s postranními stokami, ale střední tunelová stoka je zpravidla nekontrolovatelná). V takovém případě voda ze železničního spodku neodtéká a dochází k zavodnění železničního spodku a zemní pláň. Tento problém se nevyskytuje pouze v tunelech, ale může se objevit i v širé trati. V důsledku zavodnění zemina ztrácí své vlastnosti a může dojít k nedostatečné únosnosti železničního spodku a výraznému sedání kolejnicového pásu. V zimních obdobích může voda zamrznout. To opět vede k výrazným změnám výškové polohy koleje.

2.4.5. Nevyhovující technologické vybavení

Postupem času se zvyšují nároky na bezpečnost provozu, což se týká i tunelů. Projevuje se to výrazným zvýšením požadavků zejména na bezpečnost dopravy, požární bezpečnost apod. Mnoha těmto požadavkům starší tunely nevyhovují. V případě železničních tunelů se jedná např. o absenci nouzových únikových cest, záchranných výklenků apod.

3. Tunely na trati Tanvald – Kořenov

3.1. Historie železniční trati

Úsek trati Tanvald – Kořenov je část původní trati z Tanvaldu do Hirschbergu (dnešní polské město Jelenia Góra). Tento úsek byl uveden do provozu v roce 1902 a pyšní se mnoha zajímavostmi, mezi kterými jsou také čtyři tunely. Nejdelší z nich je Polubenský tunel, který měří v současné době 940 m. Úsek mezi Tanvaldem a Kořenovem překonává výškový rozdíl 235 metrů a maximální sklon dosahuje 58 ‰. Z tohoto důvodu je zde také dohromady 4,43 km dlouhý úsek s Abtovou ozubnicí v ose koleje, která pomáhala překonávat vozidlům takové převýšení [4].

Trať byla postavena v letech 1899–1902 z důvodu tehdejšího propojení průmyslové oblasti na českém území a města Hirschberg (dnešní Jelenia Góra), které leží těsně za dnešní hranicí Česka a Polska, na sever od Krkonošského národního parku. Provoz na trati byl zahájen 30. června roku 1902 a slavnostní vlak tehdy měl dojet až do města Hirschberg. To ale překazil pád pilíře viaduktu přes řeku Jizeru, a tak byla trať pro osobní dopravu otevřena až o čtyři měsíce později 1. listopadu 1902. Nákladní doprava na celé délce trati byla zahájena až v roce 1903 [4].

Původní trakce na trati byla parní, ale zanedlouho se začalo uvažovat o modernizaci trati a elektrifikaci. Z Kořenova směrem do Polska zajišťovali dopravu modernější pruské (později německé) elektrické lokomotivy. Na úseku Tanvald – Kořenov jezdily rakouské parní lokomotivy 404.0, které byly vybaveny na ozubnicovou dráhu. Jedna lokomotiva se dodnes dochovala jako exponát Národního technického muzea ve Výtopně Jaroměř. Za druhé světové války byly na úsek Tanvald – Kořenov nasazovány i parní lokomotivy bez vybavení na ozubnici a docházelo k celkovému zanedbávání údržby trati [4].

V květnu roku 1945 byl ukončen elektrický provoz a v listopadu byl definitivně uzavřen provoz přes hranici. To vedlo k drastickému snížení významnosti této železniční trati. Posledním využitím mezinárodního spojení byl odsun německých vojsk a techniky z tehdejší Říše [4].

V následujících letech 1949–1965 proběhla rekonstrukce trati Tanvald – Kořenov. Rekonstrukce obsahovala i rekonstrukce tunelů. Po znovuotevření trati byly nasazeny

nové ozubnicové lokomotivy T 426.0, které postupně vystřídaly starší model. Pro osobní dopravu se časem začaly používat motorové lokomotivy M 240.0. V následujících letech probíhaly zkoušky různých lokomotiv (např. adhezní dieselelektrická lokomotiva T 766.2), nakonec však na v roce 1988 byly dodány ČKD lokomotivy T 466.3 speciálně vyvinuté pro trať Tanvald – Kořenov a její velice náročné sklonové poměry. Tyto lokomotivy nejdříve převzaly nákladní a v roce 1990 i osobní dopravu na trati [4].

V letech 1991–1992 proběhla série dobrovolných brigád, za účelem obnovení mezinárodního spojení a po skoro padesáti letech z české strany projel vlak až do Szklarské Poreby. Ani přes zájem se oficiální mezinárodní provoz na trati neobnovil a projížděly pouze neveřejné víkendové vlaky. V roce 1997 se vedení ČD rozhodlo úplně zastavit osobní provoz na trati Tanvald – Kořenov z důvodu vysoké ztrátovosti. Následovala petice, kterou podepsalo přes 25000 lidí, ale provoz obnoven nebyl skoro rok. Za tento rok trať značně zchátrala, zastávkové budovy byly terčem vandalů apod. 24. května 1998 se provoz obnovil, tentokrát pod novým provozovatelem – společností GJW Praha s.r.o. Staré dieselelektrické lokomotivy byly nahrazeny novými modely řady 810 a osobní doprava byla na trati obnovena. [4]

3.2. Popis úseku trati Tanvald – Kořenov

Trať Tanvald – Kořenov je součástí trasy Liberec – Tanvald – státní hranice. Trať měří zhruba 6,7 km a překonává výškový rozdíl 235,1 m. [4] Velké převýšení vede také k velkým sklonům, které místy dosahují až 58 ‰. Trať byla proto vybavena Abtovou ozubnicí v úsecích s největším sklonem. Je to jediná trať v České republice, která je touto ozubnicí vybavena [5].

Na trati se nacházejí čtyři stanice (Tanvald, Desná, Dolní Polubný a Kořenov) a jedna zastávka (Kořenov zastávka). Horské prostředí a celkově velmi členitý charakter okolní krajiny si vyžádaly složité vedení tratě. Na trati jsou čtyři tunely o celkové délce 1422,5 m a čtyři mosty [5].

Úsek začíná na tanvaldském nádraží, které leží v údolí. Je to bývalá konečná stanice a původně se nepředpokládalo, že by trať pokračovala dále do hor. Hned za krajní výhybkou kolej stoupá k jedinému zabezpečenému úrovňovému křížení se silniční komunikací. Za přejezdem se nachází ocelový most přes řeku Desnou, po kterém začíná

první ozubnicový úsek (označeno tabulkou s nápisem: „Začátek ozubnice“). Po cca 100 metrech dojedeme k vjezdovému portálu Žďárského tunelu [5].

Žďárský tunel je dlouhý 67,28 m a je nejkratší ze čtyř tunelů na úseku Tanvald – Kořenov. Začíná ve staničení km 27,77632 a končí ve staničení km 27,84360 na trati Liberec – Kořenov. Jeho vjezdový portál je obezděný rustikálními granitovými kvádry, ostění pak tvoří hrubě opracované žulové kvádry v prvních cca 10 m tunelu (v prvních dvou pasech). Nad vjezdovým portálem je nízká parapetní zídka. Světlý průřez v prvních dvou pasech je 550/550 cm. Dále je ostění ze stříkaného betonu s výztuží z kari sítí. Poslední pas měřící 3,30 m je opět obezděn kamennými kvádry na světlý průřez 550/550 cm. Nad výjezdovým portálem je ochranná betonová deska, která brání padání zvětralých kusů skály do kolejiště. Oba předzářezy jsou skalnaté a levý svah výjezdového portálu je značně zvětralý a zvodnělý. V jednom místě je svah sanován zárubní zdí. Tato sanace proběhla v roce 1955 [6].

Tunel začíná přímou dlouhou 38,17 m, po které následuje levostranný směrový oblouk s přechodnicemi o poloměru $R = 210$ m, $v = 20$ km/h, $D = 20$ mm. Podélný sklon je na začátku tunelu 28,527 ‰ a ve staničení km 27,79529 se zvyšuje na 42,775 ‰. Lom nivelety je zaoblen obloukem o poloměru $R = 2000$ m, $t = 14,248$ m, $y = 0,051$ m [6].

V celé délce tunelu je zřízena Abtova ozubnice. V tunelu nejsou žádné záchranné výklenky. Odvodnění původně zajišťovala odvodňovací střední tunelová stoka. Nyní je odvodnění zajištěno dvěma odvodňovacími žlaby při patách opěr.

Dále trať stoupá po úbočí kopce v odřezu. Po levé straně je strmá stráň a po pravé straně teče řeka Desná. Po zhruba kilometru od konce Žďárského tunelu dojedeme do stanice Desná. Stanice leží v oblouku a z obou stran do ní kolej klesá. Tento návrh měl zabránit samovolnému ujetí vozu ze stanice na trať. Pravotočivým obloukem opět ve stoupání dojedeme ke dvěma mostům. První ocelový most překračuje řeku Desnou, druhý hned za ním překonává silnici Údolní. Následuje téměř přímá kolej, která stoupá do Desenského tunelu [5].

Desenský tunel měří celkem 252,05 m. Jeho vjezdový portál je ve staničení km 29,43845 a výjezdový portál je ve staničení km 29,69050 na trati Liberec – Kořenov. Vjezdový portál je obezděn ve stejném stylu jako portály Žďárského tunelu. Ostění je

v tunelu dvojího typu. První typ je obezdívka z kamenných kvádrů, druhý je betonové ostění. Světlý průřez tunelu je stejný jako u Žďárského tunelu, tedy 550/550 cm. Vjezdový předzářez je skalnatý, s poměrně strmými svahy. Na části skal předzářezu jsou po obou stranách ukotveny záchytné sítě, dále jsou pak po obou stranách zárubní zdi dosahující až k tunelu. Výjezdový portál je opět obložen žulovými kvádry a ostění na konci tunelu je kamenné. Výjezdový předzářez je také skalnatý a poměrně hustě porostlý vegetací. Žádné obkladní stěny ani záchytné sítě zde nejsou. Tunel na rozdíl od Žďárského má bezpečnostní výklenky, které jsou umístěny vždy dva naproti sobě po zhruba čtyřiceti metrech [7].

Tunel začíná přímou dlouhou 118,69 m, po které následuje pravostranný směrový oblouk bez přechodnic o poloměru $R = 200$ m. V celém tunelu je stejný podélný sklon 10,6 ‰, který stoupá ve směru staničení. Díky relativně malému podélnému sklonu také není v tunelu kolej opatřena ozubnicí.

Desenský tunel je jediný ze čtyř na trati Tanvald – Kořenov, u kterého odvodnění zajišťuje stále střední tunelová stoka. Ta vyústí u vjezdového portálu do podélného odvodnění při patě levé zárubní zdi.

Za Desenským tunelem trať pokračuje po náspu, poté přechází do zářezu, na jehož konci je odbočka do sklářské firmy Ornela, která se v současné době nevyužívá. Dále po náspu vede trať ke kamennému viaduktu přes Černou Desnou a silnici do Harrachova. Před viaduktem začíná druhý úsek s ozubnicí. Trať se blíží k Dolnopolubenskému tunelu, před kterým je kamenný nadjezd postavený šikmo na osu koleje [5].

Dolnopolubenský tunel je se svojí délkou 166,3 m druhý nejkratší na trati. Jeho vjezdový portál leží ve staničení km 30,37575 a tunel končí ve staničení km 30,54205. Jeho vjezdový portál je v obdobném stylu jako portály předešlých tunelů. Obezdívku portálu tvoří kamenné hrubě opracované kvádry a ostění v prvních třech pasech tunelu je tvořeno kamennou obezdívkou. Následuje jeden pas s ostěním ze stříkaného betonu, dále pak je ostění s kamennou obezdívkou jako na začátku tunelu. Výjezdový portál je obezděn betonovými tvárnici a jeho styl je dost odlišný od předchozích portálů. Výjezdový předzářez má po obou stranách betonové zárubní zdi, dlouhé zhruba 40 m. Okolí kolejiště v obou předzářezích je poměrně hustě porostlé vegetací, která může působit degradace [8].

Do tunelu opět vjíždí přímá kolej délky 173,56 m. Následuje pravostranný kružnicový oblouk bez přechodnic o poloměru $R = 200$ m, $v = 20$ km/h, který měří 137 m, po něm je opět přímá dlouhá 255 m. Původně byl všude v tunelu jednotný podélný sklon 56 ‰. To se změnilo při rekonstrukci v roce 1960, kdy se provádělo mimo jiné vyrovnání nivelety koleje. Dnes se do tunelu stoupá sklonem 56,3 ‰, ve staničení km 30,39470 nastává lom sklonu. Podélný sklon se mění na stoupání 53,08 ‰. Další lom sklonu nastává až těsně za tunelem, kde se zmírňuje stoupání na 27,82 ‰. V celé délce tunelu je kolej opatřena ozubnicí.

O odvodnění tunelu se starají stejně jako u Žďárského tunelu dva odvodňovací žlaby po stranách tunelu při patách opěr.

Těsně za Dolnopolubenským tunelem se nachází stanice Dolní Polubný. Ozubnice dnes končí nad výjezdovým portálem tunelu. Kdysi však byla osazena na celé délce i ve stanici, kvůli stoupání 23,91 ‰. Původně měla také stanice dvě koleje, dnes už má pouze jednu s výhybkou do nákladíště průmyslového areálu. Na konci stanice je bývalý vodní jeřáb, na jehož místě je dnes pouze hadice, která se používala pro doplňování vody do lokomotiv. Voda pocházela především z odvodnění Polubenského tunelu, který je položený výše na trati [5].

Za stanicí je úsek s největším stoupáním na celé trati. 193 m dlouhý úsek se stoupáním 58 ‰, tato hodnota následně klesá na zhruba 55 ‰. Kolej na tomto úseku je opět vybavena Abtovou ozubnicí z důvodu velkého podélného sklonu. Zhruba po kilometru se po trati dostáváme do stanice Desná – Pustinská, po které trať vede přes zhruba stometrový most. Úsek mezi zastávkami Dolní Polubný a Desná – Pustinská je poměrně přímý, je zde několik směrových oblouků, ale jejich kružnicové části jsou velmi krátké. Po dalším necelém kilometru se dostáváme do zastávky Kořenov, což je předposlední zastávka na úseku Tanvald – Kořenov. Z této zastávky trať stoupá do posledního Polubenského tunelu [5].

Polubenský tunel je poslední a zároveň nejdelší tunel na trati Tanvald – Kořenov, měří 940 m (původně byla jeho délka o 7 m kratší, ale po rekonstrukcích v letech 1958–1962 byl prodloužen, kvůli rozšíření místní komunikace, která nyní vede nad jeho výjezdovým portálem) a má obdobný světlý průjezdný profil 550/550 cm jako tunely předchozí. Jeho výjezdový portál se nachází ve staničení km 32,69100 a výjezdový portál

je pak ve staničení km 33,63100. Tunel má několik druhů ostění v různých pasech. Na začátku je úsek dlouhý 232,74 m, kde je ostění tvořeno betonovými tvárnicemi. Následně se střídají pasy s omítkou vyztuženou sítěmi, omítkou bez výztuže a betonovými tvárnicemi. Od tunelového metru 361,08 se pak střídá ostění z betonových tvárnic se skalním lícem. Na konci tunelu je opět úsek s ostěním z betonových tvárnic dlouhý 140,76 m. Vjezdový portál tunelu je celý z betonu, samotný tunel je obložen zvenku betonovými tvárnicemi a předzářez zajišťují dvě betonové zárubní stěny. Pravá stěna dosahuje délky 146 m, levá je o dost kratší a měří zhruba 20 m. Celý předzářez je poměrně hustě porostlý vegetací, která však nezasahuje do prostoru kolejiště. Na stěnách jsou na první pohled parné výluhy a degradace spojená s průsakem vody, dále jsou pak porostlé mechem. Ve výjezdovém předzářezu jsou také betonové zárubní zdi po obou stranách o délce cca 70 m. Výjezdový portál je také celý betonový, ale v pohledu je jednolitý. Předzářez je opět hojně obrostlý vegetací. Zárubní zdi jsou stejně jako u vjezdového portálu porostlé mechem a místy jsou vidět výluhy apod. Někde beton dokonce odpadává [9].

Do tunelu se vjíždí po přímé ve stoupání 53 ‰. Po necelých 70 m v tunelu začíná jediný směrový oblouk o poloměru $R = 500$ m bez přechodnic. Kružnicová část oblouku měří 156,79 m. Poté už je tunel bez směrových oblouků. Téměř celý tunel stoupá sklonem 53 ‰, kromě výškového zaoblení na samotném konci tunelu. Ve staničení km 33,64900 se nachází lom, kde se stoupání 53 ‰ mění na klesání 6 ‰. Tento lom je zaoblen vypuklým obloukem o poloměru $R = 1500$ m a délce 106 m a zasahuje z části do tunelu.

Odvodnění v tunelu zajišťují dvě odvodňovací stoky při patách opěr, stejně jako ve Žďárském a Dolnopolubenském tunelu. Před jeho vjezdovým portálem je odvodnění svedeno do levého žlabu podél paty zárubní zdi. Odtud se dále voda odvádí do horské vpusti a dále pak do stanice Dolní Polubný.

Kousek za výjezdovým portálem Polubenského tunelu končí úsek s ozubnicí. Trať zde přechází do mírného klesání ze stejného důvodu, jako je tomu před stanicí Desná. Dále se trať dvěma oblouky (prvním levostranným a druhým pravostranným) stáčí do stanice Kořenov [5].

3.3. Geologické poměry území

Všechny čtyři tunely jsou vyraženy v okolí Jablonce nad Nisou, tedy v Libereckém kraji. Z geologického hlediska spadá tato oblast do lužického a krkonošsko-jizerského masivu (krkonošsko-jizerské krystalinikum). [10] Skalní masiv je zde tvořen hrubě zrnitým výrazně porfyrickým biotitickým granitem (libereckými žulami). Vyznačuje se svým rozpukáním a různorodým zvětráváním. Granit je všesměrně zrnitý, světle šedý až narůžovělý. Základní hmota má zrnitost 0,5 – 8 mm a obsahuje minerály jako je např. křemen, plagioklas, draselné živce, biotit a vzácně také amfibol [11].

Liberecká žula podléhá zvětrávání nestejně, podle nepravidelného rozložení více zvětrávajících součástí a vznikají v ní různě silná poruchová místa.

V archivní dokumentaci z přechozích sanací se nenachází část o geologickém průzkumu. Je zde pouze zmíněno v technických zprávách, že jsou tunely raženy právě v libereckých žulách. V rámci budoucí sanace se zatím žádné geologické průzkumy také neuskutečnily. Lze dohledat množství vrtů v okolí jednotlivých tunelů, z nichž drtivá většina je do hloubky pouze několika metrů, což je z hlediska tunelování nedostačující. Hlubší vrty jsou v širším okolí tunelů, což není pro návrh opravy dostatečné. Nejbližší dostatečně hluboké vrty bývají stovky metrů daleko od tunelů a jejich množství se pohybuje v jednotkách. Z hlediska pronikání vody do tunelů by bylo poměrně dobré si udělat představu o systémech diskontinuit, jejich tloušťce, výplni, směru apod. Bohužel kvůli absenci průzkumných prací jsou tyto informace neznámé.

Z fotodokumentace kratších tunelů (Žďárský, Desenský, Dolnopolubenský) je vidět ze skalních předzářezů určité množství poruch a jejich charakter. Bohužel zde není žádná záruka, že uprostřed tunelu skalní masiv nebude víc rozpukáný než v přezářezech. U Polubenského tunelu jsou předzářezy zajištěné zárubními betonovými stěnami. Předpokladem je, že byl skalní líc silně rozpukáný, a proto jsou zde zárubní zdi. Bohužel opět zde nejsou žádné informace o tom, v jakém stavu je horninový masiv uprostřed tunelu. Výjimku tvoří pasy, která mají jako ostění přímo skalní líc.

3.3.1. Žďárský tunel

Tunel je proražen v liberecké žule. Maximální výška nadloží nad tunelem je zhruba 17 m. Obezdívka tunelové trouby se nachází pouze na vjezdovém a výjezdovém portálu, střední část tunelu je neobezděná. Skalní masiv je místy silně rozpukaný a puklinami proniká značné množství vody, zejména pak v deštivých obdobích. Nejvíce průsaků je na straně do hory vedle dráhy a v přístropí. Rozpukanost a odlučnost skalního masivu je patrná už ve vjezdovém skalním předzářezu (viz. obr. 1). Podle fotografie se dá skalní prostředí zhodnotit jako poměrně kvalitní [6]. Na výjezdové straně tunelu je pak zřetelné množství diskontinuit i jejich směr (obr. 2).



