

DRÁTKOBETON JAKO BALISTICKÁ OCHRANA

Veronika Schutová, *

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

ABSTRAKT

Článek se zabývá chováním materiálů při průstřelu. Materiály jsou rozděleny do dvou skupin – houževnaté a křehké. Pro oba druhy materiálů jsou rozkresleny jednotlivé procesy, které se v materiálech odehrávají. Jako zástupce křehkého materiálu je zde beton. Dále jsou zde uvedeny možnosti zlepšování nejen mechanických vlastností betonu pomocí drátků. Dochází zde ke zlepšení houževnatosti, trvanlivosti a schopnosti přenášet povrchová napětí. Drátky bývají rozmíchány v čerstvém betonu a jsou tedy všesměrně orientované. V dnešní době se však zkoumá, jestli a jak je možné drátky usměrnit.

Na toto téma byl proveden experiment týkající se výroby drátkobetonových desek. Součástí experimentu byl návrh rozměrů desek, určení ráže střely, návrh uspořádání a výpočet drátků. V článku jsou uvedena jednotlivá schémata vyztužení a výpočet drátků. Dále jsou zde přiloženy fotky z výroby desek a z průběhu střelby.

KLÍČOVÁ SLOVA

Drátkobeton • Balistická ochrana • Beton s vlákny • Obkladové desky • Vlákna

ABSTRACT

The article deals with the behavior of materials during penetration. The materials are divided into two groups – tough and fragile. For both types of materials, the individual processes that take place in the materials are drawn. As a representative of fragile material, there is concrete. In addition, there are possibilities of improving not only the mechanical properties of concrete with the help of wires. This improves toughness, durability and the ability to transmit surface stresses. The wires are mixed in fresh concrete and are therefore oriented in all directions. Nowadays, however, it is being investigated whether and how it is possible to direct the wires.

On this topic, an experiment was conducted regarding the production of wire-concrete slabs. Part of the experiment was the design of the dimensions of the plates, the determination of the caliber of the bullet, the design of the arrangement and the calculation of the wires. The article presents individual reinforcement schemes and the calculation of wires. There are also photos from the production of plates and from the course of shootings.

KEYWORDS

Steel fibre concrete • Ballistic protection • Fibre concrete • Cladding boards • Fibre

1. ÚVOD

V otevřených prostorech, kde může docházet např. k teroristickým útokům, výbuchům trhavin, cíleným automobilním útokům, je důležité, aby došlo k zastavení ničivé síly dříve, než dojde ke zranění či zabití osob. Jedná se o různé barikády a mobiliáře (viz Obrázek 1). Tyto prvky mohou být vyráběny z betonu.



Obrázek 1: příklady mobilních skládaných bariér

Drátkobeton a možnosti jeho návrhu jsou v porovnání s železobetonem velice zajímavé, hlavně z hlediska variability pojetí problematiky daného případu. Proč tedy nevyužít možnost seznámit se s drátkobetonem trochu více? V dnešní době existuje celá řada drátků, které se přimíchávají do betonu pro zlepšení jeho vlastností. Aktuálním trendem ve výzkumu je také snaha o ovlivnění rozmístění drátků v hotovém prvku tak, aby byly drátky co nejefektivněji rozmístěny a využity vzhledem k výslednému namáhání.

Téma tohoto článku je zaměřeno hlavně na využití drátkobetonu jako dodatečné balistické ochrany. V současné době se stává aktuálním tématem i případné dovybavení stávajících konstrukcí ochranou proti průstřelu. Při studiu současných možností a směrů, jak taková balistická ochrana může vypadat, vznikla možnost skloubit teoretický přístup s výrobním procesem, resp. experimentem. Nebylo možné vyrobit rozsáhlejší konstrukci, proto padla volba na výrobu drátkobetonových dlaždic, které by mohly sloužit jako dodatečný obklad konstrukcí, které je potřeba dodatečně ochránit před střelbou.

