

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí

DRÁTKOBETON JAKO BALISTICKÁ OCHRANA



STEEL FIBRE CONCRETE AS BALLISTIC PROTECTION

Diplomová práce

2022

Bc. Veronika Schutová

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE


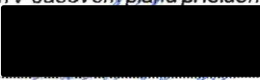
I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Schutová Jméno: Veronika Osobní číslo: 468385
Zadávací katedra: 133 - katedra betonových a zděných konstrukcí
Studijní program: Magisterský navazující na bakalářský
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Drátkobeton jako balistická ochrana
Název diplomové práce anglicky: Steel fibre concrete as ballistic protection
Pokyny pro vypracování:
- obecné informace o drátkobetonu, vojenské aplikace železobetonu a drátkobetonu, balistická ochrana
- usměrnění drátků a jeho vliv na mechanické vlastnosti
- návrh a výpočet obkladových drátkobetonových desek
- příprava experimentu - návrh směsi, výroba vzorků, atd.
- vyhodnocení experimentu

Seznam doporučené literatury:
Drátkobetonové konstrukce - Jiří Krátký, Karel Trtík, Jan Vodička
ČSN EN 1992-1-1

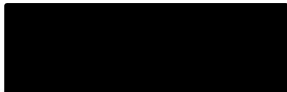
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Michaela Frantová, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce: 24.9.2021 Termín odevzdání diplomové práce: 3.1.2022
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku
 
Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

1.10.2021

Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Dobřanech dne 31. 12. 2021

.....

Bc. Veronika Schutová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji paní Ing. Michaele Frantové, Ph. D. za její odborné vedení mé diplomové práce, za její vstřícný přístup a trpělivost při konzultacích. Dále bych chtěla poděkovat panu prof. Ing. Petru Štemberkovi, Ph. D., D. Eng. za cenné rady, náměty a podněty k podrobnějšímu zamyšlení, panu Ing. Martinu Petříkovi, Ph. D. za poskytnutí pomůcek a některých materiálů pro experiment a paní Mgr. Yulii Khmurovské, Ph. D. za umožnění zkoušek v laboratoři.

Chtěla bych také poděkovat svému snoubenci Miroslavu Zemkovi a jeho kolegovi Juraji Antolovi za umožnění a zprostředkování střeleb.

V poslední řadě děkuji také svým přátelům a rodině za podporu při mém studiu a za to, že jsem díky nim přišla i na jiné myšlenky.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá využitím prvků z betonu, železobetonu, drátkobetonu jako vojenských ochranných prostředků – od historických staveb (opevnění), přes dnešní zatarasy až po novodobé mobiliáře. Najdete zde zástupce od každého z uvedených druhů a jejich dílčí typy. Dále se práce zabývá možnostmi zlepšování nejen mechanických vlastností betonu. Zaměřená je hlavně na použití ocelových drátků, kdy dochází v betonu ke zlepšení houževnatosti, trvanlivost a schopnosti přenášet povrchová napětí, např. při procesu tuhnutí a tvrdnutí. Drátky bývají rozmíchány v čerstvém betonu a jsou tedy všesměrně orientované. V dnešní době se však řeší, jestli a jak je možné drátky usměrnit. Tomuto tématu je věnována jedna celá kapitola.

Hlavní část práce je zaměřena na princip chování 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. V návaznosti na tuto teoretickou část je navržen experiment týkající se výroby drátkobetonových desek. Součástí experimentu je návrh rozměrů desek, určení ráže střely, návrh uspořádání a výpočet drátků. Jednotlivá schémata vyztužení a výpočet drátků jsou v přílohách. Dále jsou v diplomové práci uvedeny fotky z výroby desek. Na závěr jsou zdokumentovány střelby. Pro všechny vyrobené vzorky jsou popsány způsoby porušení a je provedeno jejich vyhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA: drátkobeton, balistická ochrana, beton s vlákny, obkladové desky, vojenské aplikace betonu, vlákna