Obr. 1 – Vjezdový portál Žďárského tunelu



Obr. 2 – Výjezdový portál Žďárského tunelu

3.3.2. Desenský tunel

Tunel se nachází v nadmořské výšce 507 m n. m. a je stejně jako Žďárský tunel vyražen v liberecké hrubozrnné žule. Nadloží tunelu dosahuje maximálně 36 m. Stav skalního masivu je také obdobný jako u Žďárského tunelu, masiv je místy rozpukaný, ale o něco méně. Na obr. 3 můžeme nad obezděným portálem vidět kus obnaženého skalního líce, který je rozpukaný poměrně hodně. Na fotografii je patrná mírná rozpukanost masivu a vodorovný směr systému diskontinuit [7].



Obr. 3 – Vjezdový portál Desenského tunelu

U výjezdového portálu na obr. 4 pak můžeme pozorovat kulovitý charakter zvětrávání, kdy je skalní masiv na rozdíl od předchozích příkladů zaoblený.



Obr. 4 – Výjezdový portál Desenského tunelu

3.3.3. Dolnopolubenský tunel

Tunel je vyražen v celé délce v liberecké žule. Začíná v nadmořské výšce 525,967 m n. m. Předzářez u vjezdového portálu je skalnatý a jeho skalní líce, které jsou mírně rozpukané, jinak je předzářez v dobrém stavu (obr. 5). Podél diskontinuit se místy nachází kaolinizovaná drobná hornina. Výjezdový předzářez byl dříve také skalnatý značně zvětralý a porušený. Nyní se zde nacházejí dvě betonové zárubní zdi se sklonem 5:1, které svahy stabilizují (obr. 6) [8].



Obr. 5 – Vjezdový portál Dolnopolubenského tunelu



Obr. 6 – Výjezdový portál Dolnopolubenského tunelu

3.3.4. Polubenský tunel

Niveleta výjezdového portálu je v nadmořské výšce 701 m n. m. Geologie tohoto tunelu je poměrně nejasná v důsledku nedostatku dat a zakrytých svahů vjezdového a výjezdového předzářezu (viz. obr. 7 – vjezdový předzářez, obr. 8 – výjezdový předzářez) [9].



Obr. 7 – Vjezdový portál Polubenského tunelu



Obr. 8 – Výjezdový portál Polubenského tunelu

4. Předchozí opravy tunelů

4.1. Žďárský tunel

Stav Žďárského tunelu si vyžádal první opravy v letech 1960–1965. Rozsah sanačních prací byl následující:

- Sanace vlastní tunelové trouby
- Vybudování trubního propustku před vjezdovým portálem, který odvádí vodu z pravého odvodňovacího žlabu do levého
- Vybudování obkladních zdí po levé straně u výjezdového portálu
- Přespárování obou čelních portálových zdí včetně portálových věnců
- Výstavba ochranné záchytné desky nad výjezdovým portálem

4.1.1. Sanace tunelové trouby

Způsob rekonstrukce tradiční betonovou obezdívkou, který byl původně navržen v zadávacím projektu, byl nakonec nahrazen tehdy poměrně novou (vývojovou) metodou stříkaného betonu mokrým způsobem.

Součástí rekonstrukce byly dolamovací práce v tunelové troubě. Byly provedeny pouze v nejnútnejším rozsahu, tedy tak, aby po lícním betonovém nástřiku byl zachován světlý průřez minimálně 550 cm v úrovni nivelety prahů (tj. 275 cm od osy koleje). Bylo dbáno na zvýšenou opatrnost dolamovacích prací, protože měly být odtěženy pouze tenké vrstvy materiálu. Dolamování probíhalo pomocí trhacích prací.

Dalším krokem bylo zajištění skalního masivu a také všech uvolněných skalních bloků. Zajištěny musely být všechny lavice s nepříznivým úklonem ploch nespojitosti. Kotvení se provádělo pomocí ocelových kotev o průměru $\varnothing = 25$ mm, délky 2,5 m nebo 3 m do vyvrtaných otvorů o průměru $\varnothing = 40$ mm. Do otvorů byla nejdříve injektována cementová malta, která zajišťuje dobré zakotvení ve vrtu. Po zatvrdnutí malty se kotvy napnuly silou 30 kN ručním napínacím momentovým klíčem s dlouhým ramenem nebo pneumatickým napínacím zařízením. Opěrná kotevní deska měla rozměry 120 x 120 x 12 mm. Zbývající část kotvy byla injektována cementovou maltou s poměrem cementu a písku - $\frac{c}{p} = \frac{1}{2}$. Pro zajištění spolupůsobení byly kotvy spojeny ocelovými pásnicemi.

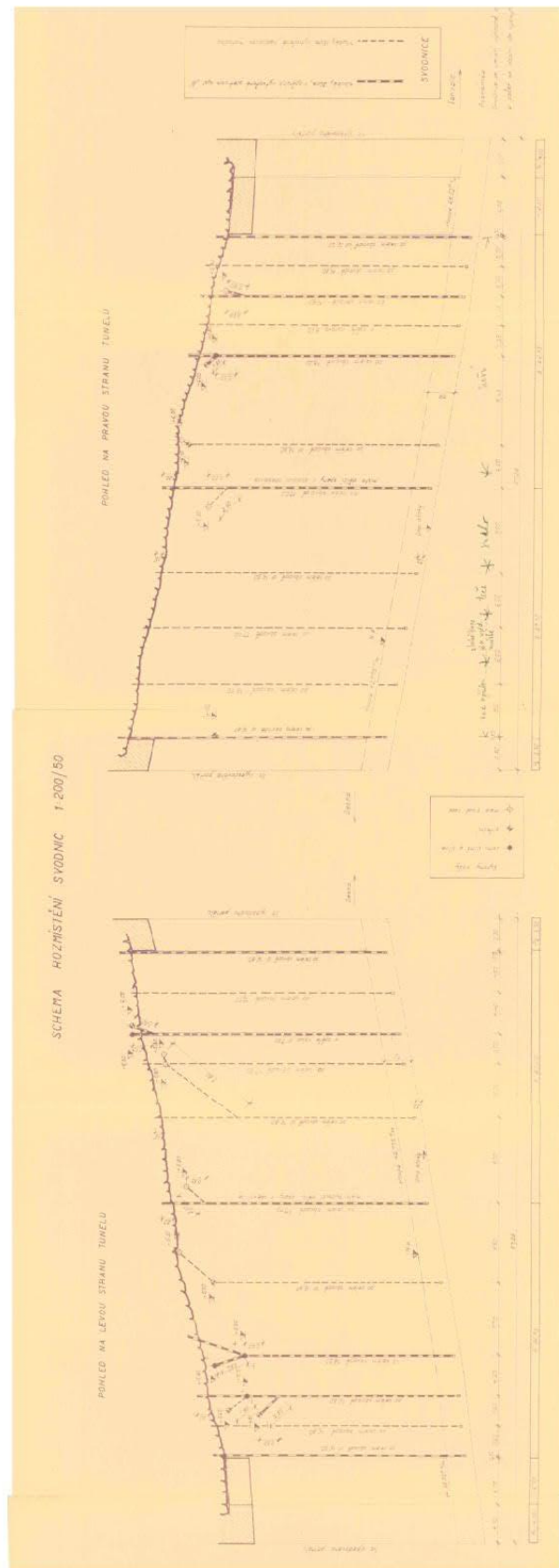
Před provedením nástřiku betonu musel být celý tunelový líc řádně odvodněn. V místech velkých vodních výtoků a velkých diskontinuit horninového masivu byly provedeny drenážní drážky s šířkou 20 cm a hloubkou 30 cm. Drážka byla vyplněna pletivem, které bylo nastříkáno provzdušněnou a částečně aktivovanou maltou. Poměr míchání cementu a písku se volil podle stupně zvodnění (optimální poměr $\frac{c}{p} = \frac{1}{2}$, ve více zvodněných místech bylo přidáno více cementu). Pro zvýšení účinnosti drenáže byly vyvrtány drenážní šikmé odvodňovací vrty, které měly za úkol odvádět puklinovou vodu. Vrty jsou provedeny do hloubky 1,5 m směrem do hory a jsou od sebe vzdáleny 1 m (vždy dva vrty v jednom profilu). Tyto vrty jsou provedeny ve spádu. Drenážní drážky jsou překryty heraklitovými deskami máčenými v asfaltu, které zajišťují tepelnou izolaci. Desky jsou připevněny na zavadlý nástřik hřebíky, případně skobami. Místa těchto drenáží jsou na schématickém výkresu v archivní dokumentaci sanace. Jsou vždy provedeny v místech styků zdiva a stříkaného betonu, v místě dělicí spáry obezdívky a v místech výskytu puklinové vody. V místě paty opěry byla drenáž napojena na podélné odvodnění tunelu betonovým kolenem o průměru $\varnothing = 10$ cm.

Kromě hlubokých drenáží je skalní líc odvodněn ještě systémem drenáží vytvořených hadicovou metodou. Tyto drenáže byly umístěny kolem míst se zvýšeným průsakem vody horninovým masivem. Drenáže jsou 15 cm pod skalním lícem. Rýhy jsou vyhloubeny do skály pomocí sbíjecích kladiv a jsou očištěny od úlomků a prachu. To zajišťuje dobré přilnutí těsnící malty ke skalnímu podkladu. Drenáž se následně tvořila pomocí gumové hadice o vnějším průměru cca $\varnothing = 5$ cm, kterou pracovníci přikládali na skalní podklad a následně ji přikryli rychle tuhnoucí maltou. Střídavým povytahováním hadice a nanášením malty vznikla v rýze umělá svodnice. Jako první se zřizovaly podružné a následně hlavní svodnice. Vyvedení hlavních svodnic do podélného odvodnění je řešeno obdobně jako u hloubkové drenáže.

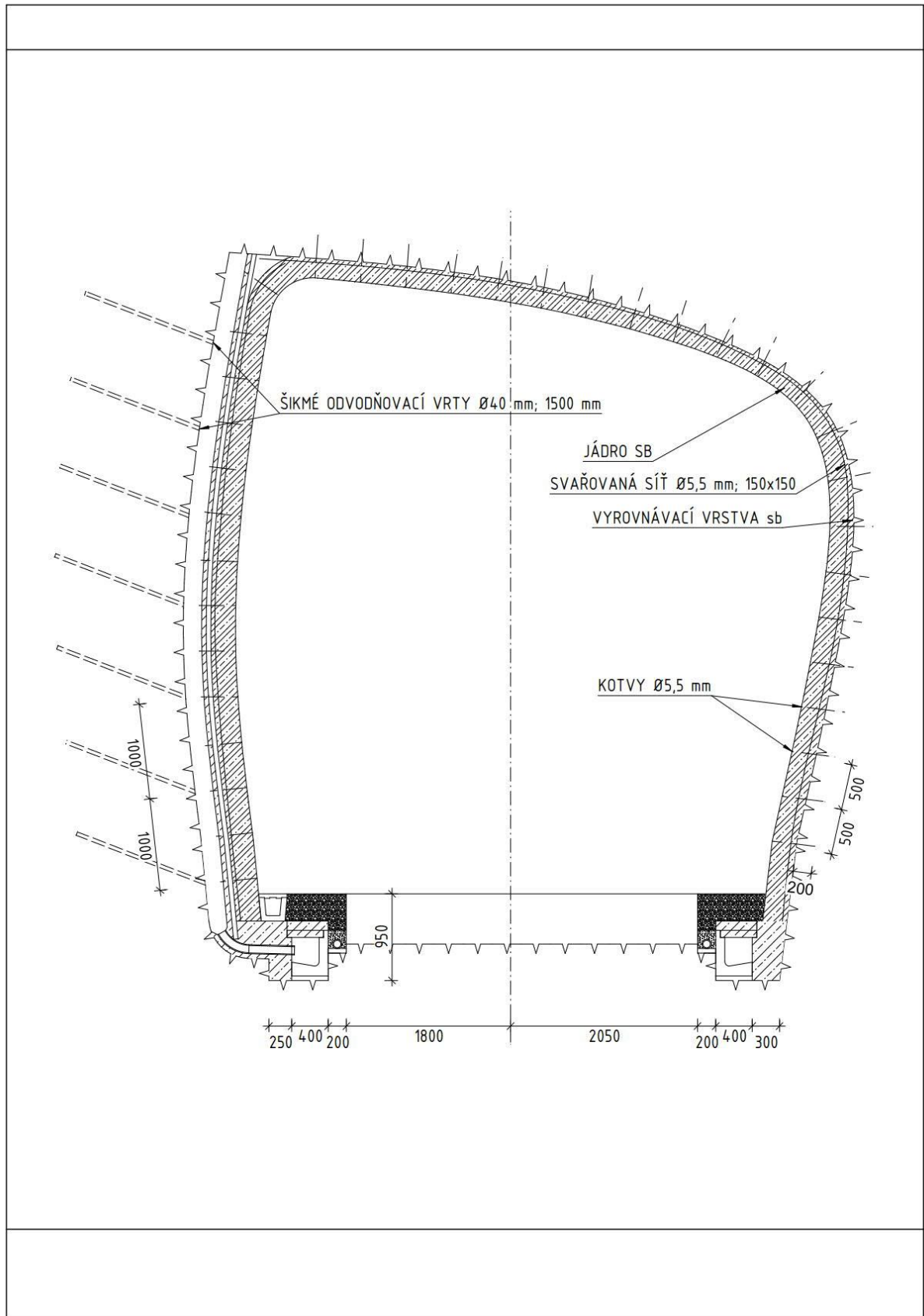
Spolu se zřízením drenážních systémů bylo vybudováno nové oboustranné podélné odvodnění tunelové trouby. V patě opěr byla vybetonována rubová stěna stoky s ozubem 5 cm, který sloužil pro vložení krycích desek. Vlastní tunelové stoky byly vybudovány z prefabrikovaných dílců tvaru L. Dílec má šířku 40 cm, výšku 50 cm a délku 50 cm. Krycí desky mají pak rozměry 38 x 50 x 8 cm.

Prefabrikáty byly vyrobeny z betonu B 170 (C12/15). Rýha je vyražena do hloubky 95 cm pod niveletu prahu, dno bylo opatřeno vrstvou vyrovnávacího podkladního betonu B 80 o mocnosti 5 cm. Na tento podklad byly ukládány prefabrikáty, které následně byly utěsněny cementovou maltou. Stoka je zakryta záklopovou deskou a vrstvou škvárobetonu o tloušťce 10 cm. Na rozhraní pasů s obezdívkou a stříkaným betonem byly vybudovány revizní šachty. Podél odvodňovacích tunelových stok je zřízena drenáž ve spádu 2,5 % pro odvodnění kolejového lože. Drenáž je zaústěna do podélného odvodnění tunelu. Nad tunelovou stokou vlevo od dráhy byl zbudován kabelový žlab z prefabrikátů T1 výšky 30 cm, délky 1 m a dvěma poklopy. Mezery mezi žlabem a stříkaným betonem jsou vyplněny kamennou drtí. Nadvýlomy byly vyplněny zdivem z žulových kopáků prokládaných betonem B 105.

Pro kvalitní nástřik betonové směsi nejprve musel být upraven líc horninového prostředí. Líc byl očištěn od drobných úlomků horniny, dále byl otryskán pískem (speciální vysušený tryskací písek), což zajistilo očištění od sazí a nečistot, zbylý prach byl smyt vodním paprskem. Do vyvrtaných otvorů hlubokých cca 20 cm byly osazeny kotvičky do cementové malty. Ty sloužily k přichycení výztužných sítí ve fázi nástřiku betonu. Nastříkána byla nejprve vyrovnávací vrstva, na kterou byla upevněna výztužná síť 150 x 150 mm o průměru $\varnothing = 3,15$ mm. Na 1 m² sítě byly použity 4 kotvičky. Přes první síť byly uloženy pruty přídržné výztuže, po kterých následoval nástřik jádra stříkaného betonu. Přes jádro byla uložena druhá vrstva sítí 100 x 100 mm s průměrem $\varnothing = 3,15$ mm a byla provedena finální vrstva stříkaného betonu.



Obr. 9 – Žďárský tunel, schéma svodnic [6]



Obr. 10 – Žďárský tunel, vzorový příčný řez ostěním ze stříkaného betonu

4.1.2. Trubní propustek před vjezdem

Voda z tunelu je odváděná dvěma postranními stokami při patách opěr. Tyto stoky odvádí vodu do dvou revizních šachet před vjezdovým portálem. Byl vybudován trubní propustek za účelem odvedení vody z pravé šachty do levé. Propustek je z prefabrikovaných betonových trub o průměru $\varnothing = 40$ cm uložených do betonového lože, je ve spádu 2 %. Šachty jsou z prostého betonu. Z levé šachty je déle voda odváděna propustkem z prefabrikovaných trub o průměru $\varnothing = 30$ cm ve spádu 2 % rovnoběžně s osou dráhy do odlážděného příkopu vlevo dráhy.

4.1.3. Zárubní zeď ve výjezdovém předzářezu

Ve výjezdovém přezářezu byla vybudována zárubní zeď s náhorním příkopem z betonových tvárnic, osazených do betonového lože. Svah nade zdí byl upraven tak, aby měl sklon 1:1. Současně bylo navrženo odvodnění této části zářezu pomocí betonového příkopu tvořeného vlastní zdí a příkopovou zídkou. Příkop byl krytý deskami.

Celková délka zdi je 24,85 m, délka odvodnění vlevo dráhy je 31,55 m. Jako základová půda pro založení zdi byla uvažována zdravá skála (liberecká žula) v hloubce 2 m pod niveletou prahů. Sklon líce zdi je 5:1, rub má pak sklon 10:1. Zeď byla provedena z prostého betonu B 105 (dnes už se nepoužívá). Příkopem nade zdí je odváděna voda do skluzu, který vodu vede do šachty v km 27,874 60.

4.1.4. Ochranná deska nad výjezdovým portálem

Aby se zabránilo padání uvolněných kamenů na trať, byla navržena nad výjezdovým portálem ochranná železobetonová deska z betonu B 250 (dnešní ekvivalent C16/20 nebo C20/25).

V ose dráhy je spodní líc desky 720 cm nad niveletou prahů se spádem 1 % k levé straně, kde je žlab nad zárubní zdí. Od skalní stěny je deska vyložena 150 cm. Celková délka desky je 10,3 m, tloušťka je pak 20 cm. V desce byly zabetonovány nosné ocelové I profily č. 12, které jsou zakotveny 75 cm ve skalním masivu. Na pravé straně je deska uložena na lavičku skalního zářezu, vlevo je zakotvena do betonové zárubní zdi. Na desce byla zřízena šterková vrstva tloušťky 15 cm. Odvodnění desky bylo vyřešeno potrubím o průměru $\varnothing = 10$ cm v betonové zdi u líce portálu.

4.1.5. Přespárování lícních portálových zdí

Portálové pasy s žulovou obezdívkou byly hloubkově přespárovány. Zdivo bylo nejprve očištěno/ opískováno. Vysekání spár se provedlo v hloubce 8 cm tak, aby se nenarušila vzájemná soudržnost zdiva. Spáry byly následně vodním paprskem očištěny. Čisté spáry byly vyplněny plastifikovanou, částečně aktivovanou maltou, pomocí mechanizovaného hloubkového spárování. Optimální podíl cementu a písku byl zvolen c:p = 1:2. [6]

4.2. Desenský tunel

Sanace Desenského tunelu byly projektovány v roce 1956. Při prohlídce, která proběhla v květnu roku 1955, bylo zjištěno, že betonová obezdívka v pase č. 13 se vlivem hladové vody na několika místech vydrolila. Tato degradace se postupně rozrůstala do plochy i do hloubky, což by časem mohlo ohrozit stabilitu tunelové trouby.

