

# VYUŽITÍ TEXTILNÍHO BETONU PRO VÝZKUM ZACELOVÁNÍ TRHLIN

Jakub Žák, \*

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,  
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.  
jakub.zak@fsv.cvut.cz

## ABSTRAKT

Výzkumy zabývající se zacelováním trhlin v betonu vlivem autogenního hojení, vlivem přísad způsobujících sekundární krystalizaci nebo vlivem mikroorganismů, často využívají velká zkušební tělesa. V těchto zkušebních tělesech je obvykle jedna trhlina. Pro výzkum nejvhodnější metody zacelování trhlin je potřeba vytvořit mnoho vzorků a zkoumat je při různých okrajových podmínkách. Využití textilního betonu (TRC) dokáže zmenšit množství potřebných vzorků. Zkušební tělesa z TRC mohou i při malých rozměrech obsahovat velké množství trhlin. Pro tvorbu trhlin v tomto materiálu existují dva základní způsoby – tahové a ohybové zatížení. Tvar a velikost trhlin lze přesně nastavit. Nevýhodou je, že směs použitá na výrobu vzorků z TRC nemůže obsahovat hrubší frakce.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Textilní beton • TRC • Autogenní hojení • Tvorba trhlin • Vývoj trhlin

## ABSTRACT

Research of crack healing in concrete due to autogenous healing, due to secondary crystallization admixtures or due to microorganisms often uses large test specimens. There is usually one crack in these test specimens. To research the most suitable method of crack healing, it is necessary to create many samples and examine them with different boundary conditions. The use of textile concrete (TRC) can reduce the number of samples required. TRC test specimens can contain many cracks, even with small dimensions. There are two basic methods to create cracks in this material - tensile and bending loads. The shape and size of the cracks can be precisely adjusted. The disadvantage is that the mixture used to produce the TRC samples cannot contain coarser fractions.

## KEYWORDS

Textile reinforced concrete • TRC • Autogenous healing • Crack creation • Crack development

## 1. ÚVOD

V betonových konstrukcích se trhliny nacházejí téměř vždy (Obrázek 1). V konstrukcích spodní stavby jsou trhliny častým problémem a v kombinaci s vysokou hladinou podzemní vody může docházet k degradaci konstrukcí a snižování životnosti celé stavby. Tento problém je často řešen použitím některých příměsí, které způsobují sekundární hydrataci v betonu. Primárním účelem těchto příměsí je podpora autogenního hojení trhlin v betonu. Jako alternativa se v poslední době výzkum zaměřuje na možnost využívání mikroorganismů, jako je *bacillus pseudofirmus*. Využívání mikroorganismů se ale na rozdíl od příměsí zatím běžně nepoužívá. V případě, že podpora autogenního hojení trhlin v betonu není úspěšná, musí se přistoupit k sanaci konstrukce.

Výzkumy zaměřené na přísady a příměsi podporující sekundární krystalizaci dokazují jejich funkčnost, ale aplikace v reálných konstrukcích nejsou úplně přesvědčivé. Je proto nutné vyzkoušet různé okrajové podmínky, při kterých jsou tyto přísady a příměsi nejefektivnější, aby je bylo možné aplikovat na stavbě. Jedná se především o parametry jako jsou šířka trhlin, vlhkost, teplota a množství použité příměsi.

Vzhledem k množství kombinací parametrů je potřeba provést velké množství zkoušek. Proto by bylo nejvhodnější vyrobit co nejmenší vzorky s co největším počtem trhlin. Vzorky vyrobené z textilního betonu s netkanou polypropylenovou textilií by mohly být pro tento výzkum optimálním řešením (Pazderka a Hájková 2016, Pazderka a Hájek 2017, Pazderka 2016, Rahhal et al. 2009, Zhou et al. 2011, Edvardsen 1999, Mechtcherine et al. 2011, Brückner 2006).



Obrázek 1: Trhliny v betonové konstrukci.

\* Školitel: prof. Ing. Petr Štemberk, Ph.D., D.Eng.

## 2. MATERIÁLY A METODY

Pro výzkum vývoje a zacelování trhlin se často používá standardní zkušební krychle o délce hrany 150 mm nebo 100 mm. Tato zkušební tělesa velmi dobře napodobují skutečnou konstrukci. Největší výhodou je možnost využití stejné betonové směsi, která byla použita pro skutečnou konstrukci.

