

REKONSTRUKCE DOLNOLUČANSKÉHO TUNELU, OD PRVNÍCH PŘEDSTAV O ŘEŠENÍ PRŮSAKŮ PO VÝSTAVBU NOVÉHO TUNELU

L. Mařík

SAGASTA s.r.o., Praha, Czech Republic

ABSTRAKT: V železniční síti České republiky je velké množství tunelů postavených ve druhé polovině 19. století a ve 20. století v období do druhé světové války. Jedná se o historicky i technicky zajímavé stavby, jejichž stav však mnohdy neodpovídá současným nárokům na bezpečné provozování a údržbu tunelu. K zásadním problémům patří nedostatečná prostorová průchodnost, nevyhovující stav systému hydroizolace a drenáží a v mnoha případech i stav obezdívky tunelu. Cílem článku je ukázat na příkladu Dolnolučanského železničního tunelu nejen principy návrhu technického řešení, ale i mechanismy rozhodování při řešení nejistot spojených s celou řadou neznámých okrajových podmínek a z nich vyplývajících rizik. Možnost sledovat vývoj projektu od studie až po realizaci umožňuje hodnotit v každé etapě podrobnost dostupných podkladů a tomu odpovídající návrh technického řešení. Velmi cenné je pak porovnání předpokladů projektu se skutečně zastiženými geotechnickými podmínkami při výstavbě i komplikace, které vzhledem k omezené možnosti přístupu na stavbu i stísněným prostorovým podmínkám před oběma portály i v jednokolejném tunelu ztěžovaly vlastní provádění.

1. ÚVOD

Dolnolučanský železniční tunel vyžaduje již delší dobu, vzhledem ke špatnému technickému stavu při zajištění bezpečnosti provozu v zimním období, mimořádnou pozornost. Jedná se o jednokolejný tunel délky 82,5 m, který se nachází mezi stanicemi Jablonecké paseky a Lučany nad Nisou, jen 260 m od hranice Chráněné krajinné oblasti Jizerské Hory. Od vjezdového západního portálu trať podchází v nadmořské výšce 590 m Stolní vrch a stoupá ve sklonu 2,65 % směrem k Tanvaldu. V letním období nic nenasvědčuje problémům, které nastávají úderem mrazů. Podzemní voda prosakující porušeným těsněním spár v obezdívce tunel v krátkém čase mění v ledovou jeskyni. Rampouchy délky přesahující 1 m a voda mrznoucí mezi kolejemi vyžaduje každodenní kontrolu. Správa železnic se proto rozhodla zařadit tento tunel do seznamu objektů vyžadujících rekonstrukci.

2. HISTORIE VÝSTAVBY TUNELU

Tunel leží na trati z Jablonce nad Nisou do Tanvaldu, která byla uvedena do provozu v roce 1894 jako součást železničního spojení Liberec – Tanvald – Harrachov a sloužila k propojení Rakouska-Uherska s Pruskem. Polohu tunelu v zájmovém území ukazuje mapa na obrázku 1.

Z doby výstavby tunelu se nedochovala žádná dokumentace, není známa tunelovací metoda ani podrobnosti z výstavby, které by poskytovaly představu o skutečném tvaru výrubu, tvorbě nadvýrubů, kvalitě horninového masivu, přítocích vody apod. Lze však předpokládat, že byl použit obdobný postup výstavby, jako u tunelů realizovaných na této trati v obdobných geotechnických podmínkách, ke kterým se dobovou dokumentací podařilo v archivech vypátrat.

Technologické možnosti především z hlediska možností vrtání a použití trhacích prací na přelomu 19. a 20. století neumožňovaly v porovnání se současnými možnostmi strojního vybavení dosažení přesného tvaru výrubu. Tvorbu nadvýrubů mohla výrazně ovlivnit blokovitá odlučnost žuly a stupeň jejího porušení zvětráváním. Historické zdroje z výstavby tunelů na trati Tanvald – Kořenov, které byly raženy v obdobných geotechnických podmínkách uvádějí, že k trhání skal byl použit Nobelův dynamit, plastický dynamon a tam, kde jejich účinky nepostačovaly, střelná želatina. Skalní vrtáky byly vyrobeny z tvrzené oceli a na 1 metr délky tunelu jich muselo být naostřeno až 1800 ks. Průměrný denní výkon ražby

dosahoval 1,15 m. Pomalým postupem, a zejména velkým časovým odstupem mezi provedením záběru a podepřením horninového masivu obezdívkou, tak mohlo docházet k rozvolňování horninového masivu v okolí výrubu. Tehdejší aktivace obezdívky pouze zakládka nezajišťuje účinné podepření výrubu, čímž může docházet v kombinaci s vodou k další dlouhodobé a nekontrolovatelné degradaci horninového masivu za rubem stávající obezdívky. Všechny tyto skutečnosti mohou hrát roli při rekonstrukci tunelu a návrhu způsobu zajištění jeho dlouhodobé stability a vodonepropustnosti.



Obrázek 1 Situování tunelu v území

3. GEOLOGICKÉ A GEOMORFOLOGICKÉ POMĚRY

Zájmové území se nachází v Jizerské hornatině, jež je podcelkem orografického celku Jizerských hor náležejících do Sudetské soustavy (podsoustava Západní Sudety). Železniční trat Liberec – Tanvald protíná v zájmovém území plochý hřbet Páseckého vrchu s vyvinutou hřbetní plošinou cca 80 m širokou. Sklon plošiny je velmi malý – v podélném směru hřbetu je plošina ukloněna pod úhlem 1° – 3° směrem k severu, v kolmém směru se sklon postupně zvyšuje ze střední části přibližně na 3° , přičemž vodorovná část dosahuje v prostoru nad tunelem šířky cca 30 m. Sklon úbočí rovněž není velký – 10° směrem západním a 13° směrem východním. Malý sklon úbočí má za následek značnou délku skalních zářezů před portály, které dosahují hloubky až 21 m.

Dolnolučanský tunel a jeho předzářezy, jsou vyhloubeny v žulách západní části Krkonoško-jizerského žulového masívu. Krkonoško-jizerský masív vystupuje v jádře klenby starších krystalických břidlic algonkického a staropaleozoického stáří. Žulový masív představuje těleso utuhlé ve velké hloubce, které bylo pozdější geologickou činností vyzdviženo a jeho velká část obnažena. Jeho odkrytá část má tvar ležaté osmičky délky 70 km a šířky 8 až 23 km. Masív je petrograficky jednotvárný, budovaný žulami převážně hrubě až středně zrnitými, složenými z křemene, draselného živce, plagioklasu a biotitu, v menším množství, zejména v jižní části, též muskovitu a amfibolitu.

Hloubka zvětrávání žul v zájmovém území je nestejná, její proměnnost je dána prostoupením značného množství poruch, podél nichž zvětrávání postupuje do velkých hloubek. Celkově je stupeň narušení horniny ve vyšetřovaném prostoru značný – bloky zdravé horniny lze v zářezích nalézt jen ojediněle. Ve stěnách zářezů před portály převládá hornina zvětralá a navětralá, existují i úseky se zcela rozloženou horninou přes celou výšku stěn. Na strmých stěnách skalního zářezu stále dochází k uvolňování bloků horniny, které bez zajištění ohrožují bezpečnost provozu. Uvolněný blok horniny z boku skalního zářezu zachycený ve vysokopevnostní síti ukazuje obrázek č. 2.



Obrázek 2 Blok horniny zachycený ve vysokopevnostní síti na boku skalního zářezu

4. STÁVAJÍCÍ STAV TUNELU

Tunelová trouba je v celé délce zajištěna obezdívkou ze žulových kvádrů. Zdivo je silně zavodněné, hydroizolační i drenážní systém tunelu není funkční. Do tunelu i skalních zářezů před oběma portály proniká puklinová voda. To se projevuje masivními průsaky a vyluhováním malty ze spár zdiva. Lokálně tak dochází k narušování stability jednotlivých bloků obezdívky. V některých úsecích dochází zřejmě vlivem horninového tlaku k mírnému boulení zdiva na bocích tunelu. Jako celek je však tunel stabilní a statická funkce obezdívky není narušena, jak ukazuje obrázek č. 3. V portálových pasech č. P1 a č. P2 jsou v klenbě výrazné příčné trhliny šířky až 30 mm viditelné na obrázku č. 4. Spárování zdiva je v těchto pasech vypadané, kvádry zdiva jsou povrchově zvětralé.



Obrázek 3 Stav obezdívky v suchém období



Obrázek 4 Vertikální trhliny v ostění

Zvodnění celého tunelu, vzhledem k malé výšce nadloží a charakteru porušení horninového masivu, výrazně ovlivňují klimatické podmínky. Srážková voda z povrchu území se s malou časovou prodlevou objevuje v tunelu. Při jarním tání, kdy je masiv v této horské oblasti vodou průběžně dotován, je problém

dlouhodobější a tvorba rampouchů a ledopádů, zasahujících až do koleje, vyžaduje každodenní údržbu
Stav tunelu v zimním období ukazuje obrázek č. 5.



Obrázek 5 Masivní zalednění tunelu průsaky podzemní vody

Tento stav má negativní dopad do výše provozních nákladů spojených se zajištěním bezpečnosti provozu. Podle závěrů z podrobných prohlídek je ostění v klenbě zamokřené a může docházet až k proudění vody charakteru deště.

Vzhledem k délce tunelu se podmínky u portálů a uvnitř tunelu výrazně nemění a v zimním období dochází k promrzání v celé jeho délce. Tunelové pasy uvnitř tunelu mají proto obecně obdobné závady jako v oblasti portálů, tj. vypadané spárování zdiva a průsaky v celé ploše obezdívky. Technický stav tunelu odpovídá době jeho výstavby a skutečnosti, že nosná konstrukce ani hydroizolační a drenážní systém nebyl v průběhu provozování tunelu sanován.

V rámci rekonstrukce trati Liberec – Tanvald v roce 2015 byla pouze obnovena středová tunelová stoka, která sbírá obezdívkou prosakující vodu a gravitačně ji odvádí ve sklonu tratě k portálu. V celém tunelu byl v rámci rekonstrukce použit nový železniční svršek 49 E1, použity betonové pražce B91S/2 s pružným upevněním kolejnic 49E1 R350HT a bezстыková kolej. Pro tunel je uváděn průjezdný průřez J-GC Z3. Kolejové lože je šterkové, neznečištěné. Tunelem vedou kabely sdělovacího a zabezpečovacího zařízení, jejichž funkci je nutné při rekonstrukci zachovat.