4.2.1. Rekonstrukce pasu č. 13

Projekt se zabýval obnovou tunelového pasu č. 13 v délce 11,7 m. Původní návrh byl kompletní výměna obezdívky v pase č. 13 a zajištění nové obezdívky proti účinkům hladové vody. Součástí sanace bylo také rozdělení pasu č. 13 na dva nové pasy č. 13 a 14 o délkách 5,7 m a 6 m. Všechny práce na opravě tunelu musely být provedeny za nepřerušeno provozu (byla zavedena pouze pomalá jízda). Nová tunelová obezdívka byla provedena z lomového kamene s obkladem z kopáků a s rubovou izolací. S ohledem na účinky hladové vody se uvažovalo s úzkými spárami a s použitím sádro-struskového cementu, popřípadě vysokopecního cementu s vysokým obsahem struskové báze.

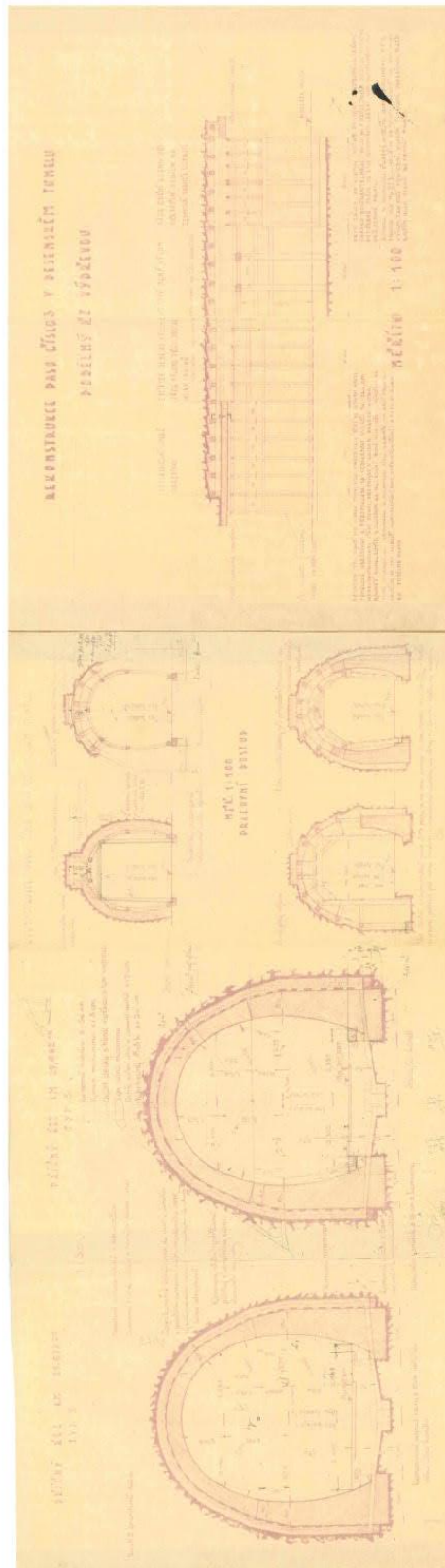
Vlastní tunelová obezdívka byla na rubu opatřena vyrovnávací vrstvou (mazaninou). Na tuto mazaninu byla přilepena rubová asfaltová izolace s hliníkovou vložkou o tloušťce 1 cm, která byla dále opatřena ochrannou lepenkou. Na izolaci byla nanesena vrstva maltového lože tloušťky 2 cm, do které se jako ochrana izolace vložily ostře pálené cihly. Spáry cihelného obkladu byly zality asfaltem. Zbytek prostoru (cca 30 cm) byl vyplněn střídavě vibrovaným štěrskem a pilířky z lomového kamene. Odvedení vody bylo zajištěno pomocí rour o průměru $\varnothing = 15$ cm, který byly zaústěny do stávající střední tunelové stoky. Spáry mezi pasy 12. a 13. a 14. a P2 byly opatřeny izolací po celém obvodu tak, aby bylo zabráněno pronikání vody na novou obezdívku.

Pro podskružení staré tunelové obezdívky byly použity ocelové skruže (celkově 10). Vzdálenost skruží se pohybovala mezi 90–120 cm. Samotné práce probíhaly z lešení, které nesmělo zasahovat od průjezdného průřezu, který byl snížen o hodnotu 15 cm na výšku a 20 cm na šířku na každé straně.

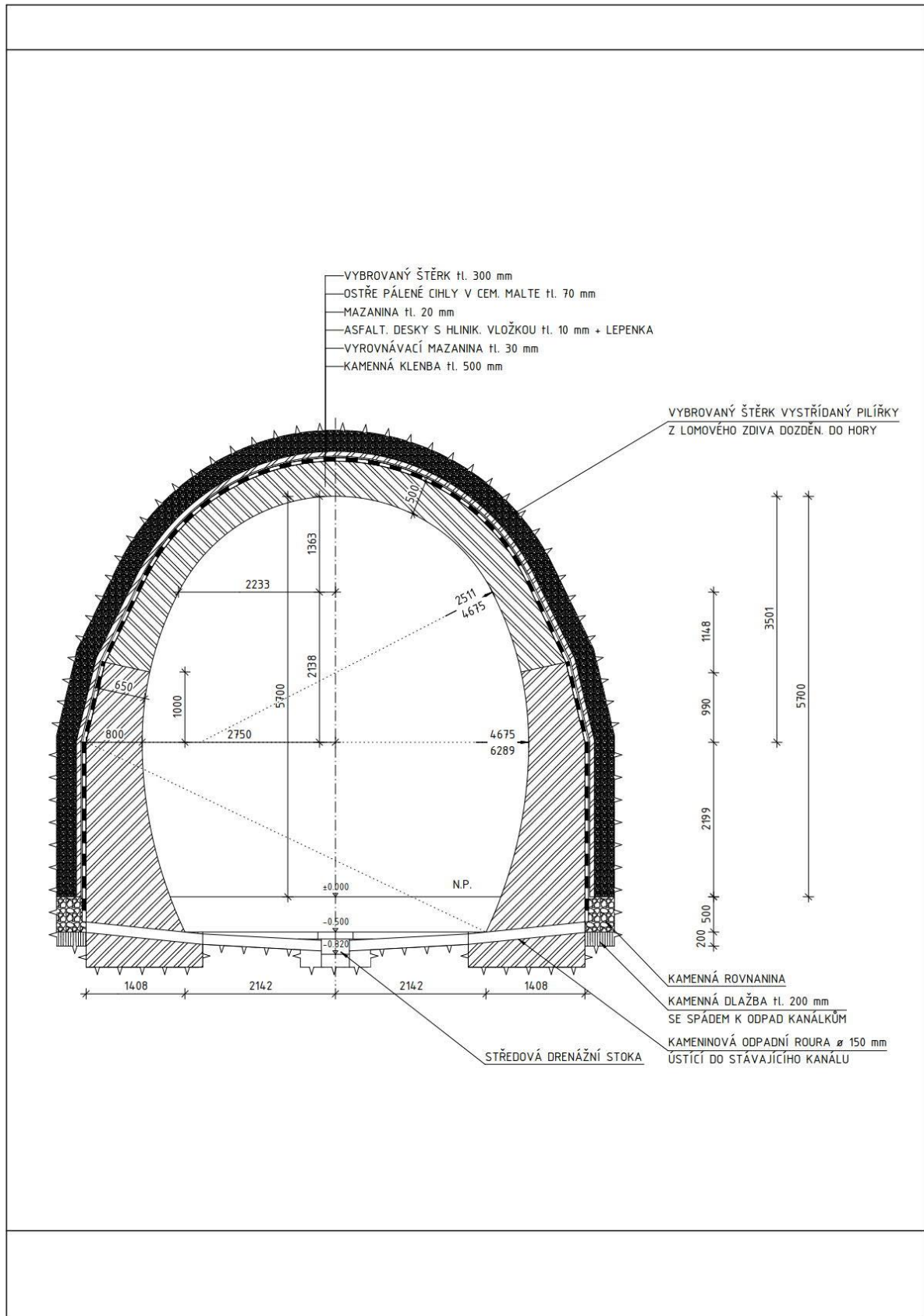
Zdění nové obezdívky započalo vyzděním základů, na ty se následně postavily opěrové šablony a vyzdily se opěry. Zdění opěr probíhalo střídavě na obou stranách po dvou až třech vrstvách. Po zhotovení rubové izolace na obou stranách se za rubem opěr provedlo vyzdění zaopěrových pilířků z lomového kamene a vibrovaného štěrku. Při zdění klenby probíhalo zároveň pokládání asfaltové izolace, s vložkou s pilířků z kamene a štěrku. Pracovní postup je uveden ve výkresu příčného řezu a pracovního postupu. [7]

Součástí částečné přestavby bylo také zřízení dvou nových záchranných výklenků ve staničení km 29,580 95. Byly provedeny symetricky podle osy tunelu a mají rubovou izolaci.

Další součástí byla také injektáž a povrchová úprava staré tunelové obezdívky. Injektáž se prováděla ve staničích km 29,488 05, km 29,512 05, km 29,559 05, km 29,611 75 a km 29,674 25 závěrné zídky na rubu nové tunelové obezdívky o síle 30 cm až do horninového masivu. Původní záměr byl elektrifikovat trať, tedy ve všech tunelech zřídit trakční vedení. Injektáže tedy měly zabránit stékání vody na trakční vedení. Z tohoto důvodu byla také na vrcholu klenby provedena vrstva stříkaného betonu v tloušťce 6 cm v délce 164 m, která měla sloužit jako jakýsi „deštník“. Síť byla navržena jako vyztužená pomocí sítě $\varnothing = 8$ mm s velikostí ok 10 x 10 cm. Síť je nenosná a je ukotvena do obezdívky pomocí kotevních želez $\varnothing = 12$ mm, hloubka kotev v obezdívce je 15-30 cm, vzdálenost se pohybuje mezi 30 a 40 cm. Před nanesením stříkané vrstvy betonu bylo nutné opět očistit povrch, stříkaný beton se nanášel ve vrstvách po 1 cm. Záměr elektrifikace trati byl prohlášen za neefektivní a byl nahrazen provozem dieselelektrických lokomotiv ministrem dopravy Josefem Pospíšilem v roce 1959 [8]. [13]



Obr. 11 – Desenský tunel, postup prací v tunelu [7]



Obr. 12 – Desenský tunel, vzorový příčný řez kamenným ostěním

4.3. Dolnopolubenský tunel

Opravy na Dolnopolubenském tunelu se začaly projektovat v roce 1949. Byl zjištěn průsak vody z horninového masivu skrz obezdívku tunelu, zejména v klenbové části. Největší průsaky byly pozorovány v pasech č. 4, 5, 6 a 7. Izolace proti vodě nebyla provedena v celé délce tunelu.

4.3.1. Venkovní práce

Tunel měl původně střední tunelovou stoku, která ve vjezdovém předzářezu vyústovala do odvodňovacího postranního příkopu vlevo od dráhy. Při rekonstrukci v roce 1949 byly navrženy oboustranné trubní odvodňovací stoky, které měly převzít účel středového odvodnění. Levá stoka byla navržena tak, že před výjezdovým portálem zaústí do levostranného odvodňovacího příkopu. Pravá stoka zaústuje do navřené čistící šachty o půdorysném rozměru 90 x 60 cm, která rubem stěny lícuje se stěnou vjezdového portálu. Z této šachty se dále voda odvádí kolmo na osu trati trubním propustkem $\varnothing = 30$ cm do odvodňovacího příkopu vlevo. Trubní propustek a obě stoky byly navrženy z betonových prefabrikátů.

Ve výjezdovém předzářezu byly navrženy po obou stranách obkladní zdi, z důvodu zamezení zvětrávání skalního líce. Dále byla provedena úprava portálové zdi a úprava odvodnění předzářezu. Zvětralé a uvolněné části musely být odstraněny a skalní líc musel být vyrovnán (místa byly provedeny plomby z výplňového betonu). Levá obkladní zeď začíná 5 m před portálem a má celkovou délku 41 m. Pravá zeď přiléhá těsně na upravenou stěnu výjezdového portálu a měří 40,1 m. Zdi jsou založeny obdobně jako zeď u výjezdového portálu Žďárského tunelu, tedy jako základová půda je uvažována liberecká žula, skalní podklad je vyrovnán do sklonu 10:1 a samotné obkladní zdi mají sklon 5:1. Založení se předpokládá na zdravé hornině v hloubce 2 m pod niveletou pražců (při dosažení zdravé horniny v menší hloubce byla tato hodnota snížena až na nejmenší přípustnou hloubku 80 cm pod dno patního příkopu, tzn. 1,6 m pod niveletu pražců). Zdi jsou z prostého betonu B 105. Podél koruny zdí byly po obou stranách vybudovány odvodňovací příkopy se sklonem od tunelu. Na nižších koncích zdí je pak voda z těchto příkopů vedena po skluzu (hlazená omítka) do dvou vývaříšť, které byly vybudovány společně s patními příkopy. Horní příkopy jsou zděné z prostého betonu B 105 a zdiva tl. 20 cm.

Svah nad levou obkladní zdí byl upraven do sklonu nejprve 3:2, který postupně přechází do sklonu 1:1. Nový povrch byl až ke konci zdi ponechán jako skalní výlom. Svah nad pravou zdí byl urovnán do sklonu 1:1,25 s úpravou povrchu ohumusováním v celém rozsahu.

Odvodnění zdi bylo zajištěno patními příkopy se sklonem k tunelu, které byly na obou koncích opatřeny vývažišti. Příkopové zídky jsou z prostého betonu B 105.

Čelní zeď portálu byla ovlivněna úpravou příčného řezu předzářezu. Bylo provedeno odbourání horní části (zhruba k rubu tunelové klenby) a doplnění do potřebných rozměrů. Parapetní část byla vybudována z betonu B 135 (C8/10) a nahoře byla ukončena krycí deskou z řádkového zdiva. Případné prostory byly vyplněny betonem s povrchem chráněným dlažbou. Odvodnění je zajištěno pomocí náhorního odvodňovacího příkopu, který je sveden do příkopu vpravo dráhy. Všechny práce na portálu byly prováděny za provozu.

4.3.2. Rekonstrukce tunelu

Rekonstrukce samotné tunelové trouby zahrnovala následující části.

- Obezdní skalního profilu v pasu č. 3
- Vybudování postranních tunelových stok
- Povrchové úpravy

4.3.2.1. Obezdní v pasu č. 3

Původně neobezdná část tunelové trouby v pasu č. 3 (ve staničení km 30,41460 – 30,43420 v délce 19,6 m) byla opatřena betonovou obezdní. Bylo nutné zachovat minimálně stejně velký světlý průřez tunelu jako v Desenském tunelu, který byl tou dobou již schválen. Byl navržen světlý průřez 550/570 cm.

Jako první bylo nutné při dolamovacích pracích vyrazit troubu do požadovaného profilu, který vyhovoval betonovému ostění se světlym průřezem 550/570 cm, základům obezdní i patní drenáži. Výlom byl prováděn z trubkového lešení namontovaném na železničním voze. Veškeré dolamovací práce se prováděly za vyloučení železničního provozu. Výlom byl proveden v celé původní délce pasu č. 3 (19,6 m) po jednotlivých záběrech, které odpovídaly délce pracovního lešení. Postup výlomu byl veden směrem od klenby k opěrám, pouze výlom pro patní drenáže byl proveden dodatečně po úplném

obezdění tunelové trouby. Líc výlomu byl postupně zajišťován ocelovými kotvami $\varnothing = 26$ mm na rozštěp a klín. Kotvy byly upevněny do skalního líce před ocelovou sítí $\varnothing = 2$ mm s oky 4 x 4 cm. Kotvy měly v podélném směru rozteč 190 cm, první řada byla vzdálená 30 cm od konce pasu č. 2, poslední řada byla vzdálená rovněž 30 cm od pasu č. 4 (později č. 5). Kotvy byly od délkách 210 a 160 cm a byly kotveny do vrtů $\varnothing = 40$ mm. Kotevní tyče byly na jedné straně opatřeny závitem o délce 20 cm a na druhé rozštěpem. Kotvení skalního líce klenby se zajištěním drátěnou sítí se provedlo v celé délce pasu č. 3 na rozvinutou šířku 7,5 m. Ojedinelé uvolněné skalní bloky v prostoru opěr se kotvily stejnými kotvami bez sítě. Současně s výlomem opěr byl proveden výlom pro dva záchranné výklenky ve staničení km 30,43120. Výklenky byly vybudovány z důvodu zmenšení volného bezpečnostního prostoru v tunelu v délce pasu č. 3.

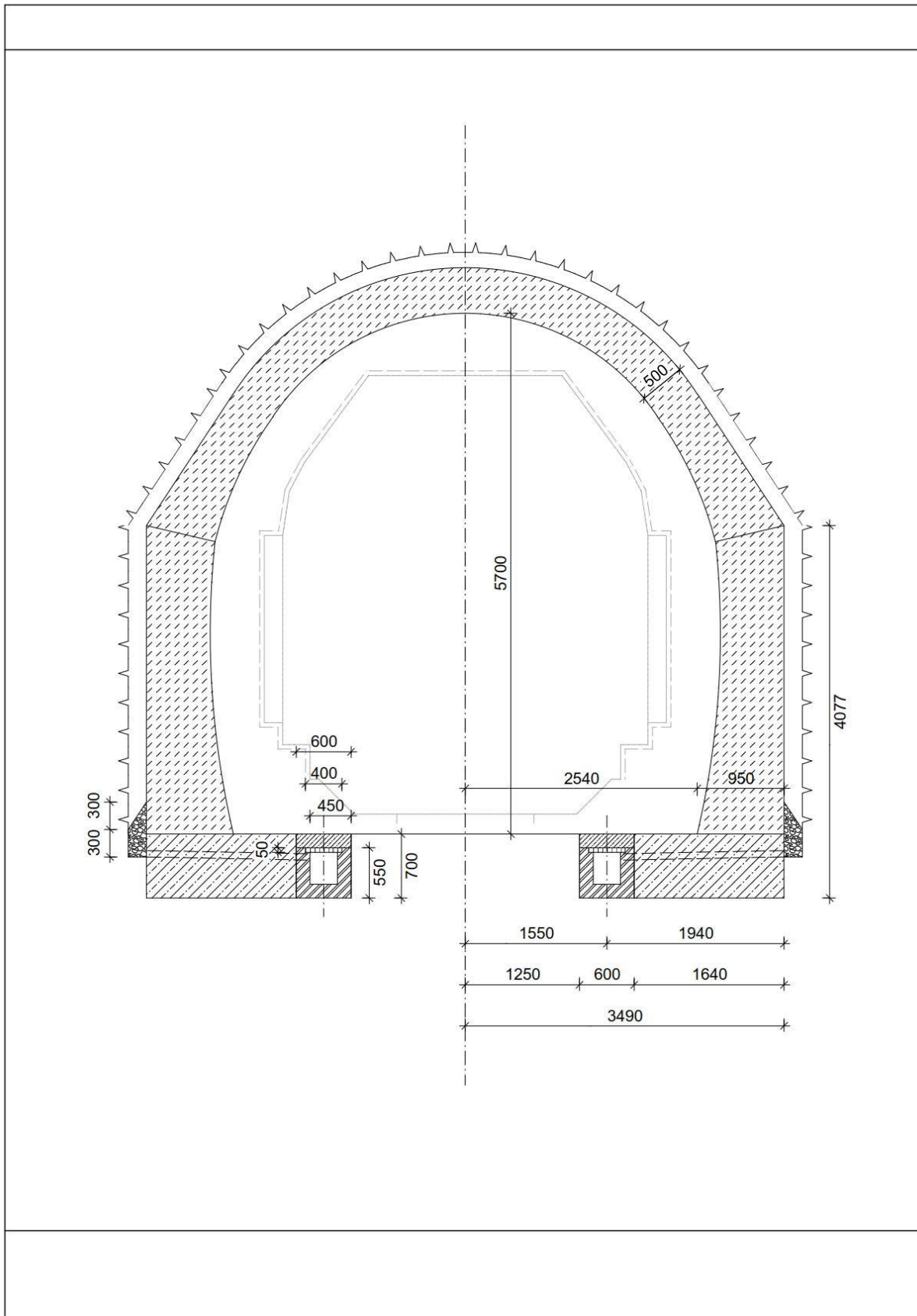
Po provedení výlomu byly provedeny základy opěr z betonu B 135 (C8/10) v celé délce obezdívky. V betonových základech byly provedeny příčné odvodňovací drenáže, které vyúsťují v postranních tunelových stokách po vzdálenosti 2 m.