ABSTRACT

The thesis deals with the use of elements made of concrete, reinforced concrete, steel fibre concrete as military protective objects – from historical buildings (fortifications), through today's barriers to modern furniture. You will find here representatives from each of the listed species and their subtypes. Furthermore, the work deals with the possibilities of improving not only the mechanical properties of concrete. It focuses mainly on the use of steel fibres, which improves the toughness, durability and ability to transfer surface stresses in concrete. The fibres are usually mixed in fresh concrete. They are omnidirectionally oriented in the construction. Nowadays, it is being decided whether and how fibres can be directed. One whole chapter is devoted to this topic.

The main part of the work is focused on the principle of behavior of materials during penetration. The materials are divided into two groups – tough and brittle. The individual processes that take place in the materials are drawn for both types of materials. Following this theoretical part, an experiment is proposed. This experiment concerns the production of fibre reinforced concrete slabs. Part of the experiment is the design of the arrangement and calculation of fibres. The individual reinforcement diagrams and fibre calculation are in the appendices. The thesis also contains photos from the production of slabs. The photos from shooting are documented in the end of this thesis. The methods of failure are described for all produced samples and their evaluation is performed.

KEYWORDS: steel fibre concrete, ballistic protection, fibre concrete, cladding boards, army use of concrete, fibre

Obsah

1. ÚVOD.....	7
2. VOJENSKÉ APLIKACE ŽELEZOBETONU A DRÁTKOBETONU	9
2.1 HISTORIE	9
2.2 SOUČASNOST	13
3. DRÁTKOBETON A MOŽNOSTI USMĚRNĚNÍ DRÁTKŮ	16
3.1 VLIV DRÁTKŮ NA MECHANICKÉ VLASTNOSTI	16
3.2 PROCES USMĚRNĚNÍ DRÁTKŮ	17
4. BALISTICKÁ OCHRANA VE STAVITELSTVÍ.....	19
4.1 TEORIE PRŮSTŘELU	19
4.2 PREFABRIKOVANÉ DESKY	27
4.3 VÝPOČET, NÁVRH DRÁTKŮ	28
5. EXPERIMENT - OBKLADOVÉ DESKY	31
5.1 PŘÍPRAVA	31
5.2 ZKUŠEBNÍ VZORKY.....	35
5.3 VÝROBA VZORKŮ.....	37
5.3.1 BETONÁŽ	38
5.3.2 ODBEDNĚNÍ.....	39
5.4 STŘELBA	40
5.5 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU	51
6. ZÁVĚR.....	53
7. ZDROJE	56
Příloha č. 1 – Technické listy střel	59
Příloha č. 2 - VÝPOČET DRÁTKŮ	62
Příloha č. 3 – VZOREK 1 – PROSTÝ BETON	67
Příloha č. 4 – VZOREK 2 – SLUNEČNICE.....	69
Příloha č. 5 – VZOREK 3 – JEŽCI 1	71
Příloha č. 6 – VZOREK 4 – JEŽCI 2	73
Příloha č. 7 – Fotografie vzorků – ZKUŠEBNÍ VZOREK.....	75
Příloha č. 8 – Fotografie vzorků – PROSTÝ BETON.....	78
Příloha č. 9 – Fotografie vzorků – SLUNEČNICE	87
Příloha č. 10 – Fotografie vzorků – JEŽCI 1	96
Příloha č. 11 – Fotografie vzorků – JEŽCI 2	105

1. ÚVOD

Vojenské aplikace betonu pro mě jsou přiblížením k armádě a historii, která mě v posledních letech začíná více zajímat. Na území Československé republiky došlo k budování armádních bunkrů a dalších opevnění v letech 1935 - 1938. Jednalo se o jeden z nejdokonalejších opeňovacích systémů. [1] Tyto konstrukce však byly velmi masivní. Dnes by jejich podoba byla pravděpodobně velmi odlišná. Na tehdejší dobu se jednalo o velice efektivní konstrukce. Na našem území vzniklo téměř 10 000 objektů lehkého a těžkého opevnění. Lehká opevnění se vybuďovala hlavně podél státní hranice. Na vnitrozemních příčkách měla být vybudována těžká opevnění, což se ale nakonec nestalo (z důvodu finanční náročnosti). Nakonec tedy na vnitrozemních příčkách také vznikala lehká opevnění.