5. CÍL REKONSTRUKCE

Vzhledem k dlouhodobě nevyhovujícímu stavu tunelu, vyžadujícího náročnou údržbu v drsných klimatických podmínkách, ve kterých lze vlivem průsaků a mrazových cyklů očekávat zrychlování tempa degradace obezdívky, se investor Správa železnic rozhodl pro vytvoření záměru projektu pro jeho rekonstrukci. Pokud by byl záměr projektu schválen, předpokládá se rychlý postup dalších stupňů projektové dokumentace a zahájení stavebních prací v polovině roku 2023.

Návrh rekonstrukce tunelu musí splňovat jasně dané okrajové podmínky. Celá stavba musí být situována na pozemcích Správy železnic, s. o. Umístění stavby na pozemcích jiných vlastníků je možné až po odsouhlasení objednatelem na základě opodstatněného návrhu projektanta. Sanací tunelu dojde k výraznému omezení nebo úplné eliminaci průsaků, zamezí se tvorbě rampouchů, ledopádů a zalednění koleje. Navržená opatření zajistí

prodloužení životnosti tunelu minimálně o 50 let. Zvážena měla být i možnost zřízení normou požadovaných záchranných výklenků pro zaměstnance vykonávající údržbu tunelu.

Vzhledem k tomu, že železniční svršek v tunelu byl rekonstruován v roce 2015, nesmí dojít k jeho poškození. Kolejová pole budou při rekonstrukci v nezbytně nutné délce demontována, uskladněna a po rekonstrukci znovu použita. Nesmí proto dojít ani ke změně geometrické polohy koleje. Ta bude po dokončení rekonstrukce provedena opět jako bezстыková. V tunelu budou použity vodonepropustné kabelovody pro umístění kabelů sdělovacího a zabezpečovacího zařízení, včetně revizních šachet před oběma portály.

Zadání projektu umožňovalo po vyhodnocení stávající situace i úplnou rekonstrukci tunelu, včetně odstranění stávající obezdívky, obnovení hydroizolačního a drenážního systému a zvětšení průjezdného průřezu na tunelový průjezdný průřez. V takovém případě bylo požadováno i prověření možnosti zvětšení tunelu pro případnou elektrizaci tratě.

Projektant tak musel po posouzení stávajícího stavu rozhodnout, zda se vydá cestou na první pohled méně nákladných oprav stávajícího stavu, nebo cestou kompletní rekonstrukce, která je sice náročnější na investiční náklady, lze však očekávat vyšší efektivnost vynaložených investičních nákladů i výrazně vyšší životnost díla. Proto předcházela vypracování záměru projektu podrobná studie variant, která zohledňovala známé informace o stavu tunelu, jeho údržbě a podmínky dané zadávací dokumentací. V rámci studie byla proto posuzována možnost opravy stávající obezdívky i možnost kompletní rekonstrukce tunelu.

6. PODKLADY PRO ROZHODOVÁNÍ O VOLBĚ VARIANTY

Podle pravidel objednatele není možné před schválením záměru projektu provádět stavebně-technické průzkumy ke zjištění stávajícího stavu objektu a horninového masivu. Je proto nutné vycházet z dostupných archivních podkladů a místních šetření. Pro rozhodování o návrhu technického řešení rekonstrukce tunelu je optimální zajistit:

- a) Informace o prostorové průchodnosti trati v tunelu, aby bylo možné vyhodnotit možnost použití dodatečných vestaveb pod stávající obezdívkou, které by případně splnily očekávané požadavky na stav tunelu po rekonstrukci.
- b) Informace o geologických a hydrogeologických podmínkách v trase tunelu a skalních zářezích, které v oblasti portálů na tunel bezprostředně navazují a ovlivňují tak celkový návrh technického řešení. Geotechnické podmínky jsou rozhodující i pro případný návrh odstranění stávající tunelové obezdívky, zajištění stability výrubu a návrh nového monolitického ostění.
- c) Informace o dimenzích a materiálových vlastnostech tunelové obezdívky s ohledem na posouzení její únosnosti a případné možnosti sanace.
- d) Informace o použité tunelovací metodě s ohledem na skutečný tvar výrubu za ostěním a na konstrukční systém tunelu, tj. mocnost a kvalitu zakládky za ostěním. Ta jednak ostění vůči výrubu aktivuje, jednak tvoří součást drenážního systému a odvádí podzemní vodu k patě klenby tunelu. Dále informace o systému zajištění vodonepropustnosti obezdívky, poloze příčných drenáží, které odvádějí podzemní vodu do střední tunelové stoky a v neposlední řadě i o tvaru a poloze počvy tunelu s ohledem na konstrukci železničního spodku a svršku.

Z hlediska prostorové průchodnosti bylo známé pouze to, že tunel vyhovuje na průjezdný průřez J-GC-Z3, nebyla však známa tolerance mezi tímto průjezdným průřezem a lícem tunelové obezdívky. Dílčí informace o geologických a hydrogeologických podmínkách bylo možné zjistit z dochovaného stavebně-technického průzkumu, který byl prováděn firmou GEOTEST Brno v roce 1989. Výsledky tohoto průzkumu poskytly i informace o tloušťce stávající tunelové obezdívky. Velkou neznámou však byly a jsou informace o použité tunelovací metodě, skutečné poloze líce výrubu a přítocích podzemní vody do výrubu, která následně protéká spárami ve zdivu.

7. PROSTOROVÁ PRŮCHODNOST A TOLERANCE OBEZDÍVKY

Podle požadavků zadávací dokumentace musí být u všech variant sanací prověřeno dosažení průjezdného průřezu Z-GC/J-GC případně Z-GCZ3. Při návrhu způsobu sanace nebo rekonstrukce tunelu

hraje zásadní roli geometrický vztah mezi průjezdným průřezem a lícem stávající obezdívky tunelu. S ohledem na možnost kompletní rekonstrukce tunelu, s odstraněním stávajícího ostění a obnovou hydroizolačního i drenážního systému, byla prověřena prostorová průchodnost i pro tunelový průjezdný průřez (TPP) podle požadavků normy ČSN 737508, a to jak ve variantě s trakčním nástavcem (s ohledem na požadavek neomezení elektrifikace trati podle zadávací dokumentace), tak bez trakčního nástavce s ohledem na minimalizaci výše investičních nákladů.

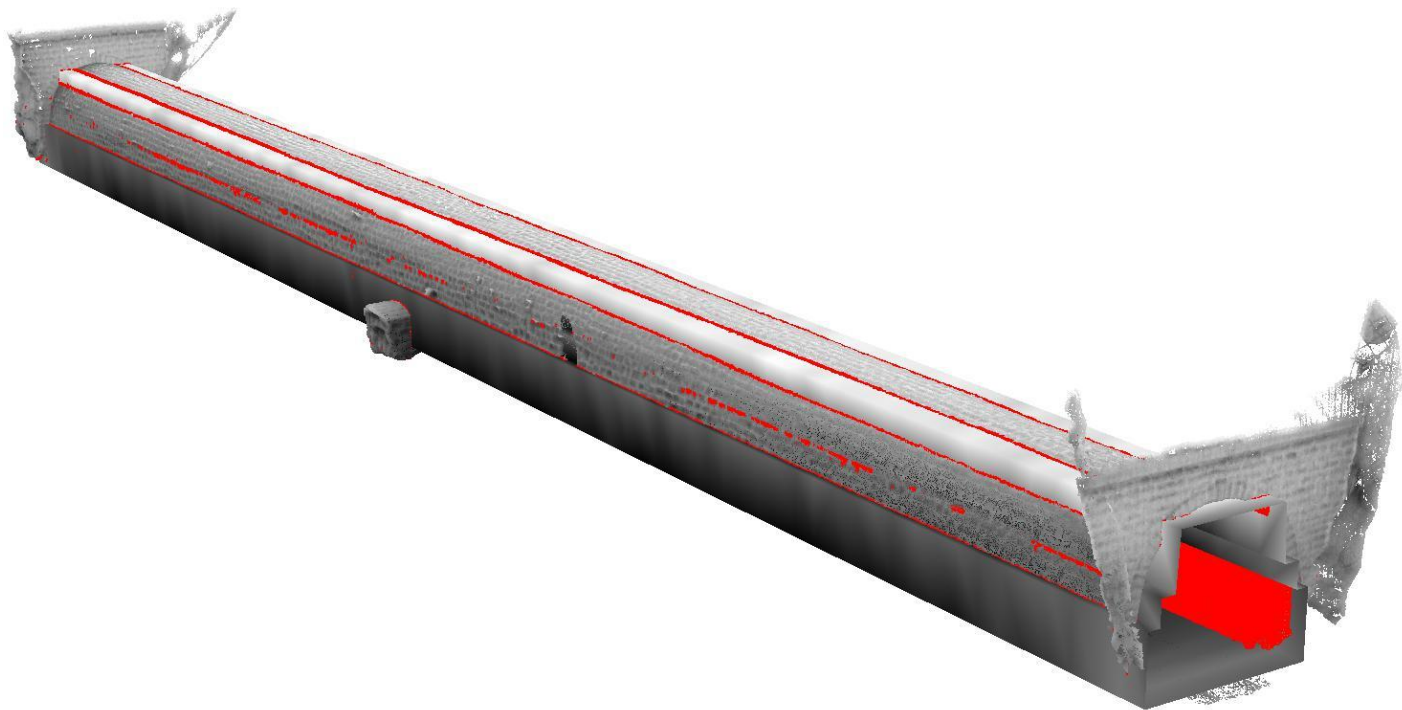
Pro potřeby projektové dokumentace bylo provedeno přesné zaměření skutečné polohy ostění pomocí laserového skenování mračnem bodů z laserového skeneru Trimble SX10. Georeferencované skeny byly převedeny do jednotného mračna bodů. Dalším krokem byla finalizace mračna bodů. Po stanovení maximálního rozsahu mračna, následovalo očištění mračna od šumu a výběr bodů na líc ostění a portály. Výsledné mračno bylo „naředěno“ na minimální vzdálenost mezi body 10 mm, což bylo pro potřeby prověření prostorové průchodnosti zcela dostačující.

Z mračna bodů byl vytvořen 3D model líce tunelové obezdívky. Do modelu byla vložena 3D osa koleje a na osu koleje byly postupně „navlečeny“ jednotlivé vyšetřované průjezdné průřezy.

Prostorová průchodnost byla po naskenování líce ostění prověřována pro tyto průjezdné průřezy:

- a) Tunelový průjezdný průřez s trakčním nástavcem (ČSN 737508)
- b) Tunelový průjezdný průřez bez trakčního nástavce (ČSN 737508)
- c) Průjezdný průřez Z-GC
- d) Průjezdný průřez Z-G2
- e) Průjezdný průřez Z-GC Z3
- f) Průjezdný průřez M-GC

Pro porovnání vzájemné geometrické polohy průjezdného průřezu a líce obezdívky byl použit program CloudCompare, který vyhodnocení provádí číselně na celé ploše obezdívky s možností vizuální kontroly na 3D modelu. Příklad vizuální kontroly kolizních bodů líce ostění a průjezdného průřezu ukazuje obrázek č. 6.



