

Metodika pro laboratorní posouzení konstrukčních řešení kluzných trnů do cementobetonových krytů

Likal, s.r.o.
a
Experimentální centrum, Fakulta stavební, ČVUT v Praze



Metodika pro laboratorní posouzení konstrukčních řešení kluzných trnů do cementobetonových krytů.

Verze 1.0

Listopad 2024

Zpracovatel: Likal, s.r.o.
Experimentální centrum, Fakulta stavební, ČVUT v Praze

Autoři: Ing. Leo Jeniš, Likal, s.r.o.
Ing. Martin Doškář, Ph.D., Fakulta stavební, ČVUT v Praze
doc. Ing. Jiří Litoš, Ph.D., Fakulta stavební, ČVUT v Praze
doc. Ing. Jan Novák, Ph.D., Fakulta stavební, ČVUT v Praze

Oponenti:

Tato metodika vznikla jako jeden z výstupů projektu CK04000009 „Vývoj kompozitního kluzného trnu využívajícího čedičové jádro a metodiky jeho použití v liniových stavbách“ financovaného v rámci veřejné soutěže STA02023CK040 programu DOPRAVA 2020+ Technologické agentury České republiky.

Anotace

Název:

Metodika pro laboratorní posouzení konstrukčních řešení kluzných trnů do cementobetonových krytů

Autoři:

Ing. Leo Jeniš; Ing. Martin Doškář, Ph.D.; doc. Ing. Jiří Litoš, Ph.D.; doc. Ing. Jan Novák, Ph.D.

Abstrakt:

Tato metodika popisuje podrobné laboratorní postupy pro hodnocení konstrukčních variant kluzných trnů, které se používají ve vozovkách z cementobetonových krytů. Metodika zahrnuje čtyři klíčové testy: odolnost povrchu vůči nárazu, smykovou únosnost trnu ve stříhu, odolnost vůči cyklickému zatěžování ve střížné spáře a určení přídržného smykového napětí při vytahování trnu (dle normy ČSN EN 13863-5). Tyto zkoušky zajišťují komplexní posouzení kluzných trnů z hlediska mechanického namáhání při jejich manipulaci a zatížení v konstrukci vozovky během provozu. Metodika je určena pro výrobce kompozitních trnů a stavební firmy v České republice a stanovuje základní kritéria pro certifikaci kluzných trnů Ministerstvem dopravy.

Klíčová slova:

Kluzný trn, cementobetonové kryty, mechanické zkoušky, odolnost povrchu vůči nárazu, smyková únosnost, cyklické zatěžování, přídržné smykové napětí

Certifikační orgán:

Ministerstvo dopravy České republiky

Datum certifikace:

Obsah

Úvod	1
Zkouška odolnosti povrchu kluzného trnu vůči nárazu	3
Uspořádání zkoušky	4
Vyhodnocení zkoušky	5
Zkouška únosnosti kluzného trnu ve stříhu	6
Příprava vzorku	6
Uspořádání zkoušky	6
Vyhodnocení zkoušky	7
Zkouška cyklického zatěžování ve střížné spáře	9
Příprava vzorku	9
Uspořádání zkoušky	10
Vyhodnocení zkoušky	11
Zkouška přídržného napětí při vytahování trnu	12
Příprava vzorku	12
Uspořádání zkoušky	13
Vyhodnocení zkoušky	14
Přílohy	a

Úvod

Cílem této metodiky je definovat či detailně specifikovat mechanické zkoušky a postupy pro hodnocení konstrukčních variant kluzných trnů pro aplikace v cementobetonových krytech. Motivací pro vznik této metodiky je nárůst variability konstrukčních řešení kluzných trnů používaných v České republice. Do roku 2022 se téměř bezvýhradně používaly ocelové trny potažené tenkým polymerním povlakem typické tloušťky 300 – 500 μm zajišťujícím ochranu proti korozi a kluznost v konstrukci cementobetonového krytu. Od roku 2024 se začínají ve stavební praxi v České republice vyskytovat kompozitní kluzné trny využívající ocelové (z hladké nebo žebírkové oceli) nebo kompozitní (čedičové či ze skelných vláken) jádro doplněné o polymerní povlak nabývající tloušťek 2 – 5 mm, který může být dále vyztužen rozptýlenými sklenými či uhlíkovými vlákny. V zahraničí (především mimo Evropu) se pak vyskytují i další alternativní konstrukce využívající ocelové prvky a/nebo vyztužené kompozity.

Odhlédneme-li od požadavků na povlak kluzného trnu z hlediska tloušťky, hlavním požadavkem na konstrukci kluzného trnu je daný normou ČSN EN 13877-3, která vyžaduje, aby konstrukce kluzného trnu vykazovaly pevnosti v tahu vyšší než 250 MPa. Upřesňující či nově definované zkoušky v rámci této metodiky vycházejí z platných norem a jsou zaměřeny na odezvu kluzných trnů (bez ohledu na jejich konstrukci) na mechanické způsoby zatěžování vyskytující v konstrukci cementobetonového krytu a na zatížení, která mohou nastat např. při manipulaci s trny ve výrobě či při jejich montáži na stavbě. Konkrétně tato metodika popisuje:

- zkoušku odolnosti povrchu kluzného trnu vůči nárazu,
- zkoušku únosnosti kluzného trnu ve stříhu,
- zkoušku cyklického zatěžování ve střížné spáře,
- zkoušku přídržného napětí při vytahování trnu dle ČSN EN 13863-5.

Tato metodika platí pro kluzné trny aplikované v konstrukcích:

- silničních a dálničních vozovek s cementobetonovými kryty,
- parkovišť, odstavných a manipulačních ploch,
- cyklostezek,
- letištní drah a ploch.

Tato metodiky navazuje na následující české normy:

- ČSN EN 13877-3: Cementobetonové kryty - Část 3: Specifikace pro kluzné trny, 2014.
- ČSN EN 13863-5: Cementobetonové kryty - Část 5: Stanovení přídržného napětí hmoždinek pro použití v betonových vozovkách, 2024.
- ČSN EN ISO 6272-1: Nátěrové hmoty - Zkoušky rychlou deformací (odolnost proti úderu) - Část 1: Zkouška padajícím závažím, velká plocha úderníku, 2012.
- ČSN EN ISO 6272-2: Nátěrové hmoty - Zkoušky rychlou deformací (odolnost proti úderu) - Část 2: Zkouška padajícím závažím, malá plocha úderníku, 2012.

Nové je zde především:

- aplikování (a modifikace) zkoušky odolnosti proti úderu (testováno padajícím závažím) k hodnocení povrchové kvality kluzného trnu,
- definice zkoušky únosnosti kluzného trnu ve stříhu,
- definice zkoušky určující odezvu konstrukčního řešení kluzného trnu na cyklické namáhání,
- český popis zkoušky pro stanovení přídržného napětí kluzných trnů dle ČSN EN 13863-5 a doporučení týkající se uchycení pro testovací zařízení s tahovými čelistmi.