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

Kromě teoretického studia vlastností drátkobetonu, rozboru střelb a návrhu různých typů vyztužení prefabrikovaných betonových dlaždic byly tedy také tyto desky vyrobeny. Cílem tohoto experimentu bylo porovnat efektivitu usměrněných a všesměrně orientovaných drátků v dlaždicích, případně i vliv množství drátků v dlaždici. V závěru experimentu byly vzorky podrobeny střelbě na střelnici. (ČT24 2018, M. Pavec 2017)

2. DRÁTKOBETON A MOŽNOSTI USMĚRNĚNÍ DRÁTKŮ

2.1. Vliv drátků na mechanické vlastnosti betonu

Drátky ovlivňují některé mechanické vlastnosti materiálu, prodlužují životnost a omezují účinky objemových změn (hlavně smršťování) konstrukce.

Mezi hlavní změny mechanických vlastností patří nárůst houževnatosti materiálu a zvýšení schopnosti odolávat tahovému namáhání. U drátkobetonu nedochází k porušení křehkým lomem (na rozdíl od prostého betonu). V prvku dochází ke vzniku mikrotrhlin, čímž se aktivují drátky, které brání rozevírání těchto trhlin. Proces funguje až do vzniku makrotrhlin. Pod nárůstem houževnatosti si můžeme představit právě toto oddálení vzniku makrotrhlin v prvku. Je tedy potřeba působení větších sil pro destrukci drátkobetonové konstrukce v porovnání s prostým betonem.

Díky tomu, že je zabráněno rozevírání mikrotrhlin, dochází ke snížení pronikání vlhkosti a agresivního prostředí do struktury prvku. Díky tomu nedochází tedy ke korozi drátků, ani k chemickým změnám uvnitř materiálu. Slabým místem jsou u drátkobetonové konstrukce povrchové plochy. Tyto plochy však můžeme ošetřit, sledovat a v případě potřeby sanovat. (Ráček, Vodička 2015, Karbonatace betonu)

Při výrobě betonových prvků dochází ke vzniku povrchového napětí. Toto napětí vzniká během procesu tuhnutí a tvrdnutí betonu, kdy nastává snížení jeho objemu. Tento jev se nazývá smršťování. Je několik možností, jak ho lze omezit – složením čerstvého betonu, ošetřením betonu. V případě drátkobetonu však dochází k zachycení povrchového napětí pomocí drátků. Díky tomu nevznikají smršťovací trhliny. (Krátký, Trtík, Vodička 1999, Smršťování betonu)

2.2. Proces usměrnění drátků

U prvků, u kterých předem nelze určit přesné směry hlavních napětí, je drátkobeton vhodnou volbou. Klasická výztuž nemusí být v tomto případě efektivní. Na rozdíl od betonářské výztuže jsou drátky orientované všemi směry. Nevýhodou však je, že je využívána pouze část drátků.

V případech, kdy je složité použít klasickou výztuž, jsou k zamyšlení výhody použití drátkobetonu. Například v případech atypických konstrukcí – z hlediska tvaru, zatížení, prostředí atd. Vystává tedy několik otázek:

- Je provádění betonářské výztuže stále efektivní?
- Není návrh výztuže a její provádění na místě zbytečně komplikované?

- Není lepší technologie, která by se mohla použít?

V takových případech je k zamyšlení, zda se drátkobeton dá využít s všesměrně orientovanými drátky. Usměrněním drátků v konstrukci by se dalo docílit podobného efektu jako u vyztužení klasickou betonářskou výztuží. Dojde však ke ztrátě hlavní výhody drátkobetonu – působení ve více směrech. Bude tedy potřeba znát směry hlavních napětí.

Usměrnění drátků je možné pojmout několika způsoby. Drátky mohou být usměrněny v celé ploše do jednoho směru. V tomto případě budou drátky pomyslně nahrazovat betonářskou výztuž. Dalším způsobem může být např. snaha o usměrnění drátků do různých obrazců, příp. do pravidelného rastru.