Další možnost je využití textilního betonu s netkanou polypropylenovou tkaninou (Obrázek 2). Zásadní rozdíl je v použité směsi, kdy pro výrobu textilního betonu není možné použít větší frakce kameniva. Ideální kamenivo, které lze použít pro výrobu TRC s netkanou textilií, nepřesahuje 0,25

mm. Vodní součinitel je také často vyšší než ve směsi betonu, ze které je skutečná konstrukce vyrobena, a vytvoření vzorků z textilního betonu prakticky není možné bez použití plastifikátoru.

Přestože shoda ve složení betonové směsi reálné konstrukce a zkušebních těles je při využití textilního betonu nižší, tak umožňuje získat velké množství dat z nichž se dají pozorovat určité vlastnosti a trendy. Tyto poznatky je následně možné aplikovat na velké vzorky ze stejné směsi, která je použita v konstrukci. To by mohlo urychlit výzkum a snížit náklady na materiál a jeho následnou likvidaci.



Obrázek 2: Zkušební vzorky: vlevo – zkušební krychle; vpravo – vzorky z textilního betonu.

### 2.1. Tvorba trhlin ve zkušebních krychlích

Vytváření realistických trhlin ve zkušebních krychlích je problematické. Trhlinu je možné vytvořit pomocí zkušebního lisu jako při zkoušce pevnosti betonu v příčném tahu. Aby však nedošlo k oddělení obou částí a vznikla pouze trhlinka, je nutné zkušební těleso vyztužit. Vyztužení lze řešit například pomocí vláken. Je vhodné použít nekovová vlákna, jako jsou například polypropylenová nebo PVA vlákna.

Tento postup umožňuje vytvořit obvykle jen jednu trhlinku v jednom zkušebním tělese (Obrázek 3). Lze měřit pouze vnější rozměry trhliny, vnitřní geometrie trhliny není známa. Šířka trhlin v těchto vzorcích se pohybuje kolem 0,1 - 0,6 mm.



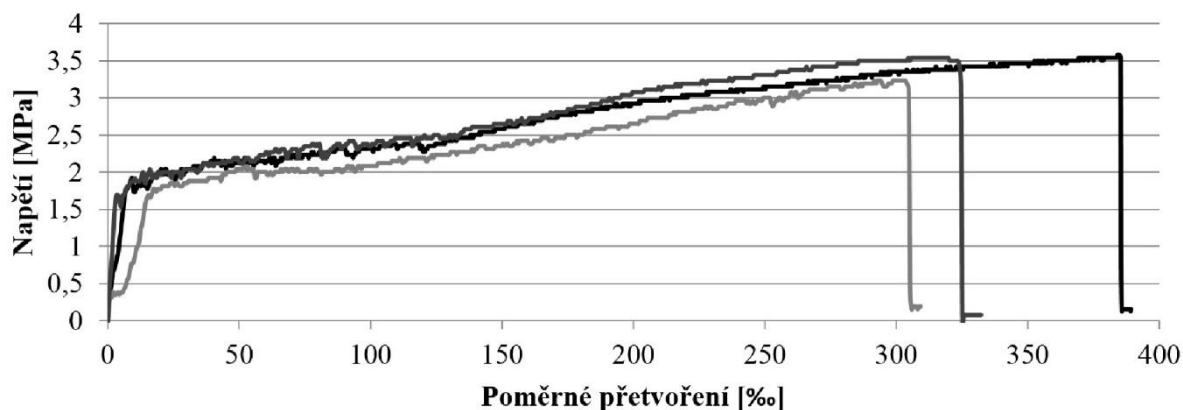
Obrázek 3: Zkušební krychle s trhlinou šíře 0,5 mm (Žáková a Žák. 2019).

### 2.2. Tvorba trhlin ve vzorcích z textilního betonu

Přestože textilní beton s netkanou polypropylenovou textilií dosahuje pevnosti v tahu kolem 3 MPa (Obrázek 4), není vhodný pro nosné konstrukce (Žák a Štemberk 2017). Během zatěžování totiž dochází k nadměrné deformaci materiálu a rozvoji velkého množství trhlin. Tuto vlastnost lze ale efektivně využít při výzkumu zacelování trhlin v betonu, protože na malém zkušebním tělese lze zkoumat řádově větší množství trhlin oproti standardním vzorkům.