Tato metodiky je určena především pro:

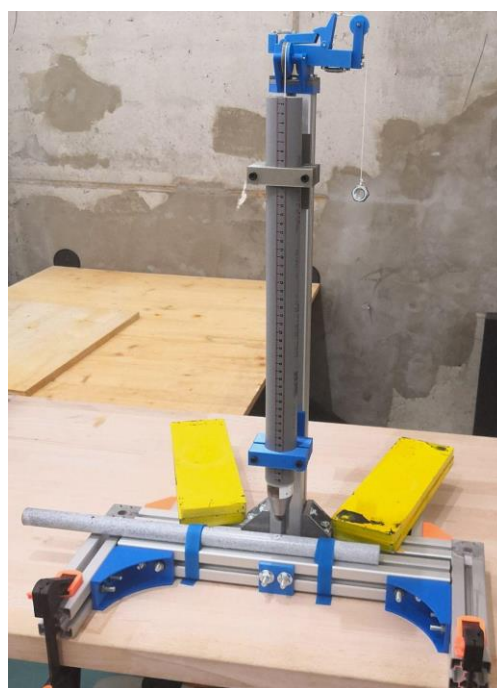
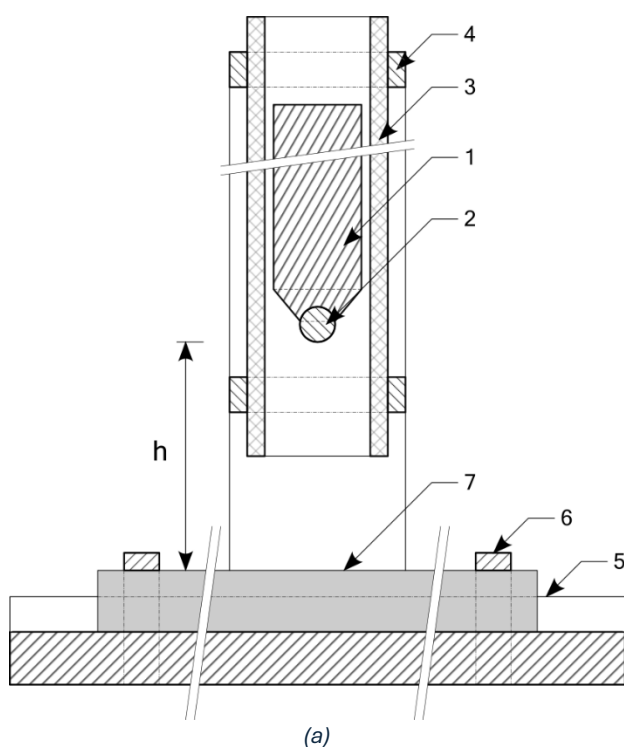
- firmy vyvíjející a vyrábějící kompozitní kluzné trny (za účelem sjednocení hodnocení mechanických vlastností nově vyvíjených konstrukčních řešení kluzných trnů),
- zadavatele a zhotovitele silničních staveb (za účelem specifikace požadavků na řešení kluzných trnů).

Zkouška odolnosti povrchu kluzného trnu vůči nárazu

Při výrobě a montáži trnů do inženýrských staveb zpravidla dochází k manipulaci s více trny naráz. Při přepravě nebo při neopatrné/nevhodné manipulaci na stavbě, vkládání do zakladače atp. může dojít k nežádoucímu vzájemnému kontaktu trnů, jejich pádu, nebo pádu jiných předmětů na povrch kluzných trnů a k následnému poškození jejich povrchu či povlaku. Toto poškození může být při ukládání do konstrukce cementobetonového krytu přehlédnuto a následně tak může vést ke zkrácení životnosti kluzných trnů či celé vozovky.

Problém poškození povrchu kluzných trnů je klíčový především u klasického řešení založeného na ocelovém jádře s tenkým polymerním povlakem. Neporušenost povlaku u této konstrukční varianty je určující pro zajištění protikorozní odolnosti. Nicméně i v případě konstrukčních řešení z materiálů, které nepodléhají korozi, je odolnost povrchu kluzného trnu vůči nárazu důležitá s ohledem na zajištění výsledné kluznosti v konstrukci vozovky, která by mohla být omezena v případné deformace povrchu či odštípnutí části vrchní vrstvy.

V evropské kontextu není tento aspekt řešen, ve Spojených státech amerických je však požadována zkouška dle standardizované metody ASTM G14-88. V evropském prostředí této normě nejlépe odpovídá ČSN EN ISO 6272-1, resp. ČSN EN ISO 6272-2. Tyto normy byly inspirací pro stanovení zkoušky odolnosti povrchu kluzného trnu v rámci této metodiky.



Obrázek 1: (a) Schéma testovacího zařízení pro určení odolnosti povrchu kluzného trnu vůči nárazu padajícího závaží: 1 – padající závaží o známé hmotnosti, 2 – kulové zakončení z tvrdokovu, 3 – vodící tubus, 4 – upínací konstrukce, 5 – uchycení testovaného kluzného trnu umožňující vodorovný posun a pootočení, 6 – upevnění trnu zabraňující odskoku po nárazu, 7 – testovaný kluzný trnu. (b) Možné řešení testovacího zařízení.

Uspořádání zkoušky

Podstatou zkoušky je pád závaží s kulovým úderníkem o známé hmotnosti z definované výšky na povrch kluzného trnu a pozorování způsobeného poškození povrchu kluzného trnu. Testování probíhá předepsanou energií nárazu E_{imp} stanovenou jako potenciální energie závaží o hmotnosti m ve výšce h nad povrchem kluzného trnu

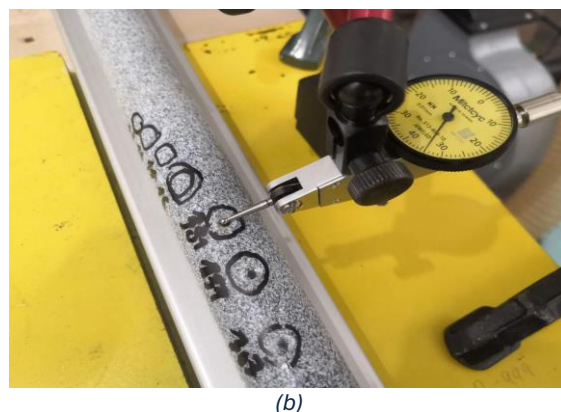
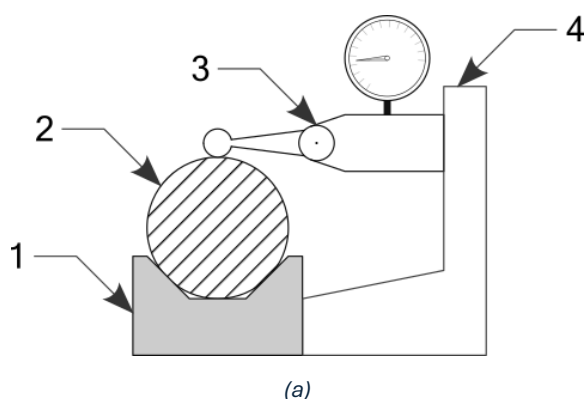
$$E_{\text{imp}} = m \cdot g \cdot h$$

kde g značí tíhové zrychlení uvažované v zeměpisných šířkách České republiky o hodnotě $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$. Hodnota E_{imp} je stanovena zadavatelem zkoušky. Jako referenční je doporučena hodnota 5 J, což přibližně odpovídá pádu 1 kg kluzného trnu z výšky 50 cm.