Líc výlomu v celém rozsahu byl očištěn pískem a tlakovou vodou. Poté byly na základy osazeny ocelové skruže ze starých kolejnic. Skruže měly celkem tři díly, tedy jeden klenbový a dva opěrové. Díly byly spojené plochými spojkami na 2 x 3 šrouby. V podélném směru byly skruže spojeny ocelovými táhly $\varnothing = 20$ mm a rozepřeny dřevěnými rozpěrami z kulatiny $\varnothing = 15$ cm. Příčně byla každá skruž zajištěna čtyřmi kotvami v opěrových částech a čtyřmi kotvami v klenbové části. Kotvy byly stejné jako pro kotvení skalního líce, pouze s rozdílem délky, která byla 100 cm. Skruže byly ke kotvám připevněny pomocí rádlovacích drátů $\varnothing = 4$ mm. Kromě táhel byly skruže rozepřeny v příčném směru také dřevěnými rozpěrami, které tvořila kulatina $\varnothing = 18$ cm. Betonování obezdívky probíhalo pomocí železobetonového ztraceného bednicího systému. Bednicí prvky byly z betonu B 250 (C16/20 nebo C20/25) o rozměrech 15 x 8 x 100 cm. Armovací výztuž byla vyvedena na koncích tak, aby tvořila háky o délce 3 cm. Bednicí desky se přikládaly na skruže a všechny spáry byly vyplněny maltou. Za postupného přikládání desek probíhala betonáž (betonem B 170) souměrně po obou stranách tunelové trouby. Do třetí styčné spáry od vrcholu se před zabetonováním vložila injektážní trubka dl. 50 cm. Touto injektážní trubkou byla zabetonována

závěrečná komůrka. Kolejnicové ramenáty byly po vytvrdnutí betonu odstraněny, čímž došlo k „předepnutí“ betonové obezdívky kolejnicovými skružemi.

4.3.2.2. Vybudování postranních tunelových stok

Původně odvodnění tunelu obstarávala jedna střední tunelová stoka. Nový projekt obsahoval dvě nové postranní tunelové stoky, které jsou lepší z hlediska kontroly i čištění. Stará tunelová stoka byla v celé délce tunelu ponechána a po vybudování nových stok převzala funkci trativodu. Nové tunelové stoky byly navrženy jako trubní z betonových prefabrikátů $\varnothing = 30$ cm. Prefabrikáty jsou uloženy na vrstvě podkladního betonu B 135 (C8/10) v rýze šířky 60 cm a výšce 10 cm, osově jsou 155 cm od osy trati. Stoky byly uloženy do hloubky 55 cm pod niveletu pražců. Na rozhraní pasů 1 a 2, 4 a 5, 5 a 6, 6 a 7, 7 a 8 a 8 a P2 byly vybudovány čistící šachty 30 x 60 cm s hloubkou 15 cm pod dno trouby. Šachty jsou z prostého betonu B 170 (C12/15), dno je tlusté 15 cm, stěny jsou svisle vybetonovány do výšky 15 cm pod niveletu prahů a při horním povrchu mají ozub po celém vnitřním obvodu, který byl určen pro osazení 5 cm tlustých krycích desek šachtic. V podélných stěnách šachet jsou otvory, kterými jsou sem zaústěny příčné svodnice. Na horní krycí desce jsou položeny škvárobetonové desky tl. 15 cm, z důvodu tepelné izolace. Ve zbylé délce trati jsou trubní stoky zakryty kolejovým ložem. V rekonstruovaném pase č. 3 byly vybudovány postranní stoky obdélníkového průřezu 30 x 35 cm s osovou vzdáleností 155 cm od osy koleje a byly uloženy do hloubky 55 cm pod niveletu pražců. Tyto stoky jsou vybetonovány z prostého betonu, tloušťky stěn jsou 15 cm. Ve stěnách jsou vytvořeny ozuby pro osazení krycích desek. Ve stěnách jsou opět otvory 10 x 10 cm pro zaústění příčných svodnic do odvodnění. Tyto otvory jsou od sebe vzdáleny 200 cm. Na celé ploše obdélníkových kanálů je vrstva škvárobetonu tl. 15 cm, která zabraňuje promrzání a zajišťuje lepší přístup pro čištění odvodnění. [8]



Obr. 14 – Dolnopolubenský tunel, vzorový příčný řez ostěním z betonových tvárnic

4.3.2.3. Povrchové úpravy

V celé délce tunelu byla provedena vrstva stříkaného betonu v klenbě. Vrstva je tlustá 6 cm, je vyztužená a není nosná. Stříkaný beton zasahoval do vzdálenosti 150 cm od osy koleje na obě strany a na délce 30 cm se postupně tloušťka vrstvy snižuje na nulu. Vyztuž byla ukotvena pomocí ocelových ok, které byly nastřeleny do kamenné obezdívky. Nástřík byl proveden na povrch otryskaný pískem, tlakovou vodou a následně vysušen.

Všechny spáry pod vrstvou stříkaného betonu byly po očištění tlakovou vodou hloubkově mechanicky přespárovány. Stejně se přespárovaly i všechny spáry kamenné obezdívky, které vykazovaly známky degradace. Celkem bylo mechanicky přespárováno zhruba 70 % celkové plochy kamenné obezdívky. [8]

4.4. Polubenský tunel

Původní rekonstrukce v roce 1959 zahrnovala následující práce:

- Rekonstrukce obezdívky a povrchové úpravy
- Přestavba Kořenovského portálu
- Sanace stropních průsaků vody

4.4.1. Rekonstrukce obezdívky a povrchové úpravy

Účelem povrchových úprav bylo zachytit vývěry vody ze skalního líce pomocí drenáží provedených hadicovou metodou a utěsnit líce vrstvami stříkaného betonu. Tímto způsobem se mělo zabránit tvorbě rampouchů a ledopádů, které se v tunelu v mrazivých měsících tvořily. Dalším záměrem byla elektrifikace trati, tedy zřízení trolejového vedení v celé délce tunelu (od tohoto záměru bylo upuštěno viz. kapitola 4.2). Svodnice byly zaústěny do postranních odvodňovacích stok, které byly vybudovány v celé délce tunelu. Podélný sklon 5,3 % zajišťuje nezamrznutí vody ve stokách. Stoky byly vybudovány s průřezem 25 x 40 cm. V místech geologických poruch a systémů diskontinuit bylo navrženo kotvení skalního líce. Kotvení bylo provedeno pomocí železobetonových kotev, které v odůvodněných případech byly příčně přepásány ocelovými pásy pro zajištění spolupůsobení. Ve více porušených místech bylo navrženo plombování.

4.4.1.1. Postup prací

Stávající obezdívka byla podskružna kolejnicovými ramenáty a postupně byla po prstencích odbourána. Skalní líc byl okamžitě zajišťován případně kotven. Po zabezpečení líce byly skruže odstraněny. V neobezděných pasech proběhlo podskružení obdobně, ale kotvení z důvodů zdravějšího horninového masivu bylo zapotřebí pouze ojediněle.

Po snesení obezdívky byly zbudovány nové odvodňovací stoky. Stoky se skládaly z betonových prefabrikátů uložených do betonového lože. Do nových stok byly vysekány drážky pro zaústění nových svodnic. Následně byl skalní líc očištěn, což probíhalo obdobně jako u předchozích tunelů otryskáním pískem a následně tlakovou vodou. Do čistého skalního líce byly vyhloubeny drenážní kanálky (svodnice) a v místech velkých průsaků byla provedena drenáž hadicovou metodou. Nová drenáž se následně opatřila vrstvou stříkaného betonu tl. 2 cm. Poté byla na vrstvu umístěna výztužná síť $\varnothing = 3,15$ mm s oky 10 x 10 cm, která byla znovu zastříkána vrstvou betonu o tl. 4 cm. V místech, kde měla být vrstva stříkaného betonu 10 cm, se tento proces opakoval ještě jednou. Veškeré svodnice a drážky vysekávané do skalního líce byly prováděny bez trhacích prací. Bylo dbáno na co možná nejpřesnější kopírování skalních puklin (pouze pokud byl velmi malý sklon, byla drenáž nejkratší cestou s dostatečným sklonem svedena do drážky). Rozměry drážek byly zhruba 10 x 10 cm a byly očištěny před nanesením vrstvy betonu.

Drenáž byla prováděna hadicovou metodou. Na dno drážky se vložila gumová hadice délky cca 1 m a zhruba 70 cm z této délky se překrylo první vrstvou malty. Malta tvořila směs portlandského cementu s ceresitem 1:1. Bylo nutné dbát na to, aby se malta nedostala pod trubku a zakryla tak puklinu, kterou měla přitékat voda. Po zatvrdnutí malty se gumová hadice povytáhla, část zhruba 10 cm se ponechala v původní dutině a proces byl opakován, dokud nebyla tímto způsobem vytvořena drenáž.

Osazení kotev pro ukotvení výztužné sítě probíhalo do předem připravených vrtů $\varnothing = 30$ mm dlouhých zhruba 30 cm, které byly vyplněny cementovou maltou. Do vrtu se následně vložilo kotevní železo a vrt byl vzápětí utěsněn rychletuhnoucí maltou.

Síť se na kotvy připevnila pomocí drátu $\varnothing = 3$ mm. V případech nerovností, nebo problémů s ohybem sítě, byla síť nastříhána na přiměřeně malé díly.

4.4.1.2. Obkladní obezdívka s PVC izolací

Tato obezdívka je navržena pouze jako obkladní a nebyla tedy navržena v místech, kde byl předpokládán tlak na obezdívku. Odstranění obezdívky včetně případných dovýlomů bylo provedeno stejně jako v případě povrchových úprav. Odvodnění skalního líce bylo vyřešeno pomocí šterkových žeber 1 m širokých a min. 15 cm hlubokých, která se nachází ve výplňovém betonu. Osová vzdálenost žeber je 2 m. V místech nižšího stupně zavodnění byla provedena drenáž hadicovou metodou. Obezdívka se skládá z betonových tvárnic B 170 (C12/15) a betonu B 135 (C8/10). Veškeré vzniklé prostory mezi rubovou izolací a skalním masivem byly vyplněny betonem B 105. Do základového zdiva byly uloženy drenážní betonové trubky $\varnothing = 10$ cm, které měly svádět vodu z rubové drenáže do podélného odvodnění tunelu.

Postup izolace probíhal od opěří, kdy byl nejdříve proveden výplňový beton B 105 s vyhlazenou omítkou, na kterou se následně lepila folie Isofol BB 0,9 mm. Na folii byla vrstva pískované lepenky, na kterou byla provedena vrstva z betonových tvárnic. V klenbě byl postup opačný. Tedy nejprve se zdila obezdívka z betonových tvárnic, na kterou se uložila vrstva lepenky a izolační folie. Nakonec se doplnil výplňový beton B 105. Závěr izolace se prováděl samostatným závěrným pásem folie, který se přivařil k oběma bočním prefabrikátům. Další folií, volně položenou, byl závěr ochráněn. Poté se vložila ochranná tvárnice a klenbový uzávěr byl nadezděn. Na styku pasů byla foliová izolace také přivařena.

4.4.1.3. Nosná obezdívka

Nosné obezdívky byly vybudovány z vibrovaného betonu. Systém jejich izolace je obdobný jako u obkladní obezdívky. Pro uzavření klenby bylo předem vyzděno několik řad tvárnic z obkladu, které byly zaizolovány, a následně byla vybetonována nosná klenba.

Základy byly navrženy z betonu B 135 (C8/10), opěry z B 170 (C12/15), stejně jako klenba včetně tvárnic. Odvodnění bylo zajištěno pomocí žeber z kamenné rovnaniny o šířce 1 m a tloušťce 15 cm, která byla zapuštěna do nosného zdiva opěr. V klenbě byla provedena plošná drenáž z pórobetonu, která byla ukládána na obklad z lomového kamene. Větší výrony vody byly svedeny do odvodňovacích žeber. Později bylo navrženo jímání stropních výronů pomocí odvodňovací štolý o průřezu 60 x 60 cm a délce 30 m.

Z ní se voda odváděla betonovými trubkami za rubem obezdívky do podélného odvodnění.

4.4.1.4. Přestavba portálu

Portálový pas byl přestavěn v otevřené stavební jámě. Portálový věnec byl vyzděn z kvalitní žuly, z důvodu její odolnosti proti povětrnostním vlivům. Pro základový beton byl použit beton B 105, opěry a čelo byly vybetonovány z B 135 (C8/10) a klenba z B 170 (C12/15). Izolace tunelové trouby končí v čele portálu, tzn. celé tunelová trouba portálového pasu je izolována PVC folií Isofol BB 0,9 mm, kladenou na cementovou mazaninu s pískovanou lepenkou. Za čelem byl svah zkonsolidován a upraven dlažbou na sucho. Odvodnění rubu opěr bylo navrženo drenážními žebry obdobně, jako je tomu u systémů obezdívek.

Pro odvodnění povrchových vod byly kromě křídel rovnoběžných s trati zřízeny také nízké zídky. Na konci je z náhorního příkopu voda vedena do vývažiště v km 33,705. Déle byly navrženy do staničení km 33,790 příkopové zídky a na dalších zhruba 100 m trati bylo upraveno (rozšířeno a prohloubeno) odvodnění.

Křídla byla navržena na parametry zeminy: $\phi = 40^\circ$; $\delta = \frac{2}{3} \phi$; a sklon povrchu $\alpha = \phi$. Při výstavbě křídel bylo postupováno s opatrností, kvůli zvodnělým svahům (hlavně na levé straně trati). Pasy stěn byly navrženy max. o délce 4 m. Původní hloubka příkopu nebyla snížena a do příkopů byla zaústěna drenáž nových křídel. [14]

5. Zadání sanace tunelů podle Správy železnic

5.1. Správa železnic

Dle § 20, zákona č. 266/1994 Sb., o drahách, ve znění pozdějších předpisů, je vlastník dráhy povinen zajistit údržbu a opravu dráhy v rozsahu nezbytném pro její provozuschopnost a umožnit styk dráhy s jinými dráhami. Vlastník dráhy celostátní a dráhy regionální je dále povinen pečovat o rozvoj a modernizaci dráhy v rozsahu nezbytném pro zajištění dopravních potřeb státu a dopravní obslužnosti území kraje. Hospodaření s majetkem České republiky, v podobě státní železniční infrastruktury, má na starost státní organizace Správa železnic podle zákona 77/2002 Sb. o akciové společnosti České dráhy, státní organizaci Správa železnic a o změně zákona č. 266/1994 Sb. o drahách. Správa železnic tedy plní funkci vlastníka a provozovatele dráhy podle zvláštního předpisu, spočívající v zajišťování údržby, oprav a provozuschopnosti železniční dopravní cesty. [12]

5.2. Specifikace úseku

Železniční trať Tanvald – Kořenov je jednokolejná, neelektrifikovaná regionální dráha. V knižním jízdním řádu je označena číslem trati 036. Pro tuto trať platí referenční profil GC, který určuje její prostorovou průchodnost. Traťová třída zatížení úseku odpovídá stupni A. Na úseku se nacházejí tři úseky s namontovanou dvoupásnicovou ozubnicí Abtova systému.

Na uvažovaném úseku se nachází 2 dopravní, 3 zastávky a jedna odbočná výhybka v traťové koleji (vlečka). Maximální traťová rychlost je 40 km/h, zábrzdňá vzdálenost je 400 m. Organizace a provozování drážní dopravy na úseku je podle předpisu SŽDC D3.

Úsek je ve složitých směrových a sklonových poměrech. Většina oblouků je o poloměrech 200 m. Z důvodu ozubnicových úseků je převýšení v úseku max. 20 mm. V obvodu odbočné výhybky na vlečku Preciosa Ornela a.s. je složený oblouk s poloměry 170–206 m s převýšením 50 mm. Opravovaný úsek je ve stoupání, převážná část úseku má hodnotu podélného sklonu větší než 50 ‰, maximální hodnota je pak 58 ‰.

Stávající technický stav se blíží hranici technických parametrů, které neumožňují provozování stávajícího provozu. Při neuskutečnění realizace oprav hrozí snížení traťové

rychlosti. Revitalizace ani rekonstrukce trati není v rámci investiční přípravy plánována.
[12]

5.3. Požadavky na technické řešení

Základní technické požadavky vycházejí z vyhlášky Ministerstva dopavy č. 177/1995 Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah, ve znění pozdějších předpisů a jsou dále specifikovány českými technickými normami a interními předpisy Správy železnic.

Záměrem je komplexní oprava úseku Tanvald – Kořenov, dopravny D3 Desná (dopravna bude tvořit samostatnou investiční stavbu) a odbočovací výhybky na vlečku Preciosa Ornela a.s. a zajistit tak bezpečné a spolehlivé provozování drážní dopavy a dlouhodobé udržení požadovaných parametrů trati. Součástí opravných prací bude oprava železničního spodku (sanace skalních zářezů, sanace železničního spodku na přejezdech, oprava odvodnění, nástupišť a stezek), oprava železničního svršku, oprava mostů, tunelů a propustků a oprava přejezdů (P5545, P5546, P5547, P5548, P5549, P5550, P5551). [12]

5.4. Technická specifikace

Všechny stavební objekty jsou z rozhodnutí MK ČR kulturní památkou jako součást ozubnicové tratě Tanvald – Kořenov. Proto plánované stavební počiny je nutno konzultovat s Národním památkovým ústavem.

5.4.1. Tunel Žďárský km 27,776-27,843

GPS: 50°44'48.301"N, 15°18'44.225"E

Definiční úsek: Tanvald – Desná

Popis současného stavu: Tunel délky 67,18 m.

Hodnocení: stupeň zavodněnosti 2

Železniční svršek: A, ocelové pražce s ozubnicí

Cizí zařízení: ve štěrkovém loži vpravo je veden kabelový žlab

Poruchy: zanešené podélné odvodnění, silně zvětralá betonová zeď u P2

Nový stav: v rámci opravy koleje obnovit podélné odvodnění tunelu, oprava (sanace) betonové předportálové zdi u P2

5.4.2. Tunel Desenský km 29,438-29,690

GPS: 50°45'28.415"N, 15°18'31.513"E

Definiční úsek: Desná - odb. vl. PRECIOSA Ornela a.s.

Popis současného stavu: Tunel délky 252 m.

Hodnocení: stupeň zavodněnosti 3

Železniční svršek: A, ocelové pražce

Cizí zařízení: ve štěrkovém loži vpravo je veden kabelový žlab

Poruchy: nefunkční izolace v pasech P1, P2, 8 a 9, zanešené podélné odvodnění, opadávání betonu v pasech 8 a 9

Nový stav: v rámci opravy koleje obnovit podélné odvodnění tunelu, výměna ostění v pasech č. 8 a 9, svodnice, oprava odvodnění portálů

5.4.3. Tunel Dolnopolubenský km 30,375-30,542

GPS: 50°45'35.725"N, 15°19'10.806"E

Definiční úsek: odb. vl. PRECIOSA Ornela a.s. - Dolní Polubný

Popis současného stavu: Tunel délky 166,3 m.

Hodnocení: stupeň zavodněnosti 2

Železniční svršek: A, ocelové pražce s ozubnicí

Cizí zařízení: ve štěrkovém loži vpravo je veden kabelový žlab

Poruchy: nefunkční podélné odvodnění

Nový stav: v rámci opravy koleje obnovit podélné odvodnění tunelu

5.4.4. Tunel Polubenský km 32,691-33,631

GPS: 50°45'46.65"N, 15°20'51.573"E

Definiční úsek: Tanvald – Desná

Popis současného stavu: Tunel délky 940 m.

Hodnocení: stupeň zavodněnosti 3

Železniční svršek: A, ocelové pražce s ozubnicí

Poruchy: nefunkční izolace v pasech s torkretovým ostěním, průsaky vody v neobzděných pasech

Nový stav: v rámci opravy koleje obnovit podélné odvodnění tunelu, odstranit degradovaný torkret z ostění, nové ostění a rubové odvodnění, svodnice

Poznámka: „V zimním období zalednění ohrožující bezpečnost“. Potřebná časová náročnost výluky na opravu tunelu je odhadem minimálně 90 dní.