3. BALISTICKÁ OCHRANA VE STAVITELSTVÍ

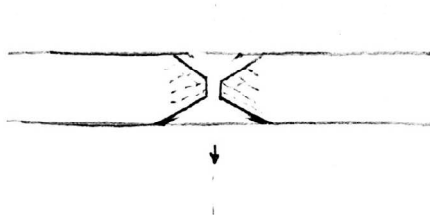
Ochranné prvky dnešní doby jsou nenápadné a je snaha minimalizovat spotřebu materiálu – konstrukce jsou subtilní. Díky tomu mohou mít prvky menší hmotnost a mohou být mobilní. Úskalím je však houževnatost materiálu, proto je snaha o její zlepšení. Toho lze docílit několika způsoby. Jednou z variant je použití vysokohodnotného betonu (HPC, UHPC a další). Tento materiál má výrazně vyšší pevnost než běžně používané betony. Vysokohodnotné betony bývají často doplněny o drátky nebo vlákna. Jedná se tedy o vláknobetony s vylepšenými vlastnostmi.

Další možností, jak upravit ochranný prvek, je vyztužení betonu. Vyztužení prvků můžeme brát klasickým způsobem a navrhnout betonářskou výztuž – pruty, sítě. Nevýhodou této výztuže však je, že potřebujeme znát směry hlavních napětí a předpokládaný způsob porušení. V případě, že tyto informace nemáme, resp. by bylo obtížné vyztužení prvku dle směrů hlavních napětí, nabízí se možnost vyztužení drátky, případně kombinace betonářské výztuže s drátky. Při klasickém použití drátkobetonu jsou drátky všesměrně rozptýleny. Pokud známe směry hlavních napětí, ale nehodí se využití betonářské výztuže, dá se také použít drátkobeton. Můžeme drátky usměrnit a jejich využití tak optimalizovat.

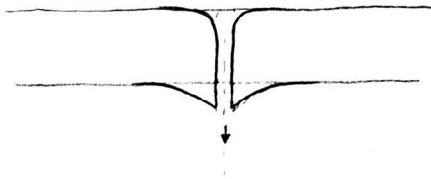
Na toto téma byl proveden experiment, v rámci kterého byly vyrobeny drátkobetonové desky s různými variantami vyztužení drátky. Desky byly vyráběny v domácích podmínkách. Výroba tedy byla limitována – materiálem, postupem výroby.

3.1. Teorie průstřelu

Nejprve je potřeba pochopit, jaký je rozdíl mezi průchodem střely skrz houževnatý materiál a skrz křehký materiál. Za houževnatý materiál lze považovat materiál, který se při deformaci, příp. destrukci, naruší jen v místě extrémního účinku. V ostatních částech zůstává celistvý. Křehký materiál se však naruší v místě extrémního účinku již při kontaktu projektilu s povrchem. V momentě průchodu střely skrze prvek dojde k celkovému porušení. Grafické znázornění je zobrazeno na následujících Obrázcích 2 a 3.



Obrázek 2: Porušení křehkého materiálu (průstřel)



Obrázek 3: Porušení houževnatého materiálu (průstřel)

3.2. Prefabrikované desky

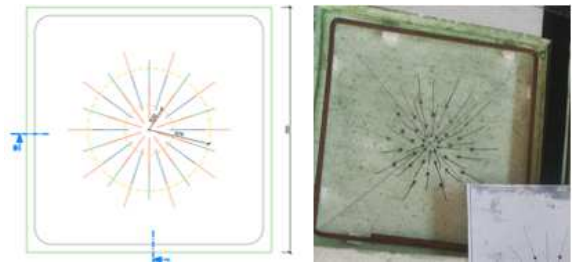
Po pochopení rozdílu mezi dvěma výše uvedenými druhy materiálů následovala rozvaha experimentu. Hlavním cílem experimentu bylo vyrobit drátkobetonové desky, které by samy odolaly střelbě. Bylo potřeba zohlednit jejich velikost, hmotnost a použitou ráži střely. Finální rozměry desek byly stanoveny na 30 x 30 cm o tloušťce 3 cm. Ráže byla původně zvolena 222 REM., resp. 223 REM. (5,56 x 45 NATO), viz Obrázek 4.