Testovací aparát pro tuto zkoušku sestává z (i) válcového závaží o definované hmotnosti, které je na jednom konci opatřeno kulovým zakončením z tvrdokovu, (ii) svislého vodícího tubusu, jehož vnitřní průměr je o 0,2 – 0,7 mm větší než průměr závaží, a (iii) upínací konstrukce, jejímž cílem je zajistit pád závaží na osu testovaného kluzného trnu, tj. zarovnat vodící tubus středem na osu kluzného trnu, a zajistit testovaný vzorek tak, aby po nárazu nedošlo k jeho odskoku. Nemá-li stanoveno zadavatelem jinak, kulové zakončení má průměr 10 mm.

Schéma testovacího aparátu a fotografie možné realizace tohoto zařízení jsou uvedeny na Obrázku 1. Pro nastavení požadované výšky závaží je použito vodící lanko upevněné k hornímu konci závaží a vedené přes kladky k rysce na druhé straně upínací konstrukce, kde je možné odečítat výšku závaží nad povrchem kluzného trnu.

Náhodně vybraný kluzný trn je podroben pěti nárazům, přičemž vzdálenost mezi místy dopadu na povrch kluzného trnu musí být minimálně 40 mm. Dále musí být dodržena minimální vzdálenost 20 mm i mezi místem dopadu a koncem kluzného trnu. Zkouška probíhá při teplotě $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti $(50 \pm 10) \%$ na vzorcích, který byly uchovávány při těchto teplotách a vlhkosti po dobu nejméně 16 h. Pro snazší vyhodnocování především u duktilních povlaků je doporučeno nevolit místa dopadů v jedné podélné přímce, ale vždy při vodorovném posunu trnu v testovacím zařízení před dalším dopadem tímto trnem i pootočit o minimálně 15° .



Obrázek 2: (a) Schéma uspořádání pro měření hloubky deformace po nárazu úderníku sestávající: lineární pojezd umožňující vodorovný posun kluzného trnu (1), prostor pro kluzný trn (2), páčkový úchylkoměr (3) a výškově stavitelné uchycení úchylkoměru (4), a (b) ukázka reálného měření.

Vyhodnocení zkoušky

Vyhodnocení zkoušky se liší v závislosti na konstrukčním uspořádání kluzného trnu.

- 1) V případě klasických konstrukčních variant, kdy je kluzný trn povlakován a tento povlak zajišťuje protikorozi ochranu, nesmí dojít při pádu s definovanou energií k porušení tohoto povlaku.
 - a) Pro případy křehkých povlaků, kdy po pádu dojde k popraskání a/nebo odloupení povlaku, je možné vyhodnocení provést pouze vizuálně za pomoci lupy.
 - b) Pokud je chování povlaku při nárazu duktilní a dochází k vytlačení důlku v povlaku, je nutné posoudit hloubku vzniklého defektu s ohledem na tloušťku ochranného povlaku. Na základě deseti měření buď před započítáním testů nebo v místech, která nebyla dotčena zkouškou, je nutné pomocí tloušťkoměru určit tloušťku povlaku h_{ref} . Průměr z těchto měření je brán jako referenční hodnota tloušťky povlaku po výrobě. Hloubku vzniklého defektu je pak možno měřit pomocí páčkového úchylkoměru: Trn je umístěn vodorovně do lineárního vedení tak, aby se střed důlku nacházel v nejvyšším místě. Páčka úchylkoměru se nastaví do poloviny svého rozsahu na nedeformovaném povrchu dostatečně vzdáleném od místa dopadu, aby se vyloučil vliv vytlačeného povlaku po nárazu úderníku. Následně je v lineárním vedení trn vodorovně posouván tak, aby páčka úchylkoměru skončila uprostřed důlku vytvořeného úderníkem. Schéma a možná realizace tohoto měření je uvedena na Obrázku 2. Rozdíl mezi hodnotou měřenou v důlku a na nedeformovaném povrchu je brána jako hloubka poškození h_{def} a pro zadanou energii E_{imp} nesmí překročit h_{ref} .
- 2) U konstrukčních řešení, kdy není třeba řešit protikorozi ochranu, nesmí dojít k odštěpení žádné části kluzného trnu. V případě vzniklé trvalé deformace na povrchu kluzného trnu nesmí hloubka vzniklého důlku stanovená metodou uvedenou výše přesáhnout 0,5 mm, pokud není zadavatelem zkoušky zadána jiná mezní hodnota.

Výše uvedené požadavky musí být splněny pro všech pět opakování dopadu úderníku v rámci jednoho kluzného trnu.

Zkušební protokol musí obsahovat:

- 1) jednoznačnou identifikaci zadavatele zkoušky, výrobce kluzného trnu a datum výroby či číslo série (je-li známo),
- 2) hmotnost m použitého úderníku a výšku h , ze které úderník dopadal na povrch kluzného trnu,
- 3) pro každý náraz pak zhodnocení stavu povrchu po nárazu, a to:
 - a. kvalitativně v případě popraskání či odloupení části povrchu,
 - b. kvantitativně ve formě naměřené hloubky deformace h_{def} způsobené nárazem úderníku
- 4) výsledky měření tloušťky povlaku (pouze v případě duktilního chování povlaku, který má antikorozi funkci).

Vzor zkušebního protokolu je uveden v příloze této metodiky.

Zkouška únosnosti kluzného trnu ve stříhu

Tato zkouška má za cíl určit mezní únosnost konstrukce kluzného trnu ve stříhu. Jelikož kluzný trn slouží k přenosu svislých smykových napětí v dilatační spárách segmentů cementobetonových krytů, jedná se o hlavní způsob namáhání kluzného trnu v konstrukci cementobetonového krytu.

Příprava vzorku

Ze sady deseti kluzných trnů jsou pro zkoušku náhodně vybrány tři vzorky. U každého vzorku je pomocí posuvného měřidla určen vnější průměr ve dvou místech, ve kterých bude kluzný trn namáhán stříhem.

