

Databázová struktura pro shromažďování dat tunelového ostění po dobu životního cyklu

Hneleg – Výsledky promítnuté do směrnic a předpisů nelegislativní povahy závazných v rámci kompetence příslušného poskytovatele



Název: Databázová struktura pro shromažďování dat tunelového ostění po dobu životního cyklu

Zpracovatel: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Autoři: Ing. Jan Faltýnek, Ph.D., MBA, EUR ING
Ing. Libor Mařík
Prof. Ing. Vít Šmilauer, Ph.D., DSc.

Oponenti: doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D. – VŠB-TU Ostrava
Ing. Martin Srb - 3G Consulting Engineers

Výstup projektu: TAČR CK02000175 – Zvýšení spolehlivosti a životnosti ostění tunelů využitím informačních modelů a nových přístupů

Datum: 18. 05. 2023

Obsah

4

1. 5

2. 5

2.1. 6

2.2. 7

3. Návrh databázové struktury7

3.1. 8

3.2. 9

4. Praktický příklad implementace12

5. Využití databázové struktury při hledání příčiny poruchy tunelového ostění13

5.1. 14

6. 15

7. 16

Abstrakt

Tento dokument popisuje stavbu základní databázové struktury, která je vhodná pro sběr základních dat souvisejících s tunelovým ostěním od počáteční fáze geotechnického průzkumu jako podkladu pro vypracování projektové dokumentace, přes geotechnický monitoring v průběhu realizace, monitoring po uvedení tunelu do provozu, až po pasportizaci jednotlivých bloků betonáže tunelového ostění v průběhu provozování podzemního díla.

Databázová struktura se skládá z deseti skupin dat, které jsou dále agregovány do pěti objektů. Databáze je určena jak všem přímým účastníkům výstavby a provozovatelům díla, tak i dalším subjektům, pro které mohou být data užitečná. Obdobnou databázovou strukturu lze začlenit do souhrnného informačního modelu stavby (BIM) a rozvíjet ji o další dílčí data, atributy a následně ji provázat i s jinými částmi informačního modelu. Neméně významným cílem databáze je poskytnout projektantům a zhotovitelům zpětnou vazbu o chování hlavních nosných konstrukcí podzemního díla v konkrétních geotechnických podmínkách a využít tyto znalosti při návrhu podzemních staveb obdobných rozměrů v obdobných geotechnických podmínkách.

Závěrem je ukázána implementace databáze s využitím MySQL serveru.

1. Úvod

Základním atributem současných tunelovacích metod je spolupůsobení horninového masivu s tunelovým ostěním, přičemž systém „ostění-hornina“ vytváří hlavní nosný konstrukční prvek celého tunelu. Tento obecný princip je v České republice spojen zejména s použitím Nové rakouské tunelovací metody (NRTM). Je možné jej však aplikovat i pro další konvenční tunelovací metody včetně metod ražení tunelů pomocí tunelovacích strojů.

Sledování kvality horninového masivu a prognóza jeho chování během výstavby je cílem geotechnických průzkumů (GP) ve všech stupních projektové dokumentace. Skutečné chování horninového masivu a porovnání prognózy stanovené v projektové dokumentaci se skutečně zastiženými geotechnickými podmínkami je předmětem geotechnického monitoringu (GTM) prováděného v průběhu výstavby. Pro projektanta požadavek na tunelové ostění s životností minimálně 100 let zpravidla znamená návrh dimenzí ostění na přenesení předpokládaných zatížení a kombinací zatěžovacích stavů, která na ostění po celou dobu jeho životnosti mohou působit a návrh zabezpečení dostatečné trvanlivosti betonového průřezu.

Skutečnost, že nosný systém spolu s ostěním tvoří i horninový masiv není ale dostatečně zohledněna a data získávaná v rámci geotechnických průzkumů i během výstavby v rámci monitoringu nejsou často po dokončení výstavby správci tunelu dostupná a končí u zpracovatelů geotechnického průzkumu, geotechnického monitoringu nebo u zhotovitele. Formát průběžně získávaných dat a jejich uložení v databázích vždy závisí na konkrétním programovém vybavení zpracovatele geotechnického monitoringu (např. systémy Barab, Siisel, Cubula apod.). V lepším případě jsou data alespoň pasivně (zpravidla ve formátu PDF) uložena na lokálních serverech správce tunelu bez napojení na další podstatné informace o tunelovém ostěním, geotechnických parametrech horninového masivu a chování systému jak v průběhu výstavby, tak po uvedení tunelu do provozu. S takto archivovanými informacemi nelze ale dále aktivně a efektivně pracovat a provádět jejich komplexní vyhodnocování v souvislosti s případnými poruchami tunelového ostění v průběhu jeho životnosti, nebo návrhem tunelu v obdobných geotechnických nebo provozních podmínkách.

Po uvedení tunelu do provozu se informace o stavu tunelového ostění zpravidla omezují pouze na vizuální sledování jeho povrchu s dokumentováním jeho případných povrchových vad (pasportizace tunelového ostění) a dlouhodobý monitoring se zpravidla týká jen sledování deformačních projevů zatížení, kdy je bez komplexní znalosti všech dostupných dat velice obtížné zhodnotit závažnost poruchy, najít její pravou příčinu a na základě komplexního vyhodnocení stanovit správný způsob její opravy.

