

MODERNÍ MATERIÁLY PRO EFEKTIVNÍ SANACE OSTĚNÍ TUNELŮ

MODERN MATERIALS FOR EFFECTIVE REHABILITATION OF TUNNEL LININGS

ZBYNĚK DRIENOVSKÝ

ABSTRAKT

Poruchy podzemních staveb jsou nejčastěji spojeny se stabilitou ostění, jeho degradací v čase a problémy s přítoky či dlouhodobým působením vody. Článek představuje možnosti použití moderních materiálů při sanacích podzemních staveb, které byly v nedávné minulosti úspěšně dokončeny na území České republiky.

ABSTRACT

Defects of underground structures are most frequently associated with the stability of linings, degradation of linings with time and problems with inflows of groundwater or long-term effects of water. The paper introduces the possibilities of the application of modern materials to the underground construction rehabilitation projects which have been recently finished in the Czech Republic.

ÚVOD

Přestože Česká republika je svou geomorfologií vzdálena horským podmínkám alpského regionu nebo Skandinávie, patří díky hustotě infrastruktury a historii mezi země, kde je tunelářství důležitou součástí stavebních prací. Podzemní výstavba má zde dlouhou tradici a kvalitu, nicméně v každém podzemním díle se dříve nebo později může vyskytnout porucha a nastává potřeba jeho sanace. Specifikem sanací je především důraz na co nejkratší dobu realizace, tedy přesněji řečeno na maximální zkrácení nutného vyloučení podzemního díla z provozu a snížení finanční ztráty s tím spojené. Poněkud stranou často stojí technická stránka sanací a v minulosti se zejména majitelé a provozovatelé podzemních děl často řídili filozofií „údržba podzemního díla za minimální náklady“. Moderní materiály používané pro sanace podzemních děl by měly mít kromě požadovaných technických parametrů například dlouhou životnost a odolnost, které jsou velmi důležité právě při sanačních zákrocích. Pro dokreslení nezbytnosti mít k dispozici speciální materiály pro sanace podzemních děl lze připomenout, že na území České republiky se nachází například 162 železničních tunelů, přičemž valná většina (125) byla vybudována již před rokem 1918.

Společnost Minova Bohemia s.r.o. se pohybuje více než 20 let v prostředí tunelové výstavby a vývoje technologií a materiálů, který je v poslední době částečně zaměřen právě pro specializované sanační práce v podzemí.

Typickými produkty Minovou vyráběných a používaných při sanačních pracích jsou trvalé injekční pryskyřice pro dodatečné kotvení ostění, zpevňující injektáže horniny a ostění, případně pro těsnící injektáže. Tyto specializované injekční materiály jsou mimo jiné testovány akcelerační zkouškou stárnutí a dosahují i v agresivním prostředí životnosti přesahující 80 let. Z moderních výztužných prvků jsou zcela jistě trendem kompozity s předpokládanou životností přesahující 100 let. Jsou používány ve formě výztužných sítí nebo horninových svorníků. Pro

INTRODUCTION

Even though the Czech Republic is in terms of its geomorphology far from mountain conditions of the Alpine region or Scandinavia, it belongs, owing to the density of its infrastructure and its history, among the countries where the tunnel construction industry is an important part of civil engineering operations. Underground construction has a long tradition and long-term quality in the Czech Republic. Nevertheless, a defect may sooner or later occur in any underground structure and its rehabilitation becomes necessary. A specific feature of rehabilitation work is first of all the stress put on the shortest duration of the realisation, more precisely stress put on maximum reducing of the time necessary for the exclusion of the underground working from operation and reducing the financial loss associated with it. Somewhat aside is often the technical side of the rehabilitation and, in the past, owners and operators of underground structures often followed the “underground working maintenance for minimum costs” philosophy. Modern materials used for the rehabilitation of underground structures should, apart from meeting required technical parameters, feature, for example, long duration and resistance, which are very important especially during rehabilitation operations. For sketching in the necessity for having special materials available for rehabilitation of underground structures it is possible to bring back to mind the fact that, for instance, there are 162 railway tunnels in the Czech Republic, the major proportion of which (125) were constructed before 1918.

The company of Minova Bohemia s. r. o. has been operating in the environment of tunnel construction and development of technologies and materials for over 20 years. This development has recently been partly focused on specialised rehabilitation work underground.

Typical products manufactured and used during rehabilitation operations by Minova are permanent injection resins used for additional anchoring of linings, strengthening injections of rock mass and linings, possibly for sealing injections. These specialised injection materials are tested, among others, by accelerated tests of ageing and their lifespan exceeds 80 years

složitější horninové podmínky jsou pak k dispozici ocelové výztuže se speciální povrchovou úpravou kombinující zinkování s epoxidovým nátěrem (tzv. Twin-Coat).