Obrázek 6 Vyhodnocení kolize průjezdného průřezu s 3D modelem mračna bodů líce ostění

S jistotou jsou tak zachyceny všechny kolize průjezdného průřezu a tunelu. Vzhledem ke stísněným prostorovým poměrům v tunelu byl průjezdný průřez do 3D modelu zadán s nulovou tolerancí, ačkoli se běžně uvažuje s tolerancí 50 mm. Přesto vyhodnocení všech 3D modelů ukázalo, že bez změny geometrické polohy koleje nelze prostorovou průchodnost tunelu zajistit pro žádný z prověřovaných

průjezdných průřezů. Protože navazující traťové úseky změnu polohy koleje vylučují, byl zřejmé, že pod stávající klenbou tunelu nelze provádět žádná opatření, která by polohu stávajícího líce obezdívky vůči průjezdnému průřezu ještě zhoršila.

8. GEOLOGICKÉ POMĚRY V TRASE TUNELU

Informace o geotechnických podmínkách jsou převzaty z jediného dostupného podkladu, kterým je posudek firmy GEOTest Brno z června 1989. Předmětem dokumentu bylo posouzení horninového masívu, v němž je Dolnolučanský tunel vyražen, zjištění stavu obezdívky tunelu a stanovení charakteristik masívu jak v tunelu, tak na stěnách obou předzářezů tunelu, za účelem určení stability jejich stěn.

Posouzení charakteru horninového masívu za ostěním tunelu bylo provedeno v průduších vytvořených v obezdívce. Z celkem 81 vyšetřovaných průduchů bylo možno zjistit ve 48 průduších charakter horniny. Ve zbývajících 33 průduších byla zastižena zákládka nebo zához vyplňující volný prostor mezi obezdívkou a výrubem. Jediným místem, kde je v tunelu vidět obnažený horninový masiv, jsou zadní stěny dvou záchranných výklenků, jak ukazuje obrázek č. 7.



Obrázek 7 Hornina v záchranném výklenku

Hornina budující masív v prostoru Dolnolučanského tunelu je v nenarušeném stavu velmi pevná, její pevnost se však postupujícím zvětráváním značně snižuje. Toto snížení pevnosti a zhoršení dalších důležitých fyzikálních a mechanických vlastností ukazuje Tabulka č. 1, obsahující výsledky zkoušek vzorků odebraných při průzkumu pro nedalekou přehradu Josefův Důl na řece Kamenici. Vzhledem k tomu, že zkouškami byly zjišťovány vlastnosti stejného horninového typu, mají uvedené hodnoty platnost i pro horniny vyšetřovaného prostoru Dolnolučanského tunelu.

Tab. 1 Geotechnické parametry horninového masívu

<i>Stupen narušení horniny</i>	<i>Jednotky</i>	<i>Nenarušená</i>	<i>Navětralá</i>	<i>Zvětralá</i>
--------------------------------	-----------------	-------------------	------------------	-----------------

Hustota	[kg/m ³]	2 620	2 620	2 510
Hustota pevných částic	[kg/m ³]	2 670	2 610	2 640
Pevnost v tlaku po vysušení	[MPa]	130	70	42
Pevnost v tlaku po nasycení	[MPa]	107	57	32
Pevnost ve střihu po vysušení	[MPa]	48	32	31
Pevnost ve střihu po nasycení	[MPa]	20	13	14
Pevnost v tlaku po zmrazení	[MPa]	103	67	30
Nasákavost	[%]	0,79	0,82	1,46
Hutnost	[%]	98,12	99,24	95,07
Pórovitost	[%]	1,88	0,76	4,93
Odolnost proti mrazu	[%]	0,21	0,36	1,62
Otluk	[%]	40,00	32,80	76,00

Vyhodnocení vzorků odebraných v rámci průzkumu z hlediska stupně zvětrání horniny uvádí tabulka č. 2. Protože ve 33 místech byla zastižena zakládka a nebylo možné horninu posoudit, je procentuální hodnocení provedeno jak pro celkový počet odběrných míst (81), tak z míst se zastiženou horninou (48).

Tab. 2 Vyhodnocení sond za ostěním – stupeň zvětrání masivu

Stupeň zvětrání	Četnost výskytu	Z celku [%]	Ze zastižených [%]
Zdravá	2	2,5 %	4,2 %
Zdravá až navětralá	3	3,7 %	6,3 %
Navětralá	13	16,0 %	27,1 %
Navětralá až zvětralá	3	3,7 %	6,3 %
Zvětralá	10	12,3 %	20,8 %
Zvětralá až rozložená	9	11,1 %	18,8 %
Rozložená	8	9,9 %	16,7 %
Nezastižena (zakládka)	33	40,7 %	-
CELKEM	81	100 %	100,0 %

Za navětralou horninu se považuje hornina, která má zachovaný původní stav i vzhled. Pouze malá část minerálů je částečně zvětralá, zdravé minerály se navzájem dotýkají. Podle tohoto hlediska horniny se zdravým skeletem jsou zastoupeny 41 %, zatímco horniny se skeletem postiženým tvoří 59 % z odebraných vzorků.

Informace o horninovém masivu byly v roce 1989 prováděny pouze pro patu ostění (29 sond bylo situováno do výšky cca 0,5 m) a pro bok ostění do výšky max. 4,2 m nad úroveň tunelové stezky. Pro vrchol klenby nejsou dostupné žádné informace o vlastnostech horninového masivu, ani o velikosti nadvýrubů.

9. STAV A ZJIŠTĚNÉ ZÁVADY TUNELOVÉ OBEZDÍVKY

V rámci stavebnětechnického průzkumu byl rovněž vyšetřován stav obezdívky. Bylo zjištěno, že obezdívka je celkově v dobrém stavu s výjimkou portálových úseků, kde jsou patrné trhliny jdoucí napříč tunelovou troubou. Jejich příčinou je zřejmě existence nepříznivě orientovaných diskontinuit v nadloží, které ohrožují stabilitu stěn před portály a zdiva vlastních portálů. Stabilita skalních stěn před portály byla následně sanována pomocí vysokopevnostních sítí upevněných ke skalnímu líci pomocí SN svorníků, což zlepšuje smykové parametry horninového masivu.

U vjezdového portálu byly v portálovém pase P1 zjištěny dvě trhliny. Výraznější trhlina je vzdálena 1,6 m od líce portálu. Ve vrcholu klenby je rozevřena až na 20 mm, směrem do boků se rozevření zmenšuje na několik mm. U počvy není tato trhlina zřetelná. Další trhlina je ve vzdálenosti 2,5 m od líce portálu a

prochází levou polovinou klenby, v bocích není patrná. V sousedním tunelovém pase č. 1 prochází ve výšce 3,3 m ve spáře zdiva vodorovná trhлина délky cca 3,5 m. Trhлина je rozevřena 2 mm. V tunelovém pase č. 2 se nachází rovněž podélná trhлина, která je patrná na levém boku tunelu ve výšce 4,5 m a rovněž prochází spárami ve zdivu. Výjezdový portálový pas P2 je porušen obdobně jako vjezdový. V blízkosti portálu prochází dvě příčné trhliny, které jsou však mírně šikmé. V klenbě přecházejí do pravé opěry. Další trhлина 2 m od líce portálu v klenbě přechází částečně do opěr. V celé ploše obezdívky je pak zdivo postiženo vypadaným spárováním a spárami v době zvýšených srážek protéká voda.

10. MOŽNOSTI SANOVÁNÍ STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE

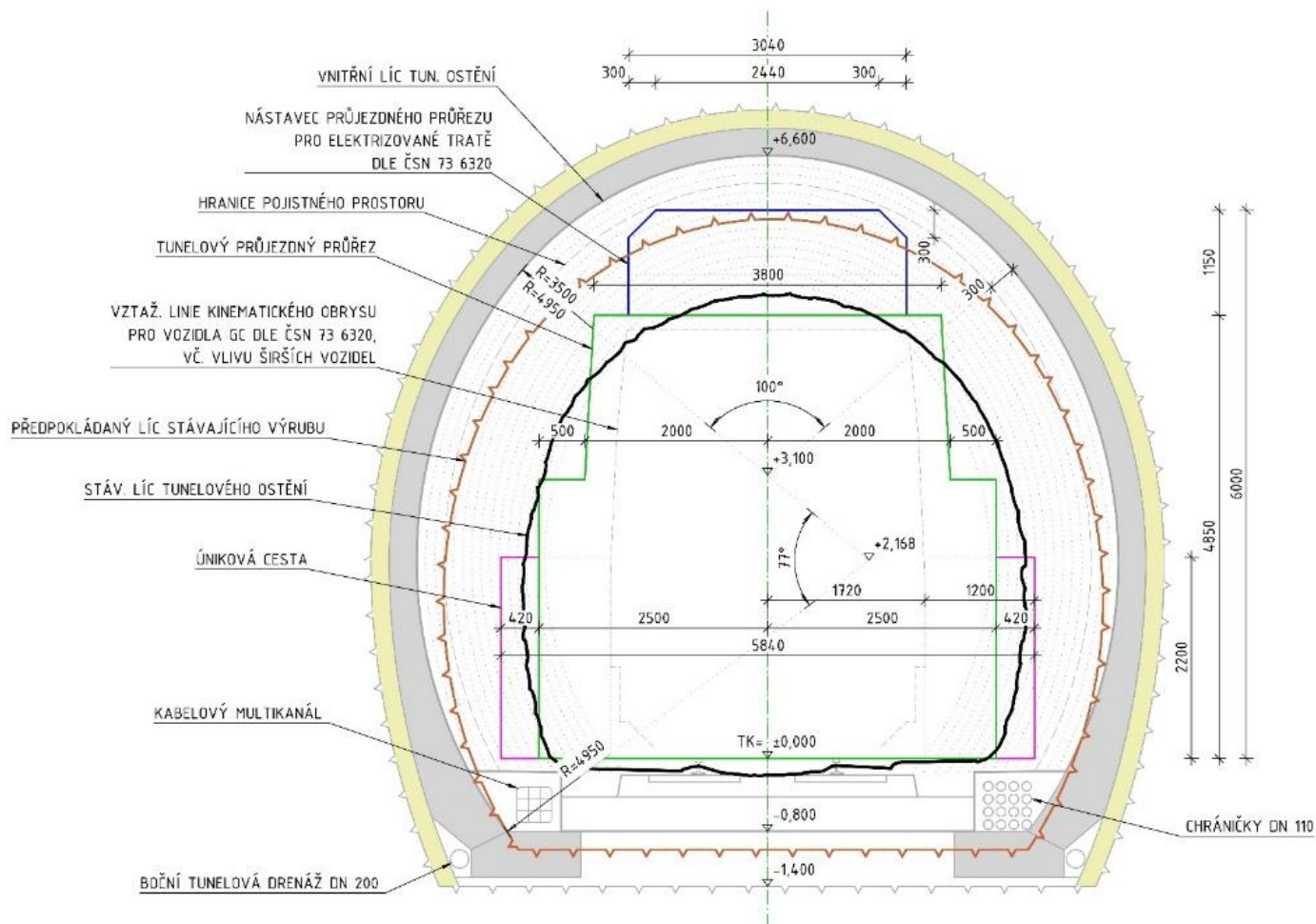
Z dostupných podkladů a znalostí o stavu tunelové obezdívky, horninového masivu i hydroizolačního systému bylo zřejmé, že dosažení požadovaných parametrů tunelu, bez výrazného zásahu do jeho konstrukčního řešení, je prakticky vyloučené. Horninový masiv je tektonicky porušený a voda z povrchu území velmi rychle obezdívkou prosakuje v celé délce tunelu. Utěsnění horninového prostředí injektážemi, které by zajistilo v tunelu podmínky zaručující bezpečný provoz, by bylo velmi nákladné a výsledný efekt tohoto opatření by byl nejistý. Původní hydroizolační a drenážní systém tvořily těsné spáry mezi žulovými kvádry obezdívky a zakládka za klenbou, která sváděla podzemní vodu po obezdívce k patě tunelu a příčnými drenážemi do střední tunelové stoky. Hloubkové spárování zdiva by mohlo na nějaký čas zaručit vodotěsnost klenby, nelze ho však provádět na celou hloubku ložné spáry mezi kvádry. Určitým řešením by mohlo být nízkotlaké injektování spár obezdívky, aby injektážní směs nepronikla za rub klenby. To by jednak vedlo k nekontrolovatelné spotřebě injektážní hmoty, jedna by došlo k porušení drenážní funkce zakládky. Bylo by rovněž nutné pečlivě zainjektovat všechny spáry zdiva, protože při injektování lokálních míst s největšími průsaky by si s největší pravděpodobností voda opět našla cestu sousedními spárami. Vzhledem k časové náročnosti tohoto řešení, velké spotřebě materiálu, a opět nejistému výsledku vynaložené investice, byla i tato varianta zamítnuta. K rozhodnutí o kompletní rekonstrukci jako nejvýhodnějšímu řešení pro Dolnolučanský tunel výrazně přispěla i skutečnost, že prověření prostorové průchodnosti trati nevyhovělo pro žádný ze sledovaných průjezdných průřezů.