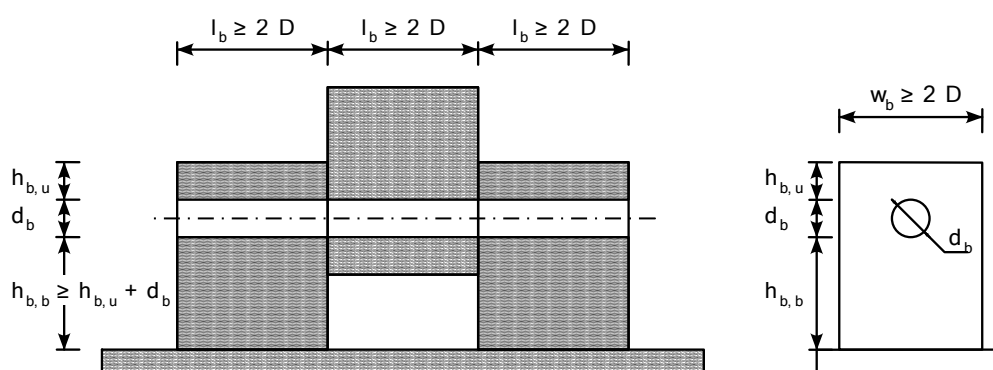
Uspořádání zkoušky

Pro snazší provedení zkoušky je její uspořádání navrženo s dvojitou střížnou plochou, kdy je vybraný kluzný trn umístěn v zatěžovacím přípravku do zatěžovacího stroje umožňujícího měřit posun a působící sílu.

Zatěžovací přípravek sestává ze dvou částí:

- roznášecí desky s připevněnými koncovými bloky s otvory pro protažení kluzného trnu a
- prostředního bloku s otvorem pro trn.

Geometrie bloků je volena tak, aby průměr otvoru d_b odpovídal nominálnímu průměru D kluzného trnu a toleranci do 1,0 mm. Rozměr bloků l_b měřený podél osy kluzného trnu musí být větší nebo roven dvojnásobku nominálního průměru D . Vodorovný příčný rozměr w_b bloků musí být minimálně dvojnásobek nominálního průměru kluzného trnu. Výška jednotlivých bloků ($h_{b,u} + d_b + h_{b,b}$) je volena tak, aby při kontaktu horní plochy lisu, na kterou je upevněn středový blok, s koncovými bloky spodní části došlo k úplnému porušení vzorku, tj. původně centricky (v ose nepoškozeného trnu) zarovnané otvory pro protažení kluzného trnu se již ani částečně nepřekrývají. Podélný průřez a čelní pohled na zatěžovací přípravek je na Obrázku 3, fotografie jedné realizace je pak uvedena na Obrázku 4. Zatěžovací přípravek musí být vyroben z materiálu, u kterého nebude docházet v průběhu zkoušky k otláčování v okolí střížné plochy.



Obrázek 3: Průřez a pohled na zatěžovací přípravek pro určení únosnosti kluzného trnu ve stříhu

Zkouška je kontrolována posunem, kdy se lineárně s časem zvyšuje posun středové (protlačované) části opřené o horní příčník zatěžovacího stroje. Rychlost zatěžování by neměla přesáhnout 0,5 mm/min. Zkouška probíhá do porušení testovaného vzorku. Vzorek je testován za

běžných atmosférických podmínek při teplotě 15 – 25 °C a relativní vlhkosti 40 – 70 %, pokud není stanoveno zadavatelem jinak.



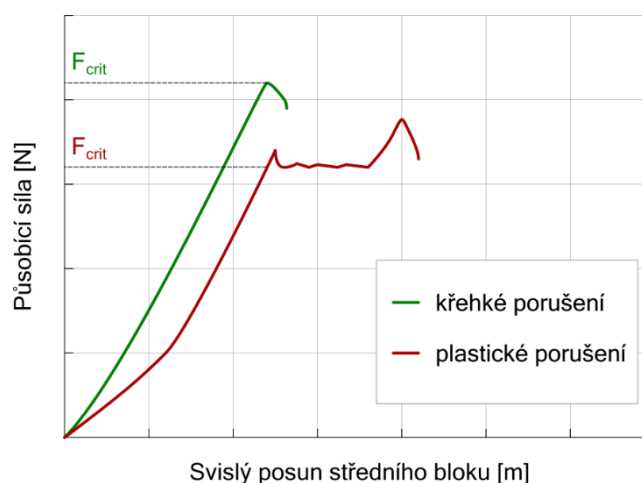
Obrázek 4: Příklad zatěžovacího přípravku pro určení únosnosti kluzného trnu ve střihu

Vyhodnocení zkoušky

Za sílu $F_{crit,i}$, při které došlo k porušení, se považuje buď

- i. maximální dosažená síla při zatěžování, pokud došlo ke křehkému porušení, tj. došlo k výraznému poklesu působící síly, nebo
- ii. hodnota, při které došlo k prvnímu výraznému plastickému porušení, tj. nárůstu posunu bez nárůstu měřené síly.

Ilustrace obou těchto případů včetně vyznačených hodnot, které jsou v rámci této metodiky považovány za kritickou sílu, jsou uvedeny na grafu na Obrázku 5.



Obrázek 5: Ilustrativní graf závislosti působící síly na protlačení prostředního bloku s vyznačenými hodnotami kritické síly pro dva případy chování: křehké a plastické porušení.

Na základě stanovené hodnoty $F_{crit,i}$ je pro každý testovaný kluzný trn i určeno nominální smykové napětí $\tau_{crit,i}$ ze vzorce

$$\tau_{crit,i} = \frac{F_{crit,i}}{A_{i,L} + A_{i,p}}$$

kde $A_{i,L}$ a $A_{i,P}$ jsou plochy kluzného trnu v místě stříhu vypočtené jako

$$A_{i,\bullet} = \frac{1}{4} \pi d_{i,\bullet}^2$$

s využitím průměrů kluzného trnu $d_{i,\bullet}$ (za symbol $\bullet$ v dolním indexu je voleno buď L nebo P v závislosti na místě měření) změřených posuvným měřidlem před započítáním zkoušky.

Výsledkem zkoušky je průměrné nominální napětí $\tau_{\text{crit},m}$ stanovené jako aritmetický průměr z hodnot napětí $\tau_{\text{crit},i}$ vypočtených pro tři testované vzorky.

Zkušební protokol musí obsahovat:

- 1) jednoznačnou identifikaci zadavatele zkoušky, výrobce kluzného trnu a datum výroby či číslo série (je-li známo),
- 2) pro každý testovaný kluzný trn pak:
 - a. vnější průměry $d_{i,L}$ a $d_{i,P}$ v místech střížných ploch,
 - b. graf závislosti smykové síly na posunu středové části,
 - c. maximální hodnotu smykové síly $F_{\text{crit},i}$,
 - d. spočtenou hodnotu nominálního smykového napětí $\tau_{\text{crit},i}$
- 3) Výslednou hodnotu nominálního smykového napětí $\tau_{\text{crit},m}$.