6. Žďárský tunel

6.1. Popis problémů

6.1.1. Tunelová trouba

První tunel na trati nejeví známky mnoha závažných poruch. V portálových pasech a v pasu B1 jsou mírně zvětralá kamenné bloky ostění, které však nejsou největším problémem tohoto tunelu. Pasy s kamenným ostěním byly navíc přespárovány v předchozích sanacích, a dnes jsou spáry v poměrně dobrém stavu (viz obr. 17).



Obr. 17 – Pas P2 Žďárského tunelu

Na kamenném ostění jsou místy patrná zavlhlá místa, v důsledku pronikání podzemní vody do tunelu. Voda zde však nevyvěrá, netvoří výluhy ani rampouchy v zimních měsících. Dalo by se tedy konstatovat, že se jedná pouze o vizuální vadu bez vlivu na funkčnost a není nutná její sanace.

Zbytek pasů ve Žďárském tunelu má ostění ze stříkaného betonu s ocelovou výztuží z kari sítí. Na povrchu tohoto betonu se místy vyskytují zvlhlá místa. Voda zde však stejně jako u kamenného ostění nevyvěrá (viz obr. 18). Dalo by se tedy opět říct, že se jedná pouze o vizuální vady. Ostění má však také o něco závažnější poruchy. Jedná se o trhliny, ve kterých se v důsledku průsaku vody tvoří výluhy. Výluhy jsou dokladem toho, že zde voda přímo vyvěrá na povrch, i když třeba ne stále. Trhliny jsou zachyceny na obr. 19. V důsledku vyvěrání vody je pravděpodobné, že časem v prasklinách voda zamrzne. Vlivem zmrazovacích cyklů se potom velmi urychluje proces degradace a



Obr. 18 – Žďárský tunel, zavlhlá místa



Obr. 19 – Žďárský tunel, trhliny ve stříkaném betonu

zvětrávání betonu. Proces už v jednom místě tunelu dosáhl stavu, kdy vrstva stříkaného betonu úplně zdegradovala a odpadla. Zhruba v desátém metru druhého pasu je odhalena výztužná síť, která na vzduchu v kontaktu s vodou koroduje. Toto místo je zachyceno na obr. 20. Je jasné, že v tomto místě je omezená statická funkce ostění a voda může volně proudit přes ostění. V okolí otvoru také vidíme množství trhlin, což značí nebezpečí, že by se postupem času mohl otvor zvětšovat.



Obr. 20 – Žďárský tunel, díra v ostění

Dalším problémem tohoto tunelu, podobně jako ve třech dalších, je odvodnění. Podélné odvodnění tunelu je zanesené a místy porušené. To znesnadňuje vodě snadný odtok z tunelu a přispívá to k celkové zavodněnosti tunelu. V záměru projektu je pro Žďárský tunel pouze úkol obnovy podélného odvodnění.

6.1.2. Portálové oblasti

S konstrukcí tunelů souvisejí i jejich portálové oblasti. To platí i pro opravy tunelů. Opravy v portálových částech Žďárského tunelu se budou zabývat především odstraněním náletové vegetace z betonových částí tak, aby byla znemožněná jejich degradace. Dále se oprava bude týkat zárubní stěny ve výjezdovém předzářezu. Povrch této stěny je značně zvětralý a porušený, jsou zde patrné velké kaverny. Zeď je také místy porostlá mechem a drobnou vegetací. Dále jsou na zdi patrné výluhy, což je opět známka toho, že tudy proniká voda. Degradace zárubní zdi je zachycena na obr. 21.



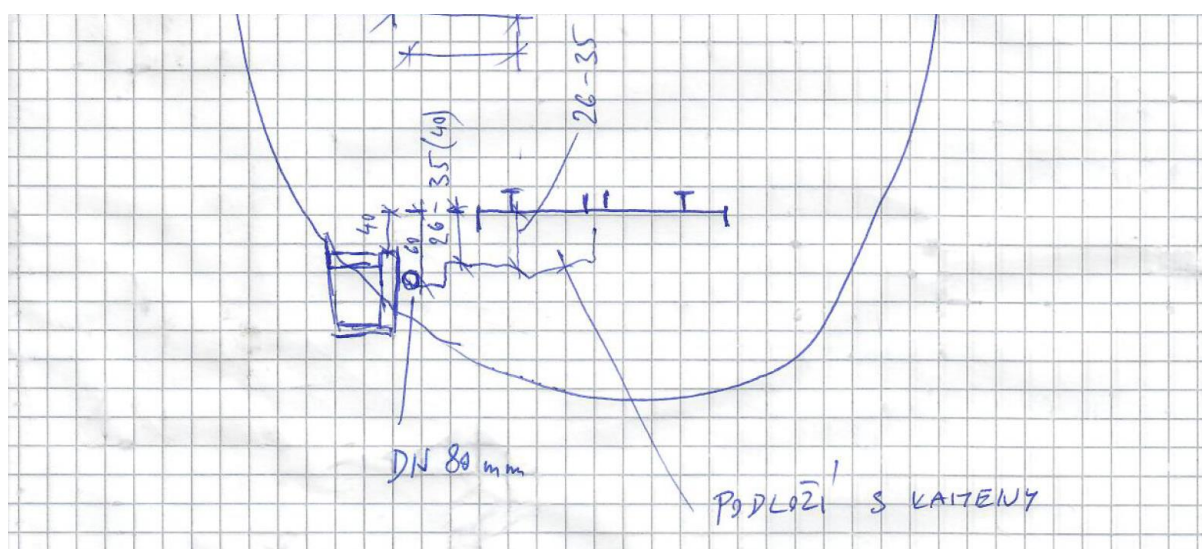
Obr. 21 – Žďárský tunel, zeď u výjezdového portálu

6.2. Systém oprav

Jediná průzkumná práce, která byla na trati do současnosti provedena v rámci nynějších oprav, byla kopaná sonda. Ve Žďárském tunelu byla provedena zhruba v polovině tunelu ve staničení km 27,810. Sonda pronikla zhruba do půlmetrové hloubky pod niveletu pražce a ukázala, že archivní projektová dokumentace se poměrně dobře shoduje se skutečností (jediný rozdíl je umístění kabelového žlabu, který sonda nezaznamenala). Fotografie kopané sondy je na obrázku 22.

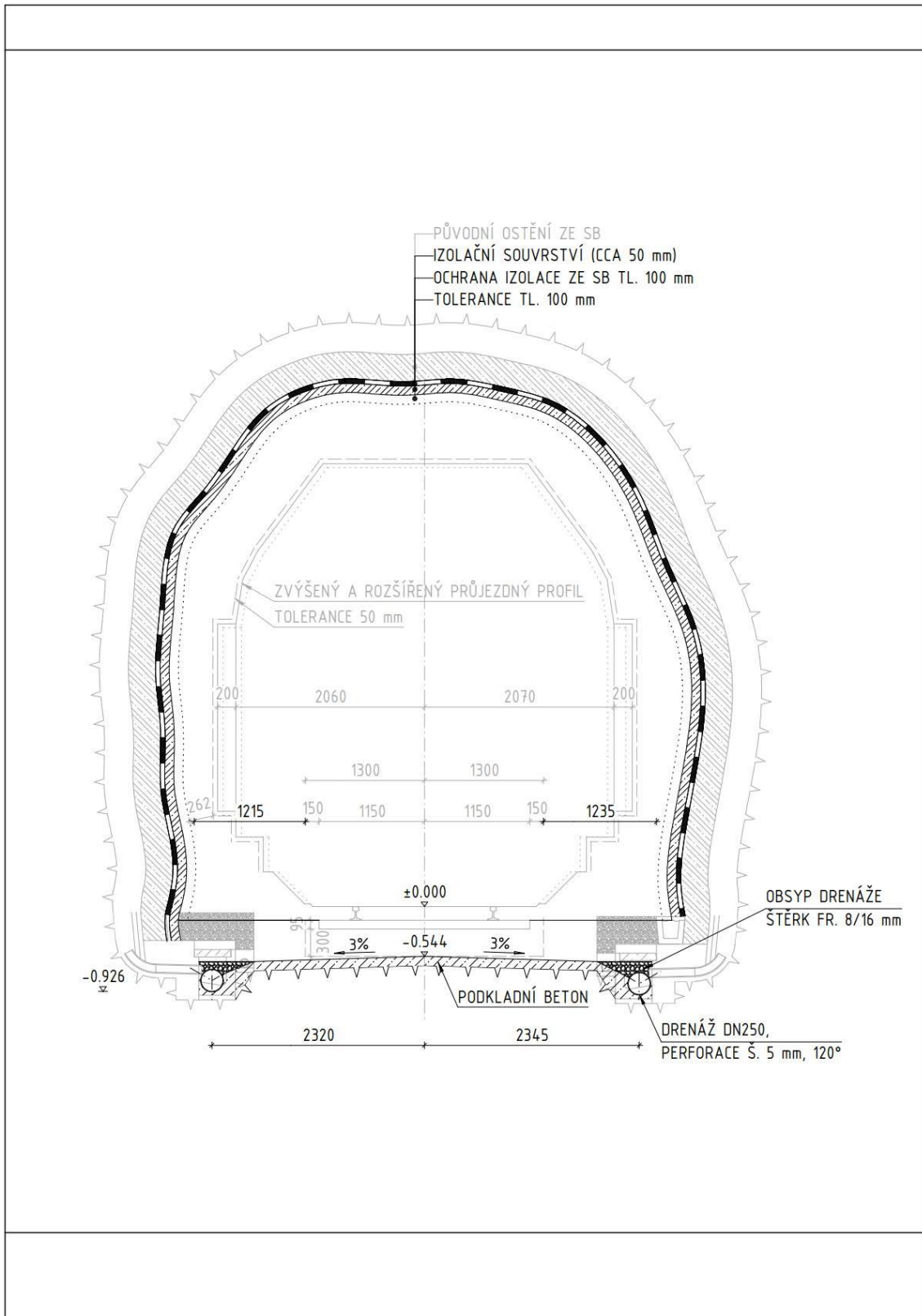


Obr. 22 – Žďárský tunel, kopaná sonda



Obr. 23 – Žďárský tunel, skica kopané sondy

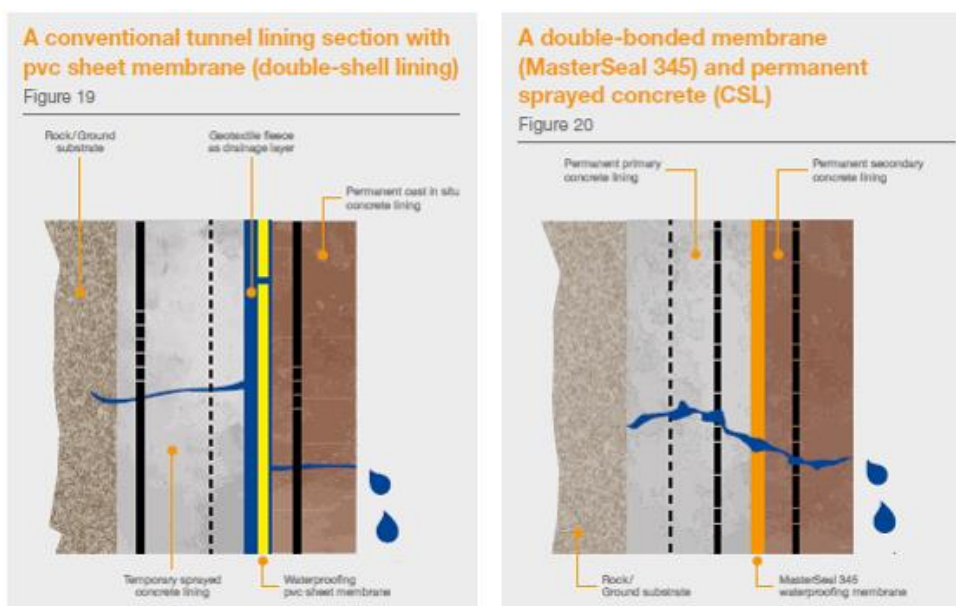
Dále je uvažováno s tolerancí 100 mm, která zaručí, že nedojde ke kolizi s průjezdným průřezem Z – G2.



Obr. 26 – Žďárský tunel, způsob sanace

6.2.1. Stříkaná izolace

Izolace je navržena jako stříkaná z několika důvodů. Hlavní důvod je ten, že pokud pod stříkanou izolací dojde k průsaku, voda dále neproudí podél izolace ve všech směrech. Při vyšší tlaku vody tedy dojde k průniku vody přímo v místě průsaku. Toto místo je tedy snadno dohledatelné a snadno opravitelné např. pomocí injektáže. Na obr. 27 je znázorněno riziko použití klasické PVC izolace, že při průsaku voda bude migrovat podél membrány. Když tedy voda pronikne membránou a následně celým ostěním, není zcela jasné, kde přesně je membrána porušena, což výrazně ztěžuje budoucí sanaci.



Obr. 27 – Srovnání PVC izolace a stříkané izolace [15]

7. Desenský tunel

7.1. Popis problémů

7.1.1. Tunelová trouba

V Desenském tunelu jsou obdobné problémy portálových pasů a pasů s kamenným ostěním jako u Žďárského tunelu. Opět jsou zde mírně zvětralé kamenné bloky, které byly v rámci předchozí opravy přespárovány. Tyto bloky jsou nyní v relativně dobrém stavu, pouze místy jsou porostlé mechem.

Kromě kamenného ostění jsou v tunelu pasy s betonovým ostěním. V tomto typu ostění se opět tvoří zavlhlá místa i trhliny s výluhy (trhliny s výluhy můžeme vidět na obr. 28). Tyto praskliny jsou u tohoto typu ostění v tunelu poměrně běžné a výluhy se vyskytují téměř u všech prasklin. Je tedy zřejmé, že prasklinami proniká voda. Výluhy samy o sobě nejsou velký problém, spíše poukazují na pronikání vody do tunelu a také na oslabení vylouhovaného materiálu – v tomto případě pravděpodobně betonového ostění. Z ostění se vodou vyplavují jemné částice, což vede k oslabování struktury betonu (viz. kapitola Výluhy).

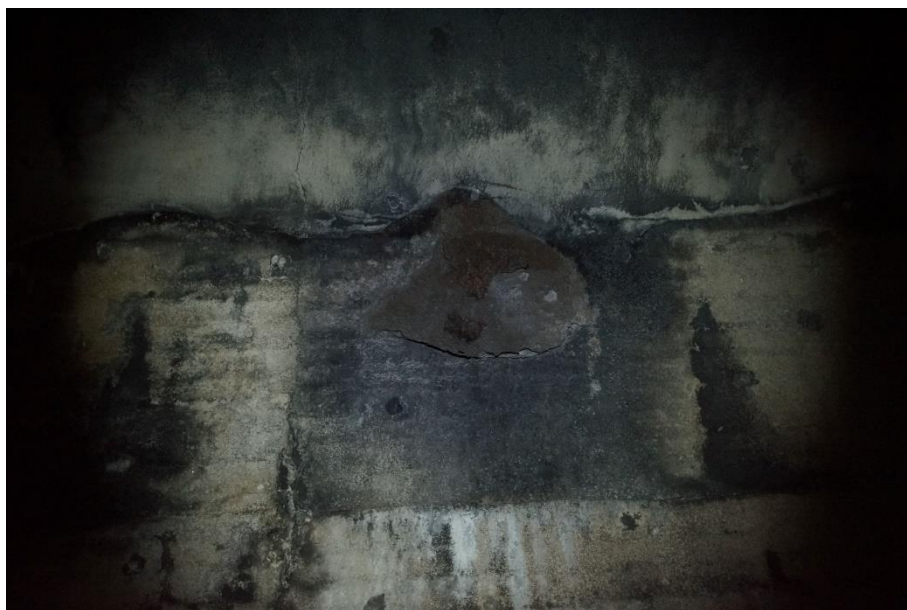


Obr. 28 – Desenský tunel, praskliny v betonovém ostění s výluhy

Dalším problémem v pasech s betonovým ostěním je odpadávání betonu. To se děje především na rozích výklenků, ale v tunelu jsou i dvě místa, kde je díra přímo v ostění tunelu. Betonové ostění je zde bez výztuže, takže alespoň nedochází ke korozi výztuže. Nicméně v důsledku chybějícího materiálu jsou opět zhoršeny statické vlastnosti ostění. Zároveň je pro vodu snazší takovýmto ostěním proniknout, v důsledku menší tloušťky. Odpadlý beton můžeme vidět na obr. 29 a jeden z otvorů v ostění pak na následujícím obr. 30.

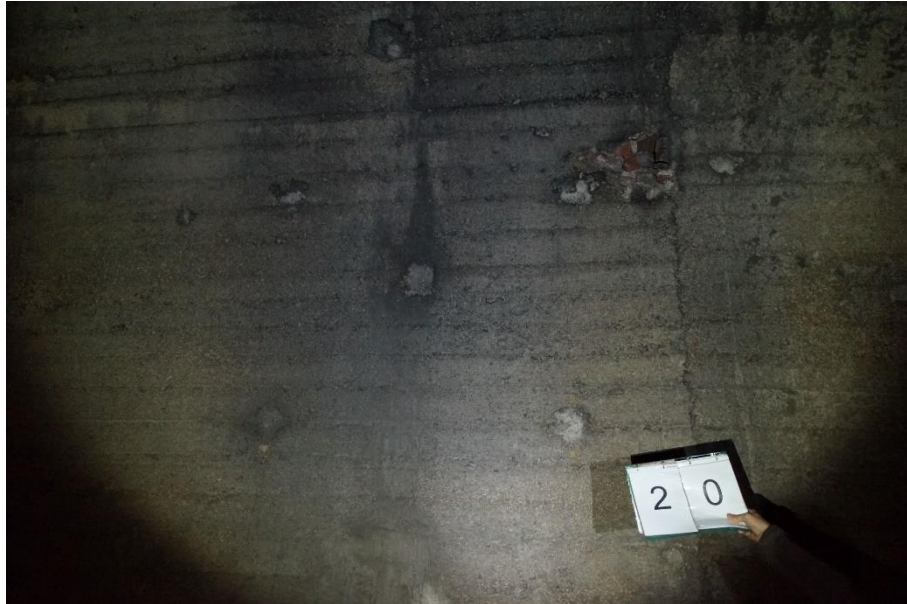


Obr. 29 – Desenský tunel, záchranný výklenek



Obr. 30 – Desenský tunel, otvor v ostění

Dalším problémem tohoto ostění jsou vyzděná hnízda, která mají sloužit k odvedení vody z rubu ostění. Tato hnízda zde byla vybudována záměrně, ale v důsledku pronikání a zamrzání vody v materiálu, který je zakrýval, tento materiál postupem času zdegradoval a opadal. V dnešní době jsou místy tato hnízda úplně odhalena, jak je vidět na obr. 31.



Obr. 31 – Desenský tunel, vyzděné hnízdo v ostění

Novým prvkem proti Žďárskému tunelu je v Desenském tunelu vrstva stříkaného betonu v klenbě. Tento beton zde byl vybudován jako ochrana budoucího trakčního vedení, které se však v tunelu nikdy neosadilo. Nicméně tato vrstva odvádí vodu z klenby do stran na opěry. Působením vody tato vrstva stříkaného betonu značně zvětrává a



Obr. 32 – Desenský tunel, stříkaný beton v klenbě

v místech, kde vytéká voda z pod stříkaného betonu, se tvoří výluhy. Míra zvětrání vrstvy stříkaného betonu v klenbě je patrná z obr. 32.

V záměru projektu pro Desenský tunel je kromě obnovy podélného odvodnění také obnova nebo výměna ostění v pasech 8 a 9. V těchto pasech je zřejmě nefunkční izolace a jsou velmi zvodnělé. Oba pasy mají betonové ostění a k odpadávání betonu dochází právě v těchto pasech v důsledku působení vody a mrazu. Dále jsou zde patrné průsaky, výluhy, praskliny v ostění apod. Pasy jsou zdokumentovány na obr. 33–36.



