



## APLIKACE VODONEPROPUSTNÝCH TUNELOVÝCH OSTĚNÍ

Zpracoval: prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc., FEng. (Metrostav a.s. a Fakulta stavební ČVUT v Praze)

### Souhrn

Podmínky pro použití vodonepropustného ostění jsou dvojí. Vnější podmínky definují prostředí v horninovém masivu, kde se tunel vyskytuje. Rozhodujícími faktory jsou tlak podzemní vody a agresivita horninového prostředí, zejména podzemní vody. Vnitřní podmínky jsou definovány uživatelem a obsahují podmínky vnitřního prostředí a konstrukční podmínky pro projektování a realizaci tunelového ostění.

### Oblast použití

Vodonepropustným ostěním se zde označuje tunelové betonové ostění, které nemá bariérovou izolaci, ale zajišťuje přiměřeně suché podmínky vlastní betonovou nosnou konstrukcí. Technický list uvádí podmínky, které je třeba splnit, aby bylo možné úspěšně vodonepropustnou konstrukci postavit. Technický list navazuje na TL z roku 2013.

### Metodika a postup řešení

Podmínky pro použití vodonepropustného ostění jsou vnější a vnitřní. Vnější podmínky charakterizují vnější prostředí a je proto nutné posoudit, zda je použití vodonepropustné konstrukce možné. Vnitřní podmínky definují vnitřní prostředí tunelů a podmínky pro konstrukční řešení vlastní betonové konstrukce ostění.

#### *Vnější podmínky*

Nejvýznamnějšími vnějšími podmínkami jsou tlak podzemní vody a agresivita vnějšího prostředí – zejména agresivita podzemních vod. Z hlediska tlaku je možné navrhovat vodonepropustné betonové konstrukce obvykle do tlaku vodního sloupce cca 30 m bez zvláštních opatření. Pro vyšší tlaky je možné též vodonepropustné ostění navrhovat, avšak vyšší požadavky na veškeré konstrukční části mohou vést k zvýšení nákladů. Proto je třeba v takovém případě posoudit vhodnost takového řešení. Agresivitu prostředí je třeba posoudit dle inženýrsko-geologického průzkumu a chemického rozboru podzemních vod. Dle chemického složení lze okolní prostředí zařadit do příslušného stupně vlivu prostředí ve smyslu ČSN EN 206, popř. u nás připravované doplňkové (zbytkové) normy ČSN P 73 2404, která na evropskou normu ČSN EN 206 přímo navazuje a doplňuje závažné informace potřebné mimo jiné i pro popisované konstrukce. Agresivita prostředí může být různá, nejčastěji se však objevují v okolním prostředí agresivní látky obsahující sloučeniny chlóru nebo síry. Na základě chemického rozboru je třeba

posoudit závažnost agresivity a navrhnout vhodná složení betonu. V případě obsahu chloridů se odolnost betonu řeší především minimalizací průsaku, tj. hutnou strukturou a dále předepsáním maximálního vodního součinitele, minimálního množství cementu a minimální pevnosti betonu. Dále se možné použít příměsi, které mohou příznivě působit na dlouhodobé vlastnosti betonu a zvýšit tak jeho odolnost proti nepříznivým účinkům prostředí. V případě obsahu síranů se obvykle volí síranovzdorný cement, který je schopen do určité míry agresivitě takového prostředí odolávat. ČSN P 73 2404 uvádí v příloze F cementy vhodné pro použití dle stupňů vlivu prostředí. Protože tunely jsou stavební díla s mimořádně dlouhou životností, je nutné věnovat průzkumným pracím a vyhodnocením agresivity prostředí mimořádnou pozornost a v případě pochybností vypracovat chemické analýzy, které mohou specifikovat konkrétní podmínky a umožní návrh konkrétní receptury vhodné pro daný typ prostředí. Je nutné počítat též s eventualitou, že pro danou agresivitu nebude možné beton navrhnout a tedy, že se bude muset přistoupit k řešení ostění s bariérovou izolací.

