

# **Příloha III. Tunel – výrub**

Název:

## **Zaměření a zpracování 3D dat pro výstavbu tunelu**

Lokalizace:

V76 – Norrtalje - Švédsko

Datum provedení:

28. 6. 2013 – 31. 10. 2014

Provedl:

Control System International a.s.

Stručný popis:

Průběžné měření metodou laserového skenování výstavby tunelu od výrubu po zaměření primárního a sekundárního ostění, porovnání měření s teoretickým modelem, výpočty objemů, navýrubů a množství torketovaného betonu. Následné využívání dat během výstavby pro optimalizaci množství materiálu, lokalizaci nedodržení teoretického profilu s následným vytyčením v terénu pro opravy.

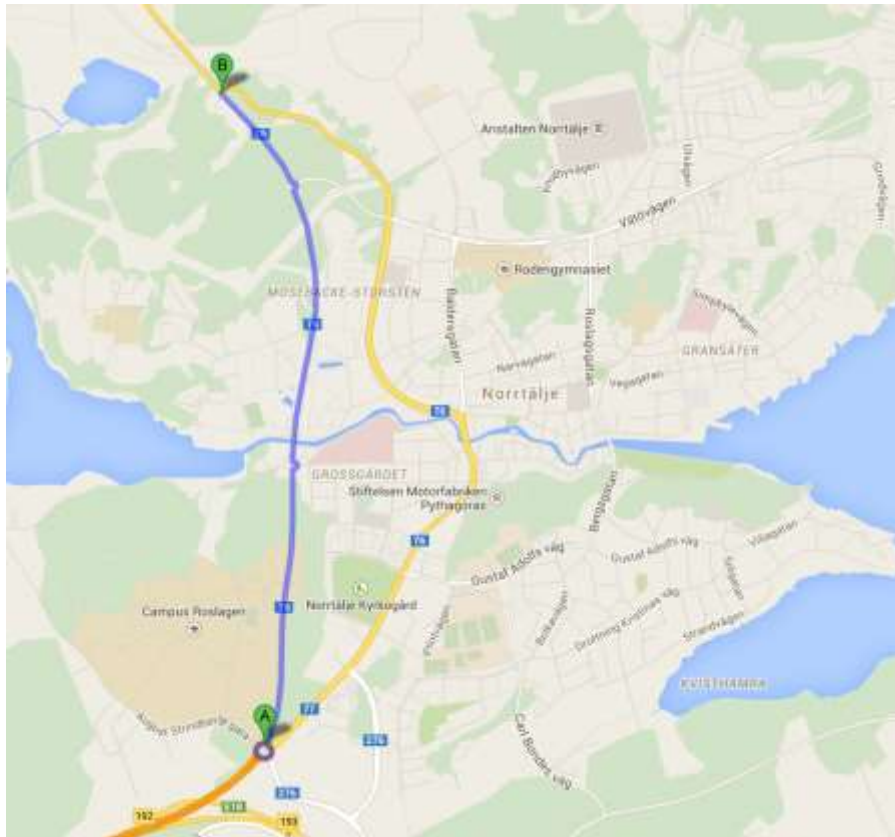
### **1 Důvod provedení měření**

Měření a zpracování bylo provedeno na základě objednávky od zhotovitele silničního tunelu pro doložení požadované dokumentace provedení stavby vůči investorovi ve věcech geometrické kvality (příčné řezy jednotlivých vrstev) a pro zhotovitele samotného jako podklad optimalizace prací a výpočtů objemů. Zhotovitel požadoval pro tvorbu digitálního modelu povrchu ostění využití laserového skenování.