Obr. 33 – Desenský tunel, betonové ostění v pasu 9



Obr. 34 – Desenský tunel, průsaky ostěním v pasu 8



Obr. 35 – Desenský tunel, díra v ostění v pasu 9



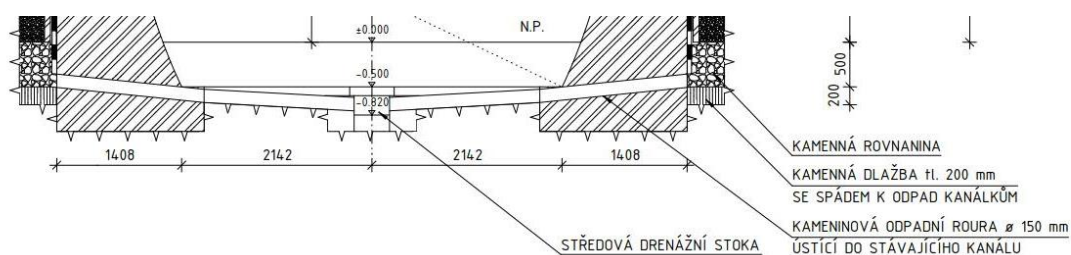
Obr. 36 – Desenský tunel, díra v ostění v pasu 8

7.1.2. Portálové oblasti

Venkovní práce budou především zahrnovat odstranění náletové vegetace z portálových oblastí a obnovení odvodnění portálů. Kromě zaneseného odvodnění jsou oba portály v poměrně dobrém stavu. Beton ani kamenné bloky nejsou příliš zvětralé.

7.2. Systém oprav

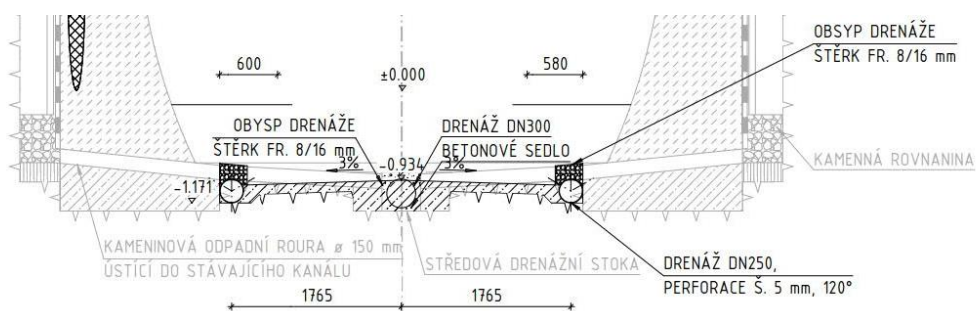
V Desenském tunelu byly provedeny dvě kopané sondy. Jedna na začátku tunelu ve staničení km 29,510 a druhá téměř na konci tunelu ve staničení km 29,678. V tomto tunelu byl předpoklad středové podélné odvodňovací stoky (viz obr. 37). Sonda tento předpoklad nepotvrdila. Bylo to nejspíš způsobeno tím, že obě sondy pronikly do hloubky řádově pouze 30–40 cm, kde narazily na skalní podloží (je možné, že narazily na poklop podélného odvodnění 500 mm pod niveletou pražce).



Obr. 37 – Desenský tunel, předpoklad podélného odvodnění z archivní dokumentace

Požadavkem zadání na opravy Desenského tunelu je obnova podélného odvodnění, výměna monolitického ostění v pasech č. 8 a 9 (o celkové délce 28,06 m) a oprava odvodnění portálů.

Oprava podélného odvodnění bude probíhat opět v rámci opravy prostorové polohy koleje. Bude obsahovat úpravu spádování počvy tunelu do střechovitého sklonu 3 %, který bude odvádět vodu do nových postranních odvodňovacích stok DN 250 s perforací š. 5 mm stejně jako u Žďárského tunelu. Je možné starou tunelovou stoku nahradit novou drenážní trubkou DN 300, která by byla usazena do betonového lože a



Obr. 38 – Desenský tunel, návrh nového podélného odvodnění

sloužila by dále jako trativod. Všechny nové drenáže budou obsypány štěrkem frakce 8/16.

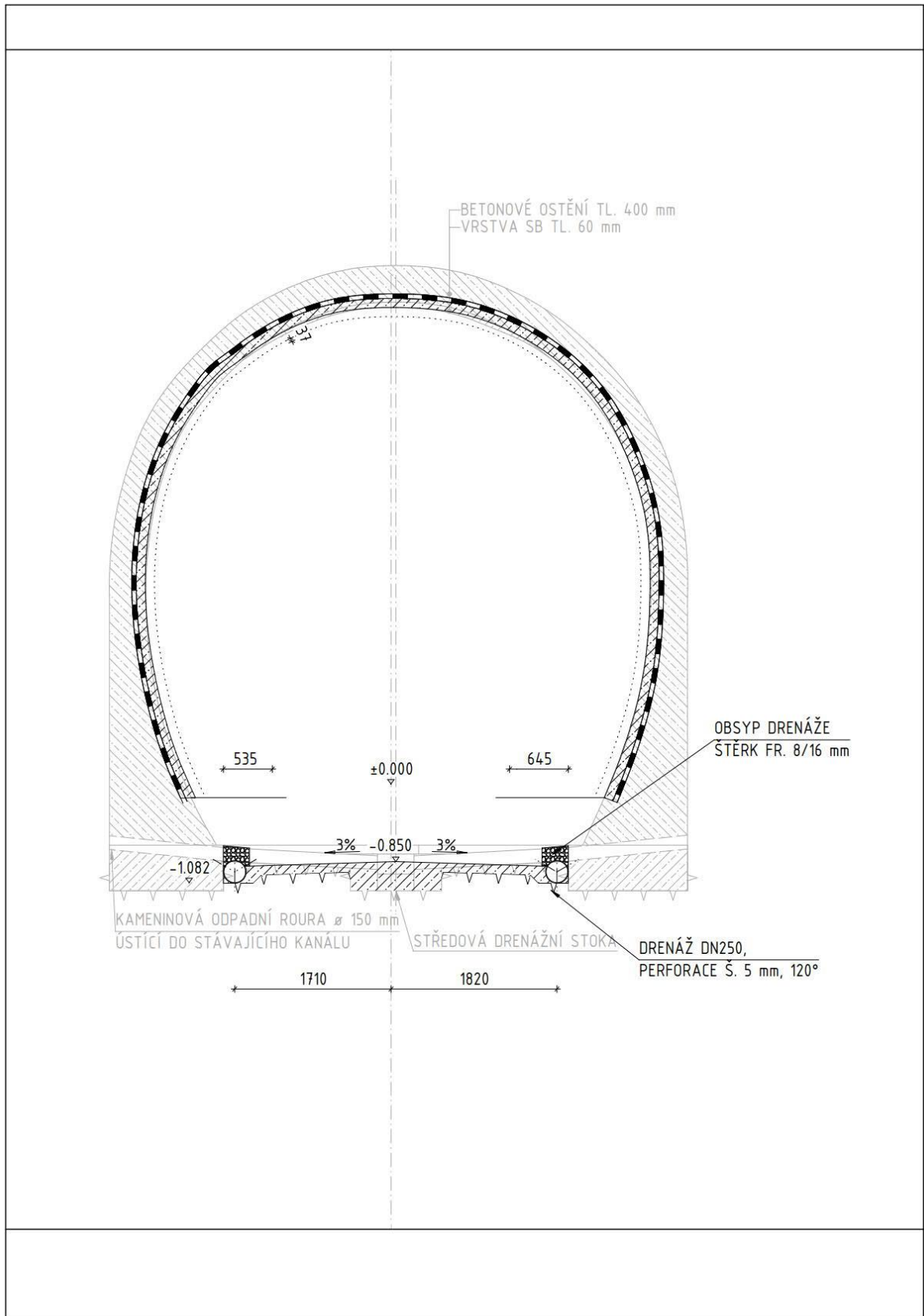
Místo kompletního nahrazení ostění v pasech 8 a 9 bylo navrženo vybourání pouze zhruba 150 mm ostění a následně nahrazení těchto 150 mm izolačním souvrstvím ze stříkaného betonu a stříkané izolace. Byla opět uvažována tolerance 100 mm.

Navíc oproti zadání byla v tunelové troubě navržena sanace průsaků betonového i kamenného ostění. Byly navrženy injektáže v místech průsaků v opěrách i v klenbě (na obrázcích jsou pouze ilustrativní, nejedná se o konkrétní místo na trati).

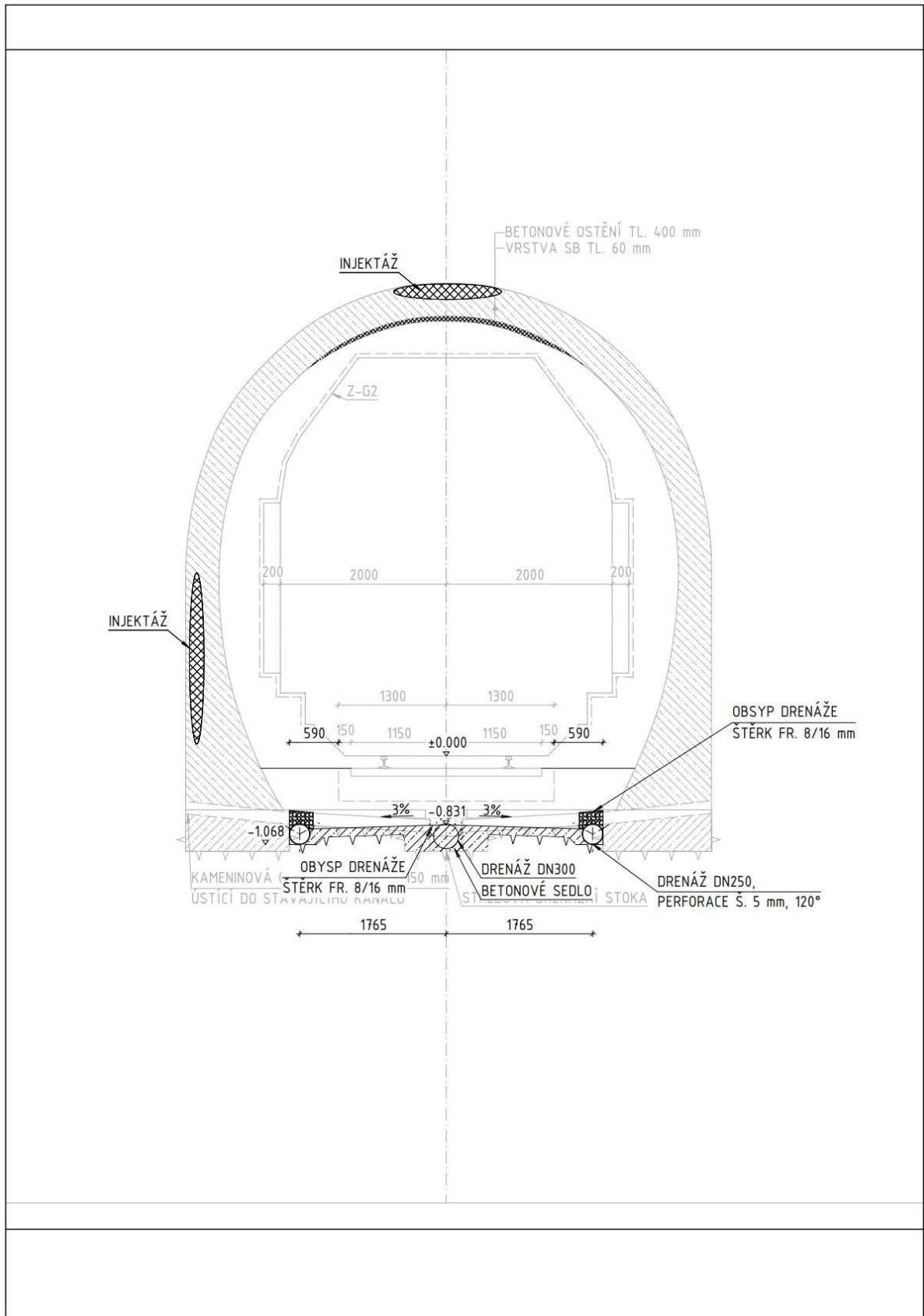
Dále bylo navrženo odstranění vrstvy stříkaného betonu v klenbě otryskáním v celé délce tunelu. Následně se budou injektovat i průsaky pod touto vrstvou, která se následně může nebo nemusí obnovit.

V pasech s kamenným ostěním bylo navrženo vyčištění a popřípadě obnovení příčných svodnic, které jsou místy zdegradované a popraskané. Dále bude systém svodnic doplněn (např. v místech průsaků mezi pasy). V místech, kde jsou průsaky obtížně řešitelné pomocí svodnic, jsou pak navrženy opravy ostění pomocí injektáže.

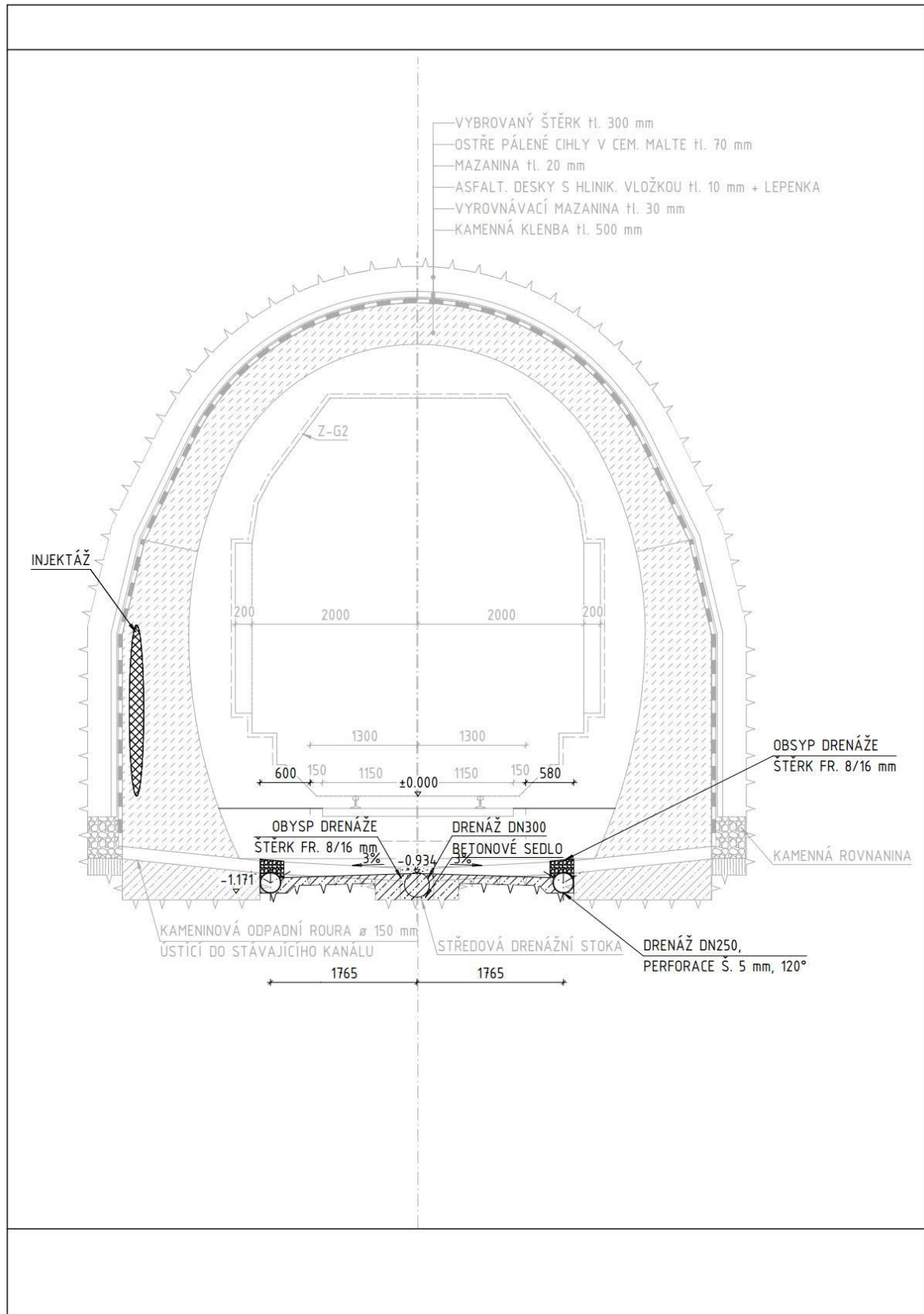
V portálových oblastech proběhne vyčištění a obnova podélného odvodnění. Portálové oblasti jsou jinak v poměrně dobrém stavu, takže zde nebyla navržena žádná další opatření.



Obr. 39 - Desenský tunel, oprava ostění v pasech č. 8 a 9



Obr. 40 - Desenský tunel, opravy v pasech s betonovým ostěním



Obr. 41 - Desenský tunel, opravy v pasech s kamenným ostěním

8. Dolnopolubenský tunel

8.1. Popis problémů

8.1.1. Tunelová trouba

V Dolnopolubenském tunelu má většina pasů kamenné ostění. Vady tohoto ostění jsou obdobné jako u předešlých tunelů, ale ve větším měřítku. Dochází zde k průsakům, které tvoří rozlehlá vlhká až mokrá místa na ostění viz obr. 42. Obdobná vlhká místa se vyskytují v celé délce tunelu.



Obr. 42 – Dolnopolubenský tunel, zavlhlé místo na kamenném ostění

V jednom pasu tunelu je ostění tvořeno stříkaným betonem. Na polovině tohoto pasu na stříkaný beton byla provedena vrstva sklolaminátu, která měla nejspíš



Obr. 43 – Dolnopolubenský tunel, stříkaný beton se sklolaminátovou vrstvou

zabraňovat pronikání vody. Tento stříkaný beton však během let rozpraskal působením vody a mrazu a vrstva sklolaminátu na něm popraskala také (viz obr. 43).

V portálovém pasu P2 je třetí typ ostění, které je tvořeno betonovými tvárnici. Na tomto typu ostění je vidět mírné zvětrání a zvlhlá místa, ale v porovnání se zbytkem tunelu jsou tyto vady poměrně malé. Ostění z betonových tvárníc je na obr. 44.



Obr. 44 – Dolnopolubenský tunel, betonové tvárnice

I u Dolnopolubenského tunelu byla vytvořena vrstva stříkaného betonu v klenbě ze stejného důvodu, jako tomu bylo v Desenském tunelu. Tato vrstva je zde opět značně zvětralá, místy je vidět výztužná síť, místy beton dokonce opadává. (obr. 45). V místech, kde voda vytéká, se tvoří výluhy, někdy i po celých délkách pasů.



Obr. 45 – Dolnopolubenský tunel, stříkaný beton v klenbě

Stejně jako u Žďárského tunelu je v záměru projektu pro Dolnopolubenský tunel pouze obnova podélného odvodnění tunelu v rámci opravy koleje.

8.1.2. Portálové oblasti

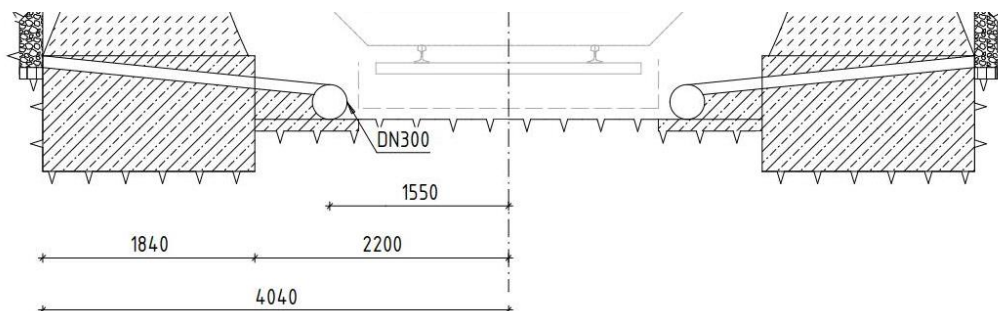
Venkovní práce se u Dolnopolubenského tunelu budou opět týkat především zárubních stěn ve výjezdovém předzářezu. Tyto stěny jsou betonové, stejně jako výjezdový portál. Jsou na nich známky výluhů v několika úrovních nad sebou a místy jsou stěny porostlé mechem. Pohled z tunelu na stěny je na obr. 46. Dále budou provedeny obvyklé práce, jako obnova odvodnění a odstranění náletové vegetace z portálových oblastí.