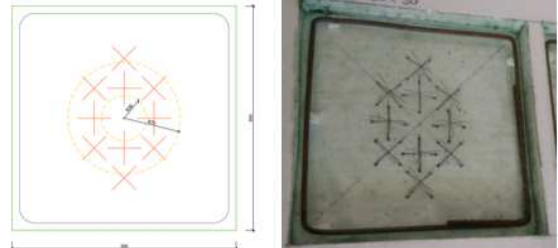
Obrázek 4: Původně uvažovaná ráže – 222 REM. (222 REM FMJ)

Následně byly rozmyšleny typy desek – odlišnost vyztužení, odolnost atd. Byly tedy navrženy 4 typy desek – desky nevyztužené (prostý beton) a 3 typy vyztužených desek (pracovní názvy: slunečnice, ježci 1 a ježci 2). Pro každý typ desek byly vyrobeny 4 vzorky.

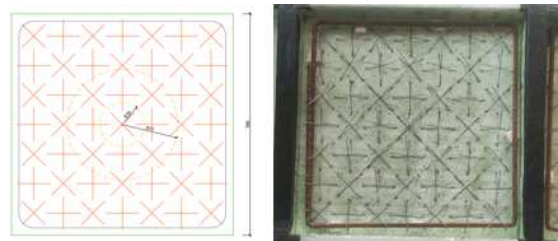
Navržené rozmístění drátků mělo reprezentovat usměrněné a všesměrně orientované drátky. V případě vyztužení typu „slunečnice“ se jednalo o usměrněné drátky. V tomto vzorku jsou drátky orientované do čtyř soustředných kružnic (viz Obrázek 5). Varianta „ježci 1“ představuje všesměrně orientované drátky. Při provádění byly drátky uspořádány do shluků, tzv. ježků, po 4 drátcích (viz Obrázek 6). Celkový počet drátků byl stejný jako u vyztužení „slunečnice“. Posledním typ vyztužení byl „ježci 2“, který také představuje všesměrně orientované drátky. V tomto případě jsou však shluky drátků rozmístěny v celé ploše vzorku (viz Obrázek 7).



Obrázek 5: Deska s usměrněnými drátky (slunečnice)



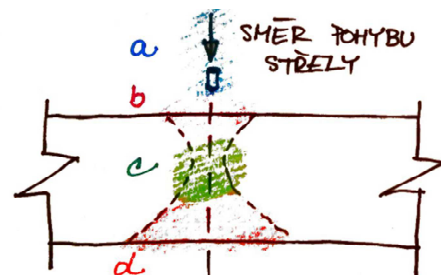
Obrázek 6: Deska s všesměrně orientovanou výztuží rozmístěnou kolem středu (ježci 1)



Obrázek 7: Deska s všesměrně orientovanou výztuží v celé ploše (ježci 2)

3.3. Výpočet drátků

Výpočet drátků bylo možné pojmout několika způsoby. Výpočet drátků bylo možné pojmout několika způsoby. Jedním z nich je provádět výpočet pomocí Zákona zachování energie. Bylo by však potřeba znát velké množství vstupních parametrů, které nebyly k dispozici. Tento přístup byl nakonec tedy pouze teoretický, bez možnosti výpočtu. Díky tomu bylo možné detailněji promyslet, k jakým energetickým procesům dochází od momentu výstřelu až do průstřelu vzorku. Tyto procesy jsou schématicky zobrazeny na Obrázku 8.

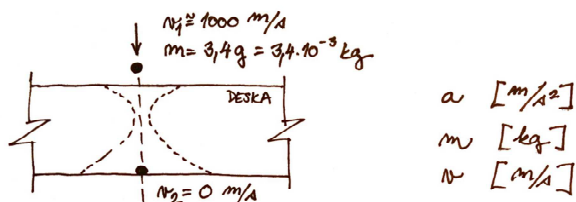


Obrázek 8: Místa, ve kterých dochází ke změnám energie

Vysvětlivky k Obrázku 8:

- Spotřeba energie za letu
- Uvolnění energie pro deformaci projektilu a pro deformaci přední strany vzorku
- Při průchodu střely skrz vzorek dochází k ohřevu a deformacím vzorku
- Ve chvíli, kdy se střela dostatečně přiblíží k zadní straně vzorku, dojde k odtržení materiálu