11. VARIANTY KOMPLETNÍ REKONSTRUKCE TUNELU

Rozhodnutí o kompletní rekonstrukci tunelu s odstraněním původní obezdívky, zvětšením plochy výrubu a obnovou hydroizolačního systému nastartovalo proces optimalizace technického řešení. Předmětem optimalizace byla potřebná doba výstavby a dispoziční řešení tunelu. V obou případech se jedná o faktory ovlivňující výši investičních nákladů. Pro posouzení bylo navrženo pět variant, z nichž některé vyžadovaly projednání výjimky z platné normy ČSN 737508 Železniční tunely. Tato norma pro případ kompletní rekonstrukce vyžaduje splnění celé řady konstrukčních detailů a opatření, která by v případě pouhé sanace stávajícího stavu nebyla nutná dodržet. K posouzení byla předložena jedna varianta s tunelovým průjezdným průřezem s trakčním nástavcem (varianta „0“) a čtyři varianty bez trakčního nástavce (varianty 1 až 4), které se lišily různými způsoby omezení oproti předpisům.

11.1 VARIANTA „0“ S TRAKČNÍM NÁSTAVCEM

Rozšíření tunelu pro variantu s trakčním nástavcem znamenalo zvětšení plochy výrubu z 42 m² na 63 m², tj. o 21 m² a zvýšení stávajícího líce výrubu ve vrcholu klenby o 1,15 m. V celé délce tunelu to znamená vytěžení 1 666 m³ horniny, zvýšení seismických účinků při rozpojování horniny pomocí trhacích prací a výrazný zásah do portálových svahů s ohledem na snížení výšky nadloží o požadované nadvýšení profilu tunelu. Tato varianta splňovala veškeré požadavky normy a nebylo tak nutné projednávat žádné výjimky. Příčný řez znázorňuje obrázek č. 8.



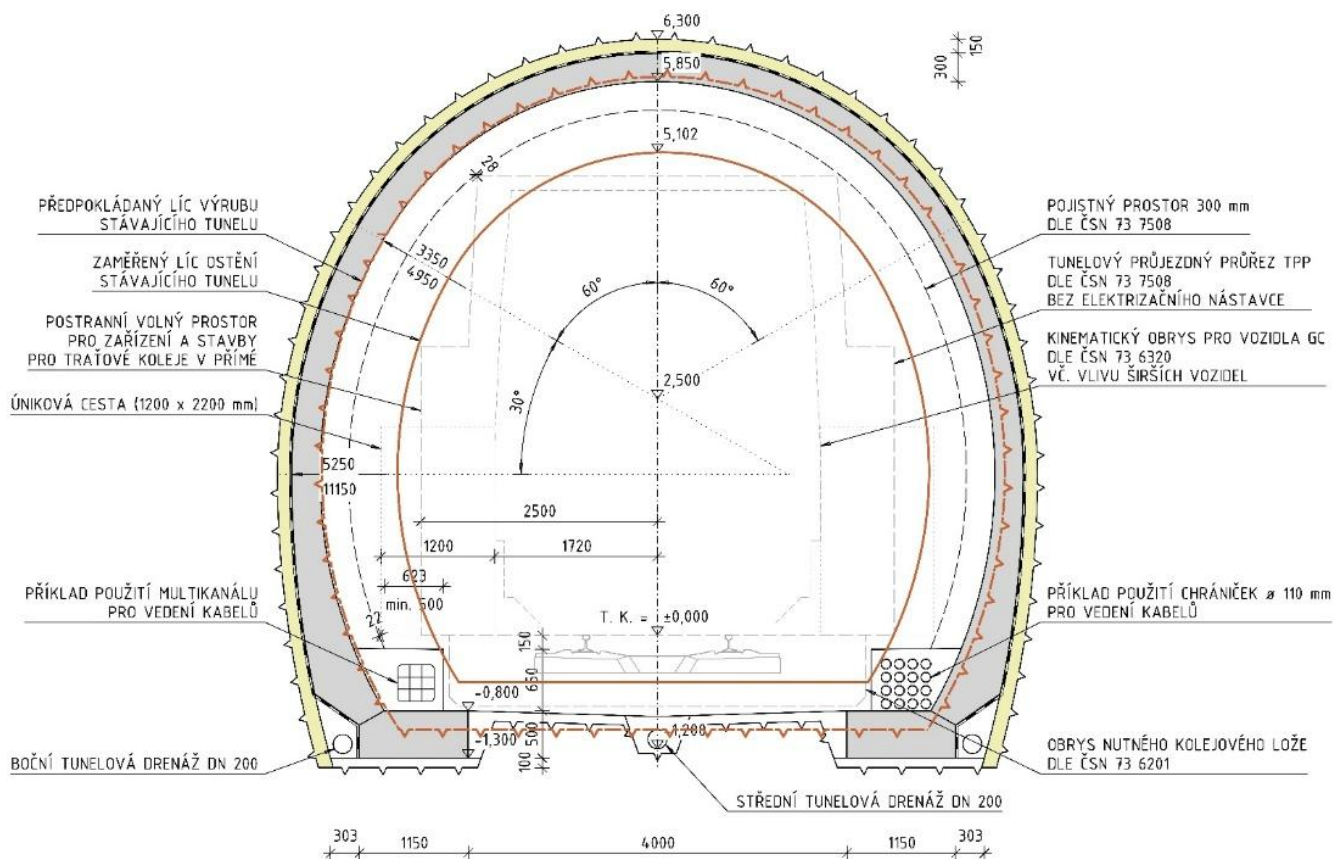
Obrázek 8 Příčný řez pro variantu „0“ s trakčním nástavcem

11.2 VARIANTA Č. 1

V případě varianty č. 1 je tvar příčného řezu navržen pro tunelový průjezdný průřez dle ČSN 737508 bez trakčního nástavce. Z hlediska dispozičního řešení příčného řezu má tunel optimální tvar, který zaručuje dostatek místa pro chodníky a kabelovody. Normová šířka pojistného prostoru je 300 mm. Patky výšky 0,5 m a šířky 1,15 m jsou umístěny -0,8 m pod TK ve vzdálenosti 2,0 m od osy koleje. Tunel je navržen s bočními tunelovými drenážemi a deštníkovým hydroizolačním systémem. Odvedení vody z plně je zajištěno středovou tunelovou drenáží (viz obrázek č. 9). Navržené technické řešení plně odpovídá požadavkům ČSN 737508 a platným předpisům.

VAR. 1

R1 = 3,35 m, POJISTNÝ PROSTOR 300 mm, PATKY -1,3 m



VÝMĚRY NA BM TUNELU [m³, m²]

OBJEM PŮVODNÍHO VÝRUBU	42,136	OBJEM NOVÉHO VÝRUBU	51,737
OBJEM BOURANÉHO OSTĚNÍ	8,037	OBJEM VÝRUBU ROZŠÍŘENÍ	9,681
OBJEM ZAKLÁDKY	5,290	PLOCHA STŘÍKANÉHO BETONU	19,425
OBJEM ŠTĚRKU DŇA	3,525	OBJEM BETONU NOVÉHO OSTĚNÍ	7,070
		PLOCHA HYDROIZOLACE	19,666
		OBJEM BETONU KABELOVODŮ	0,745