Trhliny je možné v textilním betonu vytvořit dvěma základními způsoby. Prvním způsobem je tahové zatížení vzorku. K realizaci tahového zatížení je nutné vyrobit zkušební těleso větší, aby bylo možné vzorek upnout do zkušebního lisu. V tažené části vzorku se při zatížení vytvoří trhliny ve vzdálenostech přibližně 1 až 5 mm od sebe (Obrázek 5). Šířka trhlin je závislá na zatěžovací síle. Hlavní nevýhodou tvorby trhlin tahovým zatěžováním je zpětné uzavření trhlin po odtížení zkušebního tělesa. Těleso je tedy nutné před zkoumáním trhlin zafixovat v takové poloze, aby byly trhliny otevřené. Výhodou naopak je, že při zafixování tělesa je možné zvolit požadovanou šířku trhlin.

Druhým způsobem tvorby trhlin v textilním betonu je využití ohybového momentu. Zkušební vzorky jsou po odtížení trvale deformovány a není potřeba jejich dodatečná fixace (Obrázek 5). Šířka trhlin není jednotná a se vzdáleností od ohybu se zmenšuje.



Obrázek 4: Pracovní diagram zkušebního tělesa z textilního betonu při zkoušce pevnosti v jednoosém tahu.



Obrázek 5: Trhliny v textilním betonu: vlevo – tahové trhliny; vpravo – ohybové trhliny (Žáková a Žák. 2019).

Trhliny vytvořené ve vzorcích z textilního betonu pomocí ohybového momentu jsou široké asi 0,03 - 0,15 mm, zatímco u tahové zatížení vzorků může být šířka trhlín až 0,6 mm.

Kvůli lepší tvorbě trhlín je vhodné vytvářet dvouvrstvé vzorky.

### 2.3. Porovnání zkušebních těles

Každý typ zkušebních vzorků má své výhody a nevýhody (Tabulka 1). Zkušební krychle lze vyrobit prakticky ze stejné betonové směsi, jako je skutečná konstrukce. Na těchto vzorcích lze provést zkoušku propustnosti, která může

prokázat zacelení trhliny, stejně jako u klasicky zkoušených krychlí. V každém vzorku ale může být vyrobena pouze jedna trhlina, jejíž velikost se nedá nijak regulovat. Zkušební krychle také vyžadují více místa při skladování oproti vzorkům z textilního betonu.

Zkušební tělesa z textilního betonu neobsahují větší frakce kameniva, která jsou součástí směsi betonu skutečné konstrukce. V jednom vzorku je ale násobně větší množství trhlín a manipulace se vzorky je oproti zkušebním krychlím snadná. Vzhledem k malým rozměrům lze trhliny ve vzorku z textilního betonu zkoumat i v elektronovém mikroskopu. Tyto vzorky jsou dobrou volbou pro výzkum trendů hojení trhlín v betonu.

Tabulka 1: Porovnání zkušebních těles

Zkušební krychle	Zkušební tělesa z TRC
+ Shodná směs betonu s reálnou konstrukcí	– Rozdílná směs betonu s reálnou konstrukcí
– Potřeba větších skladovacích prostor	+ Potřeba menších skladovacích prostor
– Jedna trhlina v jednom zkušebním tělese	+ Mnoho trhlín v jednom zkušebním tělese
– Problematické vytváření trhliny	+ Jednoduché vytváření trhlín
– Větší trhliny (0,1 – 0,6 mm)	+ Menší trhliny (0,05 – 0,15 mm)
– Obtížnější manipulace se zkušebními tělesy	+ Jednoduchá manipulace se zkušebními tělesy
– Větší spotřeba materiálu	+ Menší spotřeba materiálu
+ Snadné zkoušení propustnosti	– Těžší zkoušení propustnosti

### 3. VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES Z TEXTILNÍHO BETONU

Velikost vzorků se může pohybovat od malých destiček (1 x 1 cm) po velké desky (2 x 2 m). Zkušební vzorky je možné vyrobit dvěma způsoby.

První možností je výroba větší desky a následné rozřezání na menší vzorky. Druhou možností je výroba vzorků s požadovanými rozměry.

Jeden z hlavních rozdílů mezi těmito metodami je kvalita hran výsledných vzorků, kdy hrany vzorků vyrobených z větší desky jsou rovnější a celistvější. Pro zkoumání zacelování trhlin není však tento detail příliš důležitý.

Samotná výroba větších desek je snadnější, ale nároky na kvalitu a rovinnost bednění jsou vyšší. Je také potřeba více místa při skladování během tuhnutí a tvrdnutí betonu.