Po druhé světové válce byla řada objektů poničena postřelovacími zkouškami nebo trháním pancéřových zvonů a střelen. V 50. letech se začaly znovu využívat pouze objekty na jižní a západní hranici. Docházelo k pozvolné devastaci nevyužívaných opevnění – rabování, zarůstání na polích či v lesích. V 90. letech 20. století došlo k rozmachu pevnostního muzejnictví. Po roce 1989 začaly vznikat kluby a spolky, které se o vojenské objekty staraly. Ve vojenských objektech vzniklo mnoho muzeí. Dnes jsou zbylé objekty předávány majitelům pozemků a rozprodávány. [2]

Díky absolvování několika volitelných předmětů jsem se dozvěděla o využití betonu, hlavně vysokohodnotného betonu, pro armádní účely v dnešní době. Dnes se beton využívá spíše při ochraně objektů a osob. V otevřených prostorech, kde může docházet např. k teroristickým útokům, výbuchům trhavin, cíleným automobilním útokům, je důležité, aby došlo k zastavení ničivé síly dřívě, než dojde ke škodám na životech. Jedná se o různé barikády a mobiliáře.



Obr. č. 1 – porovnání historického lehkého opevnění (vlevo, [3]) a dnešního záterasu (vpravo, [4])

Jako materiál mě nejvíce zaujal drátkobeton, kterému vedle běžného železobetonu případně předpjatého betonu není při studiu věnován příliš velký prostor. V rámci diplomové práce jsem tak využila příležitost seznámit se s tímto materiálem blíže. 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.

Při výběru tématu diplomové práce jsem nejprve nevěděla, které ze dvou výše uvedených témat vybrat. Vznikl tedy nápad tato dvě témata spojit. Má diplomová práce se nakonec zabývá využitím 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 teoretickou práci s výrobním procesem, resp. experimentem. V rámci diplomové práce 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.

Součástí diplomové práce je tedy kromě rozboru střelb a návrhu různých typů vyztužení prefabrikovaných betonových dlaždic také experiment. Cílem diplomové práce je také porovnat efektivitu usměrněných a všesměrně orientovaných drátků v dlaždicích, případně i vliv množství drátků v dlaždici. Během teoretického studia vlastností drátkobetonu a průstřelů různými materiály došlo také k výrobě vzorků (desek) a experimentu přímo na střelnici.

2. VOJENSKÉ APLIKACE ŽELEZOBETONU A DRÁTKOBETONU

2.1 HISTORIE

Jak již bylo zmíněno v úvodní kapitole, v letech 1935-1938 byl na území Československé republiky vybudován jeden z nejdokonalejších opevňovacích systémů. Tento systém tvořilo několik tisíc objektů. Jednotlivé objekty by se daly rozdělit do několika skupin – lehké opevnění, těžké opevnění, dělostřelecké tvrže.

Lehká opevnění

Tyto objekty jsou nazývány „řopíky“. Byly tvořeny malými kulometnými objekty nižší odolnosti (vzor 36) anebo dokonalejšími kulometnými objekty (vzor 37). Tyto objekty byly vybaveny pouze kulometry. Postaveno jich bylo téměř 10 000.

Lehká opevnění můžeme vidět na obrázcích číslo: 2, 3, 4 a 5.