Vzor zkušebního protokolu je uveden v příloze této metodiky.

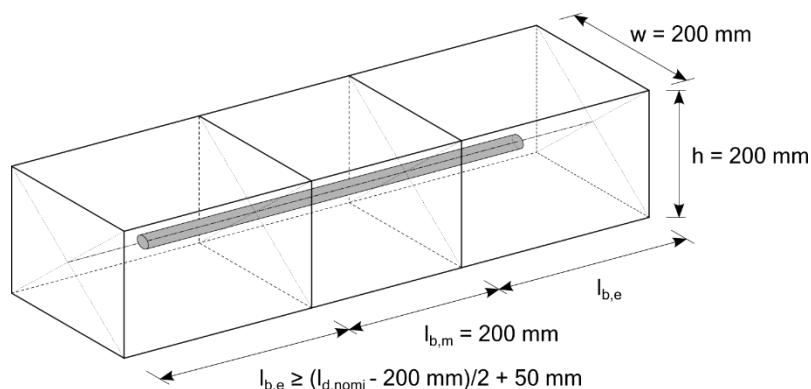
Zkouška cyklického zatěžování ve střižné spáře

Cílem této zkoušky je ověřit ve zjednodušených laboratorních podmínkách chování jednoho kluzného trnu při dlouhodobém vystavení cyklickému zatížení od přejezdů těžkých vozidel.

Příprava vzorku

Před vlastní přípravou vzorku je nutné učit průměr kluzného trnu ve dvou navzájem kolmých rovinách (vodorovné a svislé) v profilech, které odpovídají místu, ve kterém bude kluzný trn protínat střižnou spáru a pak každých 100 mm po délce prutu směrem k volným koncům trnu. Pro kluzný trn standardní délky 500 mm to znamená změřit průměry v profilech 50 mm, 150 mm, 350 mm a 450 mm od začátku kluzného trnu. Orientace měření musí být vyznačena na kluzném trnu tak, aby ji bylo možné identifikovat po skončení celé zkoušky.

Zkouška probíhá na kvádrovém betonovém vzorku $w = 200 \text{ mm} \times h = 200 \text{ mm} \times l_b = (2l_{b,e} + 100 \text{ mm})$, který je rozdělen tenkými deskami sloužícími jako dilatační přepážky na tři souvislé betonové bloky o délkách $l_{b,e}$, $l_{b,m} = 200 \text{ mm}$ a $l_{b,e}$ a který obsahuje jeden kluzný trn umístěný v podélné ose betonového vzorku, viz nákres na Obrázku 6. Rozměry nejmenší stěny kváдру vychází ze standardních tloušťek cementobetonových krytů, délka je pak stanovena tak, aby na každé straně od konce kluzného trnu nominální délky $l_{d,nom}$ bylo krytí alespoň 50 mm. Pro standardní kluzný trn nominální délky 500 mm vychází $l_{b,e} = 200 \text{ mm}$ a tedy $l_b = 600 \text{ mm}$.



Obrázek 6: Rozměry testovacího vzorku pro cyklické zatěžování ve střižné spáře

Pro zajištění polohy kluzného trnu při betonáži vzorku je nutné použít dilatační přepážky (viz Obrázek 7a), které kromě stabilizace polohy trnu uprostřed kváдру simulují vzniklou trhlinu po výšce celého cementobetonového krytu v místě dilatační spáry, v důsledku čehož se na přenosu zatížení podílí pouze kluzný trn. Tuto přepážku je nutné pevně osadit do bednění, ideálně zasunutím do drážek v bednění. Při ukládání betonu do bednění musí být plněny jednotlivé komory rovnoměrně a především při hutnění betonové směsi pak musí být kontrolováno, že nedošlo k vyboulení či prolomení přepážky, které by vedlo ke spolupůsobení jednotlivých betonových segmentů při přenosu zatížení vlivem hmoždinkového efektu.

Dilatační přepážka by měla být co nejtenčí, ale zároveň nesmí být příliš tuhá, aby při zatěžování nesloužila jako místo lokálního porušování povrchu kluzného trnu, protože v reálné konstrukci cementobetonového krytu žádná přepážka není. Doporučeným řešením jsou polymery či jiné materiály o tuhosti a pevnosti nižší než u materiálů použitých na výrobu vnějších vrstev kluzného

trnu. Vhodnou možností je např. akrylátové sklo, naopak ocelové desky jsou nepřípustné. Doporučená tloušťka desek je 1 mm.

Pro přípravu vzorku je volena receptura betonu tak, aby odpovídala standardnímu složení betonu používaného v cementobetonových krytech, typicky tedy C30/37 nebo C35/45. Stejně jako v případě požadavků normy ČSN EN 13863-5 musí být v receptuře použit cement CEM I a receptura zároveň nesmí obsahovat provzdušňovací přísady ani zpomalovače tuhnutí. Vybetonovaný vzorek by měl být až do testování uchován za teploty $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ a relativní vzdušné vlhkosti $(60 \pm 10) \%$.

Testování pak může probíhat na vzorcích ne mladších než 28 dní.

Uspořádání zkoušky

Obdobně jako v případě únosnosti ve stříhu je u této zkoušky zvoleno symetrické uspořádání zatěžování. Vzorek připravený dle výše uvedeného postupu je usazen do zatěžovacího stroje tak, že jsou vnější betonové bloky podepřeny po celé jejich podstavě. Vnější bloky jsou dále připevněny k základně zatěžovacího stroje pomocí třmenů. Cyklické zatížení je vnášeno do středového bloku přes roznášecí desku, jejíž půdorysné rozměry nesmí zasahovat do vnějších bloků, viz Obrázek 7b.



Obrázek 7: Příklady (a) realizace uchycení kluzného trnu v bedně při výrobě zkušebních vzorků a (b) uchycení zkušebního vzorku do zatěžovacího stroje

Pokud není stanoveno zadavatelem jinak, amplituda cyklického zatížení je 30 kN a zkouška probíhá po dobu 2 milionů cyklů s frekvencí 5 Hz.

V průběhu zkoušky je zaznamenáván posun středu vzorku, např. indukčním snímačem dráhy, s ohledem na působící sílu. Ideálně je toto měření prováděno po celou dobu zkoušky, případně je možné provádět měření po časových intervalech, nejméně však pětkrát v průběhu celé zkoušky a po dobu minimálně 3000 cyklů při každém měření. V případě, že je měření přerušováno, je nutné zajistit srovnání referenčního hodnoty posunu tak, aby bylo možné výsledky z jednotlivých měření přímo porovnat.