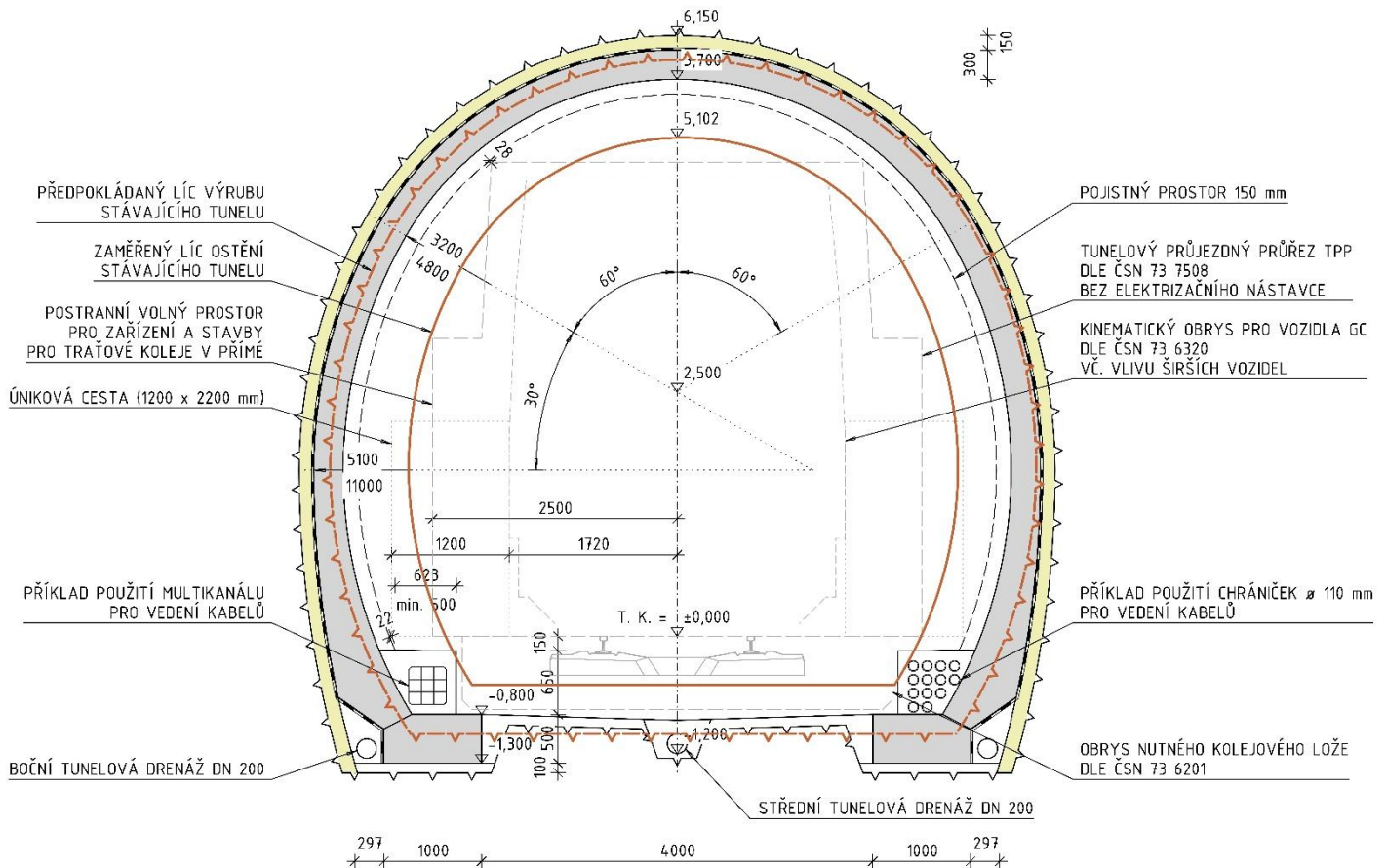
Obrázek 9 Vzorový příčný řez – varianta 1

11.3 VARIANTA Č. 2

Varianta č. 2 je modifikací varianty č. 1 s použitím šířky pojistného prostoru 150 mm. Tvar dna výrubu pod kolejí je stejný jako u varianty č. 1, šířku patky je možné vzhledem ke zmenšení pojistného prostoru zmenšit na 1,0 m vlivem posunutí líce ostění k ose tunelu o 150 mm (viz obrázek č. 10). Úspora oproti variantě č. 1 na 1 bm tunelu je 0,25 m³ betonu sekundárního ostění a 2,95 m³. Úspory je dosaženo za cenu výjimky z normy ČSN 737508 pro šířku pojistného prostoru. Všechny další požadavky norem a předpisů jsou zachovány.

VAR. 2

R1 = 3,2 m, POJISTNÝ PROSTOR 150 mm, PATKY -1,3 m



VÝMĚRY NA BM TUNELU [m³, m²]

OBJEM PŮVODNÍHO VÝRUBU	42,136	OBJEM NOVÉHO VÝRUBU	48,789
OBJEM BOURANÉHO OSTĚNÍ	8,037	OBJEM VÝRUBU ROZŠÍŘENÍ	6,732
OBJEM ZAKLÁDKY	5,290	PLOCHA STŘÍKANÉHO BETONU	18,956
OBJEM ŠTĚRKU DNA	3,525	OBJEM BETONU NOVÉHO OSTĚNÍ	6,811
		PLOCHA HYDROIZOLACE	19,192
		OBJEM BETONU KABELOVODŮ	0,552

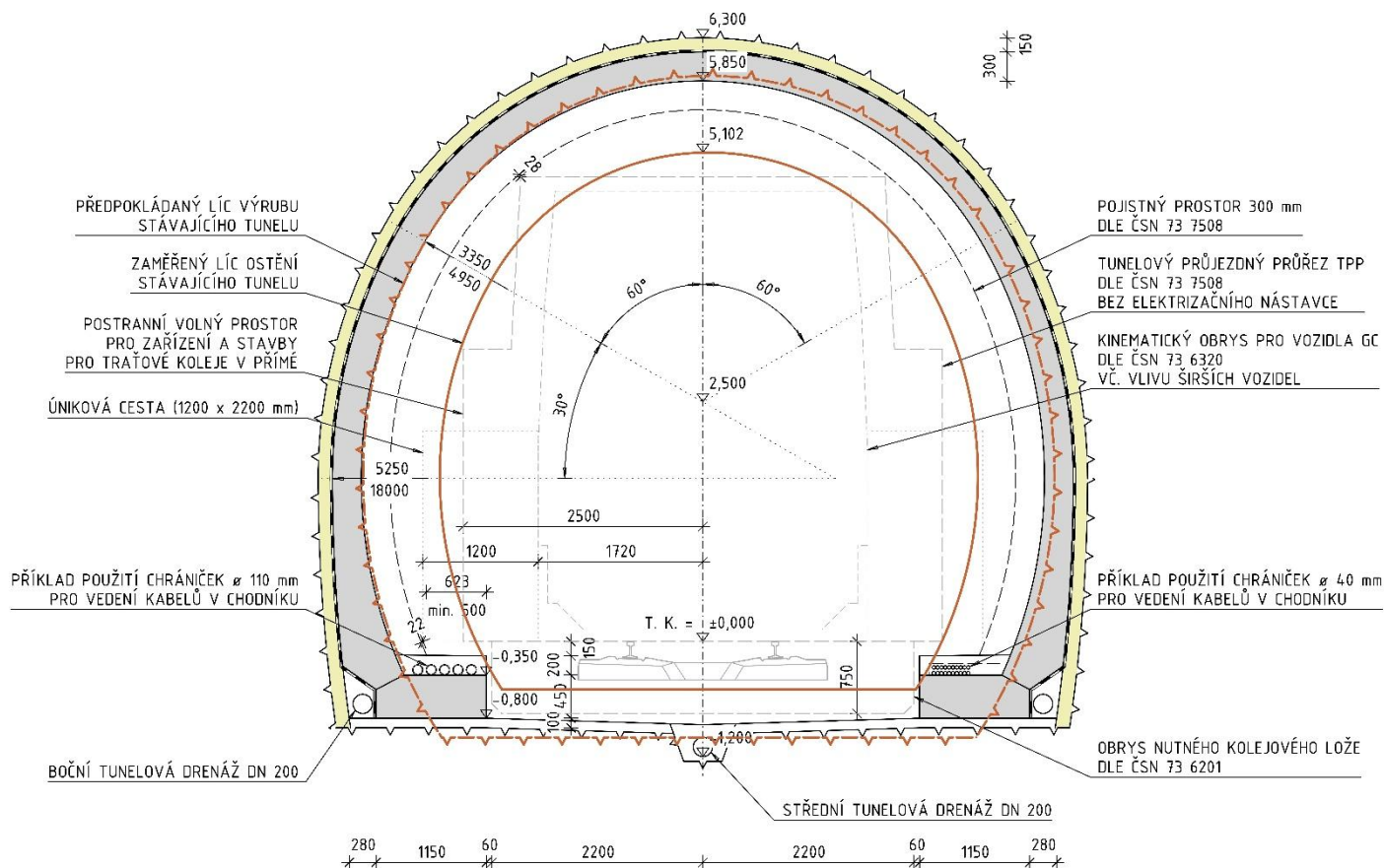
Obrázek 10 Vzorový příčný řez – varianta 2

11.4 VARIANTA Č. 3

Varianta č. 3. se snaží dosáhnout úspor zmenšením prostoru kabelovodů a tím snížení objemu výrubu v oblasti dna tunelu. Vychází z předpokládané úrovně dna stávajícího tunelu, kterou by bylo nutné u předchozích variant prohloubit. Spodní úroveň patek sekundárního ostění je zvednuta na úroveň -0,8 m pod TK (oproti var. 1 a 2, které jsou -1,3 m pod TK), tj. na úroveň pláň pod obrysem nutného štěrkového lože. Výška patky je zmenšena na 450 mm, aby bylo možné umístit chráničky na patky pod chodník. Pro ně je na obetonování ponechána vrstva chodníku pouze 200 mm, tj. např. jedna řada chrániček DN 110 mm (viz vlevo) nebo 2 řady chrániček DN 40 mm (vpravo). Technické řešení je patrné z příčného řezu na obrázku č. 11. Poloha kabelových šachet je možná pouze v místě záchranných výklenků, kde lze patku tunelu přerušit a vzniklý prostor využít pro umístění kabelové šachty. Normová šířka pojistného prostoru je 300 mm. Technické řešení je v souladu s požadavky ČSN 737508 a dalších předpisů. Návrh vyžaduje prověření dostatečné kapacity kabelovodů s ohledem na omezený prostor pro vedení chrániček nad patkou ostění, a to i s ohledem na budoucí jejich využití.