### **2 Sledovaný úsek trasy**

Lokalizace: tunnel stavby - V76 – Norrtalje - Švédsko

Délka trasy tunelu: 99,5 m (2 pruhová komunikace)



Obr. 1: V76 – Norrtälje - Švédsko (zdroj: maps.google.com)

### 3 Provedení měření

#### 3.1 Popis metody/zařízení

Měření bylo provedeno pomocí laserového skenování metodou statickou v kombinaci s metodou stop&go. Jednotlivé stanoviště měření (tzv. skenpozice), byly měřeny po 15 - 20 m. Poloha skeneru byla měřena pomocí totální stanice s připojením na bodové pole stavby, které bylo dodáno objednatel. Touto metodou připojení je zajištěna vysoká polohová i výšková přesnost mračna bodů, tedy základního výstupu laserového skenování. Následným zpracováním mračna bodů se vytvořil digitální model povrch tunelu konkrétní etapy. Digitální model povrch představuje digitální reprezentaci průběhu skutečného povrchu ostění bez objektů, které nebyli předmětem měření (technické vybavení, dopravní prostředky, osoby, uložený materiál a podobně) a je základním podkladem pro kontrolu geometrických parametrů a výpočtu kubatur.

Laserové skenování se často používá na výstavbě nových tunelů a také rekonstrukcí tunelů, kde je možné vystihnou a porovnat celý profil tunelu s vysokou přesností a vystižením všech detailů. Výsledná přesnost digitálního modelu povrchu, kontrolovaná překryvnými daty a nezávislými kontrolními body, je charakterizována směrodatnou odchylkou 3mm vzhledem k bodovému poli stavby.



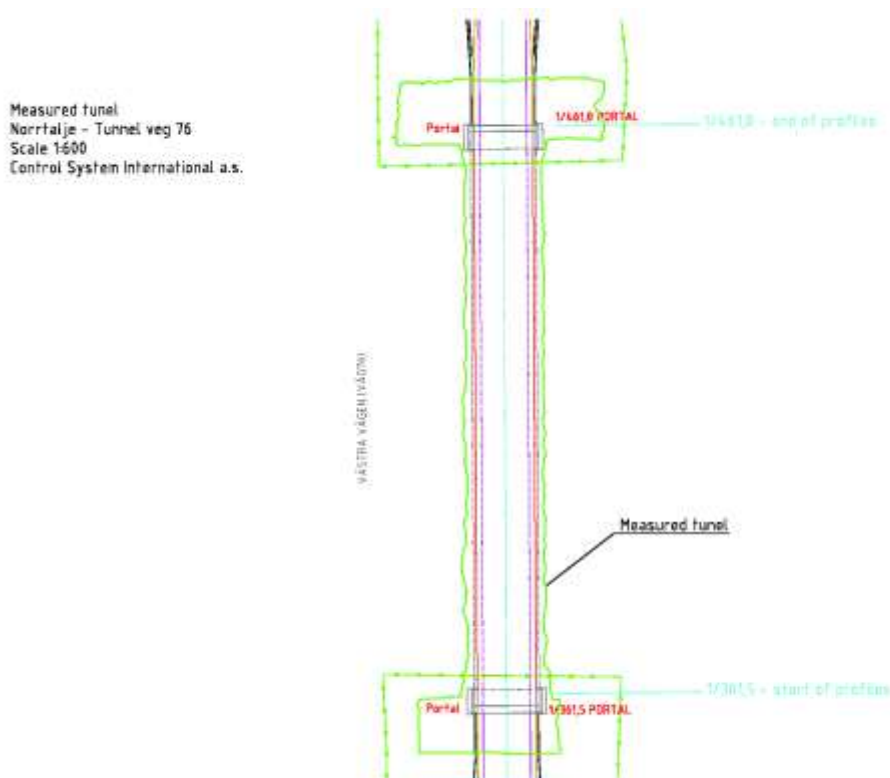
Obr. 2: tunel V76 – Norrtälje - Švédsko (zdroj: EHRAB V76 Förbi Norrtälje Sweden – ilustrační snímek)

## 3.2 Popis postupu měření

### 3.2.1 Etapy měření

Měření na stavbě se provádělo v těchto jednotlivých etapách v celém rozsahu stavby:

- Výrub tunelu - 19.8. 2013
- Primární ostění- 29.10. 2013
- Sekundární ostění - 31.10. 2014



Obr. 3: Polohopis tunelu (zdroj: Control System)

### 3.2.2 Měření

Všechna měření jsou pomocí totální stanice polohově i výškově připojena na souřadnice bodů bodového pole stavby. Body byly dodány a průběžně kontrolovány hlavním geodetem zhotovitele. Celý úsek stavby 99,5m se zaměřil z 6-8 skenpozic. Doba měření byla vždy 1-2 hodiny.

### 3.2.3 Zpracování naměřených dat

Měřená data (mračna bodů) byla transformována do lokálního souřadnicového systému stavby, a následně vyrovnána.



Obr. 4: Mračno bodů laserové skenování (zdroj: Control System)

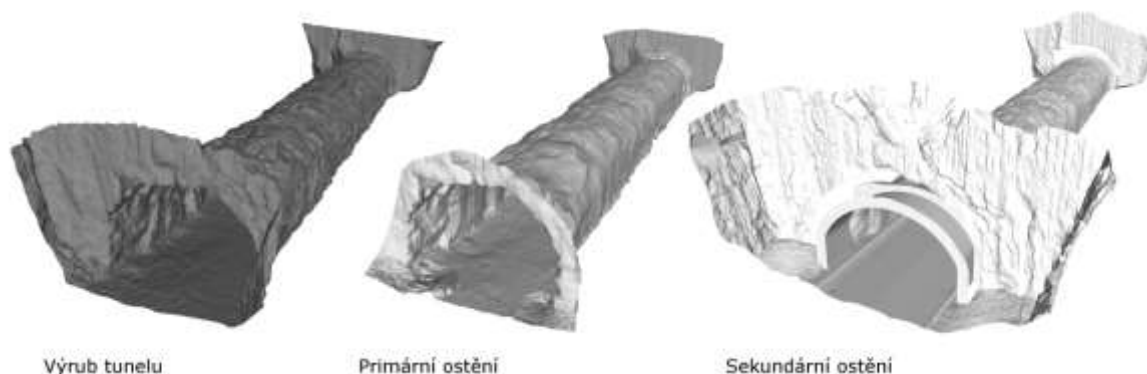
Přesnost vzájemného vyrovnání mračen bodů je vyjádřena histogramem. Výsledná prostorová směrodatná odchylka vyrovnání mračen bodů nepřekročila u žádné etapy měření 0,005 m. Data byla následně poloautomaticky očištěna od objektů, které nejsou předmětem měření (technické vybavení, dopravní prostředky, osoby, uložený materiál, apod.) a klasifikována do jednotlivých kategorií. Takto upravená výstupní data lze použít pro další zpracování v běžně užívaných programech AutoCAD, AutoCAD Civil, Microstation, TopoCAD, Atlas atd. Transformace měřených dat (mračen bodů), čištění, klasifikace, filtrace a vektorizace byly provedeny v softwarech RiSCAN Pro 1.7.5. a Atlas LTD 1.6.

## 4 Výstupy měření

### 4.1 Digitální model povrchu tunelu

Z výstupních bodů ze zpracování mračen bodů se vytvořily digitální modely povrchu tunelu (trojúhelníková síť – délka strany trojúhelníka cca 10cm) jednotlivých etap s požadovanou přesností  $\sigma_{xyz} \max = 0.005m$ . Celý digitální model povrchu tunelu je umístěn v souřadnicovém systému stavby a lze ho jednoduše použít do 3D projektové dokumentace,

jako vstup dokumentace BIM, nebo pro kontrolu kolizí s technologiemi a stavebními prvky v tunelu.