Vyhodnocení zkoušky

Vyhodnocení zkoušky probíhá ve třech krocích:

- 1) Po skončení zkoušky je kluzný trn vysunut z krajních betonových bloků (např. za pomoci dřevěných klínů nebo zatěžovacím strojem v obnovném nastavení jako pro pull-out test popsaný v následující části této metodiky) a je provedena vizuální kontrola povrchu kluzného trnu s ohledem na případné poruchy povrchu kluzného trnu. Kluzný trn nesmí vykazovat žádné poškození způsobené cyklickým zatížením.
- 2) Na takto odhalených částech kluzného trnu je zopakováno měření průměrů kluzného trnu ve dvou na sebe kolmých rovinách tak, aby tyto roviny odpovídaly zvoleným rovinám při měření na začátku přípravy vzorku. V porovnání s hodnotami naměřenými před začátkem testování nesmí hodnoty naměřené po provedení zkoušky vykazovat žádné systematické změny, které by mohly být přisouzeny vlivu zatěžování.
- 3) Třetí krok vyhodnocení je založen na měření závislosti působící síly a odpovídajícího posunu v průběhu zkoušky tak, jak je zaznamenáno měřicím zařízením. Křivka odezvy testovaného vzorku by neměla vykazovat systematické změny závislé na počtu cyklů, především co se týká tuhosti v zatěžovací části odezvy kluzného trnu na cyklické zatížení.

Zkušební protokol musí obsahovat:

- 1) jednoznačnou identifikaci zadavatele zkoušky, výrobce kluzného trnu a datum výroby či číslo série (je-li známo),
- 2) typ použitého betonu (ideálně s recepturou betonu),
- 3) počet cyklů, amplitudu a frekvenci cyklického zatížení,
- 4) naměřené hodnoty průměrů kluzného trnu před a po proběhnutí zkoušky za částech trnu obnažených po skončení zkoušky,
- 5) záznam o případných poruchách povrchu na obnažených koncích trnu,
- 6) grafy závislosti poklesu středu vzorku na působící síle.

Vzor zkušebního protokolu je uveden v příloze této metodiky.

Zkouška přídržného napětí při vytahování trnu

K 1. srpna 2024 vešla v platnost norma ČSN EN 13863-5 „Cementobetonové kryty - Část 5: Stanovení přídržného napětí hmoždinek pro použití v betonových vozkách“ definující zkoušku pro určení přídržného napětí, tj. smykového napětí na povrchu kluzného trnu při jeho vytažení. Tato část metodiky shrnuje základní požadavky zmíněné normy (i z důvodu, že nově platná norma je zatím dostupná jen v anglickém originále) a doplňuje poznatky získané při opakovaném provádění těchto zkoušek pro různé konstrukční varianty kluzného trnu.

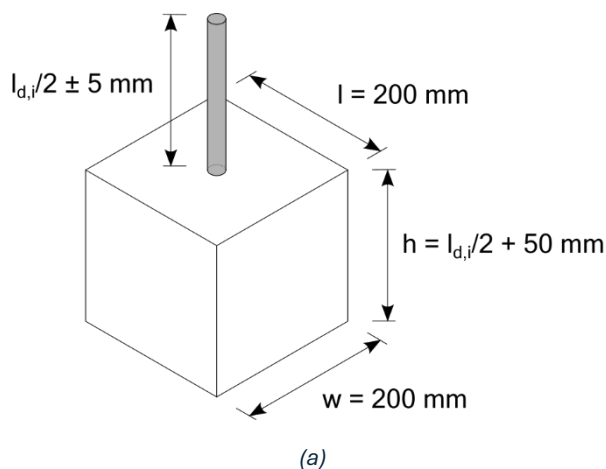
Základem zkoušky stanovení přídržného napětí je opakované vytahování kluzného trnu z betonového bloku 24 hodin po jeho vybetonování. Kluzný trn je celkem pětikrát vysunut: čtyřikrát do úrovně vytažení 5 mm a po té zasunut na původní místo a popáté je vysunut úplně z betonového bloku. Přídržné napětí je určeno ze síly naměřené při vytažení 0,25 mm.

Příprava vzorku

Test se provádí na třech náhodně vybraných vzorcích kluzného trnu. Před testováním je pomocí posuvného měřidla změřen průměr uprostřed délky a 10 mm od obou konců (průměry značené jako d_i^B , d_i^A a d_i^C), za průměr průřezu daného trnu se pak považuje aritmetický průměr d_i naměřených hodnot.

Pro beton se použije receptura zajišťující tlakovou pevnost 30,0 – 50,0 MPa stanovenou po sedmi dnech od betonáže na krychlovém vzorku o rozměrech 150 mm × 150 mm × 150 mm dle normy ČSN EN 12390-3. Beton tak odpovídá třídě C30/37 nebo C35/45. V receptuře musí být použit cement CEM I a maximální velikost zrna kameniva je v rozmezí 20 – 31,5 mm včetně. Receptura zároveň nesmí obsahovat provzdušňovací přísady ani zpomalovače tuhnutí.

Každý trn je polovinou (± 5 mm) své délky l_{di} zabetonován do betonového bloku o příčný rozměrech $l = 200$ mm × $w = 200$ mm a výšce $h = (l_{di}/2 + 50)$ mm, viz Obrázek 8a. Pokud trn vykazuje rozdíl v hodnotách průměru průřezu na jednotlivých koncích, tj. $d_i^A \neq d_i^C$, zabetonovává se polovina s menším průměrem. Při betonáži je kluzný trn nutno pevně přichytit k bedně, aby nedošlo k posunu od ideální vycentrované pozice, např. jak je zachyceno na Obrázku 8b.



Obrázek 8: Schéma rozměru testovacího vzorku pro zkoušku přídržného/třecího smykového napětí při vytahování kluzného trnu (a) a příklad výroby sady tří vzorků v laboratoři (b).

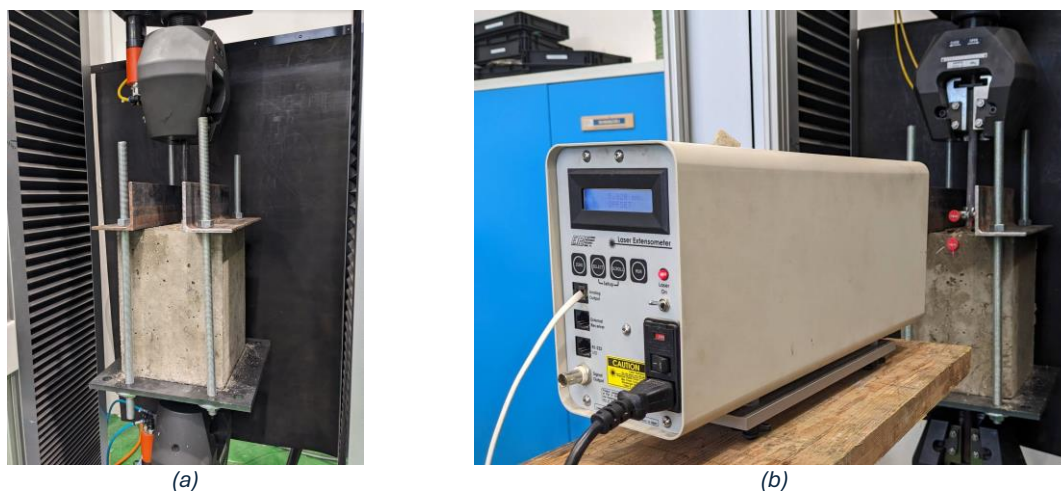
Po vybetonování musí být betonový vzorek uchováván až do zkoušky při teplotě $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Zároveň by měla být betonová část zakryta, aby nedocházelo k vysychání odhaleného povrchu, tj. povrchu, který není v bednění.