VAR. 3

R1 = 3,35 m, POJISTNÝ PROSTOR 300 mm, PATKY -0,8 m
CHRÁNIČKY V CHODNÍKU



VÝMĚRY NA BM TUNELU [m³, m²]

OBJEM PŮVODNÍHO VÝRUBU	42,136	OBJEM NOVÉHO VÝRUBU	50,128
OBJEM BOURANÉHO OSTĚNÍ	8,037	OBJEM VÝRUBU ROZŠÍŘENÍ	8,258
OBJEM ZAKLÁDKY	5,290	PLOCHA STRÍKANÉHO BETONU	18,361
OBJEM ŠTĚRKU DNA	3,525	OBJEM BETONU NOVÉHO OSTĚNÍ	6,521
		PLOCHA HYDROIZOLACE	18,512
		OBJEM BETONU KABELOVODŮ	0,298

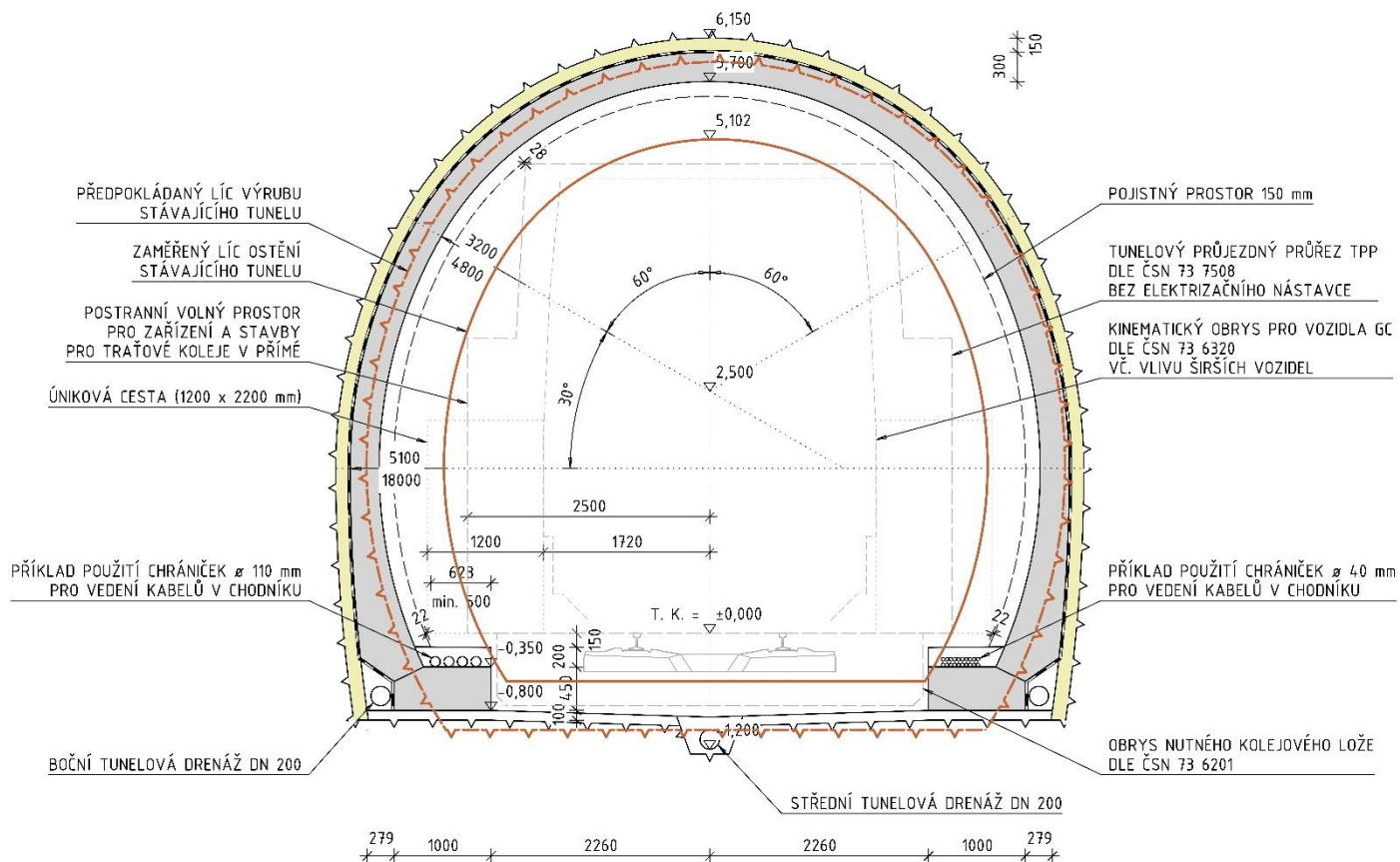
Obrázek 11 Vzorový příčný řez – varianta 3

11.5 VARIANTA Č. 4

Varianta č. 4 je modifikací varianty č. 3 se zmenšenou šířkou pojistného prostoru na 150 mm. Oproti variantě č. 3 dochází vlivem zmenšení pojistného prostoru na 150 mm a snížení výšky patek sekundárního ostění k úspoře 3 m³ výrubu na 1 bm tunelu (viz obrázek č. 12). Technické řešení vyžaduje nejen prověření dostatečné kapacity kabelovodů s ohledem na omezený prostor pro vedení chrániček nad patkou ostění, ale zejména výjimku z normy ČSN 737508 pro šířku pojistného prostoru. Všechny další požadavky norem a předpisů jsou splněny.

VAR. 4

R1 = 3,2 m, POJISTNÝ PROSTOR 150 mm, PATKY -0,8m
CHRÁNIČKY C CHODNÍKU



VÝMĚRY NA BM TUNELU [m³, m²]

OBJEM PŮVODNÍHO VÝRUBU	42,136	OBJEM NOVÉHO VÝRUBU	47,342
OBJEM BOURANÉHO OSTĚNÍ	8,037	OBJEM VÝRUBU ROZŠÍŘENÍ	5,471
OBJEM ZAKLÁDKY	5,290	PLOCHA STŘÍKANÉHO BETONU	17,889
OBJEM ŠTĚRKU DNA	3,525	OBJEM BETONU NOVÉHO OSTĚNÍ	6,265
		PLOCHA HYDROIZOLACE	18,041
		OBJEM BETONU KABELOVODŮ	0,239

Obrázek 12 Vzorový příčný řez – varianta 4

11.6 POROVNÁNÍ A VYHODNOCENÍ VARIANT

Pro každou z variant byl za zjednodušujících předpokladů o poloze rubu stávající obezdívky, předpokládaného povrchu výrubu a tvaru dna tunelu proveden výpočet základních ploch a objemů, které výrazným způsobem ovlivňují výši investičních nákladů. Výsledky jsou přehledně uspořádané do následujících tabulek. V tabulce č. 3 jsou uvedeny hlavní výměry na běžný metr tunelu.

Tab. 3 Hlavní položky pro hodnocení variant na 1 bm tunelu

Položka	Jednotky	Varianta „0“	Průjezdný průřez bez trakčního nástavce			
			Varianta č. 1	Varianta č. 2	Varianta č. 3	Varianta č. 4
Světlý výrub (nového tunelu)	[m ²]	62,880	51,737	48,789	50,128	47,342
Výrub pro rozšíření	[m ³ /bm]	20,743	9,681	6,732	8,258	5,471
Plocha SB primárního ostění	[m ² /bm]	21,315	19,425	18,956	18,361	17,889
Beton horní klenby	[m ³ /bm]	6,782	5,959	5,854	5,530	5,411
Beton patek	[m ³ /bm]	1,122	1,110	0,957	0,991	0,854
Beton celkem	[m ³ /bm]	7,904	7,070	6,811	6,521	6,265
Plocha izolace	[m ² /bm]	21,401	19,666	19,192	18,512	18,041

Pro procentuální vyhodnocení variant po jednotlivých položkách byla jako základní zvolena varianta č.1. Jednotlivé položky ostatních variant jsou pak vyjádřeny jako procento ze základní varianty, která má v hodnocení 100 %. Výsledky hodnocení ukazuje Tabulka č. 4

Tab. 4 Hodnocení položek procentuálním vyjádřením k variantě č. 1

Položka	Varianta „0“	Průjezdný průřez bez trakčního nástavce			
		Varianta č. 1	Varianta č. 2	Varianta č. 3	Varianta č. 4
Světlý výrub (nového tunelu)	121,54 %	100,00%	94,30 %	96,89 %	91,51 %
Výrub pro rozšíření	214,27 %		69,54 %	85,30 %	56,51 %
Plocha SB primárního ostění	109,73 %		97,59 %	94,52 %	92,09 %
Beton horní klenby	113,81 %		98,23 %	92,80 %	90,80 %
Beton patek	101,02 %		86,16 %	89,24 %	76,90 %
Beton celkem	111,80 %		96,34 %	92,24 %	88,62 %
Plocha izolace	108,82 %		97,59 %	94,13 %	91,74 %

Dalším ukazatelem, podle kterého jsou jednotlivé varianty porovnávány, je procento plochy výrubu nutné pro rozšíření profilu tunelu na požadovanou velikost z celkové plochy výrubu tunelu po rozšíření. Výsledné hodnocení je uvedeno v tabulce č. 5.

Tab. 5 Vyhodnocení z hlediska poměru plochy výrubu rozšíření k celkové ploše výrubu

Položka	Varianta „0“	Průjezdný průřez bez trakčního nástavce			
		Varianta č. 1	Varianta č. 2	Varianta č. 3	Varianta č. 4
Výrub tunelu pro rozšíření	32,99 %	18,71 %	13,80 %	16,47 %	11,56 %

Všechny varianty zaručují vodonepropustnost ostění a životnost konstrukce odpovídající novostavbě tunelu, tj. ostění s nulovým průsakem a s životností nevyměnitelných konstrukcí tunelu 100 let. Pro zhodnocení všech aspektů byla pro záměr projetu jako optimální vybrána varianta č. 1. Varianta s trakčním nástavcem byla z výběru vyloučena s ohledem na spíše teoretickou možnost elektrizace tratě vzhledem k dalším umělým stavbám, které by bylo nutné rovněž výrazným způsobem konstrukčně měnit. Varianty se sníženým pojistným prostorem by měly omezenou možnost dodatečných vestaveb, což je vzhledem k normou požadované životnosti 100 let nepřijatelné. Stejně tak je malá kapacita kabelovodů bez rezerv ve vedení dalších kabelů limitující s ohledem na budoucí jejich využití a nemožnost jejich rozšíření bez zásahu do nosné konstrukce tunelu.

Po dohodě s objednatelem bylo v rámci rekonstrukce navrženo prodloužení tunelu z původních 82,5 m na 100 m. Odsun portálů od strmých a nestabilních portálových svahů, které musí být zajištěny kotvením a ocelovými sítěmi, sníží riziko pádu úlomků horniny na jízdní dráhu. Situaci charakteristickou pro oba portály ukazuje obrázek č. 13.