2. Popis aktuálního stavu

V průběhu zpracování geotechnického průzkumu, projektové dokumentace, výstavby i provozování podzemního díla vzniká celá řada dokumentů obsahujících důležité informace o vlastnostech horninového masivu, jeho geotechnických parametrech, o rozsahu prvků sloužících pro zajištění stability výrubu, o chování horninového masivu i tunelového ostění v reakci na ražení a provádění (výsledky geotechnického monitoringu), skutečných dimenzích primárního a sekundárního ostění, jeho

materiálových charakteristikách apod. Tyto cenné informace nejsou centrálně shromažďované, neexistuje jednotná metodika jejich evidence a digitálního zpracování pro případné další využití jak pro potřeby správce podzemního díla, tak pro projektanty a vědecké instituce. Základním problémem stávajícího stavu získávání a uchovávání informací je zásadní oddělení informací o kvalitě a chování horninového masivu a parametrech ostění získaných pro potřeby výstavby tunelu od informací potřebných pro hodnocení chování jeho nosných konstrukcí po uvedení do provozu a po dobu jeho životnosti. Často neexistuje ani zpětná vazba mezi v projektu předpokládaným chováním horninového masivu a tunelového ostění a jeho skutečným chováním při provozování tunelu. Výsledkem je možné opakování konstrukčních chyb při návrhu technického řešení podzemních staveb, nebo obtížné hledání příčin vad zjištěných po dokončení díla nebo v průběhu jeho provozování.

Základní problémy je v neprovázanosti jednotlivých etap a nesystematickém sběru, formátu a uspořádání dat. Současná praxe rovněž není v souladu se základními procesy digitalizace, BIM a Stavebnictví 4.0. Požadovaná životnost tunelového ostění a obecně nevyměnitelných částí tunelů je 100 let, tomu však neodpovídá způsob ukládání relevantních dat, která s tunelem a jeho životností souvisí. Přitom se na jejich pořízení vynakládají nemalé finanční prostředky. Stávající stav nevyžaduje zásadní rozšíření těchto informací, pouze jejich efektivní sběr a využití.

Historicky se shromažďování dat rozdělilo mezi různé správce tunelů a odsud pramení značná nejednotnost ve formátech dat, klasifikaci stavu tunelů, či jejich správy. Roztříštěnost dat lze demonstrovat různými předpisy. Správa železnic používá Informační systém Evidenční systém tunelů (IS EST) pro shromažďování základních údajů. Jednotlivé položky a klasifikace specifikuje TKP 20 [1] a pro Správu železnic předpis S6 [2]. Požadavky na projektování a provádění geotechnického monitoringu tunelů pozemních komunikací je dán dle TP 237 [3], pro tunely Správy železnic nebo městských podzemních drah obdobný předpis neexistuje. Pro výstavbu silničních nebo dálničních tunelů ŘSD ČR používá TKP Kapitola 24 Tunely [4]. Dále existuje Metodický pokyn pro prohlídky tunelů [7], který využívají zejména kraje. Kolektory v městě Praha se řídí vlastním Provozním řádem [6]. Předpisová základna jednotlivých podzemních staveb je z hlediska rozsahu i obsahu nevyvážená a nekompatibilní.

Podmínkou pro vytvoření databázového systému je především zájem velkých investorů a správců podzemních staveb o jeho vlastnictví a převzetí správy databáze všech získaných informací do vlastních rukou. Další podmínkou úspěšného plnění a používání databáze je jednoduchost zadávání dat a přátelské uživatelské rozhraní pro všechny účastníky výstavby.

2.1. Cíl databázové struktury

Optimální cílový stav by měl veškeré dostupné informace slučovat v jednom databázovém systému. Protože je většina doposud ražených tunelů prováděna pomocí NRTM s monolitickým sekundárním ostěním betonovaným po blocích betonáže, jsou ve vytvořené databázové struktuře informace svázané právě s blokem betonáže ostění. Návrh vychází z praxe sledování tunelových ostění silničních, dálničních i železničních tunelů (u kterých je pouze blok betonáže označován jako tunelový pas). Každý blok betonáže má v tunelu své číslo a v databázi má svůj tzv. „rodný list“. Ten obsahuje všechny informace související s daným blokem od fáze geotechnického průzkumu poskytujícím zejména geotechnické parametry horninového masivu, přes informace o skutečném chování horninového

masivu v průběhu ražby, informace o geometrických a materiálových parametrech primárního a sekundárního ostění až po informace získané při pasportizaci povrchu sekundárního ostění. Cílem není komplexní vyhodnocení všech dostupných informací pro každý blok betonáže, ale systematický sběr dostupných údajů pro vyhodnocení až v případě, že v daném bloku betonáže dojde například k určitému typu vady ostění.

Nový přístup by měl smazat rozdíly mezi výsledky geotechnického monitoringu při výstavbě a za provozu. Nová koncepce povede pouze k jednomu databázovému systému orientovanému na blok betonáže tunelového ostění, který bude průběžně plněn informacemi a který bude poskytovat relevantní podklady ve všech fázích životního cyklu tunelu od projektu až po provozování. Přidanou hodnotou databáze bude centrální přístup k datům nejen jednoho tunelu, ale všech tunelů zapojených do databáze pro všechny účastníky procesu projektování, výstavby i procesu provozování a údržby podzemních staveb.