Další variantou pro výpočet byla možnost vycházet ze známých (dohledatelných) údajů – pevnosti, průměru a délky použitých drátků, „brzdné“ dráhy, rychlosti a hmotnosti projektilu. Úvaha byla taková, že se střela pohybuje známou rychlostí a je požadováno, aby se zastavila v tloušťce desky. Výpočet vychází ze vztahů pro sílu, hmotnost, rychlost a zrychlení, viz Obrázek 9. Sílu, dopočtenou tímto způsobem, musí být schopné přenést použité množství drátků, tzn. nesmí dojít k přetržení či vytržení drátků z betonu.



Obrázek 9: Schéma výpočtu

Původně byla do výpočtu uvažovaná ráže 222 REM. Prvek by ovšem musel být vyztužen velkým množstvím drátků, které by byly rozmístěny na co nejměnsí ploše. Nebylo by tedy možné provést betonáž. Byl proveden odhad maximálního množství drátků, které se vejdu do vzorku tak, aby bylo možné provést řádnou betonáž. Tímto způsobem bylo množství drátků stanoveno na 40 ks. Pro takto vyztužený vzorek by se při použití zvolené ráže (222 REM.) muselo střilet ze vzdáleností 160-170 m.

Byla tedy změněna ráže, pro kterou byly navrženy vzorky ověřeny. Nově zvolená střela byla ráže 9 x 19 LUGER (NATO), viz Obrázek 10. Pro výpočet byl uvažován stejný vzorek, tzn. vzorek vyztužený 40 drátky. Bylo stanoveno, že takto vyztužená deska by měla ráži odolat.



Obrázek 10: Finální uvažovaná ráže – 9 mm LUGER (9 mm LUGER / 9 mm PARA / 9 x 19)

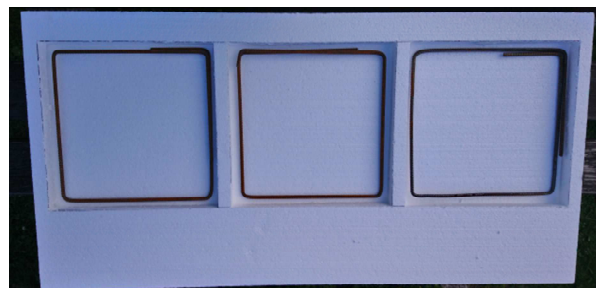
4. EXPERIMENT – OBKLADOVÉ DESKY

Jak již bylo zmíněno, byly vyrobeny 4 typy desek – nevyztužené desky, desky s usměrněnou výztuží (soustředné kružnice drátků) a 2 typy desek s všesměrně orientovanou výztuží (drátky sdruženy do shluků po 4 ks). Do všech desek byly vloženy třmínky ze žebírkové výztuže o průměru 6 mm (viz Obrázek 11). Tyto třmínky sloužily k zachycení sil, které by způsobily roztržení celých vzorků.

4.1. Výroba desek

V rámci příprav experimentu byl nakoupen potřebný materiál na výrobu bednění i na samotnou betonáž desek. Bednění bylo vyrobeno vždy ze dvou polystyrenových desek o tloušťce

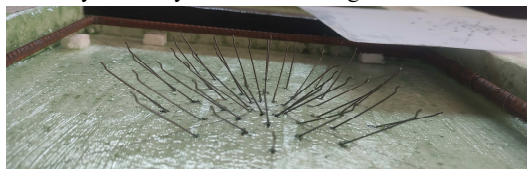
3 cm. Desky byly spojeny pomocí vazelíny a lepicí pásky. Před betonáží bylo celé bednění řádně vymazáno vazelínou.



Obrázek 11: Fotografie bednění s vloženými třmínky

Před začátkem betonáže bylo potřeba navrhnout betonovou směs. Vzhledem k výrobě v domácích podmínkách, byl návrh velmi zjednodušen. Byla použita pouze jedna frakce (0-4 mm – betonářský písek) kameniva, cement, voda, plastifikátor a stabilizátor. Následně byla provedena zkušební betonáž pro ověření vlastností směsi. Nejdůležitějším faktorem byla konzistence. Bylo potřeba, aby směs byla dostatečně tekutá a dostala se dobře mezi drátky. Pro zkušební směs byla provedena zkouška rozliti kužele, pro získání hodnot k porovnání.