Těžká opevnění

Skládalo se ze samostatných srubů a dělostřeleckých tvrží. Jednalo se o mnohonásobně odolnější a silněji vyzbrojené stavby (v porovnání s lehkým opevněním). Objekty byly vybaveny protitankovými kanóny, minomety a pancéřovými zvony. Tvrže disponovaly také dělostřelectvem. Objekty byly budovány v šesti stupních odolnosti. Nejdolnější z nich měly vydržet zásah 35 cm dělostřeleckým granátem. Výstavba trvala déle a pořizovací náklady byly vyšší než u lehkých objektů. Postaveno bylo 263 objektů těžkého opevnění.

Těžká opevnění můžeme vidět na obrázcích číslo: 6, 7 (historie) a 8 (současnost).

Dělostřelecké tvrže

Tvrže byly tvořeny několika pěchotními a dělostřeleckými objekty. Jednotlivé objekty byly propojeny podzemním systémem. Bylo uvažováno s vybudováním 13 tvrží. [2]



Obr. č. 2 – LEHKÉ OPEVNĚNÍ - objekty č. 27-28, Zátoň, Šumava [3]



Obr. č. 3 – LEHKÉ OPEVNĚNÍ - objekty č.28-29, Zátoň, Šumava [3]



Obr. č. 4 – LEHKÉ OPEVNĚNÍ - Mimoň, rok 1938, Ralsko v pozadí [3]



Tschechische Bunkerstellung am Rals

Obr. č. 5 – LEHKÉ OPEVNĚNÍ - Mimoň, rok 1939, Ralsko v pozadí [3]



Obr. č. 6 – Zkušební a cvičný objekt CE Jordán, Brdy, dobová fotografie [5]



Obr. č. 7 – Zkušební a cvičný objekt CE Jordán, Brdy, dobová fotografie [5]



Obr. č. 8 – Pěchotní srub CE Jordán, Brdy, současnost [6]

2.2 SOUČASNOST

V dnešní době jsou vyráběny převážně menší, dílčí ochranné prvky. Ochranné prvky, které jsou vidány při veřejných akcích, jsou většinou přemístitelné. Jedná se o betonové bloky, které mají např. znemožnit průjezdu vozidel. Jejich vzhled je velmi výrazný – bývají žluto-černé, pruhované (viz. Obr. č. 9). Jsou tedy velice nápadné.



Obr. č. 9 – klasické žluto-černé záterasy [4]

Postupem let tedy docházelo k vývoji těchto záteras. Jednou z novějších variant jsou mobilní skládané bariéry (Obr. č. 10). Tyto bariéry však nejsou určeny k zastavení vozidel. Slouží k zastavení útočníka se střelnou zbraní či trhavinou. Některé z těchto bariér mají i průhled, resp.

střílnu. Dále mohou tyto skládané bariéry sloužit např. k vymezení bezpečného prostoru, zabránit pohybu osob, případně vytvoření check pointů. [4]



Obr. č. 10 – příklady mobilních skládaných bariér [4]

V několika posledních letech je snaha o to, aby bylo možné ochranné prvky zakomponovat do okolí. Mezi takové patří například různé prvky mobiliáře – lavičky, květníky, atd (viz Obr. č. 11 a 12). Funkce těchto prvků zůstává stejná jako u předchozích dvou. Prvky slouží jako překážky (např. pro zastavení jedoucího vozidla) nebo jako ochrana (např. před výbuchem trhaviny). Dojde tedy k poškození nebo destrukci daného prvku. Podnět pro výrobu takovýchto prvků je např. riziko teroristických útoků. Navržené prvky by měly být schopné zastavit vozidlo o hmotnosti 22 tun jedoucí rychlostí zhruba 100 km/h. [7]



Obr. č. 11 – vizualizace ochranných truhlíků [7]



Obr. č. 12 – vizualizace speciální drátkobetonové lavičky [7]

Další druh dnešní betonové ochrany jsou neprůstřelné předstěny a tubusy. Tyto prvky jsou vyráběny pro použití v boji. Materiál těchto prvků je většinou vysokohodnotný beton (UHPC).