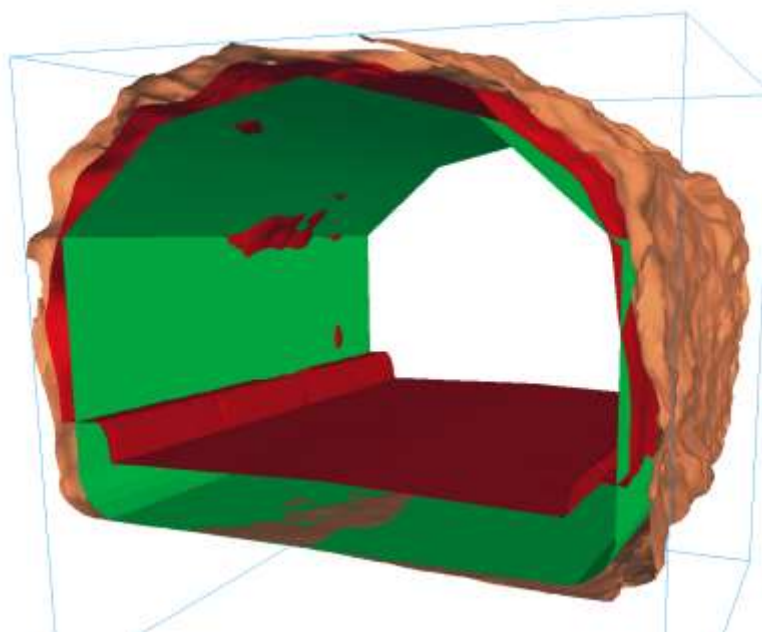
Obr. 5: Digitální modely povrchu tunelu (zdroj: Control System)

#### 4.2 Digitální model projektu tunelu

Na základě požadavků objednatele a dodané projektové dokumentace ve 2D byl vytvořen digitální model projektu ve 3D, byly dodány tyto podklady:

- Osa tunelu (polohová i výšková linie, lomové body osy, parametry zakřivení)
- Teoretický profil (výšky, šířky, poloměry zakřivení oblouků)
- Staničení osy včetně míst změn profilů

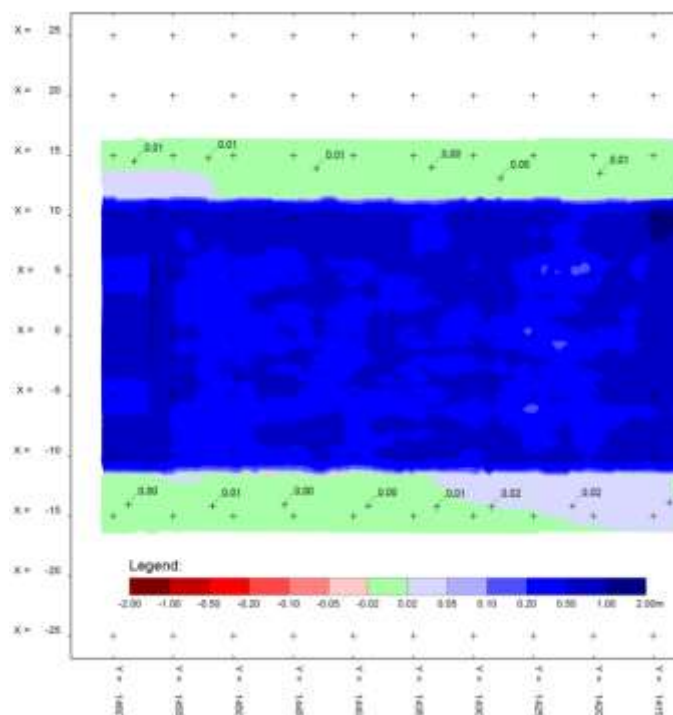
Digitální model projektu lze porovnávat s měřeným digitálním modelem povrchu tunelu a hledat a vyhodnocovat významné podvýruba, kontrolovat průjezdné profily a podobně.