Pro sanační práce nejen v podzemí je považována za důležitou technologii stříkaných hydroizolací s využitím EVA-polymerní membrány. Zatímco v rámci nové výstavby je pro realizaci hydroizolace k dispozici více možností (především fóliové systémy), tak při sanacích se v některých případech řeší pouze lokální problémy s průsaky anebo se hydroizolační vrstva musí nanášet na existující ostění. Téměř vždy se jedná o situace, kdy je podklad nerovný (ostění z různě opracovaných kamenných kvádrů, případně přímo skalní podklad). Dalším problémem jsou změny geometrie ostění způsobené například existencí bezpečnostních výklenků, přechody tunelových pasů z různých materiálů, dilatační spáry apod.

BOHUSLAVICKÝ TUNEL

Díky pokrokovému přístupu projekční kanceláře Amberg Engineering Brno, a.s., se jedna z prvních akcí s využitím zmíněných kompozitních výztuží realizovala již v letech 2007–2009 v rámci rekonstrukce Bohuslavického tunelu na železniční trati Jaroměř – Královec.

Jednokolejný tunel, jehož stavba byla dokončena v roce 1868, je dlouhý 187,5 m s ostěním ze zdiva z pískovcových kvádrů. Poslední rekonstrukce v roce 1973 byla provedena ve smyslu opravit jen nejnútnejší a co nejlevněji. Ve výsledku bylo ostění na mnoha místech silně poškozeno, jednotlivé kvádry doslova vypadávaly. Několik tunelových pasů bylo provizorně podskruženo ocelovými rámy a dřevěnými pažinami.

Záměrem projektanta bylo zajištění stávající klenby v ploše pomocí materiálů, které nejsou náročné na prostor (nedojde ke zmenšení průjezdného profilu), nepřitíží klenbu a budou mít dlouhou životnost. Jako základní prvek byly zvoleny kompozitní sítě s nízkou konstrukční výškou na bázi trvalé vinyl-esterové pryskyřice a skelných vláken, kotvené přes ostění pomocí trvalých kompozitních horninových

even in an aggressive environment. Of the modern excavation support elements, composites with the design life exceeding 100 years are certainly the current trend. They are used in the form of reinforcing mesh or rock bolts. Steel excavation support elements with special surface treatment combining galvanisation with zinc phosphate and sprayed epoxy coating (the so-called Twin-Coat) are available for more difficult ground conditions.

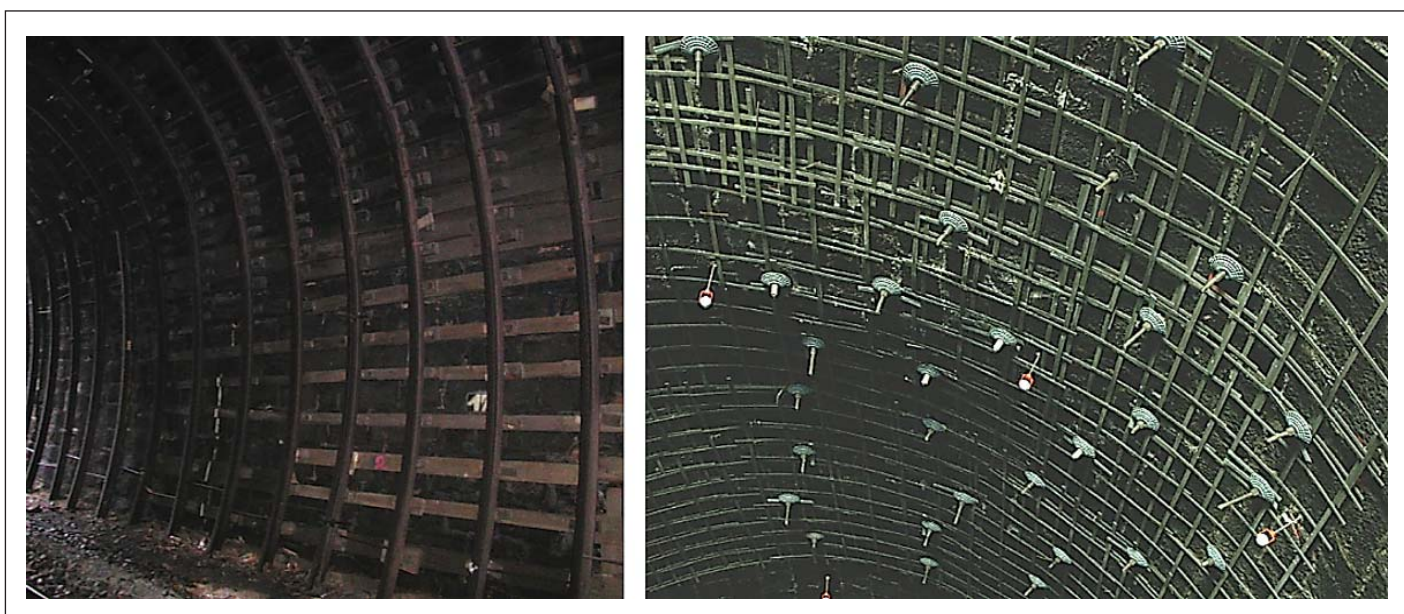
We consider the spray-applied waterproofing using the EVA-polymer membrane to be important not only for rehabilitation work and not only underground. Whilst there are more possibilities for realisation of waterproofing within the framework of new construction (first of all plastic membrane systems), only local problems with seepage are in some cases solved by rehabilitation, where the waterproofing layer has to be applied to already existing linings. Nearly always these are the situations where the substrate is uneven (linings from variously trimmed stone blocks or application directly on the rock substrate). Another problem lies in changes in the lining geometry caused, for example, by the existence of safety recesses, transition between tunnel blocks from various materials, expansion joints, etc.