V případě, že konstrukční řešení zahrnuje povlak, je doporučeno tento povlak odstranit v místě, kde je trn uchycen do testovacího zařízení. Stejný postup je doporučen i v případě, že konstrukce kluzného trnu obsahuje menší ocelové jádro a vnější vrstvu z vyztuženého polymeru, jelikož při vytahování trnu může dojít vlivem krátkého uchycení k drcení vnější vrstvy vlivem příčného tlaku způsobeného samosvornými čelistmi.

Uspořádání zkoušky

Před započítáním samotné zkoušky je pomocí pravítka změřena vyčnívající délka $l_{d,ri}$ kluzného trnu, která bude později použita pro určení přídržného napětí. Tato délka se nesmí lišit o více jako 10 mm od poloviny skutečné délky kluzného trnu. Pokud se liší o více jak 10 mm, nemůže být vzorek použit pro testování.

Zkouška musí proběhnout (24 ± 1) h od betonáže vzorku. S ohledem na časovou náročnost testu a nutnost provést tři testy je doporučeno začínat s testováním prvního vzorku na začátku povoleného časového okna. Testování musí probíhat při teplotě $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$.



Obrázek 9: Příklad (a) uchycení testovací vzorku do zatěžovacího stroje s tahovými čelistmi za pomoci třmenů a podložky se zespodu připevněným trnem a (b) měření vysunutí pomocí laserového extenzometru.

Při zkoušce musí být testovací vzorek uchycen pomocí třmenů k podložce. V případě, že má testovací zařízení dvě stejné zatěžovací hlavy primárně určené k tahovým zkouškám, je možné doplnit podložku o trn připevněný k podložce zespodu. Pomocí tohoto trnu je pak uchycení upevněno do testovacího zařízení. V tomto případě ale musí být věnována zvýšená pozornost centrickému uchycení podložky testovaného vzorku, aby nedošlo k páčení. Snímek možného uspořádání je uveden na Obrázku 9a.

Testovací zařízení musí být dále vybaveno měřením výsuvu kluzného trnu z betonového bloku. S ohledem na možné deformaci a drobné pokluzu v čelistech je doporučeno nezávislé měření posunu bodů na kluzném trnu těsně nad jeho původním vetknutím do betonového bloku vůči samotnému bloku, např. pomocí indukčních snímačů dráhy. Indukční snímač dráhy musí být

opřeno o povrch betonového bloku v dostatečné vzdálenosti od zabetonovaného kluzného trnu, jelikož v průběhu zkoušky může dojít k lokálnímu narušení celistvosti povrchu betonového vzorku v okolí kluzného trnu. V případě, že prostorová omezení neumožňují osadit snímač dráhy, je alternativou použití laserového extenzometru, viz Obrázek 9b.

Celý vzorek včetně uchycení musí být umístěn centricky do testovacího zařízení, které tak musí vyvozovat v kluzném trnu pouze tah. Tahová síla je vnášena do vzorku s rychlostí zatěžování (13 ± 3) kN/min do té doby, než je dosaženo vysunutí kluzného trnu $(5,0 \pm 0,1)$ mm. Následně je kluzný trn zatlačen testovacím zařízením zpět do původní polohy rychlostí $(0,5 \pm 0,2)$ mm/s. Celkem je tato procedura opakována čtyřikrát. Po pátém vytažení kluzného trnu o $(5,0 \pm 0,1)$ mm se trn již nevrací a trn je vytažen z betonového bloku úplně.

Vyhodnocení zkoušky

Při každém z pěti zatěžovacích cyklů se měří a zaznamenává vztah mezi působící silou a vysunutím kluzného trnu. Z těchto záznamů je určena síla $F_{pi,n}$ potřebná k vytažení i ého kluzného trnu o 0,25 mm při n tém zatěžovacím cyklu.

Přídržné napětí je stanoveno pro každý n tý cyklus jako

$$f_{d,pi,n} = \frac{F_{pi,n}}{\pi \cdot d_i \cdot l_{d,ci}}$$

kde $l_{d,ci}$ je délka zabetonované části i ého kluzného trnu spočítaná z naměřených hodnot celkové délky trnu $l_{d,i}$ a délky vyčnívající části $l_{d,ri}$ dle

$$l_{d,ci} = l_{d,i} - l_{d,ri}$$

a d_i je naměřený průměr kluzného trnu. Tato napětí je stanoveno pro první a pátý cyklus, tj. $n = 1$ a $n = 5$. Napětí je stanoveno s přesností na 0,01 MPa.

Výsledkem zkoušky jsou dvě hodnoty napětí $f_{d,pm,1}$ a $f_{d,pm,5}$ určené jako aritmetické průměry odpovídajících hodnot napětí spočítaných pro každý ze tří testovaných vzorků kluzných trnů. Napětí je opět stanoveno s přesností na 0,01 MPa.

Součástí vyhodnocení je i vizuální kontrola povrchu kluzného trnu po vytažení z betonového bloku. Povrch by neměl vykazovat žádné viditelné poškození jako jsou vrypy, trhliny či delaminace vrstev konstrukce kluzného trnu. Výskyt takovýchto poškození musí být zaznamenán ve zkušebním protokolu.

Zkušební protokol musí obsahovat:

- 1) jednoznačnou identifikaci zadavatele zkoušky, výrobce kluzného trnu a datum výroby či číslo série (je-li známo),
- 2) odkaz na normu ČSN EN 13863-5,
- 3) typ použitého betonu (pevnost betonu stanovená na vzorcích po 7 dnech),
- 4) pro každý testovací vzorek pak:
 - a. naměřenou délku kluzného trnu $l_{d,i}$ a průměr d_i ,
 - b. datum výroby testovacích vzorků,
 - c. stáří vzorku při testování (v h),

- d. rozměry testovacího vzorku l_i , w_i a h_i
 - e. změřenou délku $l_{d,ri}$ a dopočtenou délku $l_{d,ci}$,
 - f. graf závislosti působící síly na vysunutí trnu pro každý zatěžovací cyklus,
 - g. naměřené síly $F_{Pi,1}$ a $F_{Pi,5}$
 - h. vypočtené hodnoty napětí $f_{d,Pi,1}$ a $f_{d,Pi,5}$,
 - i. případný popis zaznamenaného poškození povrchu kluzného trnu,
- 5) průměrné hodnoty napětí $f_{d,Pm,1}$ a $f_{d,Pm,5}$.