Obr. 6: Digitální model projektu a povrchu tunelu výrub a primární ostění (zdroj: Control System)

### 4.3.2D Rozbalená plocha tunelu

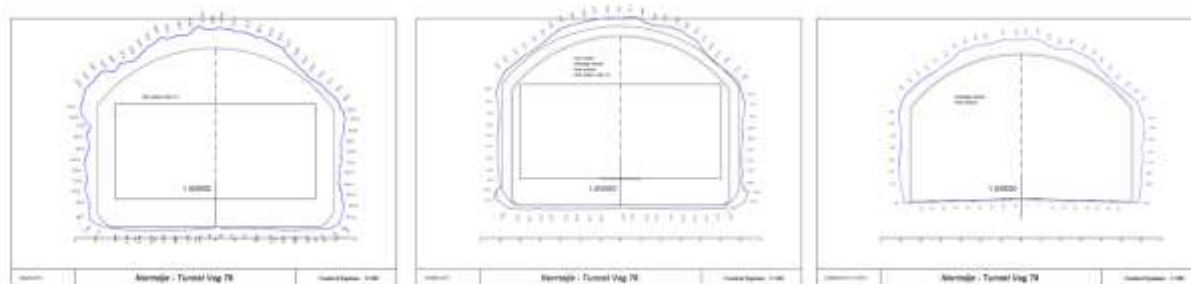
Na základě porovnání měření tunelu a projektu lze vytvořit speciální výstup tzv. rozbalenou plochu tunelu, jde o vyjádření výškového rozdílu mezi povrchem skutečným a povrchem projektu (mocnost podvýrubu a nadvýrubu) ve 2D kdy plocha tunelu je rozbalena kolem osy tunelu. Tedy osa Y zobrazuje staničení tunelu a osa X obvod profilu tunelu kde hodnota X v nule je strop.



Obr. 7: Rozdílový digitální model terénu tzv. rozbalená plocha (zdroj: Control System)

### 4.4 Profily tunelu

Na základě porovnání měření tunelu a projektu lze vytvořit řezy s okótováním odchylek od profilu projektu. Požadavek objednatele byly řezy po 1m v každé etapě měření.



Výrub tunelu

Primární ostění

Sekundární ostění

Obr. 8: Příčné řezy jednotlivých etap (zdroj: Control System)

## 5 Výpočty a výsledky

### 5.1 Výpočty nadvýrubů a podvýrubů

Na základě projektu tunelu byly spočítány objemy množství nadvýrubů a podvýrubů. Tyto hodnoty lze použít pro fakturace víceprací výrubu a dopravy materiálů a také společně s digitálním modelem povrch tunelu k optimalizaci vrtných plánů pro zmenšení technologického nadvýrubu.

Podvýrub/nadvýrub											
Staničení od [m]	Staničení do [m]	Délka [m]	Profil plocha [m <sup>2</sup> ]	Plocha teoretická [m <sup>2</sup> ]	Teoretický objem [m <sup>3</sup> ]	Skutečný objem [m <sup>3</sup> ]	Navýrub [m <sup>3</sup> ]	Podvýrub [m <sup>3</sup> ]	Nadvýrub [%]	Průměrná mocnost navýrubu [m]	Podvýrub [%]
1361,5	1461	99,5	95,3	3652	<b>9482</b>	<b>11478</b>	<b>2046</b>	<b>50</b>	<b>18%</b>	<b>0,56</b>	2%

Z tabulky je patrné, že objem nadvýrubu činil 18% z celkového objemu vytěženého materiálu, tato hodnota odpovídá standardu pro daný typ horniny a použité technologie.