BOHUSLAVICE TUNNEL

Thanks to the progressive approach of Amberg Engineering Brno, a. s., designing office, one of the first cases where the above-mentioned composite support elements were used was realised in 2007–2009 within the framework of the reconstruction of the Bohuslavice tunnel on the Jaroměř-Královec rail line.

The single-track tunnel, the construction of which was finished in 1868, is 187.5m long. It is lined with sandstone blocks. The last reconstruction in 1973 was carried out with the aim of repairing only the most necessary things at the cheapest way. In the result, the lining remained at many places heavily damaged and individual stone blocks were falling out of the lining. Several tunnel blocks were temporarily provided with steel frames and wooden lagging.

Designer's intention was to stabilise the surface of the existing vault by means of materials which are not space-intensive



Obr. 1 Provizorní podskružení (vlevo) a po odstranění osazení trvalou kompozitní sítí a svorníky (vpravo)

Fig. 1 Temporary centering (for the left) and installation of permanent composite mesh and rock bolts (for the right) after its removal



Obr. 2 Sanace Střelenského tunelu s využitím kompozitních sítí Powermesh
 Fig. 2 Rehabilitation of the Střelenský tunnel using composite Powermesh

svorníků. Horninové svorníky byly do horniny lepeny pomocí okamžitě únosné kotevní tixotropní pryskyřice. V porovnání s kovovými prvky kompozity nevyžadují ochrannou vrstvu stříkaného betonu, která by klenbu přitížila a především zmenšila průjezdný profil (obr. 1).

V kritičtějším místech byla injekční technologií za pažiny aplikována speciální pryskyřice vyplňující malé kaveriny v ostění a stabilizující základku bezprostředně za ostěním. Následně bylo podskružení odstraněno bez rizika lokální poruchy, provedeno dokotvení kompozitními horninovými svorníky a byla obnovena výplň spár vyzdívky. Bez mála 10 let od provedení sanačních prací je tunel bez problémů a plní svoji funkci bez omezení.

V uplynulých letech byly kompozitní síť firmy Minova Bohemia s.r.o. upraveny v rámci generační obměny a stejně tak byly pro sanační práce nově vyvinuty kompozitní matice s nízkým profilem pro dodatečné kotvení v tunelech (tzv. Low-profile Nut). Přesto je v principu řešení použité společností Amberg Engineering Brno, a.s. aplikovatelné i dnes na další podzemní díla se stabilitními problémy ostění. Kompozitní prvky jsou vysoce trvalé i v prostředí se zvýšenou agresivitou, nevyžadují žádnou protikorozní nebo jen minimální ochranou krycí vrstvu, jsou lehké, s vysokými pevnostními parametry. Dalším důvodem pro jejich použití v konstrukcích je výskyt bludných proudů, které díky kompozitní výztuži nemohou negativně ovlivnit vyztužené betonové konstrukce. Těto

(the clearance profile is not reduced), do not apply a surcharge to the vault and will have a long life. Composite mesh with a low structural height, based on a permanent vinyl-ester resin and glass fibres, anchored with permanent composite rock bolts, was chosen to be the basic element. The rock bolts were bonded into rock by means of a thixotropic resin immediately bearing a load. In comparison with metallic elements, composites do not require a protective shotcrete layer which would apply surcharge to the vault and, first of all, would reduce the clearance profile (see Fig. 1).