3. DRÁTKOBETON A MOŽNOSTI USMĚRNĚNÍ DRÁTKŮ

Drátkobeton je kompozitní materiál. Jedná se o podkategorii vláknobetonu. [8]

Obecně je vláknobeton materiál, který je složen z betonu s příměsí jakýchkoliv vláken. Tato vlákna mohou být z různých materiálů. Nejčastěji používaná vlákna jsou skleněná, polymerová a ocelová. Materiál, ve kterém jsou ocelová vlákna, nazýváme drátkobeton. U všech druhů vláknobetonu je potřeba, aby byla vlákna v hotovém prvku rovnoměrně rozptýlena.

3.1 VLIV DRÁTKŮ NA MECHANICKÉ VLASTNOSTI

Drátky mají vliv na některé mechanické vlastnosti materiálu, prodlužují životnost konstrukce a omezují účinky objemových změn.

Z hlediska mechanických vlastností je třeba zmínit zvýšení houževnatosti materiálu a zlepšení schopnosti odolávat tahovému napětí. Oproti prostému betonu nedochází u drátkobetonu k porušení křehkým lomem. Vznikající trhliny (mikrotrhliny) aktivují drátky, které brání prodlužování a rozevírání těchto trhlin. Tento proces je funkční až do meze vzniku makrotrhlin. Pod zvýšením houževnatosti si lze představit právě oddálení vzniku makrotrhlin v materiálu. Je tedy potřeba větší množství energie pro destrukci drátkobetonu v porovnání s prostým betonem.

Díky zabránění rozevírání mikrotrhlin nedochází k pronikání vlhkosti a agresivního prostředí do struktury drátkobetonu. Nedochází tedy ke korozi drátěné výztuže, ani k chemickým procesům uvnitř materiálu. Pokud využijeme drátkobeton i v konstrukci s betonářskou, případně předpínací výztuží, dojde k oddálení procesu karbonatce betonu. Díky zabránění pronikání agresivního prostředí do struktury si konstrukce udržuje své přirozené pH. Slabým místem jsou u drátkobetonu povrchové plochy. Tyto vrstvy však můžeme sledovat a v případě potřeby sanovat. [9] [10] Další výhodou použití drátkobetonu u prvků s betonářskou výztuží je možnost úspory podélné i příčné výztuže. Dojde také ke zlepšení chování prvku z hlediska deformací (např. průhybů). [11]



Při výrobním procesu monolitů i prefabrikátů z prostého betonu, případně obyčejného železobetonu, dochází ke vzniku povrchového napětí. Toto napětí vzniká během procesu tuhnutí a tvrdnutí betonu, kdy dochází ke snížení jeho objemu. Tento jev nazýváme smršťování. Je několik způsobů, jak můžeme smršťování omezit – složením čerstvého betonu nebo při ošetřování betonu. Drátkobeton v době tuhnutí a tvrdnutí vyžaduje v podstatě totožné podmínky. Díky lepším mechanickým vlastnostem je však pravděpodobnost závad spojených s procesy tuhnutí a tvrdnutí menší. V případě drátkobetonu totiž dochází k zachycení výše uvedeného napětí drátky. Díky tomu nedochází ke vzniku smršťovacích trhlin. [11] [12]

Vlákna/drátky zlepšují vlastnosti materiálu:

[8] [9]

- Schopnost odolávat / přenášet tahová napětí
- Houževnatost
- Trvanlivost / životnost
- Zvýšení požární odolnosti – jen vlákna, která nejsou ovlivněna zvyšující se teplotou
- Omezují účinek objemových změn – hlavně smršťování

Velmi zjednodušené porovnání betonu a drátkobetonu:

	PROSTÝ BETON	DRÁTKOBETON
PŘENOS TLAKU	+	+
PŘENOS TAHU	×	+
ROZVOJ TRHLIN	×	+
VZHLED	 [13]	 [9]