Vzor zkušebního protokolu je uveden v příloze této metodiky.

Přílohy

Poslední čtyři stránky této metodiky zahrnují zkušební protokoly pro jednotlivé výše navržené zkoušky. Konkrétně se jedná o:

- protokol o zkoušce odolnosti povrchu kluzného trnu vůči nárazu,
- protokol o zkoušce únosnosti kluzného trnu ve stříhu,
- protokol o zkoušce cyklického zatěžování ve střížné spáře,
- protokol o zkoušce přídržného napětí při vytahování trnu.

Každý protokol je uveden jako samostatná strana či dvoustrana (bez průběžného číslování) tak, aby bylo možné vybranou stránku této metodiky rovnou vytisknout a použít při laboratorních měřeních.

Protokol o zkoušce odolnosti povrchu kluzného trnu vůči nárazu

Zadavatel zkoušky:	
Výrobce kluzných trnů:	
Specifikace/číslo šarže:	
Datum zkoušky:	
Místo zkoušky:	
Zkoušku provedl:	

Hmotnost použitého úderníku:		[kg]
Poloměr kulového zakončení:		[mm]
Výška pádu úderníku:		[m]
Energie nárazu E_{imp} :		[J]

Pád	Popis viditelného poškození	Hloubka defektu h_{def} [mm]	Splněno?
1			
2			
3			
4			
5			

Měření referenční tloušťky povlaku h_{ref} (pouze v případě porovnání s h_{def})

Měření	1	2	3	4	5
Tloušťka [mm]					
Měření	6	7	8	9	10
Tloušťka [mm]					

h_{ref} [mm]	
----------------	--

Protokol o zkoušce únosnosti kluzného trnu ve stříhu

Zadavatel zkoušky:	
Výrobce kluzných trnů:	
Specifikace/číslo šarže:	
Datum zkoušky:	
Místo zkoušky:	
Zkoušku provedl:	

Trn č. 1	$d_{1,L}$ [mm]		$A_{1,L}$ [mm ²]	
	$d_{1,P}$ [mm]		$A_{1,P}$ [mm ²]	
	$F_{crit,1}$ [kN]			
	$\tau_{crit,1}$ [MPa]			
Trn č. 2	$d_{2,L}$ [mm]		$A_{2,L}$ [mm ²]	
	$d_{2,P}$ [mm]		$A_{2,P}$ [mm ²]	
	$F_{crit,2}$ [kN]			
	$\tau_{crit,2}$ [MPa]			
Trn č. 3	$d_{3,L}$ [mm]		$A_{3,L}$ [mm ²]	
	$d_{3,P}$ [mm]		$A_{3,P}$ [mm ²]	
	$F_{crit,3}$ [kN]			
	$\tau_{crit,3}$ [MPa]			

$\tau_{crit,m}$ [MPa]	
-----------------------	--

Součástí protokolu musí být i tři grafy závislosti smykové síly na posunu středové části.

Protokol o zkoušce cyklického zatěžování ve střížné spáře

Zadavatel zkoušky:	
Výrobce kluzných trnů:	
Specifikace/číslo šarže:	
Datum zkoušky:	
Místo zkoušky:	
Zkoušku provedl:	

Amplituda zatížení:		[kN]
Frekvence zatěžování:		[Hz]
Celkový počet cyklů:		[-]

Souřadnice měřeného profilu [mm]	Vodorovný průměr před deformací [mm]	Vodorovný průměr po deformaci [mm]	Svislý průměr před deformací [mm]	Svislý průměr po deformaci [mm]

Popis případných poruch a pozorovaných poškození odhalených konců kluzného trnu:

Součástí protokolu musí být:

- popis složení použitého betonu,
- graf závislosti poklesu středu vzorku na působící síle v průběhu zatěžování.

Protokol o zkoušce přídržného napětí při vytahování trnu

Zadavatel zkoušky:	
Výrobce kluzných trnů:	
Specifikace/číslo šarže:	
Datum zkoušky:	
Místo zkoušky:	
Zkoušku provedl:	

Vzorek č. 1	Datum výroby vzorku						
	Stáří vzorku při testování [h]						
	Rozměry vzorku		l_1 [mm]	w_1 [mm]	h_1 [mm]		
	Vnější průměr	d_1^A [mm]	d_1^B [mm]	d_1^C [mm]	d_1 [mm]		
	Délky trnu	$l_{d,1}$ [mm]		$l_{d,r1}$ [mm]		$l_{d,c1}$ [mm]	
	Stanovené síly	$F_{P1,1}$ [kN]			$F_{P1,5}$ [kN]		
Přídržné napětí	$f_{d,P1,1}$ [MPa]			$f_{d,P1,5}$ [MPa]			

Vzorek č. 2	Datum výroby vzorku						
	Stáří vzorku při testování [h]						
	Rozměry vzorku		l_2 [mm]	w_2 [mm]	h_2 [mm]		
	Vnější průměr	d_2^A [mm]	d_2^B [mm]	d_2^C [mm]	d_2 [mm]		
	Délky trnu	$l_{d,2}$ [mm]		$l_{d,r2}$ [mm]		$l_{d,c2}$ [mm]	
	Stanovené síly	$F_{P2,1}$ [kN]			$F_{P2,5}$ [kN]		
Přídržné napětí	$f_{d,P2,1}$ [MPa]			$f_{d,P2,5}$ [MPa]			

Vzorek č. 3	Datum výroby vzorku				
	Stáří vzorku při testování [h]				
	Rozměry vzorku		l_3 [mm]	w_3 [mm]	h_3 [mm]
	Vnější průměr	d_3^A [mm]	d_3^B [mm]	d_3^C [mm]	d_3 [mm]
	Délky trnu	$l_{d,3}$ [mm]	$l_{d,r3}$ [mm]	$l_{d,c3}$ [mm]	
	Stanovené síly	$F_{p3,1}$ [kN]		$F_{p3,5}$ [kN]	
	Přídržné napětí	$f_{d,p3,1}$ [MPa]		$f_{d,p3,5}$ [MPa]	

$f_{d,Pm,1}$ [MPa]	
$f_{d,Pm,5}$ [MPa]	

Součástí protokolu musí být:

- popis složení použitého betonu a pevnost stanovená na vzorcích po 7 dnech,
- grafy závislosti působící síly na vysunutí trnu pro každý zatěžovací cyklus a každý trn,
- popis případných poruch a poškození povrchu kluzných trnů po vytažení.