Navržená objektově-orientovaná databázová struktura má za cíl konzistentně shromažďovat veškeré dostupné údaje. Struktura najde využití při implementaci do systémů správ tunelů, které jsou léta vyvíjeny zejména mezi ŘSD ČR, firmami VARS Brno a.s. a Pontex, s.r.o. Databázi ocení, jak všichni přímí účastníci výstavby a provozování díla, jako jsou investoři, správce tunelu, projektanti, firmy provádějící geotechnický průzkum, geotechnický monitoring a diagnostiku, tak následně i nepřímí účastníci výstavby, jako jsou například vědečtí pracovníci a vysoké školy.

Databáze neslouží pouze k vyhodnocování vad ostění, ale mohla by také být pro projektanty cenným zdrojem informací o chování horninového masivu a tunelového ostění konkrétních rozměrů v konkrétních geotechnických podmínkách. To by mělo pozitivní vliv na efektivní návrh ostění tunelů v obdobných podmínkách, optimalizaci dimenzí ostění a rozhodování o nasazení vyztuženého nebo nevyztuženého ostění, minimalizaci možných příčin vad a tím na zvýšení životnosti celé podzemní stavby. V souvislosti s využitím informací této „znalostní“ databáze lze rovněž očekávat neopakování chybných technických řešení s pozitivním vlivem na výši investičních nákladů a celkovou dobu realizace tunelu při optimálně navrženém tunelovém ostění. Příkladem může být použití nevyztuženého sekundárního tunelového ostění v příznivých geotechnických podmínkách, rozhodování o použití hydroizolačních systémů nebo optimalizace technologického postupu výstavby.

2.2. Řešený výzkumný projekt

Databázová struktura byla vyvinuta během řešení projektu TAČR CK02000175 - Zvýšení spolehlivosti a životnosti ostění tunelů využitím informačních modelů a nových přístupů, který probíhal v letech 2021-2023.

3. Návrh databázové struktury

Tunely jako podzemní díla vykazují celou řadu společných charakteristik, na základě kterých lze vytvořit jednotný systém sběru dat a obecně použitelných datových struktur. Tento dokument na základě praktických i teoretických zkušeností autorů definuje obecně použitelnou databázovou strukturu, která je nezávislá na zpracovateli jednotlivých dílčích dokumentů a provozovateli a zachycuje veškeré

relevantní údaje vztažené k bloku tunelového ostění. Mezi úspěšné podobné implementace datových struktur patří Systém hospodaření s mosty (BMS)¹, který eviduje přes 19 000 mostů v České republice a používají ho různí správci.

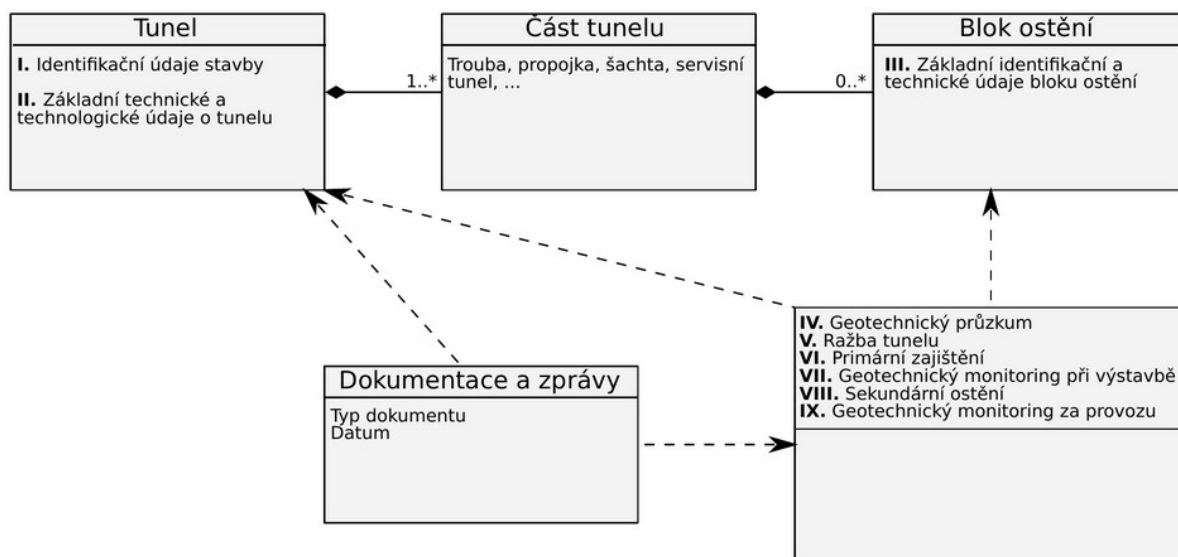
Při sběru dat o tunelech byly použity postupy a metody jednotlivých správců tunelů [2][3][4][5][6][7][8]. Databázová struktura ve formě tabulek je uvedena jako Příloha 1. V nejjednodušším případě se jedná o soubor tabulek relační databáze, kde jednotlivé tabulky nemají mezi sebou žádnou vazbu. Provázáním tabulek je možné vytvořit obecnější strukturu, která zahrnuje nejen vlastní informace, ale i vazby na ostatní objekty databáze. Nejobecnější jsou nerelační databáze (noSQL), které sice umožňují vkládat libovolná data s různými vazbami, obecnost však vede k velké neurčitosti dat. Návrh obecných formulářů lze chápat i z opačné strany – vytvořit takové databázové struktury, které jsou schopné vytvářet formuláře požadované jednotlivými správci tunelů.

Výsledná databázová struktura tvoří Přílohu 1, která je ve formátu souboru Excel. Soubor obsahuje členění dle skupin dat, jednotlivé názvy datových položek ve skupinách a formáty datových položek v obecném tvaru. Příloha slouží zejména jako výchozí dokument pro implementaci do databázových systémů.