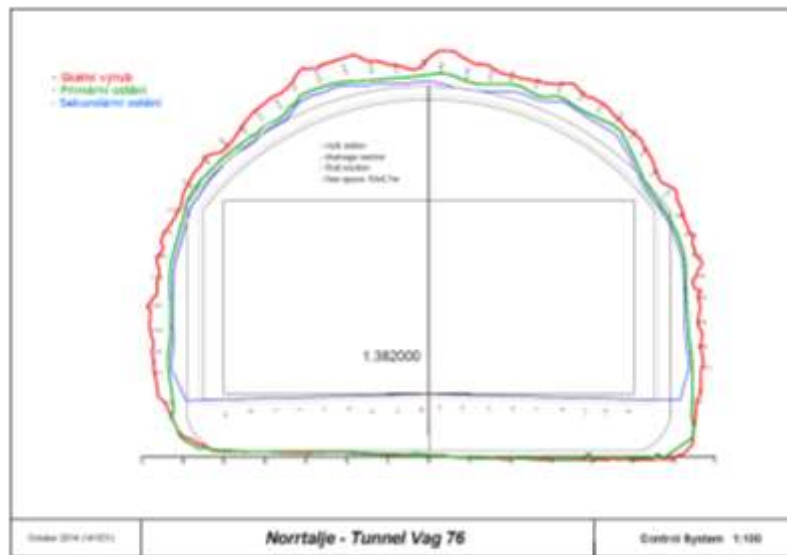
### 5.2 Výpočty torketování betonu

Na základě porovnání digitálních modelů jednotlivých etap, byly vypočítány objemy skutečného množství torketovaného betonu primárního i sekundárního ostění a porovnány s předpokládanými projektovanými hodnotami.

Torketování primární ostění										
Staničení od [m]	Staničení do [m]	Délka [m]	Plocha teoretická [m <sup>2</sup> ]	Teoretický objem [m <sup>3</sup> ]	Teoretická mocnost [m]	Skutečný objem [m <sup>3</sup> ]	Bilance betonu [m <sup>3</sup> ]	Bilance betonu [%]	Průměrná skutečná mocnost [m]	
1361,5	1461	99,5	2378	<b>951</b>	<b>0,40</b>	<b>1135</b>	184	<b>19%</b>	<b>0,48</b>	

Torketování sekundární ostění										
Staničení od [m]	Staničení do [m]	Délka [m]	Plocha teoretická [m <sup>2</sup> ]	Teoretický objem [m <sup>3</sup> ]	Teoretická mocnost [m]	Skutečný objem [m <sup>3</sup> ]	Bilance betonu [m <sup>3</sup> ]	Bilance betonu [%]	Průměrná skutečná mocnost [m]	
1361,5	1461	99,5	2040	<b>204</b>	<b>0,10</b>	<b>295</b>	91	<b>45%</b>	<b>0,14</b>	

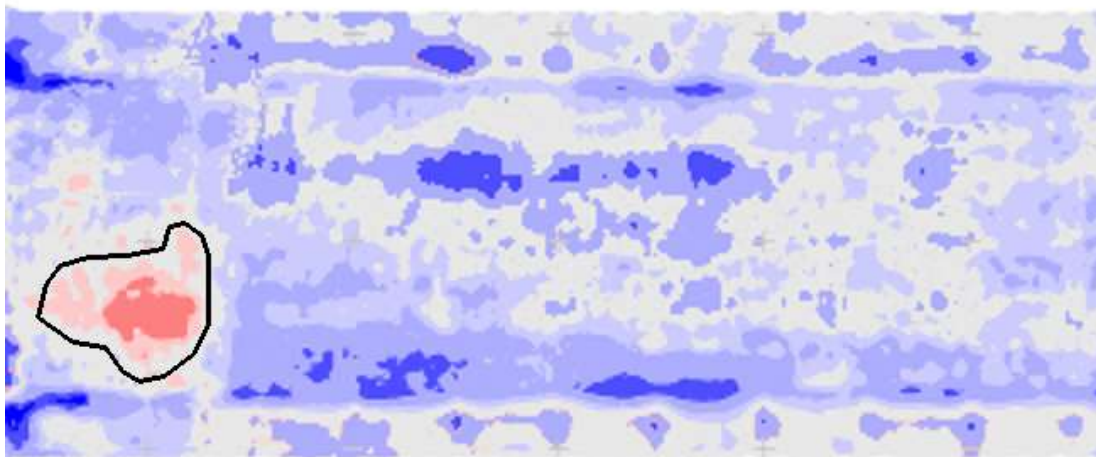
Z tabulek je patrné, že při torketování primárního ostění se spotřebovalo o 19% betonu více a průměrná mocnost byla místo 40 cm spočítána na 48 cm. U sekundárního ostění bylo spotřebováno o 45% betonu více průměrná mocnost činila 14 cm namísto plánovaných 10cm.