Obr. 46 – Dolnopolubenský tunel, pohled výjezdovým portálem

8.2. Systém oprav

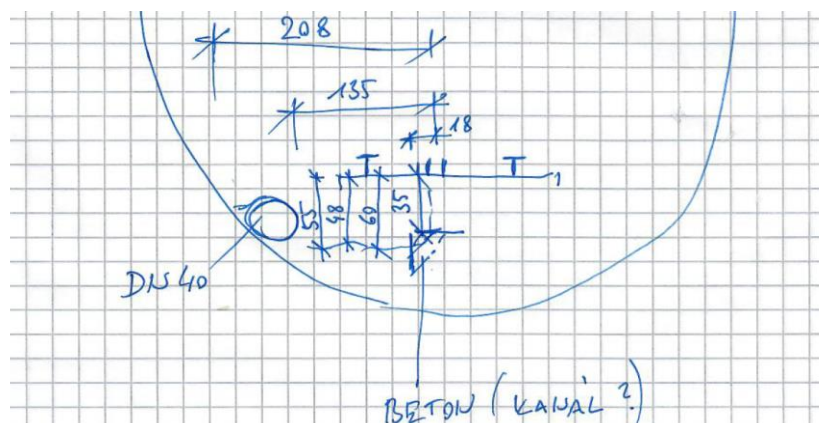
V Dolnopolubenském tunelu byly provedeny kopané sondy opět na dvou místech. Na začátku tunelu ve staničení km 30,424 a pak na konci tunelu ve staničení km 30,475. Předpoklad u Dolnopolubenského tunelu byly dvě podélné trubní odvodňovací stoky DN 300 při patách opěr. Jak je vidět z obrázku sondy, bylo navíc zastiženo nejspíš úplně původní odvodnění tunelu, které tvořila jedna středová stoka. Jinak se skutečný stav s předpokladem poměrně shoduje.



Obr. 47 – Dolnopolubenský tunel, předpoklad systému odvodnění z archivní dokumentace



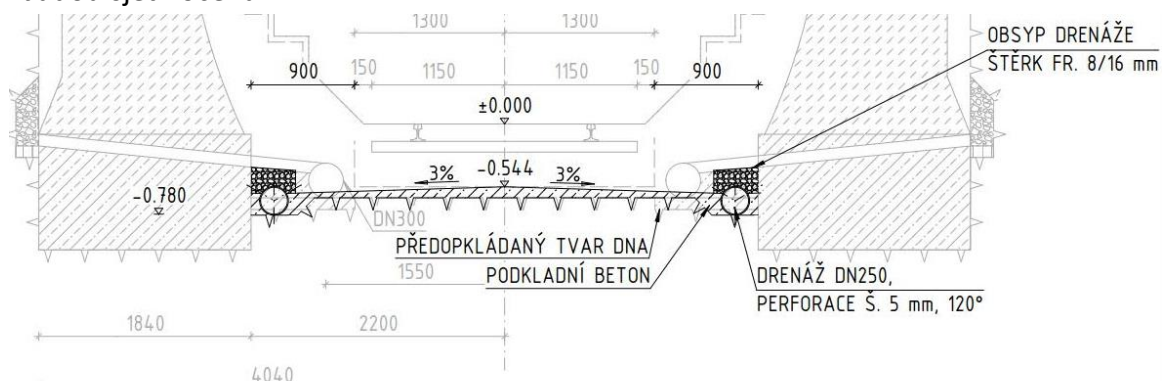
Obr. 48 – Dolnopolubenský tunel, kopaná sonda



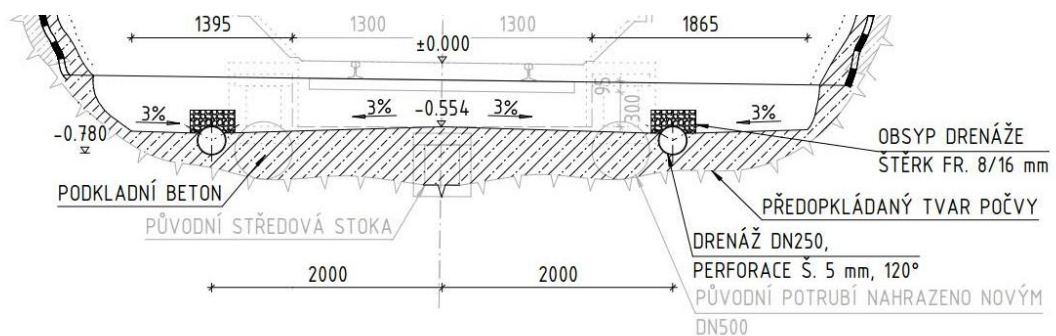
Obr. 49 - Dolnopolubenský tunel, skica z kopané sondy

Dle zadání byl v Dolnopolubenském tunelu vlastně jen jeden požadavek, a to obnova podélného odvodnění tunelu.

Obnova podélného odvodnění tunelu bude opět probíhat v rámci obnovy prostorové polohy koleje. Původní odvodňovací stoky DN 300 budou vyměněny za moderní perforované odvodňovací trubky DN 250 s perforací š. 5 mm. Ty budou umístěny 2 m od osy tunelu při patách opěr. Dno bude pomocí podkladního betonu upraveno do střechovitého sklonu 3 % a drenáž bude obsypána štěrkem frakce 8/16. V tunelu se nachází také druhý typ příčného řezu s původním podélným odvodněním pomocí trubek DN 500 nebo prefabrikovaných odvodňovacích stok. Všechna odvodnění budou sjednocena.



Obr. 50 – Dolnopolubenský tunel, obnova podélného odvodnění typ 1

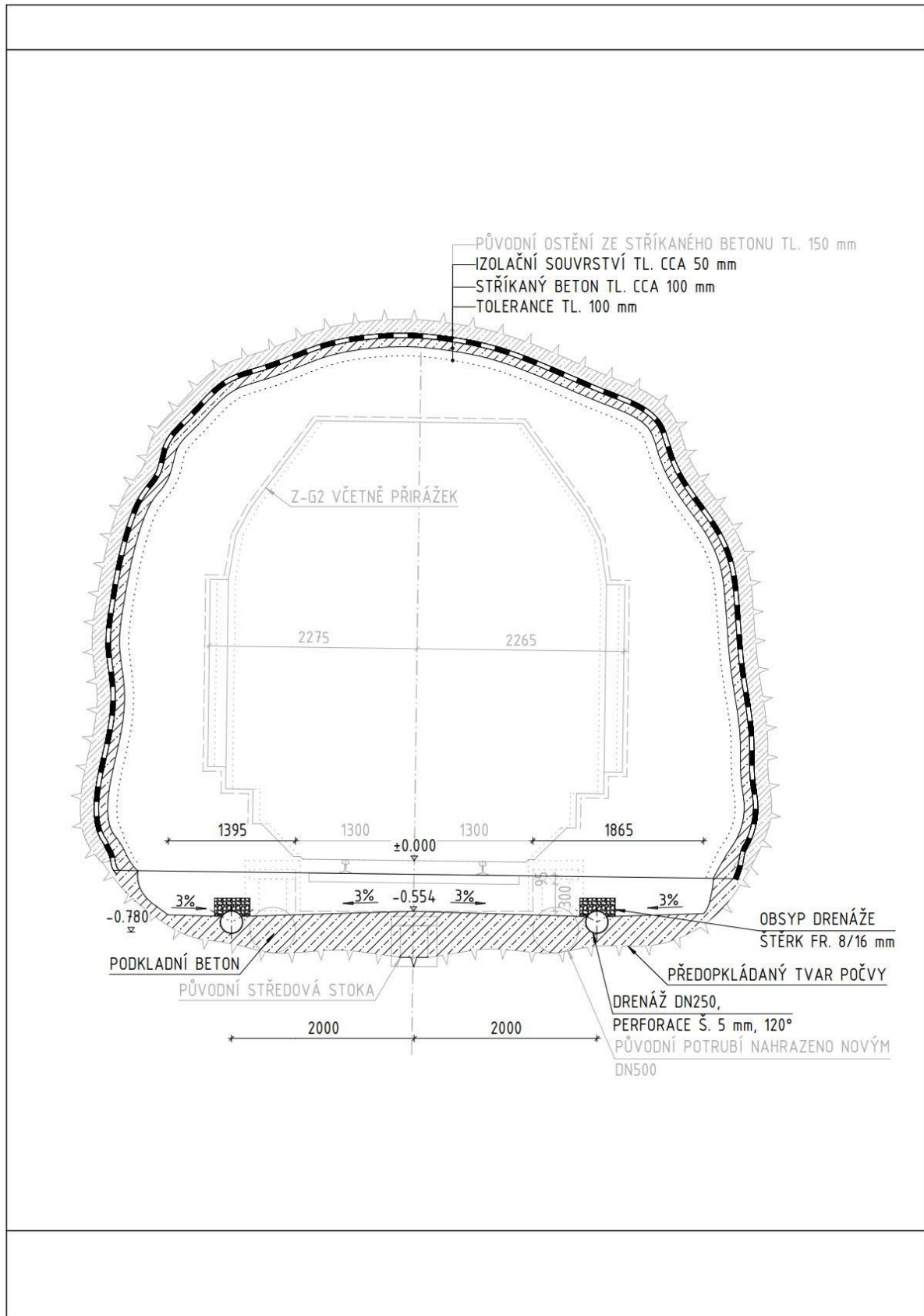


Obr. 51 - Dolnopolubenský tunel, obnova podélného odvodnění typ 2

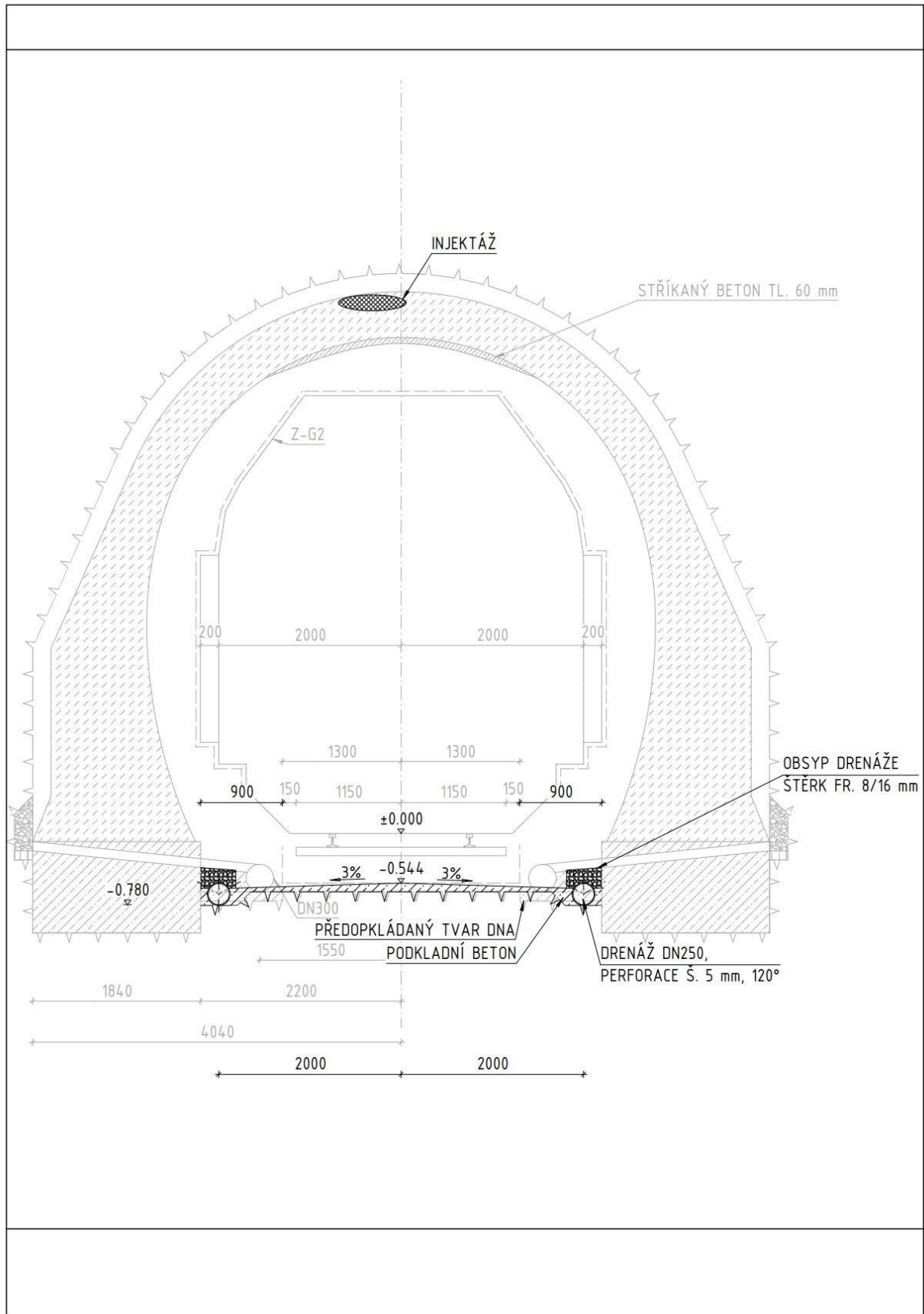
V pasu č. 3 byla navržena výměna ostění ze stříkaného betonu. Stávající ostění tvoří vrstva stříkaného betonu se sklolaminátovou pravděpodobně izolační vrstvou a je značně zdegradované a popraskané. Nový návrh zahrnuje odstranění vrstvy sklolaminátu a očištění degradovaného betonu. Dále bude provedeno nové ostění, které se bude skládat z izolačního souvrství a stříkaného betonu. Celková tloušťka nového ostění bude zhruba 150 mm. I u Dolnopolubenského tunelu je uvažována tolerance 100 mm.

Jako další opatření bylo navrženo odstranění vrstvy stříkaného betonu z klenby tunelu v celé délce. Z pod této vrstvy voda vytéká volně na ostění, vrstva stříkaného betonu je zdegradovaná a tvoří se zde výluhy. Po odstranění vrstvy budou injektáží sanovány průsaky vody v klenbě i na opěrách. Kamenné ostění je jinak v dobré kondici, tudíž nebyla navržena žádná další opatření. Vrstva stříkaného betonu může být po provedení sanací obnovena s vrstvou stříkané izolace.

Poslední opatření navržené u Dolnopolubenského tunelu jsou sanace betonových stěn v oblasti výjezdového portálu. U těchto stěn jsou patrné výluhy a je tedy zřejmé, že zejména v pracovních spárách protéká voda. Tyto stěny budou očištěny od zdegradovaného betonu pomocí otryskání a následně sanovány sanační maltou dle TKP. Dále bude provedeno odstranění drobné náletové vegetace z obou portálových oblastí a obnovení odvodňovacího systému.



Obr. 52 - Dolnopolubenský tunel, nové ostění v pasu č. 3



Obr. 53 – Dolnopolubenský tunel, sanace v pasech s kamenným ostěním

9. Polubenský tunel

9.1. Popis problémů

9.1.1. Tunelová trouba

V Polubenském tunelu je celkem pět druhů ostění – betonové tvárnice, stříkaný beton bez výztuže, stříkaný beton s výztuží, PREPAKT beton a pasy bez ostění, ve kterých tvoří ostění skalní líc.

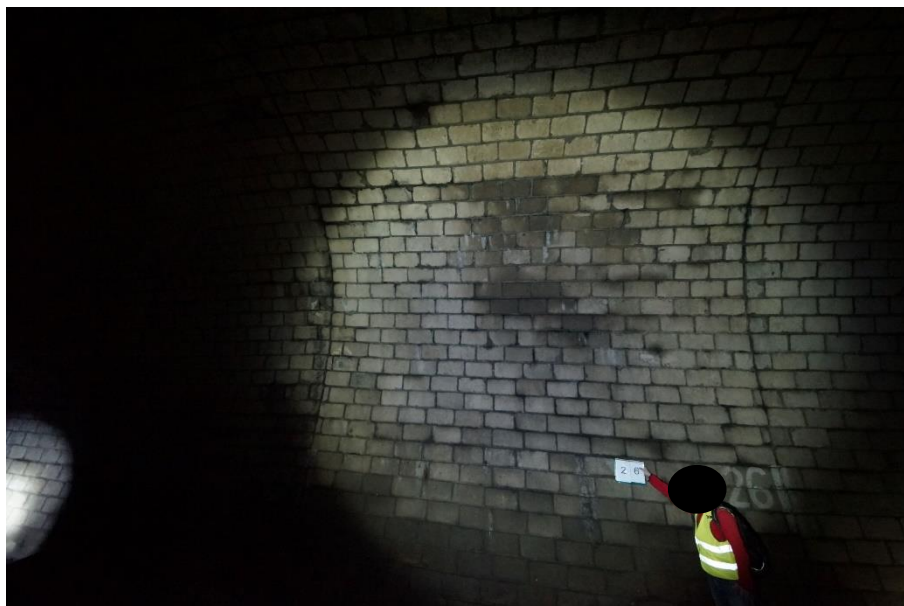
Nejdelší úsek tunelu tvoří ostění z betonových tvárnic. Na začátku tunelu je to úsek dlouhý zhruba 233 m, na konci pak úsek o délce zhruba 133 m. Uprostřed tunelu se typ ostění střídá. U tohoto typu ostění se vyskytují určité typické vady. První z těchto vad jsou zvlhlé paty opěr. Tuto vadu můžeme vidět na obr. 54. Tato vada je nejspíše způsobená zanesením a ucpáním trubek, které měly odvádět vodu z rubové drenáže ostění do podélného odvodnění. Tato voda si pak musí najít jinou cestu a často je to právě skrz ostění. Na obrázku vidíme, že místo není jenom zvlhlé, ale vyvěrá zde pramínek vody. Prosakující voda může časem vést k vyplavování jemného materiálu z ostění a k jeho degradaci.



Obr. 54 – Polubenský tunel, zvlhlá pata opěry

Zvlhlé často nejsou jenom paty, ale i místa přímo na opěrách nebo na klenbě. To je nejspíš zapříčiněno podobným problémem jako u zavlhlých pat. Rubová drenáž je zanesena jemnými částicemi z horninového masivu. Na místa, která ucpána nejsou,

působí tlak vyššího vodního sloupce a voda proniká do tunelu. Takové místo můžeme vidět na obr. 55. Tato místa v tunelu nejsou tak častá, jako právě zvlhlé paty.



Obr. 55 – Polubenský tunel, zvlhlá opěra

Třetí místo průsaků v tomto typu ostění je na rozhraní pasů. Izolace ve spáře mezi pasy bývá často porušená, což následně vede k průsakům, jak je vidět na obr. 56.



Obr. 56 – Polubenský tunel, průsak mezi pasy

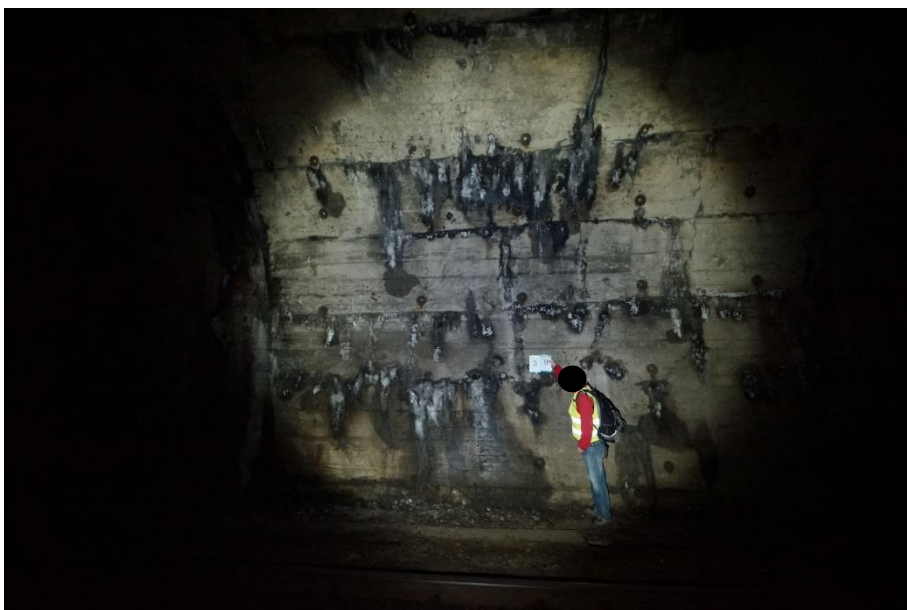
Poslední typickou závadou tohoto typu ostění je vypadávání tvárnic. Často se jedná o rohové tvárnice, které se časem uvolnily, nejedná se tedy o tvárnice přímo z klenby nebo opěr. Na obr. 57 vidíme typický příklad, kdy tvárnice vypadla z rohu

výklenku. Na tomto obrázku je také vidět degradace betonu výklenku. Část betonu v zadní stěně odpadla a vytvořila tak ve výklenku otvor.