3.1. Objektový návrh databázové struktury

Jednotlivé skupiny dat jsou agregovány do objektů. Objektová struktura s vazbami je znázorněna UML diagramem na Obr. 1. Vazby umožňují vícenásobné odkazování a využití sdílených položek. Základní jednotkou je třída **Tunel**, která obsahuje strukturu dat *I. Identifikační údaje stavby* a *II. Základní technické a technologické údaje o tunelu*. Tato třída obsahuje odkazy na instance **Část tunelu**, která reprezentuje tunelovou troubu, propojku šachtu atd. Tato Část tunelu obsahuje odkazy na instance **Blok ostění**. Na Blok ostění jsou pak navázána data skupin IV.-IX., které pokrývají veškerá relevantní data od průzkumu až po sledování tunelu za provozu.

¹ <http://bms.clevera.cz/>



Obr. 1: UML diagram databázové struktury.

3.2. Skupiny dat

V následující kapitole jsou uvedeny skupiny dat, na jejichž základě byla databázová struktura vytvořena. Jedná se o výčet všech podstatných údajů a souvisejících dokumentů získávaných v jednotlivých fázích životního cyklu podzemního díla.

Kompletní vyčerpávající výčet všech atributů předkládá Příloha 1. Níže jsou popsány pro základní představu alespoň ty nejdůležitější:

I. Identifikační údaje stavby

Tato skupina dat obsahuje základní identifikační údaje stavby jako jsou například: název podzemního díla, umístění v rámci kraje/okresu, délka, evidenční číslo, způsob využití tunelu, datum zahájení a ukončení výstavby, klasifikace stavu tunelu, typ kontraktu mezi objednatelem a zhotovitelem, cena díla, údaje o jednotlivých účastnících výstavby (investor, zhotovitel, projektant, technický a autorský dozor, geodet, zhotovitel IGP a GTM, provozovatel a správce) apod.

II. Základní technické a technologické údaje o tunelu

Tato skupina dat obsahuje základní technické a technologické údaje o tunelu jako jsou například: počet tunelových trub, teoretická plocha průjezdného prostoru, šířková kategorie, kategorie tunelu z hlediska bezpečnostního vybavení, převládající typ tunelového ostění z hlediska způsobu betonáže a odkaz na základní projektovou dokumentaci, harmonogram výstavby apod.

III. Základní identifikační a technické údaje bloku ostění

Tato skupina dat obsahuje základní identifikační a technické údaje o bloku tunelového ostění jako jsou například: označení (číslo) bloku betonáže, délka bloku betonáže, umístění a staničení středu bloku betonáže, směrové a výškové vedení, typ bloku betonáže, způsob založení klenby ostění, způsob zajištění vodonepropustnosti, typ vnitřní povrchové úpravy, existence chrániček a nik v bloku tunelového ostění, umístění kabelové šachty, hydrantu apod.

IV. Geotechnický průzkum

Tato skupina dat obsahuje údaje získané z geotechnického průzkumu vztažené na konkrétní blok tunelového ostění jako jsou například: odkaz na dokumentaci geotechnického průzkumu, výška nadloží a výška skalního nadloží nad vrcholem klenby tunelového ostění, úroveň hladiny podzemní vody, přítomnost nadzemní zástavby a inženýrských sítí, výčet použitých metod geotechnického průzkumu, předpokládaný zastižený typ horniny/zeminy, kvazihomogenní celek, technologická třída výrubu apod.

V. Ražba tunelu, nadvýlomy a hloubení

Tato skupina dat obsahuje údaje získané v průběhu ražeb vztažené na konkrétní blok tunelového ostění jako jsou například: datum zahájení a ukončení ražeb, údaje z vrtného vozu (MWD data), způsob členění výrubu, délka záběru, plocha výrubu, zaměření výrubu, navrhované nadvýšení výrubu, nadvýlomy a jejich klasifikace apod.

VI. Primární zajištění výrubu, hydroizolace

Tato skupina dat obsahuje informace o primárním zajištění stability výrubu a hydroizolaci vztažené na konkrétní blok tunelového ostění jako jsou například: technologická třída výrubu (záběrový list), popis a typ předstihových opatření, výsledky tahových zkoušek kotev, datum realizace primárního ostění, způsob provádění stříkaného betonu, použitá receptura stříkaného betonu, skutečná tloušťka a vyztužení primárního ostění, výsledky zkoušek čerstvé betonové směsi, výsledky zkoušek ztvrdlého betonu, zaměření líce primárního ostění a jeho pasportizace, způsob provádění hydroizolace a typ systému, pasportizace hydroizolace apod.

VII. Geotechnický monitoring při výstavbě

Tato skupina dat obsahuje informace získané z geotechnického monitoringu při výstavbě vztažené na konkrétní blok tunelového ostění jako jsou například: pasportizace příslušných čeleb a základových poměrů, typ zastižené horniny, přítoky podzemní vody včetně lokalizace a agresivity, popis diskontinuit, atypické projevy horninového masivu, laboratorní zkoušky zastižených hornin, měření deformací výrubu a čelby, datum uklidnění deformací horninového masivu, měření vlivů trhacích prací, sledování nadzemních objektů a měření poklesové kotliny, měření deformací primárního ostění, měření poklesu hladiny podzemní vody, sledování deformačních projevů ražby v průběhu výstavby, měření napětí v horninovém masivu a namáhání primárního ostění apod.