Před vlastní betonáží desek bylo ještě potřeba připravit vyztužení desek. Pro všechny typy vyztužení byly drátky ručně vpraveny do polystyrenového bednění. Drátky byly umístěny pod úhlem cca 35° (uvažovaný sklon pro výpočet). Vzhledem k využití drátků o délce 6,0 cm byla využita přebytečná délka pro upevnění do bednění. Zhruba 1,0 – 1,5 cm délky bylo tedy zapíchnuto do bednění. Provedení vyztužení desky s usměrněnými drátky lze vidět na fotografii - Obrázek 12.



Obrázek 12: Detail uložení drátků do bednění

Betonáž desek byla provedena v pěti na sebe navazujících fázích. Z každé várky betonu byla opět provedena zkouška rozliti kužele. Výsledná hodnota byla porovnána s hodnotou ze zkušební betonáže. Vzorky byly kontrolovány a ošetřovány v období cca 14 dní od betonáže.

Vzorky byly odbedněny ve stáří 23 dní. Následně byly očištěny od vazelíny a na povrchu označeny (viz Obrázek 13).



Obrázek 13: Vzorky po odbednění

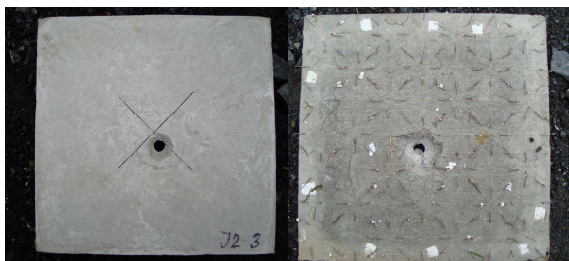
4.2. Střelba

Střelby byly provedeny na venkovní střílnici. Vzorky byly podepřeny ze 3 stran – ve spodní části byly zahrabány do písku a na bocích byly opřeny o ocelové sloupky.

Parametry střelby:

- Vzdálenost střelby – 5 metrů
- Přesnost střelby – střed vzorku + rádius 3 cm
- Ráže – 9 x 19 Luger
- Zbraň – Glock 19

U všech vzorků došlo k průstřelu skrz. Desky tedy nesplnily uvažované předpoklady, byl zde však znatelný rozdíl porušení dle typu vyztužení. Vzorky s usměrněnou výztuží (slunečnice) a vzorky s celoplošnou všesměrně orientovanou výztuží (ježci 2) měly zhruba stejnou velikost poškození na přední i na zadní straně desek. Jak můžeme vidět na fotografii (Obrázek 14) při střelbách došlo k odchylnám. Při využití desek s celoplošnou všesměrně orientovanou výztuží však nezáleží, do jakého místa se střelec trefí, na rozdíl od zbylých dvou typů vyztužení.



Obrázek 14: Fotografie desky s všesměrně usměrněnými, celoplošně rozmístěnými drátky; vlevo: přední strana s odštěpem, vlevo: zadní strana s odštěpem

U některých vzorků bylo znatelné odlišné zbarvení betonu v místě průstřelu a odštěpu materiálu. Při bližším prozkoumání byl znatelný rozdíl také v povrchu materiálu, hlavně hrubosti povrchu, a sklonu odštěpu. Čím blíže k místu průstřelu, tím větší sklon odštěpu zde byl. Zároveň se směrem ke středu porušení snižovala hrubost povrchu. V okolí průstřelu byl beton jemnější, než na okraji odštěpu. Tyto rozdíly pravděpodobně vznikly díky odlišné rychlosti odtržení.