Obr. 13 Stěny skalního zářezu před portálem

12. NEJISTOTY, RIZIKA A JEJICH MINIMALIZACE

V případě návrhu novostavby tunelu představují základní nejistotu geotechnické podmínky, které jsou sice popsány na základě geotechnického průzkumu, vždy se však jedná do jisté míry o „bodové“ informace, které jsou interpretovány na celou trasu tunelu. Pokud není v případě rekonstrukce tunelu k dispozici projektová dokumentace a archivní materiály z doby výstavby, oblast nejistot se rozšiřuje. Při návrhu technického řešení Dolnolučanského tunelu se jednalo o následující nejistoty a s nimi spojená rizika:

1. Přesnost stanovení objemu výrubu nutného pro rozšíření tunelu do nového tvaru. Na přesnosti stanovení skutečného líce výrubu závisí přesnost stanovení množství vyrubané horniny, které je možné stanovit pouze za zjednodušujících předpokladů o poloze stávajícího povrchu výrubu. K objemu výrubu je při výpočtu zemních prací a dimenzování deponie nutné připočítat zatím neznámý objem zakládky za stávajícím ostěním a objem degradované horniny, která může po odstranění stávající obezdívky a zakládky vypadnout.
2. S nepřesnou polohou povrchu stávajícího výrubu souvisí i přesnost stanovení množství stříkaného betonu primárního ostění pro zajištění stability horninového masivu po odstranění stávající obezdívky a rozšíření profilu. Na množství stříkaného betonu primárního ostění má vliv i použitý hydroizolační systém. V případě použití hydroizolační fólie je nutné zajistit výrobcem fólie a předpisy požadovaný tvar a křivost povrchu primárního ostění. Do požadovaného tvaru je nutné stříkaným betonem vyplnit případné nadvýruby. Jiná situace je v případě použití stříkané hydroizolační membrány, u které je tvar a křivost podkladu limitována pouze přípustnými odchylkami od projektované tloušťky sekundárního ostění. Je však nutné zajistit podmínky pro její nástřik, tj. relativně suché prostředí a ideálně nástřik jemnozrnné stříkané vrstvy pro snížení spotřeby materiálu.
3. Skutečný tvar primárního ostění (tj. obvod zajištěného výrubu) má vliv na množství hydroizolačního materiálu. Pokud není znám tvar líce výrubu, je obtížné přesně stanovit i celkovou plochu hydroizolace a s ní spojené náklady na realizaci.
4. Nejistý tvar primárního ostění negativně ovlivňuje výpočet objemu monolitického betonu sekundárního ostění. Pokud je sekundární ostění betonováno do pojízdného bednění, je jeho líc pevně dán a objem betonu mezi lícem primárního ostění a lícem bednění opět závisí na poloze líce primárního ostění. V případě Dolnolučanského tunelu je mocnost zakládky a tvar výrubu velkou neznámou a může být ověřen až po odstranění stávající obezdívky, nebo případně stavebně-technickým průzkumem v dalších stupních projektové dokumentace.

V případě návrhu technického řešení rekonstrukce historického tunelu je velkou komplikací i skutečnost, že ve stupni dokumentace „záměr projektu“, kdy se určuje především základní koncepce dalšího směru projektování, nelze pro zjištění informací potřebných návrh způsobu sanace provádět geotechnický průzkum, který by na základě vrtů prováděných přes ostění dokázal zjistit skutečný stav horninového masivu za stávajícím ostěním i tvar líce výrubu. Proto byl návrh zvětšování líce výrubu, zajištění jeho stability a hydroizolačního systému postaven na prognóze předpokládané polohy líce výrubu, nerovnoměrného tvaru a rozpojování horniny jak mechanicky tunelovým bagrem, tak za pomoci trhacích prací. Z důvodu minimalizace výše investičních nákladů bylo navrženo pouze vyrovnání nového tvaru výrubu s použitím stříkané hydroizolační membrány, která nevyžaduje tak přísné podmínky na rovinatost podkladu, jako hydroizolační fólie. Stříkaný drátkobeton primárního ostění by kopíroval výrub a tvořil podklad pro nástřik membrány, případné nerovnosti by byly zaplněny monolitickým betonem sekundárního ostění.

13. DALŠÍ VÝVOJ PROJEKTU

Teprve další stupeň projektové dokumentace umožnil provést 12 vrtů délky cca 5 m do vrcholu klenby, kde byly očekávány největší nadvýruby stávajícího tunelu a pomocí kamery ve vrtech zjistit jak stav zakládky za rubem ostění, tak kvalitu horninového masivu. Obavy z větších nadvýrubů se nepotvrdily a bylo zřejmé, že rozšířením výrubu lze dosáhnout projektovaný líc nového výrubu bez větších nerovností. Bylo proto navrženo primární ostění vyztužené příhradovými rámy a vyztužnými

sítěmi, které garantovaly tvar líce splňujícími podmínky pro použití hydroizolační fólie. Ve všech vrtech byla zastižena dutina mezi rubem stávajícího ostění a lícem výrubu, z čehož vyplývalo, že ostění nebylo ve vrcholu klenby aktivované a výrub byl po 125 let stabilní i bez podepření ostěním. V dutině byly kamerou viditelné úlomky horniny, jejichž původem byla částečně zakládka a částečně zřejmě odpadly od líce nezajištěného výrubu. Ukázkou dvou z 12 snímků z kamerového průzkumu za ostěním tunelu ukazuje obrázek č. 14. Ze vzorků odebraných z vrtů byly zjištěny pevnostní charakteristiky horninového masivu, které sloužily pro návrh zajištění stability výrubu po rozšíření.



Obr. 14 Dutiny zastižené kamerou za původním ostěním tunelu

Výsledky geotechnického průzkumu umožnily zpřesnit prognózu stavu horninového masivu za ostěním a navrhnout jak optimální postup výstavby, tak způsob zajištění stability výrubu při jeho rozšiřování. V principu se jednalo o ražbu tunelu pomocí NRTM s definováním tří technologických tříd výrubu s primárním ostěním vyztuženým příhradovými rámy a výztužnými sítěmi, s horninovým masivem prokotveným pomocí SN kotev a zajištěním obrysu výrubu pomocí ocelových jehel. V příportálových úsecích byla ve třídě výrubu 4 navržena tloušťka primárního ostění 300 mm, v dalších třídách výrubu se zmenšovala na 200 mm a 150 mm. Stejně tak se prodlužovala délka záběru pro rozšiřování výrubu z jednoho metru v nejhorších geotechnických podmínkách až po dva metry. V tunely byly navrženy záchranné výklenky, do kterých byly situovány šachty na čištění tunelové drenáže. Pláň železničního svršku byla navržena s jednostranným sklonem, aby bylo možné umístit drenáž pro odvodnění pláňe na bok podél patky sekundárního ostění a drenáž tak čistit ze šachet pro čištění boční tunelové drenáže. Hydroizolační systém byl navržen jako deštníkový s gravitačním odváděním podzemní vody k níže položenému portálu. V krásné krajině podhůří Jizerských hor se projektantovi podařilo díky vstřícnému přístupu objednatele prosadit obložení nových portálů přírodním kamenem. Tunel je tak nejen významným technickým dílem, ale do jisté míry i krajínotvorným prvkem, jak ukazuje obrázek č. 15.



Obr. 15 Obklad nového portálu přírodním kamenem a zasazení tunelu do krajiny

14. VÝSTAVBA TUNELU

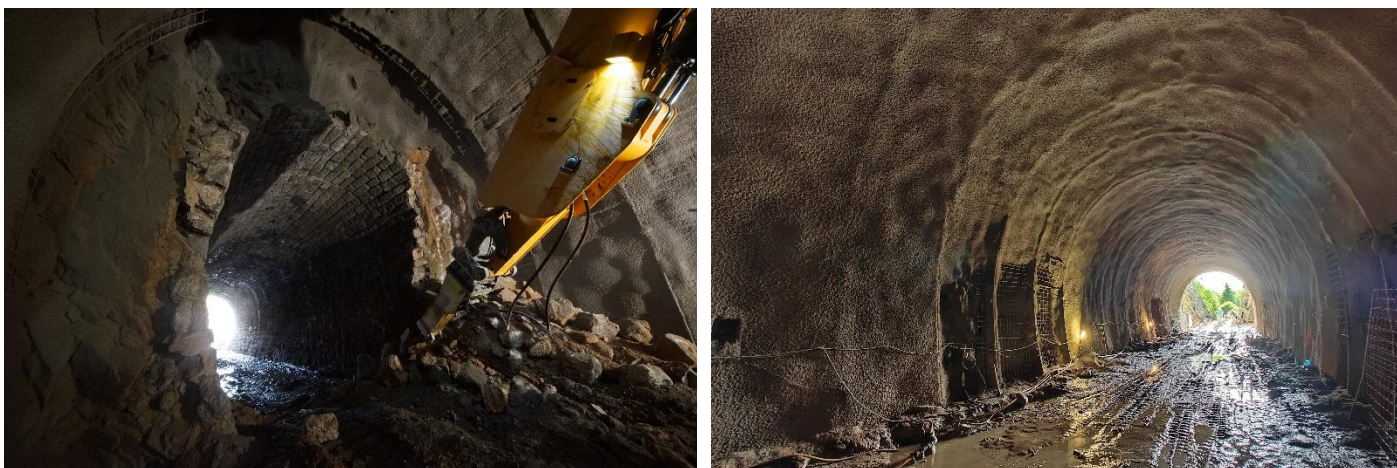
Rekonstrukce tunelu na provozované trati vyžaduje pečlivé plánování jednotlivých činností, aby došlo k minimalizaci doby výluky. V případě Dolnolučanského tunelu byl termín výluky navíc koordinován s výlukou spojenou s rekonstrukcí čtyř tunelů na traťovém úseku Tanvald – Kořenov. Výluka byla dlouhodobě plánována od 15. 4. 2025 do 26. 9.2025 a v rámci této výluky bylo nutné provést nejen rekonstrukci vlastního tunelu, ale i sejmutí železničního svršku, provizorní přeložku kabelů a jejich zatažení do nových kabelovodů a výstavbu dvou propustků před a za tunelem. Vzhledem k tomu, že rekonstrukce železničního svršku proběhla v tomto úseku před 10 lety, bylo požadavkem objednatele jak štěrkové lože, tak kolejová pole po rekonstrukci v trati opět použít. Zhotovitel, kterým byla firma SUBTERRA, musel řešit jak obtížný přístup na stavenišť, tak stísněné prostorové podmínky před portály situovanými v hlubokých skalních zářezích i při pracích v jednokolejném tunelu (viz obrázek č. 16).