A special resin filling small caverns in the lining and stabilising the backfill immediately behind the lagging, using an injection technology. Subsequently the temporary support was removed without a risk of a local failure, the additional anchoring with composite rock bolts was finished and the filling of joints in the lining was renewed. The tunnel is trouble-free and fulfils its function without restriction nearly 10 years after the completion of the rehabilitation.

Our composite mesh products have been recently modified within the framework of the generational change and low-profile composite matrices were developed for additional anchoring in tunnels (the so-called Low-profile Nut). Despite this fact, the solution used by Amberg Engineering Brno, a.s., is in principle applicable even today to other underground structures suffering from stability problems of the lining. Composite elements are highly durable even in an increased corrosivity environment. They need no corrosion protection or need only a minimum protection layer, are light-weight with high



Obr. 3 Aplikace stříkané hydroizolační membrány v Pavlovickém tunelu
Fig. 3 Spray-applied waterproofing membrane in the Pavlovice tunnel

vlastnosti bylo využito například při rekonstrukci Střelenského tunelu na trati Horní Lideč – Púchov, kde byly kompozitní výztužné sítě instalovány na zárubních zdech obou portálových úseků v kombinaci se stříkaným betonem (obr. 2).

PAVLOVICKÝ TUNEL

V tomto případě byly sanační práce spojeny s problémem pronikání vody. Jednokolejný tunel vybudovaný v roce 1871 o délce 220,8 m byl přestavěn v letech 1965–1967. Přestavba spočívala v rozšíření klenby v souvislosti s elektrifikací daného tratěvého úseku. Vznikla tak kombinace ostění z původního rádkového zdiva a železobetonové klenby vykazující nízkou pevnost.

Původní projekt předpokládal pouze lokální opravy následků účinků prosakující vody a opravu povrchů ostění. Následně měl být povrch ošetřen krystalizačním nátěrem, který byl ovšem v tomto tunelu aplikován v předchozích letech a zcela se neosvědčil. Nasvědčovaly o tom četné vápenné výluhy na líci klenby a v zimních měsících se tvořící ledové rampouchy zasahující až na trakci. Proto byl projekt zásadně přepracován s využitím těsnících injektáží, instalací povrchových drenážních svodnic (Alfa/Omega drenážní žlábků) a finálním nástřikem polymer-cementovou pružnou hydroizolační membránou (obr. 3) s krycí vrstvou stříkaného betonu. Práce v tomto tunelu byly prováděny v roce 2010 v rámci modernizace železniční trati Stříbro – Planá a byla to tak jedna z prvních staveb v ČR, kde se obdobný typ stříkané hydroizolace uplatnil pro sanační práce.

Rovněž v tomto případě bylo cílem výrazněji nesnížit průřezný profil tunelu, což se díky tenké stříkané vrstvě podařilo. Kombinace chemické injektáže za ostění a stříkané izolace aplikované na ostění tunelu představuje efektivní a rychlé řešení problémů s vodou v rekonstruovaných tunelech. Dodatečná izolace za ostění je komplikovaná (při plošném injektážním řešení) nebo vyžaduje odstranění stávajícího ostění, což je spojeno s řadou rizik.

strength-related parameters. Another reason for their application in structures is the occurrence of stray currents, which cannot negatively influence reinforced concrete structures thanks to the composite reinforcement. This property was for example taken advantage of during the reconstruction of the Střelná tunnel on the Horní Lideč – Púchov rail line, where composite reinforcing mesh was installed in combination with shotcrete (see Fig. 2) on revetment walls in both portal sections.

PAVLOVICE TUNNEL

In this case, the rehabilitation operations were associated with problems with the intrusion of water. This 220.8m long single-track tunnel was constructed in 1871 and was reconstructed in 1965–1967. The reconstruction lied in the expansion of the tunnel vault in connection with the electrification of the particular rail line section. It gave rise to a combination of the original coursed masonry lining and a reinforced concrete vault exhibiting low strength.

The original design assumed only local repairs of defects caused by water seeping through the lining and repairs of the lining surface. The surface was to be subsequently treated with crystallisation coating. However, the coating had been applied in this tunnel during past years and had not fully acquitted itself. Frequent lime leachates on the lining internal surface and icicles developing during winter months and reaching down up to the catenary line indicated this problem. The design was for that reason fundamentally reworked, using sealing grouting, installation of subsurface drainage (Alfa/Omega drainage channels) and the final spray-applied flexible polymer-cement waterproofing membrane (see Fig. 3) with a shotcrete covering layer. The work in this tunnel was carried out in 2010, within the framework of the modernisation of the Stříbro – Planá rail track. It was one of the first projects in the Czech Republic where a similar type of spray-applied waterproofing was used for rehabilitation operations.