5. VÝSLEDKY

V rámci vyhodnocení experimentu byla na závěr provedena zkouška pevnosti betonu v tlaku na 5 zkušebních krychlich. Jejich rozměry byly 5 x 5 x 5 cm. Tyto krychle byly vybetonovány z různých várek betonové směsi. Na krychlich můžeme pozorovat typické porušení prostého betonového prvku namáhaného tlakem. Došlo zde ke vzniku trhlin od příčného tahu (viz Obrázek 15). Změřená pevnost v tlaku byla v rozmezí 16-18 MPa (viz Tabulka 1). Po zatřídění bylo zjištěno, že použitý beton byl třídy C8/10. Do výpočtu však byla uvažována třída C20/25. Z tohoto důvodu pravděpodobně došlo k prostřelení všech desek. Drátky neměly dostatečně dlouhou spolupůsobící délku s betonem.

Pro vyhodnocení experimentu bylo potřebné si ujasnit váhu jednotlivých kritérií. Pokud se zaměříme na velikost

odštěpů jednotlivých vzorků, můžeme si všimnout, že vzorky s vyztužením „slunečnice“ a „ježci 2“ měly velice podobné (nejlepší) výsledky (viz Tabula 2).



Obrázek 15: Provádění zkoušky pevnosti betonu v tlaku

Tabulka 1: Naměřené hodnoty pevnosti ze zkoušky betonu v tlaku

VZOREK Č.	TLAK Z LISU [bar]	TLAK [MPa]
1	55,8	17,5
2	59,1	18,5
3	51,9	16,2
4	58,7	18,3
5	49,3	15,4

Tabulka 2: Porovnání průměrných hodnot odštěpů pro jednotlivé typy desek

VZOREK	ODŠTĚP	
	Přední [cm]	Zadní [cm]
PROSTÝ BETON	4,73	6,68
SLUNEČNICE	4,3	5,75
JEŽCI 1	4,73	6,75
JEŽCI 2	3,85	6,0

6. DISKUZE

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, nejlépe dopadly vzorky s usměrněnou výztuží a vzorky s celoplošnou všesměrně orientovanou výztuží. Dle původního odhadu měly nejlépe dopadnout desky s usměrněnou výztuží. Tento předpoklad se tedy potvrdil.

Pokud známe předpokládaný způsob namáhání prvku, dá se tedy drátkobeton optimalizovat. Usměrnění drátků v tomto případě mělo smysl. Kromě orientace drátků má však vliv také jejich množství. Tento rozdíl byl pozorovatelný na rozdílu desek s všesměrně orientovanou výztuží pouze kolem středu a na vzorcích s celoplošnou všesměrně orientovanou výztuží. V případě desek s drátky pouze kolem středu došlo k většímu odštěpu materiálu jak na přední, tak na zadní straně.

V návaznosti na experiment však vyvstává několik dalších otázek, na které zatím nebylo možné odpovědět:

- Jaký rastr drátků by byl neefektivnější?
- Opravdu to bylo vyztužení typu „ježci 2“, nebo by se dalo vymyslet ještě efektivnější uskupení drátků?

- Kolik drátků by bylo potřeba do jednoho shluku drátků? Stačí ježci ze 4 drátků, nebo by byli lepší např. ze 6 drátků?

- Kolik drátků je vůbec možné seskupit tak, aby bylo stále možné řádné probetonování?

- Nedaly by se jednotlivé skupiny drátků nějak propojit, aby se přesně dodržela jejich předepsaná vzdálenost? Případně jak by se toho dalo docílit?

- Nebylo by možné v takovém případě výrobu automatizovat?

7. ZÁVĚR

Tento článek se věnoval aplikaci drátkobetonu a účinkům drátků v betonu. Kromě navýšení pevnosti a houževnatosti drátky ovlivňují mnoho dalších vlastností betonu. Mezi ně patří např. zvýšení odolnosti proti agresivnímu prostředí, zvýšení trvanlivosti konstrukce a snížení vlivu účinků objemových změn (smršťování). U klasického drátkobetonu dochází k rozmíchání drátků v čerstvém betonu. V konstrukci jsou poté drátky celoplošně rozmístěny a jsou orientovány všemi směry. Drátkobeton je vhodné využívat u konstrukcí, u kterých nelze určit směry hlavních napětí. U konstrukcí, kde jsme schopni směry hlavních napětí určit, mohou drátky posloužit k úspoře betonářské výztuže. Při usměrnění drátků bychom byli schopni množství betonářské výztuže ještě více omezit. Případně by bylo možné konstrukce provádět pouze z drátkobetonu.