#### *Vnitřní podmínky*

Vnitřní podmínky charakterizují podmínky vnitřního prostředí v tunelu a dále opatření, jak lze těchto podmínek dosáhnout. Protože betonová konstrukce není ve většině případů zcela nepropustná, dochází k průniku vodních par skrze betonovou konstrukci a tyto páry se na vnitřní straně konstrukce odpaří. V případě provozovaných tunelů není odpar menšího množství vodní páry problém, neboť provozované tunely jsou stále odvětrávány a tím se vodní páry odvedou. Vyšší požadavky na vodotěsnost se mohou vyskytovat ve zvláštních provezech, jako jsou různé strojovny nebo skladové prostory, kde mohou být jednak požadavky na vlhkost vnitřního prostředí přísnější a též výkon větrání je ve srovnání s běžným tunelem menší. V takových případech je třeba uvážit opět možnosti vodonepropustných ostění a posoudit zejména ekonomickou efektivitu různých řešení. Vzájemné vazby mezi vnějším zatížením konstrukce vodním tlakem a podmínkami vnitřního prostředí jsou řešeny např. v [1].

Podmínky pro konstrukční řešení jsou druhou částí vnitřních podmínek. Do této kategorie patří řada podmínek určujících konstrukční řešení vodonepropustného ostění. Návrh složení betonu patří do speciální části a pojednává o něm mimo jiné TL [2]. Další oblast tvoří těsnění pracovních a dilatačních spár. O experimentu na toto téma pojednává TL [3]. Návrh výztuže a jejího rozmístění v konstrukci ostění vyžaduje zvláštní pozornost. Výpočetní postupy jsou poměrně málo výstižné zejména proto, že nejsou k dispozici dostatečně

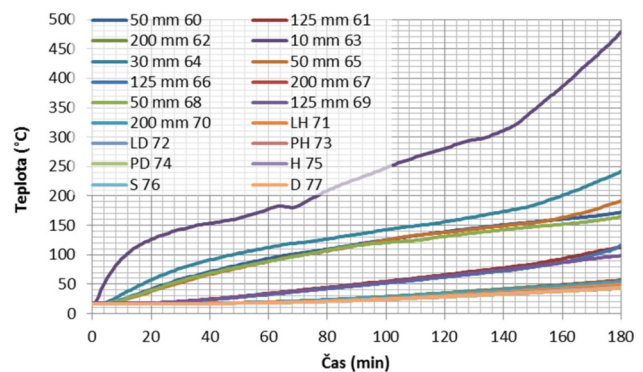
přesné vstupní údaje, aby bylo možné provádět přesné výpočty. Zatížení, která způsobují případné trhliny, jsou převážně fyzikálního charakteru, tj. nikoli mechanická zatížení, ale především smršťování betonu a teplotní účinky během hydratace cementu, tj. v počátečních fázích tvrdnutí betonu, kdy pevnost a modul pružnosti ještě nedosahují stabilních hodnot. To vše je důvodem pro malou výstižnost výpočetních postupů. Z hlediska ekonomického není vhodné navrhovat betonovou konstrukci tak, aby výskyt trhlin byl zcela omezen. Takové vyztužení by bylo velmi silné a konstrukce by nebyla konkurenceschopná. Je třeba hledat kompromis, aby vznikající trhliny byly malé šířky a rovnoměrně rozdělené. Takové trhliny nejsou průběžné, a tedy nepůsobí netěsnost ostění. Malé množství trhlin může být průběžných. Jejich šířka je buď natolik malá, že se samy utěsní při průniku vody, nebo se počítá s tím, že budou utěsněny dodatečně např. injektáží. Nalezení vhodného kompromisu mezi náklady na primární vyztužení a na dodatečné utěsnění přiměřeného počtu trhlin je jednou z náročných činností při návrhu vodonepropustného ostění. Postupy injektování jsou součástí projektu. Je třeba hned ve fázi projektování navrhnout postupy přiměřené sanace vznikajících trhlin jako nedílnou součást celé koncepce vodonepropustného tunelového ostění. Je třeba připomenout, že přiměřené opravy trhlin nejsou závadou díla, ale jeho součástí. Po provedení oprav se konstrukce stává trvale nepropustnou, na rozdíl od některých konstrukcí s bariérovou izolací. Důvodem je menší životnost některých materiálů izolací, než je životnost tunelu a jeho betonové konstrukce. Další výhodou vodonepropustného betonového ostění je též relativně snadná oprava průsaků, neboť závady jsou snadno identifikovatelné.