VIII. Sekundární ostění

Tato skupina dat obsahuje základní informace o konkrétním bloku tunelového ostění jako jsou například: způsob vyztužení bloku betonáže, skutečná tloušťka konstrukce a základu, datum betonáže, použitá receptura betonové směsi, typ betonu z hlediska jeho zpracovatelnosti, zaměření výztuže sekundárního ostění, klimatické podmínky při betonáži, datum odbednění, způsob ošetřování, datum ukončení ošetřování, rychlost betonáže, výsledky měření vývinu pevnosti, měření teploty a vývinu hydratačního tepla, zkoušky čerstvé betonové směsi, zkoušky ztvrdlého betonu, zaměření líce sekundárního ostění, poruchy ostění po dokončení realizace apod.

IX. Geotechnický monitoring za provozu tunelu, monitoring a pasportizace sekundárního ostění

Tato skupina dat obsahuje informace získané z geotechnického monitoringu za provozu tunelu a pasportizace vztahované na konkrétní blok tunelového ostění jako jsou například: sledování chování nadzemních objektů a poklesové kotliny, měření poklesů úrovně hladiny podzemní vody, sledování deformačních projevů horninového masivu za provozu tunelu, měření tlaku horninového masivu a napětí v primárním ostění, měření kontaktního napětí mezi primárním a sekundárním ostěním, sledování namáhání sekundárního ostění, měření deformací sekundárního ostění, měření vnější teploty a vlhkosti vzduchu, měření teploty ostění po tloušťce průřezu, měření hydrostatického tlaku působícího na ostění, pravidelná pasportizace trhlin a poruchy hydroizolační funkce ostění, pasportizace mezistropu a dalšího zabudovaného technologického vybavení, závady nátěru, plošné poruchy ostění, v minulosti realizované sanace a opravy apod.

X. Dokumentace a zprávy

Tato skupina dat sdružuje veškeré podstatné dokumenty a zprávy jako jsou například: smluvní podmínky, průzkumy a archivní data, projektová dokumentace, data získávaná v průběhu realizace (harmonogram, pasportizace, zaměření, technologické postupy, kontrolní a zkušební plány, laboratorní deníky, výsledky laboratorních zkoušek betonových konstrukcí atd.), zápisy a výsledky geotechnického monitoringu, zprávy z tunelových prohlídek, vlastnosti materiálů a výrobků zabudovaných do konstrukce, závazné předpisy a nařízení v době realizace apod.

K mnoha položkám skupin dat je vhodné přiřadit **Dokumentace a zprávy**. Tyto soubory/informace jsou v oddělené třídě, na kterou je odkazováno z jednotlivých dat. Jednu zprávu tak může sdílet libovolně položek a může se týkat několika bloků či celého tunelu. Další výhodou navržených struktur jsou pole, kde je často použito datového otisku. Klasickým příkladem je stav tunelu, který je časově závislý.

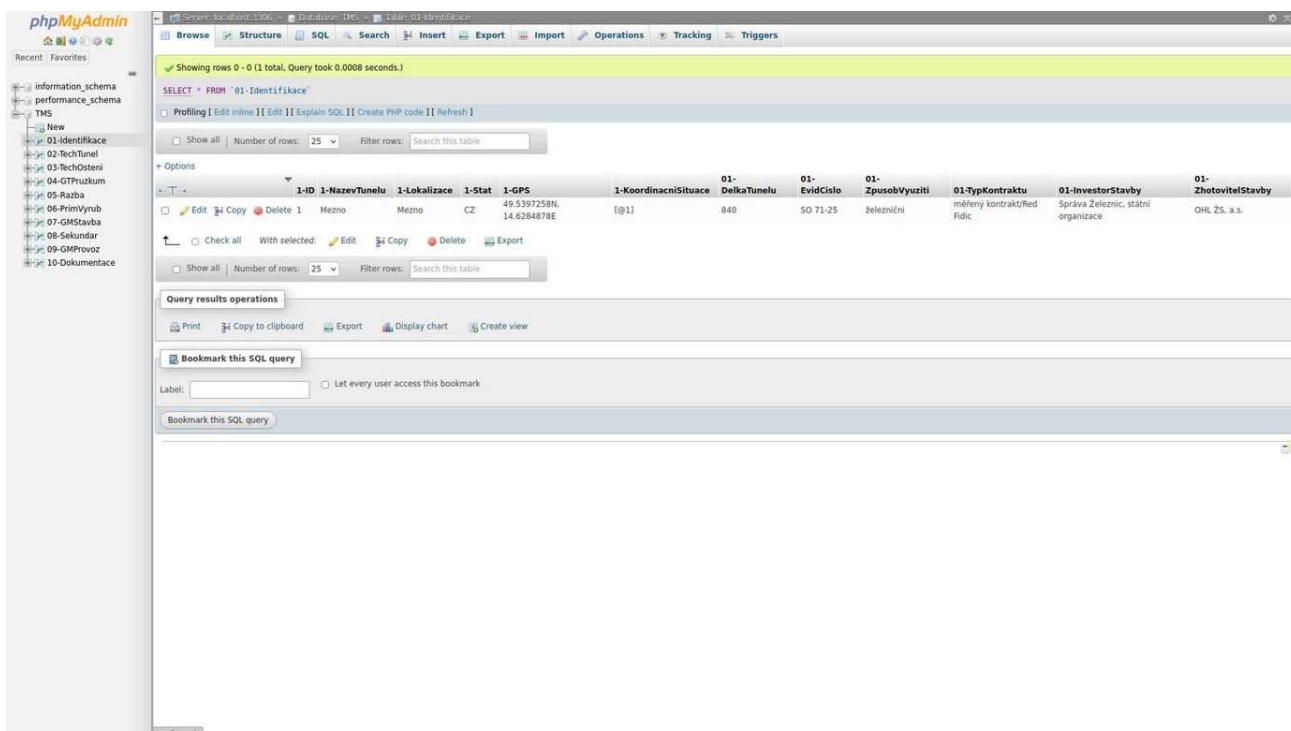
Příloha 1 detailněji popisuje datová pole pomocí zkratk: [...] = pole skupin či pole dat, <...> = data či skupina dat, ... | ... = výběr z listu možností, @ = odkaz, INT = celé číslo, STR = řetězec, DOUBLE = reálné číslo, DATE = datum, @X, odkaz na instanci ze řádku X či jiné instance. Například zápis [<DATE, NE | <vyplň hodnotu poklesu HPV, @výsledky ze sledování HPV>>, ...] znamená pole dat, které má vždy datum a dále obsahuje NE či další strukturu dat v <...>. „@výsledky ze sledování HPV“ je odkaz na zprávu či jinou datovou položku v databázi. Tab. 1 uvádí příklad pro skupinu dat VI.