Obr. 57 – Polubenský tunel, vypadlá tvárnice

Dalším typem ostění je ostění z PREPAKT betonu. Jedná se o betonové ostění z vybrovaného štěrku, který byl následně zmonolitněn na stavbě. U tohoto typu ostění se vyskytuje velký problém průsaků v pracovních spárách, které jsou mezi betonovými segmenty. Na obr. 58 jsou velmi patrné výluhy, které značí vodní průsaky. Tyto poruchy jsou pravděpodobně způsobeny použitím nekvalitního betonu, nedostatečnou izolací ve spárách mezi betonovými prvky a nekvalitním provedením celé konstrukce. V betonovém ostění byla vytvořena také místa, kterými voda měla pronikat z rubu na líc



Obr. 58 – Polubenský tunel, ostění z PREPAKT betonu

ostění. To pravděpodobně mělo mít za účel snížit celkový vodní tlak na ostění. Tato místa jsou patrná i na obrázku a je vidět, že voda jimi také proniká.

Dostáváme se ke dvěma nejvíce porušeným typům ostění v Polubenském tunelu, kterými jsou stříkaný beton s výztuží a bez výztuže. Oba typy ostění byly provedeny buď bez izolace, nebo s částečnou izolací přímo na skalní líc a pravděpodobně měly zabraňovat přímému zvětrávání horninového masivu. Toto řešení je z dnešního pohledu poněkud nešťastné. Dříve se jednalo o experimentální metodu a předpoklad byl, že ostění bude vodonepropustné. Působením vody a mrazu vrstva stříkaného betonu místy úplně degradovala do bodu, který je vidět na obr. 59 a 60. Na obrázcích je vidět, že ostění ze stříkaného betonu bez výztuže kompletně zdegradovalo a odpadlo. Na vrstvě stříkaného betonu byla podobně jako v Dolnopolubenském tunelu provedena vrstva sklolaminátu, která měla zřejmě zabránit průsakům vody. Tento materiál však popraskal spolu s betonem pod ním a voda tedy mohla prasklinami volně proudit. Obdobně zdegradovalo i ostění stříkaného betonu s výztuží, jak je vidět na obr. 61 a 62.



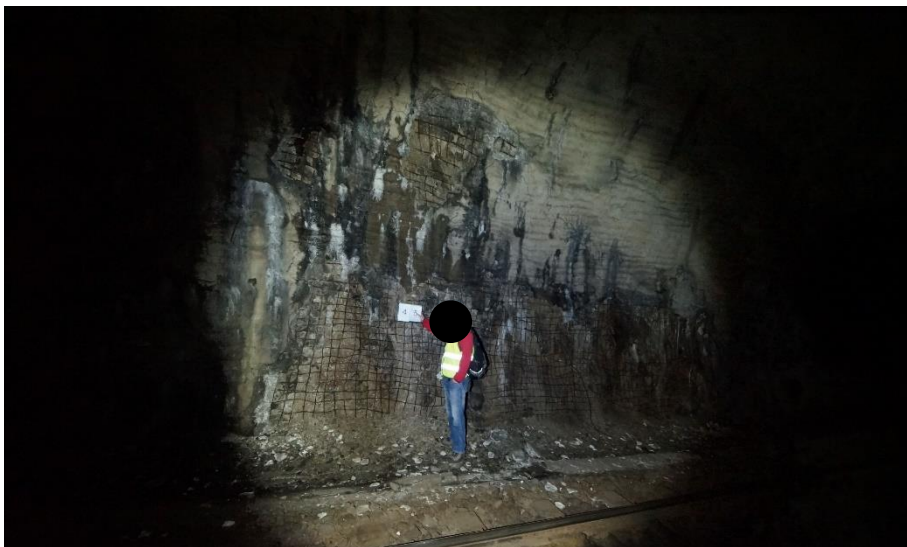
Obr. 59 – Polubenský tunel, stříkaný beton bez výztuže



Obr. 60 – Polubenský tunel, stříkaný beton bez výztuže



Obr. 61 – Polubenský tunel, stříkaný beton s výztuží



Obr. 62 – Polubenský tunel, stříkaný beton s výztuží

Na obrázcích je patrné, že se nejedná pouze o malé úseky, ale mnohdy o degradaci v celé délce pasů. Výztužná síť je v celé délce odhalená a zkorodovaná. Ostění v těchto případech už nemá žádnou statickou funkci ani funkci zabránění zvětrávání skalního líce.



Obr. 63 – Polubenský tunel, skalní líc se svodnicí



Obr. 64 – Polubenský tunel, vyvěrající voda

Pasy, ve kterých ostění není a tvoří ho tedy přímo horninový masiv, mají také svoje typické problémy. Jsou to především problémy týkající se zvětrání skalního líce. Tím následně proniká voda a v kombinaci s mrazem dále degraduje horninový masiv. Zvětralý skalní líc můžeme vidět v levé části obr. 63. V pravé části obrázku je pak vidět

starý systém svodnic. Je vidět, že svodnice se pravděpodobně v důsledku mrazu kompletně rozpadly. Dnešní typy svodnic mají v sobě většinou provazec nenasákavého pórovitého materiálu, který slouží právě k ochraně svodnice před mrazem (při zamrznutí vody se provazec stlačí a svodnice nepopraská). Navíc se dnešní svodnice také provádí s tepelně izolační vrstvou, která pomáhá k nezamrznutí vody. Tyto staré svodnice se vyskytují zhruba v polovině pasů bez ostění. Na dalším obr. 64 potom můžeme vidět typický průsak horninovým masivem. V tomto místě přímo ze skály vyvěrá pramínek vody, který v zimních měsících může způsobovat zaledování.

9.1.2. Portálové oblasti

Venkovní práce budou opět zahrnovat odstranění náletové vegetace. Oba portály jsou betonové a poměrně hustě porostlé vegetací. Odvodnění v obou předzářezech je poměrně hodně zanesené a bude vyžadovat obnovu (viz obr. 65)



Obr. 65 – Polubenský tunel, podélné odvodnění

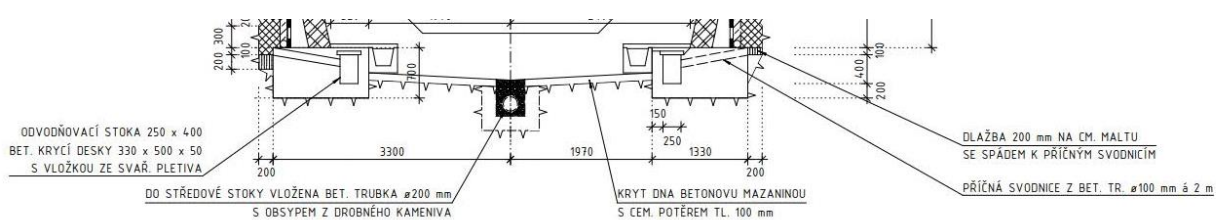


Obr. 66 – Polubenský tunel, zvětralá zárubní zeď

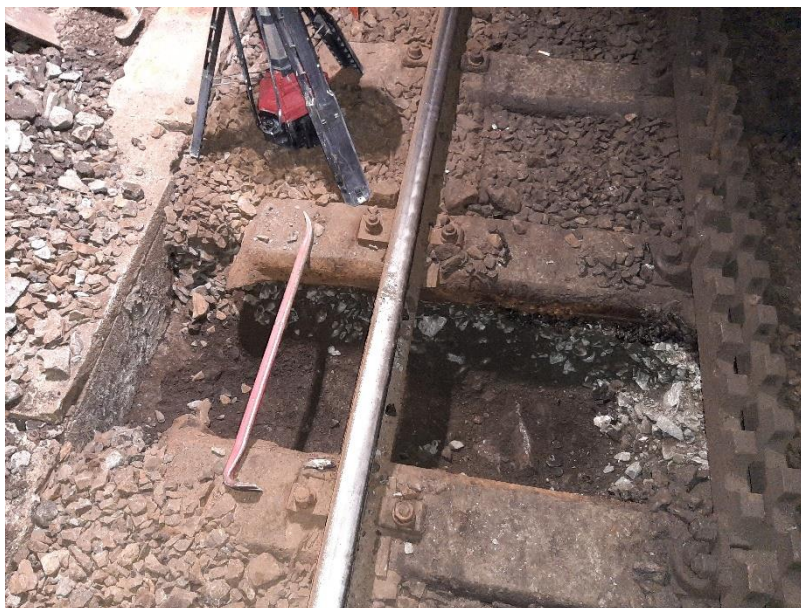
V obou předzářezech jsou dále betonové zárubní zdi, které jsou místy zvětralé a porostlé mechem a drobnou vegetací. Místy jsou na stěnách patrné výluhy, což značí průsaky vody. Místy beton dokonce odpadává z povrchu (viz obr. 66).

9.2. Systém oprav

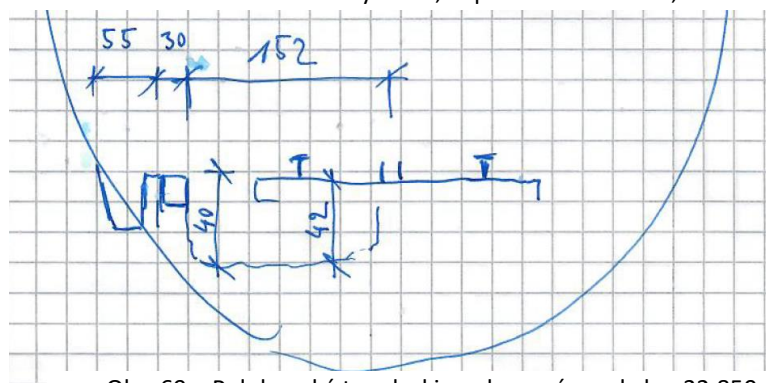
Kopané sondy v Polubenském tunelu byly celkem na třech místech, ve staničení km 32,700, v km 32,850 a v km 33,626. V tomto tunelu se podle archivní dokumentace měly nacházet dvě odvodňovací stoky při patách opěr a zároveň zde měla být zachována původní střední odvodňovací stoka, která měla sloužit jako trativod. Kopaná sonda tento předpoklad nepotvrdila, ale je to opět nejspíš v důsledku nedostatečné hloubky průzkumu. Hloubky průzkumných sond se v Polubenském tunelu pohybovaly mezi 30 a 40 cm pod niveletou pražce. V této hloubce bylo nalezeno skalní podloží, což opět mohl být kamenný kryt střední tunelové stoky.



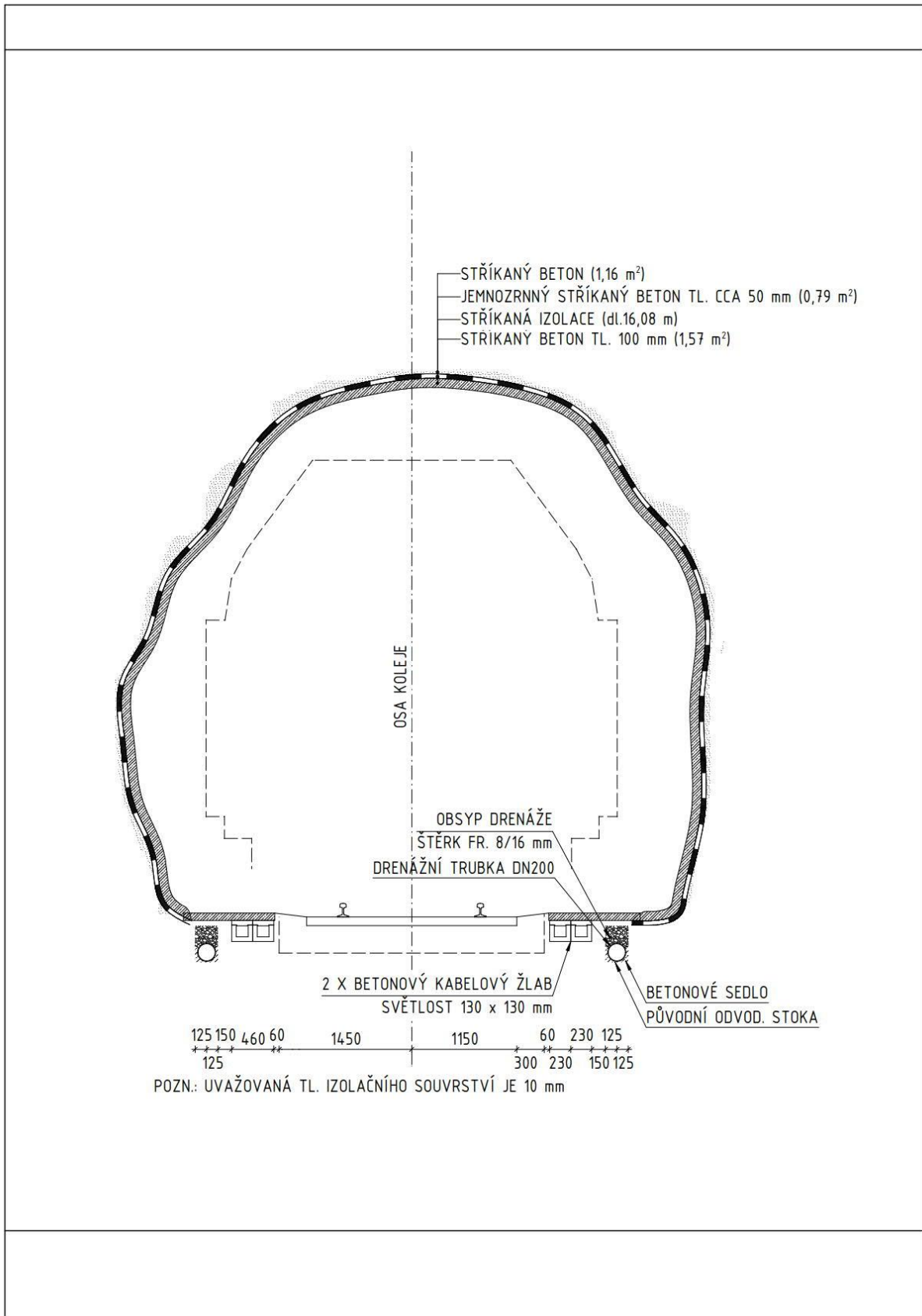
Obr. 67 – Polubenský tunel, předpokládaný stav tunelového odvodnění z archivní dokumentace



Obr. 68 – Polubenský tunel, kopaná sonda km 32,850



Obr. 69 – Polubenský tunel, skica z kopané sondy km 32,850



Obr. 72 – Polubenský tunel, nové ostění ze stříkaného betonu

10. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zdokumentování stávajícího stavu čtyř tunelů na trati Tanvald – Kořenov. Dalším cílem byl pak návrh sanací těchto tunelů v závislosti na poruchách, které se v tunelech nachází v dnešní době.

Všechny tunely byly vyraženy ve stejném časovém období (zhruba před 120 lety). Nejsou k dispozici dokumenty zaznamenávající způsob ražby, ale dá se předpokládat, že všechny tunely byly vyraženy stejným způsobem, protože mají obdobnou geologii a stejný světlý profil.

Nejdříve byla prostudována a zdokumentována archivní dokumentace, která zaznamenává předchozí opravy tunelů v období kolem roku 1960. Tyto opravy mnohdy řešily podobné problémy, se kterými se v tunelech setkáváme i dnes. Největší problémy způsobuje voda, která prosakuje rozpukaným horninovým masivem liberecké žuly. V předchozích opravách byly použity různé experimentální metody pro izolaci tunelů. Některé z těchto metod se dnes běžně používají (viz např. stříkaný beton), ale v předchozích opravách byly použity nesprávně (byl použitý nekvalitní materiál nebo nekvalitu způsobila problematická technologie výstavby apod.). Tyto nedostatky vedly k potřebě opravných prací v dnešní době (tedy zhruba o 60 let později).

Dnešní stav tunelů byl fotograficky zdokumentován během dvou pochůzek. Fotodokumentace zachycuje každý jednotlivý pas každého tunelu, zároveň jsou také zaznamenány detaily závažných poruch. Dále byly v tunelech provedeny kopané sondy, ze kterých je rovněž dostupná fotodokumentace. Kopané sondy jsou zatím jediným typem průzkumných prací, které byly v tunelech provedeny.

Z fotodokumentace současného stavu tunelů je patrné, že zadání správy železnic, ve kterém se ve dvou ze čtyř tunelů mělo jednat pouze o obnovu podélného odvodnění, neodpovídalo stavu tunelů. Současné vady, zaznamenané v tunelech jsou zapříčiněny v drtivé většině průsaky vody do tunelů. Voda způsobuje degradaci většiny typů ostění, které byly v tunelech použity a mimo jiné také zaledování, což byl také hlavní důvod pro opravu posledního Polubenského tunelu.

Z výše uvedených důvodů jsou v této bakalářské práci navrženy typy sanací pro různé typy ostění v jednotlivých tunelech. Při návrhu sanací byly využity zkušenosti z

oprav tunelů realizovaných v minulosti. Obnova podélného odvodnění všech tunelů byla navržena tak, aby odvodňovací systém byl jednotný a zároveň funkční a snadno čistitelný. Sanace ostění izolačním souvrstvím ze stříkaného betonu a stříkané izolace byla konzultována s projektanty. Navržené opravy byly již prezentovány investorovi, který s doplňujícími pracemi v tunelech souhlasil.

Seznam použité literatury a ostatních zdrojů:

Publikace

- [1] HORÁK, V., MATĚJÍČEK, J. a LACINA, J. SANACE TUNELŮ: METODICKÁ PŘÍRUČKA PRO PŘÍPRAVU SANACÍ TUNELŮ [online]. Brno, 2016 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: https://www.ita-aites.cz/files/edice_CTuK/161209-sanace-tunelu.pdf
- [2] DRBOHLAV, M. PROHLÍDKY A HODNOCENÍ ŽELEZOBETONOVÝCH MOSTŮ: INSPECTION AND ASSESSMENT OF REINFORCED CONCRETE BRIDGES [online]. Brno, 2014 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=89690. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. PETR CIKRLE, Ph.D.
- [3] ŠAMÁNKOVÁ, M. Studium interakcí infiltračních vod na kontaktu ostění tunelu a horninového prostředí [online]. Brno, 2009 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/buuxf/BAKALARSKA_PRACE.pdf. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. Masarykova univerzita. Vedoucí práce doc. RNDr. Josef Zeman, CSc.
- [4] PROKEŠ, P. Historie trati [online]. 2005 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <http://www.zubacka.cz/index.php/zubacka/o-trati/63-historie-trati>
- [5] PROKEŠ, P. Popis trati [online]. 2005 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <http://www.zubacka.cz/index.php/zubacka/o-trati/62-popis-trati>
- [6] KUBÍČEK. TECHNICKÁ ZPRÁVA: Rekonstrukce Žďárského tunelu. Brno, 1965
- [7] TECHNICKÁ ZPRÁVA: Rekonstrukce Desenského tunelu. Turnov, 1956
- [8] TECHNICKÁ ZPRÁVA: Rekonstrukce Dolnopolubenského tunelu. 1960
- [9] ZITTA. TECHNICKÁ ZPRÁVA: Rekonstrukce Polubenského tunelu. Praha, 1957
- [10] KLOMÍNSKÝ, J., KACHLÍK, V. Popelnice [online]. 2004 [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <http://lokality.geology.cz/2000>
- [11] JIRKOVÁ, P. Horní Kořenov – kamenný hřib [online]. 2009, 2018 [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <http://lokality.geology.cz/3119>
- [12] BAYER, R. ZÁMĚR PROJEKTU: Neinvestiční akce – Oprava trati v úseku Tanvald - Kořenov. 2020.
- [13] TECHNICKÁ ZPRÁVA: Rekonstrukce Desenského tunelu. Turnov, 1957
- [14] ZÁVORA, K. TECHNICKÁ ZPRÁVA: Přestavba Polubenského tunelu. Praha, 1959
- [15] Handbook for Composite Shell Lining design with MasterSeal 345 [online].