3.2 PROCES USMĚRNĚNÍ DRÁTKŮ

U prvků, kde nelze předem určit směry hlavních napětí, je drátkobeton vhodnou volbou. Klasická usměrněná výztuž nemusí být v tomto případě tolik efektivní. Musíme však brát v potaz, že v běžných zatěžovacích schématech bude vycházet drátkobeton méně efektivní oproti železobetonu. Všesměrná orientace drátků způsobuje, že jen část z nich leží ve směru napětí. Část drátků je také umístěna v tlačené oblasti, kde jejich vliv můžeme v podstatě zanedbat. [9]

V případech, kdy je konstrukce nějakým způsobem atypická – tvar, zatížení, prostředí, jsou k zamyšlení výhody využití drátkobetonu. Například v případě atypického tvaru vyvstává několik otázek:

- Je provádění betonářské výztuže stále efektivní?
- Není návrh výztuže a její vyvázání na místě příliš komplikované?
- Nedal by se proces návrhu nějak vylepšit?
- Není lepší technologie, která by se mohla použít?

V takovém případě je k zamyšlení, jestli se drátkobeton dá využít pouze s všesměrně rozptýlenou výztuží. Usměrněním drátků v konstrukci by se mohlo docílit podobného efektu jako při vyztužení betonářskou výztuží. Zároveň však dojde ke ztrátě veliké výhody drátkobetonu – působení ve více směrech. Bude již potřeba znát směr hlavních napětí, aby se mohl zvolit směr, případně uspořádání drátků.

Usměrnění drátků se dá uchopit různě. Drátky mohou být usměrňovány celoplošně do jednoho směru dle namáhání prvku. V tu chvíli budou drátky pomyslně nahrazovat betonářskou výztuž. Dalším způsobem usměrnění drátků může být např. snaha o usměrnění drátků do

různých obrazců, případně do pravidelných rastrů. V tomto případě mohou být drátky skombinované s betonářskou výztuží. Dojde tedy ke zlepšení vlastností materiálu mezi pruty výztuže.

V prvním případě usměrnění je tedy snaha usměrnit již rozmíchané drátky v čerstvém betonu. Takovému způsobu usměrnění se u nás na katedře věnuje např. Ing. Štěpán Šonka, který pro usměrnění drátků v čerstvém betonu využívá elektromagnetické pole. [14]

V druhém případě usměrnění, kdy je snaha drátky rozmístit do pravidelného rastru, by bylo použití elektromagnetického pole velice obtížné. Pro usměrnění drátků do pravidelného rastru je potřeba orientovat drátky do více směrů zároveň. Dle způsobu zatížení konstrukce bude důležité rozmístění jednotlivých drátků, jejich uskupení, orientace (podélně, příčně, ve sklonu) a jejich potřebné množství. Při výrobě takových prvků tedy bude potřeba poměrně velké množství vstupních dat.

4. BALISTICKÁ OCHRANA VE STAVITELSTVÍ

Z hlediska betonových konstrukcí byly bunkry jednou z prvních aplikací betonu pro ochranu člověka z pohledu, jak ji chápeme dnes. Konstrukce těchto objektů však byly velmi masivní. Jednalo se o stavby z prostého betonu či železobetonu. [2]

V dnešní době je snaha vyrábět ochranné prvky subtilnější – menší spotřeba materiálu, menší hmotnost, možnost manipulace – a zároveň houževnatější – nedochází ke křehkému porušení. Těchto vlastností lze docílit několika způsoby. Jednou z možností bývá použití vysokohodnotného betonu (HPC, UHPC a další) pro výrobu prvků. Tento beton má mnohem vyšší pevnost než běžné betony. Mezi jeho další vlastnosti patří: vyšší odolnost, menší pórovitost, delší životnost atd. [15] Tyto betony bývají často také doplněny drátky, případně vlákny. (rozptýlenou výztuží). Konkrétní aplikace betonu byly uvedeny ve 2. kapitole.