Tab. 1: Příklad tabulky skupin dat.

VI. Primární zajištění výrubu, hydroizolace		
601	Dokumentace pro primární zajištění	<@vystrojovací třída výrubu, @laboratorní deník>, ...]
602	Vystrojovací třída výrubu (záběrový list)	<vyplň název vystrojovací třídy výrubu STR>
603	Předstihová opatření (zlepšení horninového masivu v předstihu - injektáže, TI, kotvení čelby ...; předem osazené prvky - mikropiloty, jehly, ...)	< NE popis použitých předstihových opatření>
604	Tahové zkoušky kotev a svorníků	< NE [@výsledky tahových zkoušek kotev a svorníků, ...]>
605	Způsob provádění stříkaného betonu (mokry, suchý...)	<suchá aplikace mokrá aplikace jiné>
606	Datum realizace primárního ostění	<vyplň datum realizace stříkaného betonu DATE>
607	Základní tloušťka primárního ostění	<vyplň základní tloušťku primárního ostění kaloty DATE>
608	Pužitá receptura betonu (pevnostní třída, stupně vivu prostředí, obsah chloridů, typ kameniva, typ cementu, přísady, příměsi, ...)	<vyplň název a popis receptury stříkaného betonu STR>
609	Vyztužení primárního ostění	<nevyztužený vyztužený sítěmi a rámy vyztužený drátky jiné>
610	Použití drátků/vláken v primárním ostění	< NE < vyplň kg drátků v m3 betonu, vyplň kg vláken v m3 betonu >
611	Zkoušky čerstvé betonové směsi primárního ostění	< NE [<@zkoušky čerstvé betonové směsi>, ...]>
612	Zkoušky ztvrdlého betonu primárního ostění	< NE [<@zkoušky ztvrdlého betonu>, ...]>
613	Zaměření líce primárního ostění	< NE [<@geodetické zaměření výrubu @scan výrubu jiné>, ...]>
614	Pasportizace primárního ostění a jeho poruch	< [NE [<@pasportizace ostění>, ...]>
615	Otevřený, uzavřený systém hydroizolace (deštník, ponorka, vodotěsné ostění	<otevřený systém (deštník) uzavřený systém (ponorka) vodotěsné ostění jiné>
616	Způsob provádění hydroizolace (fóliová, stříkaná)	<fóliová izolace stříkaná izolace>
617	Pasportizace hydroizolace a závady	< NE [<@výsledky pasportizace hydroizolace>, ...]>