Dále se článek věnoval betonu při zatížení střelou. Hlavním cílem bylo pochopení chování materiálů při průstřelu. Byly zde rozděleny materiály do dvou skupin – houževnaté (ocel) a křehké (beton). Pro oba typy materiálů byl stanoven hlavní rozdíl v porušení. Následně byly navrženy rozměry a vyztužení desek, které by sloužily jako dodatečná balistická ochrana staveb. Tyto desky byly navrženy tak, aby odolaly střele ráže 9 x 19 mm LUGER.

Poslední částí článku je experiment, který se týkal výroby drátkobetonových obkladových desek. Byly vyrobeny 4 typy desek s různým vyztužením drátky. Díky výrobě v domácích podmínkách došlo k výrobním nedokonalostem. Výsledná třída betonu byla mnohem nižší než ta, se kterou bylo uvažováno do výpočtu. Veškeré vzorky byly tedy prostřeleny skrz. Na vzorcích však byl viditelný rozdíl v porušení dle typu vyztužení. Usměrnění drátků tedy mělo vliv na výsledek.



Obrázek 16: Fotografie ze střelby

Pro následný výzkum bude potřeba navrhnout několik úprav pro vzorky, které by zlepšily odolnost. Mezi ně například patří vylepšení receptury betonové směsi, rozmyšlení rastru drátků, případně úprava rozměrů. Dále by bylo vhodné zamyslet se nad možnostmi automatizované výroby a následným upevněním desek na konstrukci.

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří Českému vysokému učení technickému v Praze, které tuto práci finančně podporovalo v rámci projektu SGS22/037/OHK1/1T/11.

Reference

- „Expert z ČVUT vymýšlejí pevnější, méně nápadné bariéry proti útokům autem,“ (2018). [Online]. Available: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/2354872-experti-z-cvut-vymysleji-pevnejsi-mene-napadne-bariery-proti-utokum-autem>. [Přístup získán 16. 12. 2021].
- M. Pavec, „Český vynález: květináče proti teroru. Běžnou zábranu útočící kamion odsune, tato ho zastaví,“ (2017). [Online]. Available: <https://www.lidovky.cz/byznys/kvetinace-proti-teroru-beznou-zabranu-utocici-kamion-odsune-tato-ho-zastavi>. [Přístup získán 05. 12. 2021].
- Ing. V. Ráček, doc. Ing. J. Vodička, CSc., „Trvanlivost vláknobetonů a návrhová životnost vláknobetonových konstrukcí,“ (2015). [Online]. Available: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/12723-trvanlivost-vlaknobetonu-a-navrhova-zivotnost-vlaknobetonovych-konstrukci>. [Přístup získán 05. 12. 2021].
- „Karbonatace betonu,“ [Online]. Available: <https://www.ebeton.cz/pojmy/karbonatace-betonu/>. [Přístup získán 18. 12. 2021].
- J. Krátký, K. Trtík a J. Vodička, Drátkobetonové konstrukce, R. Karasová, Editor, Praha: Informační centrum ČKAIT, 1999.
- „Smršťování betonu,“ [Online]. Available: <https://www.ebeton.cz/pojmy/smrstovani-betonu/>. [Přístup získán 18. 12. 2021].
- „222 REM FMJ,“ [Online]. Available: <https://www.sellier-bellot.cz/produkty/kulove-naboje/kulove-naboje-fmj/detail/182/>. [Přístup získán 05. 04. 2021].
- „9 mm LUGER / 9 mm PARA / 9 × 19,“ [Online]. Available: <https://www.sellier-bellot.cz/produkty/pistolove-a-revolverove-naboje/pistolove-a-revolverove-naboje/detail/290/>. [Přístup získán 24. 09. 2021].
- V. Schutová (2022), Drátkobeton jako balistická ochrana. Diplomová práce.