Další možností úpravy prvků je vyztužení betonové konstrukce. Vyztužení prvku můžeme pojmut klasickým způsobem a navrhnout prutovou výztuž. Jak již bylo zmíněno, nevýhodou této výztuže je, že potřebujeme znát přesný způsob porušení, resp. musíme být schopni určit směry hlavních napětí. Pokud tuto možnost nemáme, nabízí se výztuž drátky. Při vyztužení prvků rozptýlenými drátky je potřeba si promyslet, jak k návrhu chceme přistupovat. Při klasickém využití drátkobetonu jsou drátky všesměrně rozptýleny. Další variantou je drátky usměrnit a optimalizovat tak jejich využití.

Jedním z cílů diplomové práce byla výroba drátkobetonových desek. Tyto desky byly vyráběny v domácích podmínkách. Jejich výroba byla tedy do jisté míry limitovaná zdroji materiálu. Použité materiály byly poskytnuty fakultou, nebo nakoupeny v obchodu se stavebninami (Hornbach). Proces výroby musel být co nejvíce zjednodušen tak, aby byla zachována prokazatelnost celého experimentu. Zároveň se diplomová práce zabývala principem střeleb, reakcí dvou typů materiálů (křehkého, houževnatého) a usměrněním drátků v drátkobetonu tak, aby byla maximalizovaná jejich účinnost.

4.1 TEORIE PRŮSTŘELU

Mým prvním cílem bylo nastudovat průchod střely skrze materiál. Pochopit, jaký je rozdíl při průchodu střely skrz houževnatý materiál a skrz křehký materiál. Za houževnatý materiál považujeme materiál, který se při deformaci, případně destrukci, naruší jen v místě extrémního účinku. V ostatních částech zůstává celistvý. Na rozdíl od toho se křehký materiál při deformaci začíná narušovat v místě extrémního účinku. V momentě destrukce dojde u křehkého materiálu k celkovému porušení. Jako zdroj informací byla využita videa ze střeleb do různých materiálů – betonové tvárnice [16] [17], sklo [18] [19], ocelový kotouč (závaží) [20], ocelová kovadlina [21], titanová deska [22] a žele [23] [24].

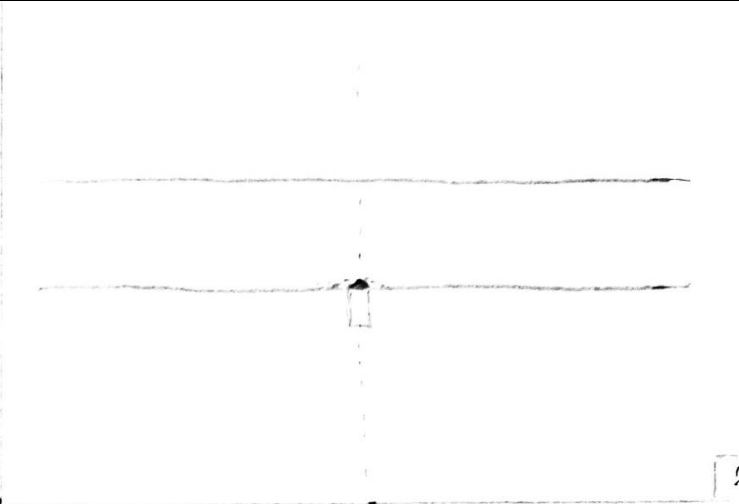
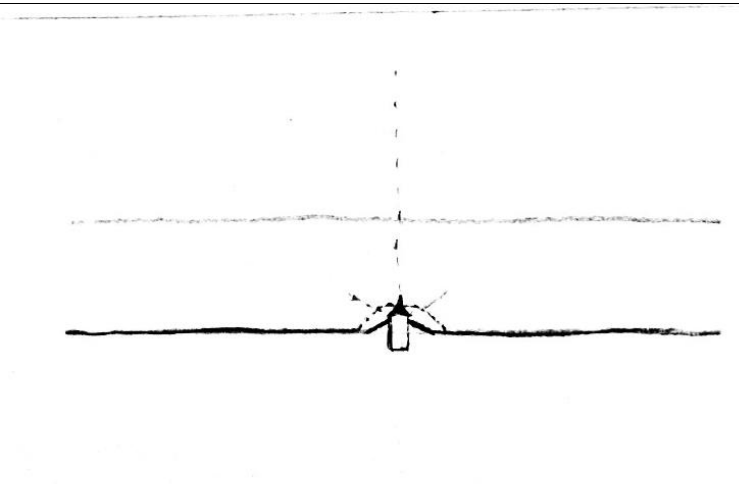
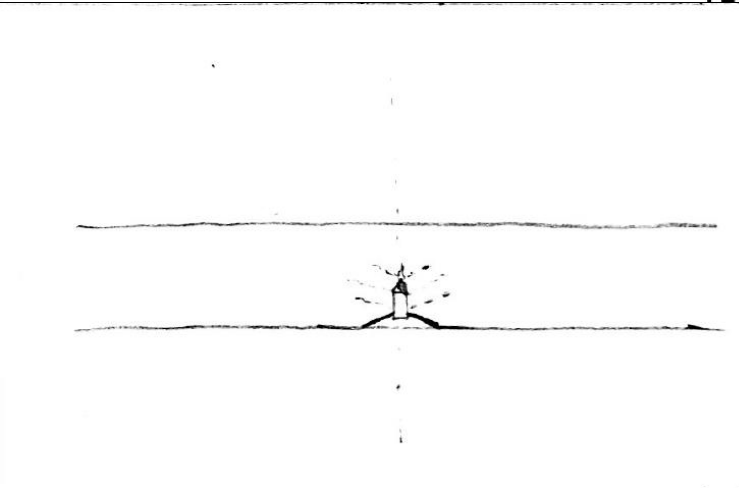