4. Praktický příklad implementace

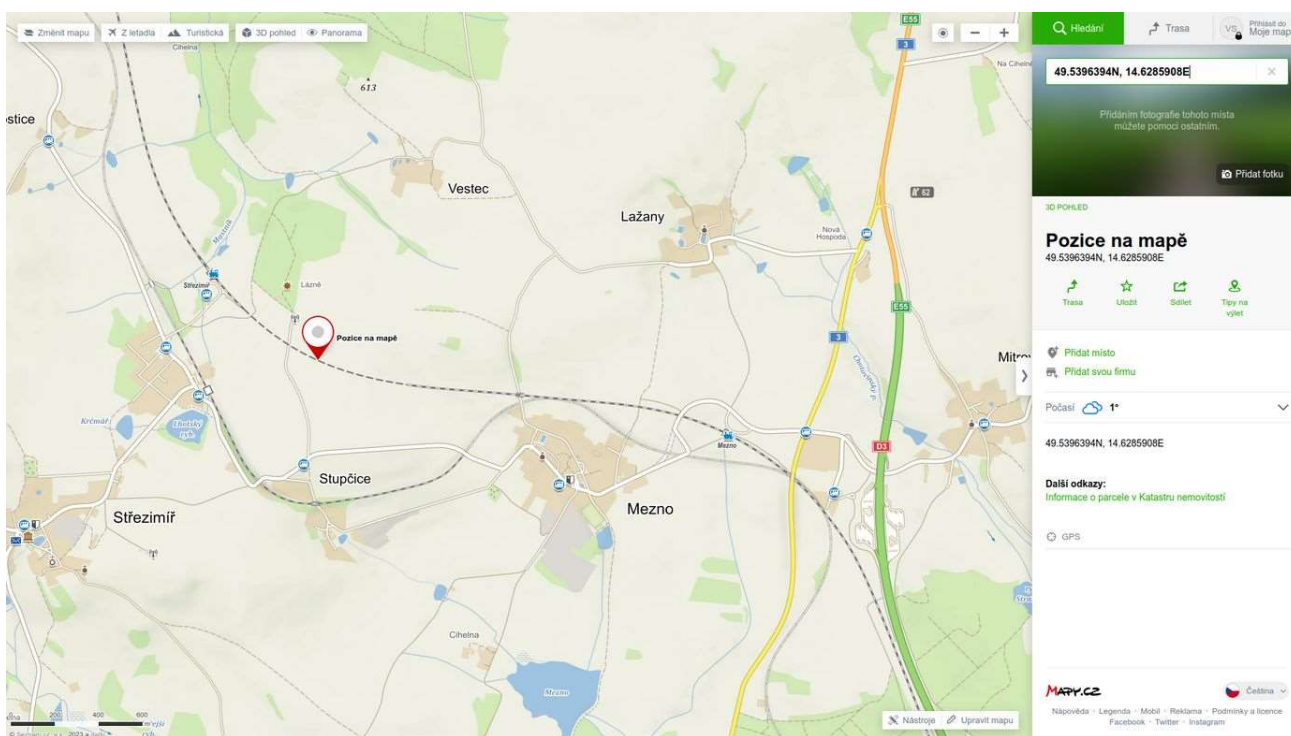
Pilotní implementace databáze byla nazvána TMS (tunnel management system) s databázovou strukturou uvedenou výše. Implementace běží na lokálním serveru MySQL 8.0. Jednotlivé tabulky jsou začleněny do databáze a lze je zobrazit například v grafickém prostředí phpMyAdmin, viz Obr. 2. Pro ukázkou je vybrána část tabulky 01-Identifikace, která obsahuje identifikační data o železničním tunelu Mezno.



Obr. 2: Zobrazení pilotní databáze v prostředí phpMyAdmin.

Z databáze lze přímo exportovat souřadnice GPS do mapového podkladu, například pomocí mapového serveru <https://mapy.cz>, viz Obr. 3. Možnosti databáze jsou velmi široké, mezi klasické dotazy patří:

- Vyhledávání a třídění v jednotlivých datových položkách
- Zjišťování stavu tunelu a časového vývoje
- Výpis tunelů ve správě správce
- Výběr tunelů dle délky, typu ostění a stavu
- Vykonané prohlídky tunelu
- Vyhledávání dokumentace k tunelu a jeho částem, například vyhledání konkrétního bloku a časová pasportizace
- Vyhledávání projektové dokumentace, informace z prohlídek tunelů
- Export položek tunelů pro formuláře správců
- Integrace se systémy BIM, které dále mohou zahrnovat ekonomická data údržby



Obr. 3: Zobrazení tunelu ze souřadnic v databázi TMS s využitím serveru <https://mapy.cz>.

5. Využití databázové struktury při hledání příčiny poruchy tunelového ostění

V této kapitole je na názorném příkladu popsán způsob využití výše implementované databázové struktury při hledání konkrétní příčiny nebo skupiny příčin zjištěné vady tunelového ostění. Významnou pomůckou při identifikaci příčin je *Katalog vad a poruch tunelových ostění*, který byl vypracován rovněž v rámci tohoto projektu TAČR CK02000175 - *Zvýšení spolehlivosti a životnosti ostění tunelů využitím informačních modelů a nových přístupů*.

5.1. Praktický příklad

Při užívání tunelu je identifikována porucha tunelového ostění, jenž je znázorněna na Obr. 4. Jedná se o odprysk betonu ve spáře mezi jednotlivými bloky betonáže. V případě, že se tato porucha vyskytne v oblasti nad dopravním prostorem, ohrožuje bezpečnost provozu tunelu a je hodnocena jako závažná. Nalezení její příčiny a následná sanace je proto velice důležitá. V závislosti na hloubce odprysku je rovněž negativně ovlivněna výztuž bloku ostění díky snížené tloušťce krycí vrstvy.



Obr. 4: Foto poruchy sekundárního tunelového ostění.

Příčinou poruchy je pravděpodobně nerovnoměrné sedání sousedních bloků betonáže vlivem změny geotechnických podmínek nebo špatné přípravy základové spáry. Toto nerovnoměrné sedání vyvolává zvýšené kontaktní napětí mezi sousedními bloky betonáže, které může v důsledku vést až k překročení pevnosti betonu krycí vrstvy a následnému odprysku betonu ve spáře.

Při hledání příčiny poruchy je možno využít vytvořenou databázovou strukturu a vyhledat potřebné informace zejména z následujících skupin dat:

III. Základní identifikační a technické údaje bloku ostění – Z této skupiny dat lze přes odkaz nahlížet do projektové dokumentace, kde je možno nalézt informace o tom, jakým způsobem byl daný blok betonáže založen (zda na základových pasek, základové desce nebo klenbě).

V. Ražba tunelu, nadvýlomy a hloubení – V této skupině dat lze najít například informace o tom, zda byl v počvě tunelu pod základovými konstrukcemi registrován nadvýlom a jakého byl rozsahu. Je možno nahlédnout do zaměření výrubu a stanovit případnou hloubku nadvýlomu pod jedním i druhým základovým pasem.