Obr. 9: Srovnání řezu jednotlivých etap v jednom místě (zdroj: Control System)

### 5.3 Lokalizace nedodržení teoretického profilu

Rozbalená plocha digitálního modelu povrchu výrubu tunelu byla použita pro lokalizaci míst, kde nebyl dodržen požadovaný profil. Na rozbalené ploše byla místa lokalizována, pomocí 3D vizualizací a profilů byly vyhodnoceny ty, které vyžadují opravy. Následně se vybraná místa pomocí klasických geodetických metod označila sprejem na stěně v tunelu k mechanické opravě.

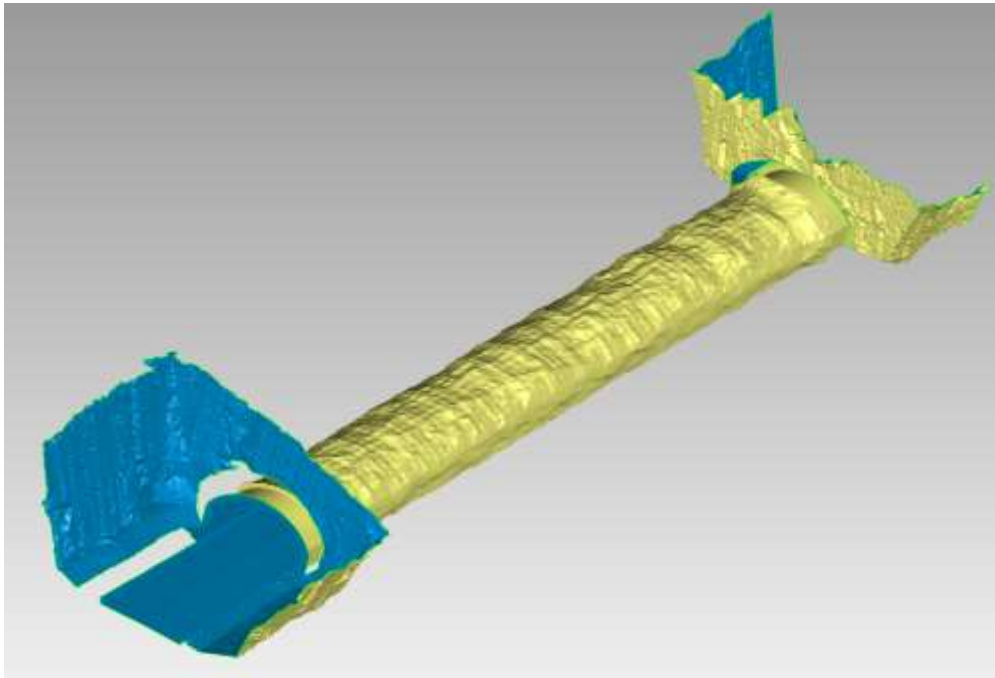


Obr. 10: rozbalená plocha lokalizace míst k opravě (zdroj: Control System)



## 6 Závěr

Využitím metody laserového skenování na stavbách tunelů vznikají detailní **digitální modely povrch** s vysokou přesností a mírou detailu. Tyto modely lze využít pro mnoho analýz, výpočtů a výstupů - **kontrola geometrických parametrů, výpočty kubatur, dokumentace skutečného provedení stavby a vizualizaci tunelu.**



Obr. 11: Vizualizace tunelu (zdroj: Control System)