### 4. VÝSLEDKY A DISKUSE

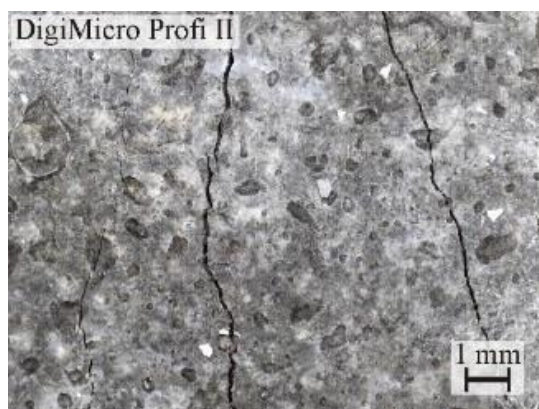
Vzorky pro výzkum zacelování trhlin v betonu byly vyrobeny z textilního betonu s netkanou polypropylenovou textilií.

Existují dva základní způsoby, jak lze vytvořit trhliny ve zkušebních vzorcích. První z nich využívá tahové zatížení. Pro uchycení vzorku do zkušebního lisu je nutné vyrobit vzorek větší. Po odtížení vzorku dochází k uzavírání trhlin. Aby bylo možné vzorek použít k výzkumu zacelování trhlin, je nutné vzorek zafixovat v takové pozici, aby byly trhliny otevřené. Výhodou je, že během fixace lze upravit šířku trhlin dle požadavků.

Druhým způsobem je zatížit zkušební vzorek ohybovým momentem. Po odtížení vzorek zůstává deformovaný a trhliny zůstávají otevřené, což je výhodné pro výzkum trhlin.

Trhliny ve vzorcích použitých pro výzkum zacelování trhlin byly vytvořeny pomocí ohybového momentu, aby se zabránilo jejich opětovnému uzavření. Kvůli malé šířce trhlin byl použit digitální mikroskop pro kontrolu a měření šířky trhlin (Obrázek 6).

Tato metoda umožňuje zkoumat velké množství trhlin na malých vzorcích z textilního betonu, které byly uloženy v různých okrajových podmínkách.



Obrázek 6: Trhliny v textilním betonu (Žáková a Žák 2019).

### 5. ZÁVĚR

Využití zkušebních vzorků z textilního betonu s netkanou polypropylenovou textilií je dobrou volbou pro výzkum a popis trendů vývoje trhlin a procesu autogenního hojení trhlin v betonu. Velkou výhodou vzorků z textilního betonu je možnost zkoumat velké množství trhlin na relativně malé ploše. To také znamená menší množství spotřebovaného materiálu při výrobě vzorků, menší nároky na skladovací prostory a navíc je po skončení experimentu menší množství odpadu než při zkouškách na klasických zkušebních krychlich.

### PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří Českému vysokému učenému technickému v Praze, které tuto práci finančně podporovalo v rámci projektu SGS20/043/OHK1/1T/11.

### Použitá literatura

- Pazderka J and Hájková E (2016) Crystalline Admixtures And Their Effect On Selected Properties Of Concrete *Acta Polytechnica* **56** 306–11
- Pazderka J and Hájek P (2017) Two innovative solutions based on fibre concrete blocks designed for building substructure IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. **246** 012046
- Pazderka J (2016) Concrete with Crystalline Admixture for Ventilated Tunnel against Moisture Key Engineering Materials **677** 108–13
- Pazderka J and Hájková E (2017) The speed of the crystalline admixture's waterproofing effect in concrete Key Engineering Materials **722** 108-12
- Rahhal V et al. (2009) Scheme of the Portland cement hydration with crystalline mineral admixtures and other aspects *Silicates Industriels* **74** 347-52
- Zhou M R et al. (2011) Study on Experiment of Concrete Compounding XYPEX and Steel Fiber Applied Mechanics and Materials **105-107** 1755–9
- Edvardsen C (1999) Water Permeability and Autogenous Healing of Cracks in Concrete *ACI Materials Journal* **96** 448–54
- Mechtcherine V and Lieboldt M (2011) Permeation of water and gases through cracked textile reinforced concrete *Cement and Concrete Composites* **33** 725–34
- Brückner A, Ortlepp R and Curbach M (2006) Textile reinforced concrete for strengthening in bending and shear *Materials and Structures* **39** 741–8
- Žák J and Štemberk P (2017) Experimental Investigation of Tensile Behavior of Textile Reinforced Concrete with Nonwoven Polypropylene Fabric *Mechanika 2017 Proceedings of the 22st Int. Sci. Conf. (Kaunas: Kauno technologijos universitetas)*, p. 399-401
- Žáková, H., & Žák, J. (2019). Using of TRC for research of crack evolution and the effect of autogenous healing. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. **596**, No. 1, p. 012045). IOP Publishing.