VII. Geotechnický monitoring při výstavbě – Tato skupina dat poskytne uživateli informace o pasportizaci základových poměrů. Na základě dat z pasportizace, lze určit, zda nebyly zastiženy pod základovými pasy nebo mezi sousedními bloky betonáže zcela odlišné typy hornin s jinými deformačními charakteristikami případně atypický přítok podzemní vody, který by mohl v budoucnu negativně ovlivnit základové poměry v daném místě. Dále je možno porovnat data ze sledování deformačních projevů horninového masivu a namáhání primárního ostění a stanovit, zda nemohla být klenba ostění nerovnoměrně zatížena, což by mohlo taktéž způsobit nerovnoměrné sedání.

VIII. Sekundární ostění – Na základě informací z této skupiny dat je možno ověřit výsledky zkoušek jak čerstvého, tak ztvrdlého betonu, jak základových konstrukcí, tak i klenby ostění. Rovněž je možno určit, jestli je poškozený blok ostění vyztužený nebo nevyztužený, kde riziko snížení krycí vrstvy výztuže není relevantní. Lze také nahlédnout do zaměření výztuže a zkontrolovat její polohu v místě poškození.

IX. Geotechnický monitoring za provozu tunelu, monitoring a pasportizace sekundárního ostění – Tato skupina dat obsahuje informace o změně úrovně hladiny podzemní vody a hydrostatickém tlaku. Ty mohou být příčinou nerovnoměrného sedání konstrukce. Dále je možno získat informace o deformačních projevech horninového masivu za provozu tunelu nebo údaje z měření tlaku horninového masivu, kontaktního napětí a namáhání primárního a sekundárního ostění. Tato data pomohou rozlišit nerovnoměrné namáhání klenby ostění, v jejímž důsledku může dojít k nerovnoměrnému sedání a výše popsané poruše. Pokud se poškozený blok nachází v blízkosti portálu tunelu, je možné vyhledat údaje z měření teploty a rozdělení teploty po tloušťce průřezu, které pomohou oddělit od celkového namáhání ostění teplotní vlivy. Lze rovněž zkontrolovat, zda se v daném bloku betonáže nevyskytly obdobné typy poruch již dříve a jakým způsobem byly sanovány.

Po nalezení příčiny poruchy je možno přistoupit k sanaci. Vždy je nutné provést proříznutí pracovní spáry mezi bloky betonáže k minimalizaci kontaktního napětí na líci ostění. Pokud má odprysk vliv na korozi výztuže, je nutná oprava vhodným sanačním materiálem. V případě, že je vada nad dopravním prostorem doporučuje se přeplátování opraveného místa nebo zajištění případného uvolnění sanačního materiálu sítí ukotvenou do ostění. U nevyztuženého ostění je nutné očistit místo vady od uvolněných kusů ostění a posoudit nutnost sanace. Pokud je to možné, preferuje se ponechat poškozené místo bez dalších sanačních opatření.

Jak eliminovat tento typ poruchy tunelového ostění? Především provést správné hodnocení geotechnických podmínek v průběhu výstavby, při náhlé změně tuhosti podloží realizace dilatační spáry v místě původně plánované pracovní spáry mezi bloky betonáže. Velice podstatná je důsledná kontrola základové spáry před zahájením betonáže základových konstrukcí sekundárního ostění.

6. Závěr

Předložená zpráva v úvodu popisuje aktuální stav sběru a uchovávání informací o tunelovém ostění. Poté je podrobně popsán cíl zavedení databázové struktury, a následně je krok po kroku představen její návrh. Jednotná struktura databáze byla navržena z analýzy existujících dat, na základě zkušeností z projektování, výstavby a monitoringu tunelů a požadavků následných správců.

Dále je ukázán praktický příklad implementace databázové struktury a na závěr je uveden konkrétní příklad poruchy tunelového ostění a popsán princip práce s databází ke stanovení příčiny této poruchy.

Hlavním cílem databáze je sledování stavu tunelu a především tunelového ostění, které lze následně rozšířit o provozní či ekonomické údaje. Databázi lze včlenit do dalších systémů správců a tím přispět k přehlednosti a spolehlivosti správy tunelů.

7. Literatura:

- [1] Technické kvalitativní podmínky staveb Českých drah (TKP ČD), Kapitola 20 – Tunely, 2001.
- [2] SŽDC S6 Správa tunelů, 2018.
- [3] TP 237, Geotechnický monitoring tunelů pozemních komunikací, 2011.
- [4] Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací Kapitola 24 Tunely, Ministerstvo dopravy, 2006.
- [5] Směrnice pro dokumentaci staveb pozemních komunikací, Ministerstvo dopravy, 2022.
- [6] Kolektory Praha, a. s.: Provozní řád pro správu, provozování a údržbu kolektorů a ostatních sdružených tras vedení inženýrských sítí na území hlavního města Prahy, 2019.
- [7] Ministerstvo dopravy: Provádění hlavních prohlídek tunelů pozemních komunikací, Metodický pokyn, 2013.
- [8] Ministerstvo dopravy: TP 154 - Provoz, Správa a údržba tunelů pozemních komunikací, 2009.
- [9] J. Faltýnek, L. Mařík, Š. Pešková, V. Šmilauer: Geotechnický monitoring při výstavbě a provozování tunelů jako nástroj pro optimalizaci a zvýšení spolehlivosti tunelových ostění, Konference Geotechnika 2022.
- [10] L. Mařík, J. Faltýnek, V. Šmilauer: Katalog vad a poruch tunelových ostění, TAČR CK02000175, 2023.