Další podmínky jsou dány uživatelem tunelu. Kromě již zmíněného požadavku na množství povoleného průsaku existují další významné okolnosti, které ovlivňují návrh vodonepropustného ostění. Jednou z nich je požární odolnost. Nejprve je třeba konstatovat, že definice požární odolnosti zejména u klenbových ražených tunelů prakticky neexistuje. Obvykle se vychází z podmínky, že teplota výztuže může dosáhnout určité maximální hodnoty v daném čase. Pokud je např. ostění bez výztuže nebo má výztuž pouze z vláken, nastává zásadní problém. Požární odolnost lze zlepšovat přidáním např. PP vláken do betonu, která omezí odprýskávání povrchových vrstev v důsledku jejich vysoké teploty. Další opatření lze hledat v oblasti složení betonu. Účinnější ochranu betonu před vysokou teplotou při požáru poskytují ochranné vrstvy. Buď jde o nátěrové nebo nástřikové hmoty spojené s betonem soudržností, nebo materiály ve formě desek připevněných na povrch betonu mechanicky. V obou případech se při dříve provedených zkouškách projevilo slabé místo v oblasti spojení ochranného materiálu a betonu.

Další oblastí, která ovlivňuje návrh ostění, jsou provozní požadavky. Např. je třeba ostění čistit, což vyžaduje návrh hladkého povrchu. Obvykle nevhodný je povrch stříkaného betonu, nebo právě některé nástřiky proti požáru. Pokud je třeba povrch betonu opatřovat dalšími vrstvami (např. obklady), je třeba uvážit odvod vodních par pronikajících skrz vodonepropustné betonové ostění.

## Výsledky

V roce 2014 byly zkoumány betony pro různé stupně prostředí. Též byla z projektu podpořena požární zkouška betonu s vlákny a s obsahem elektrárenského popílku. Ze tří vzorků byly dva opatřeny ochranným protipožárním nátěrem Chartek 1709. Byl zkoumán vliv vysoké teploty cca 1100 °C na poškození povrchové vrstvy betonu. Zkouška prokázala, že povrch poškozen nebyl a byly měřeny teploty v různé hloubce pod povrchem betonu. Projevil se velmi příznivý vliv ochranného nátěru, který výrazně snížil teploty uvnitř betonu (obr. 1). V hloubce 10 mm pod povrchem vystaveným požáru teplota dosáhla jen cca 480 °C.



Obr. 1 Průběh teplot v betonovém vzorku opatřeném ochranným nátěrem.

## Závěr

V roce 2014 byly analyzovány podmínky pro působení betonu v různých prostředích. Dále byla provedena požární zkouška. Závěrem lze konstatovat, že vodonepropustné betonové ostění je možné ve většině případů použít. Jeho vlastnosti a též ekonomická výhodnost závisí především na podmínkách vnitřního prostředí. Ty mohou být předmětem jednání mezi investorem a projektovým týmem.

## Literatura

- [1] Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weiße Wannen. Richtlinie ÖVBB, März 2009.
- [2] Vítek, J. L., Coufal, R., Hubáček, A.: Složení betonu pro vodonepropustné monolitické ostění. CESTI TL 4.3.1., 2014
- [3] Vítek, J. L., Dehner, J.: Technologie výstavby vodonepropustného tunelového ostění – těsnění spár. CESTI TL 4.3.3., 2014