Obr. 16 Stísněné prostorové podmínky tunelového portálu v hlubokém skalním zářezu

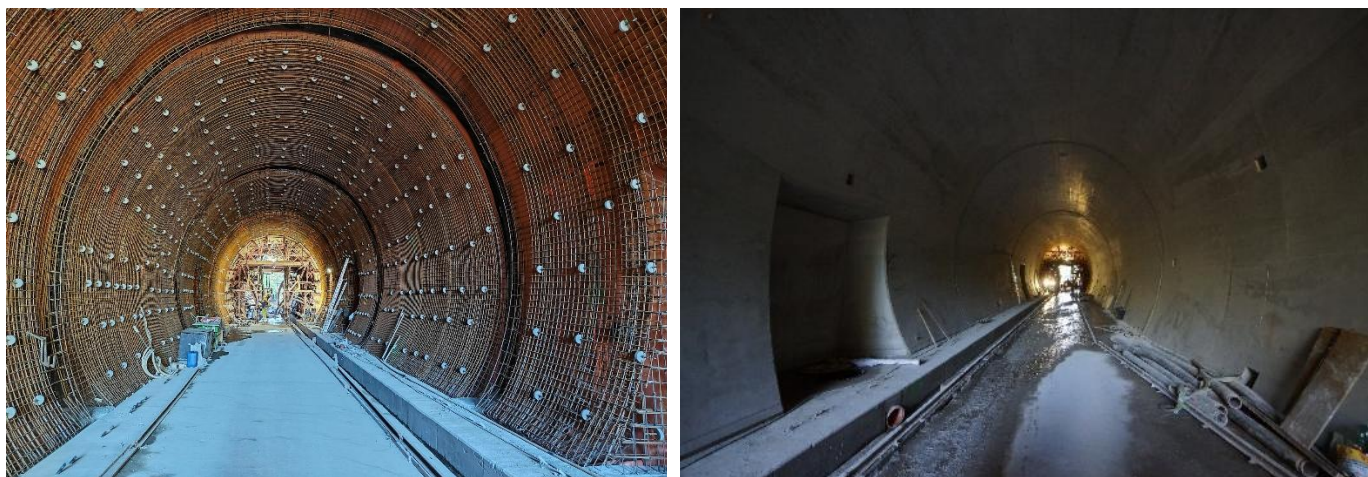
To komplikovalo jak dopravu materiálu, tak montáž plošiny pro upevnění hydroizolační fólie a armování sekundárního ostění i posuvného bednění.

Před zahájením prací na rozšiřování výrubu tunelu muselo dojít k demontáži vysokopevnostních sítí, zajišťujících nestabilní líc skalních zářezů před portály, demolici historických portálů a rozšíření skalních zářezů tak, aby umožnily zvětšení profilu nového tunelu do požadovaných rozměrů. To vše za přístupu pouze k jednomu portálu, takže přístup k druhému portálu byl možný pouze tunelem. Štěrky vytěžené ze železničního svršku i kolejová pole bylo nutné odvézt na deponie mimo prostor staveniště. Plochy na obnažené pláni železničního svršku sloužily pro odstavení stavebních strojů a jako příjezdová komunikace k portálu. Při zvětšování skalních zářezů před portály se potvrdil předpoklad o výskytu rozpukaného a zvětřalého granodioritu. Přesto se podařilo udržet tvar skalního zářezu v projektem předpokládaném tvaru.



Obr. 17 Demolice stávajícího ostění tunelu a zajištění rozšířeného výrubu primárním ostěním

Rozšiřování horninového masivu do projektovaného tvaru nového výrubu zpočátku probíhalo pomocí tunelbageru, dále od portálu se kvalita horniny zlepšila a pro rozpojování bylo nutné použít trhací práce. Práce postupovaly směrem od Tanvaldského portálu. K udržení tvaru líce primárního ostění pomohly výztužné příhradové rámy i ocelové sítě (viz obrázek č. 17). Práce na rozšiřování profilu tunelu byly dokončené v polovině června 2025 a ihned byly zahájeny práce na betonáži spádového betonu na dně tunelu a betonáž patek sekundárního ostění, které sloužily pro pojezd plošiny pro upevnění hydroizolace a montáž samonosné výztuže sekundárního ostění. Za patky ostění byla uložena boční tunelová drenáž a do prostoru nouzových výklenků šachty na čišťení boční tunelové drenáže s odbočením do drenáže pro odvodnění pláň železničního svršku. Bednicí vůz pro betonáže sekundárního ostění musel být do prostoru před portálem spuštěn po částech jeřábem z prostoru nad portálem a na místě smontován. Montáž probíhala vzhledem ke stísněným podmínkám částečně v tunelu. Zatímco izolační a armovací práce probíhaly směrem od Tanvaldského k Libereckému portálu, betonáže sekundárního ostění, která započala 12.8.2025 probíhala dovrchně od Libereckého k Tanvaldskému portálu (viz obrázek č. 18).



Obr. 18 Výztuž a betonáž sekundárního ostění

Celkem bylo vybetonováno 9 bloků betonáže délky 10 m. Sekundární ostění tloušťky 300 mm bylo v celé délce tunelu vyztužené a prováděné z betonu C 25/30 XC1 XF1. Portálové pasy P1 a P2 byly navrženy z betonu odolného proti průsakům C 25/30 XC2 XF3 XA1. Rubové bednění portálových pasů částečně tvořilo falešné primární ostění. Protože prostor mezi falešným primárním ostěním a skalním svahem byl tak úzký, že by zásypový materiál nebylo možné hutnit, byl prostor vyplněn popílkocementovou směsí. Ty byla opět za falešné primární ostění čerpána z cisteren stojících nad portálem. Po dokončení sekundárního ostění byly vybetonované po obou stranách tunelu nové kabelovody a služební chodníky, zataženy kabely sdělovacího a zabezpečovacího zařízení a zprovozněno nouzové osvětlení. Nové portály bylo v duchu původních historických portálů obloženy přírodním kamenem a shora položeny kamenné římsy. Do dokončení vnitřního vybavení tunelu, instalaci bezpečnostního značení a obnově železničního svršku byl tunel 15.9.2025 uveden do zkušebního provozu.

15. PŘEDPOKLADY PROJEKTU A SKUTEČNOST

Pro ověřování předpokladů návrhu technického řešení probíhala po celou dobu výstavby měření a sledování geotechnického monitoringu. Po řízené demolici stávajícího ostění historického tunelu se ukázalo, že líc výrubu prováděný technikou odpovídající konci 19. století byl nad očekávání přesný a prostor za ostěním i objem zakládky byl minimální. Na svahy skalních zářezů byly osazeny body pro sledování jejich případných prostorových pohybů. Stejně tak se v tunelu při ražbě osazovaly měřické profily pro měření 3D deformací primárního i sekundárního ostění, prováděla se geologická dokumentace svahů skalních zářezů i líce výrubu rozšířeného profilu tunelu. I přes malou výšku nadloží a dlouhodobé průsaky povrchové vody puklinovým systémem do historického tunelu, který tvořil obrovský drén, byl při rozšiřování horninový masiv stabilní. Nedocházelo k nadměrným nadvýrubům a deformace výrubu se pohybovaly pod očekávanými hodnotami v řádu jednotek mm. I když vzorky horniny odebrané z jádrových vrtů avizovaly spíše zvětralou horninu nízkých pevností, bylo při

rozšiřování výrubu nutné použít trhací práce. Obavy z nadměrného rozevření diskontinuit a nebo vypadávání skalních bloků z líce nového výrubu se nepotvrdily.

16. ZÁVĚR

Vstupní výrobní výbor projektu rekonstrukce Dolnolučanského tunelu se konal koncem ledna 2021. Zpracování projektu trvalo téměř 4 roky, tunel byl pak postaven za cca 5 měsíců. Návrh technického řešení Dolnolučanského tunelu si v průběhu projektování vyžádal posouzení celé řady variant. Navržené varianty zohledňovaly aktuální stupeň poznání a dostupné podklady, definovaly nejistoty spojené se úrovní znalostí o stávajícím konstrukčním řešení tunelu a horninovém masivu. Bylo nutné posoudit rizika vyplývající z uvedených nejistot a navrhnout takový způsobu rekonstrukce, který by zjištěná rizika ovlivnila jen minimálně. Původní představy o utěsnění spár mezi bloky stávajícího ostění a obnovení hydroizolační funkce ostění se v průběhu času změnilo v rozhodnutí o kompletní přestavbě a vytvoření nového tunelu, který splňuje všechny technické i bezpečnostní standardy aktuálních norem a předpisů. Navržené technické řešení, které bylo předloženo jako Záměr projektu, splňovalo všechna kritéria požadovaná objednatelem v zadávací dokumentaci. Bylo však zpracováno bez znalosti kvality horninového masivu za obezdívkou i tvaru výrubu historického tunelu. Proto byla navržena stříkaná hydroizolační membrána a systém zajištění stability výrubu respektující případné nadvýrubu při ražbě historického tunelu. Teprve doplnění geotechnického průzkumu v dalším stupni projektové dokumentace umožnilo návrh technického řešení upřesnit a použít pro zajištění vodonepropustnosti tunelu standardní hydroizolační fólii.

Výstavba nového tunelu je oproti původně zamýšlenému rozsahu rekonstrukce výrazným kvalitativním posunem. Nový tunel plně obnovuje hydroizolační i drenážní systém tunelu, umožňuje vedení kapacitních kabelovodů, zajišťuje bezpečnost zaměstnanců správce tunelu vytvořením záchranných výklenků, umožňujících úkryt při kontrole tunelu za provozu, a zvyšuje živostnost tunelu na 100 let. Počáteční výše investice bude snižována úsporou provozních nákladů spojených s údržbou tunelu. Zvolené stavební postupy respektovaly požadavky na ochranu přírody a krajiny a vzhled portálů s použitím přírodního kameniva citlivě zasazuje moderní konstrukci tunelu do rázu krajiny. Investorem rekonstrukce je Správa železnic, s. o., dodavatelem stavby je firma SUBTERRA a.s. Autorem dokumentace tunelu od záměru projektu až po realizační dokumentaci je projekční SAGASTA s.r.o.

LITERATURA

KACÍŘ, P. and ČERNÁ VYDROVÁ, L. (2026). Rekonstrukce Dolnolučanského tunelu v trati Liberec – Harrachov. In: Tunel 2/2026.

MAŘÍK, L. (2022). Rekonstrukce Dolnolučanského tunelu a proces rozhodování při návrhu technického řešení. In: Stavebnictví 10/2022, pp 50-58

Sachstandbericht 2011 „Sanierung von Eisenbahntunneln“, STUVA-Arbeitskreis „Tunnelsanierung“, Sonderausgabe TUNNEL, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh/D. 2011.

Sanace tunelů, Metodická příručka pro přípravu sanací tunelů, Výzkumný projekt VaV – TAČR, TA03030851 Sanace tunelů – technologie, materiály a metodické postupy. Horák V., Matějček J., Lacina J., Amberg Engineering Brno, a.s. 03/2016

Stavebně geologické posouzení Dolnolučanského tunelu a přilehlých předzářezů na trati Liberec – Tanvald, GEOTEST Brno, 06/1989.

Ing. Libor Mařík

SAGASTA s.r.o.

libor.marik@sagasta.cz