The objective not to more significantly decrease the height of the tunnel clearance profile was pursued also in this case. Owing to the thin spray-applied layer, the objective was met. The combination of chemical grouting behind the lining and waterproofing spray-applied on the tunnel lining represents an



Obr. 4 Sanace Sedlejšovického tunelu – východní portál, vlevo před sanací, vpravo po sanaci
 Fig. 4 Rehabilitation of the Sedlejšovice tunnel – eastern portal before rehabilitation (for the left) and after rehabilitation (for the right)

Stejná technologie byla aplikována ve stejné době i na bývalém tunelu Žižkovském v Praze (dnes starý Vítkovský), kde v rámci budování tzv. Nového spojení vznikla cyklostezka. Na základě docílení výborného výsledku po provedení této technologie Minova aplikovala stejný postup a skladbu materiálů včetně stříkané izolace při rekonstrukci tunelu Rigelského na trati Liberec – Černousy v průběhu roku 2015.

ZÁVĚR

Sanace a rekonstrukce podzemních děl se pomalu, ale jistě stávají nedílnou součástí tunelářství v ČR a jejich podíl pravděpodobně nadále poroste. A to nejen díky absenci nové výstavby, ale především díky technickému stavu staveb (obr. 4) a zvyšujících se nároků na jejich provozování. Společnost Minova Bohemia s.r.o. uvedla na trh ucelenou řadu materiálů, které z aplikačního hlediska i z hlediska svých parametrů umožňují efektivní a trvalé řešení problémů týkajících se stability a průsaků vody. Je potřeba si uvědomit, že na sanační práce a na sanační materiály jsou kladeny poněkud jiné požadavky než na materiály používané při ražbě a hloubení podzemních děl. Především je míněna požadovaná dlouhodobá odolnost tzv. trvalých prvků v porovnání s prvky tzv. dočasnými určenými pro ražby podzemních děl. Vyšší kvalita speciálních materiálů neznamená vždy jen zvýšenou cenu – představuje především garanci dlouhé funkčnosti a životnosti provedených sanačních prací bez nutnosti opakovaného vyloučení podzemního díla z provozu v krátkém čase. Investice do takovýchto materiálů, v porovnání s náklady spojenými s odstávkou například železničních tunelů, se mnohonásobně vyplatí.

ZBYNĚK DRIENOVSKÝ,
 zbynek.drienovsky@minovaglobal.com,
 Minova Bohemia s.r.o.

Recenzovali **Reviewed:** doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.,
 Ing. Jaroslav Lacina

effective and fast solution to problems with water in tunnels being reconstructed. Additional waterproofing behind the lining is complicated (in the case of a sheet membrane system) or requires that the existing lining is removed. However, this operation is associated with numerous risks.

The same technology was applied at the same time also to the former Žižkov tunnel (today old Vítkov tunnel) in Prague, where a cycle way originated within the framework of the New Link construction project. Minova applied the same procedure and selection of materials, including spray-applied waterproofing membrane, on the basis of achieving excellent result after implementing this technology, to the reconstruction of the Rigel tunnel on the Liberec – Černousy rail line during 2015.

CONCLUSION

Rehabilitation and reconstruction of underground structures become slowly but surely inseparable parts of our tunnelling industry and their proportion will probably further grow. It is so not only owing to the absence of new construction projects, but first of all due to the technical condition of the structures (see Fig. 4) and increasing demands on operating them. Minova Bohemia s. r. o. has brought to market a complete range of materials, which, from the application point of view as well as the aspect of its parameters allow for an effective and permanent solution to problems regarding the stability and seepage of water. It is necessary to realise that the requirements imposed on rehabilitation operations and rehabilitation materials are slightly different than requirements for materials used during underground excavation and sinking of shafts. First of all we mean the required long duration of the so-called permanent elements in comparison with the so-called temporary elements designed for underground excavation. Higher quality of special materials does not always mean only increased costs – it first of all represents a guarantee of long functionality and duration of completed rehabilitation work without the necessity for repeated exclusion of the underground working from operation in a short time. Investment into such materials many times pays off in comparison with the costs associated with an outage, for example of railway tunnels.

ZBYNĚK DRIENOVSKÝ,
 zbynek.drienovsky@minovaglobal.com,
 Minova Bohemia s.r.o.