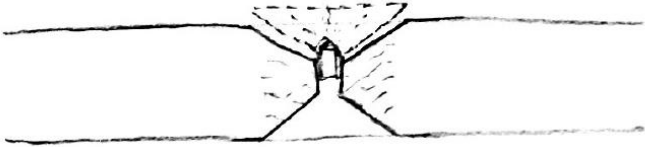
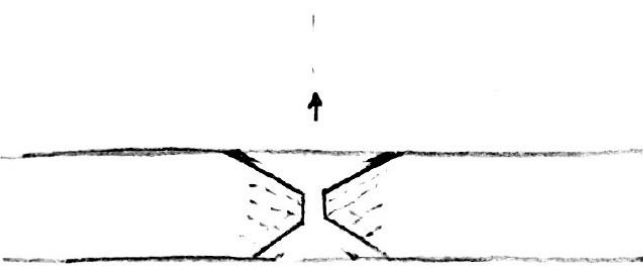
Obr. č. 13 – screenshoty ze shlédnutých videí [16] [18] [20] [21] [23] [24]

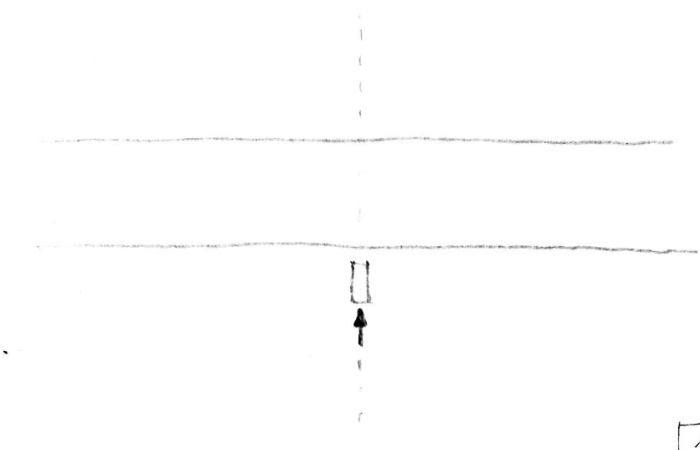
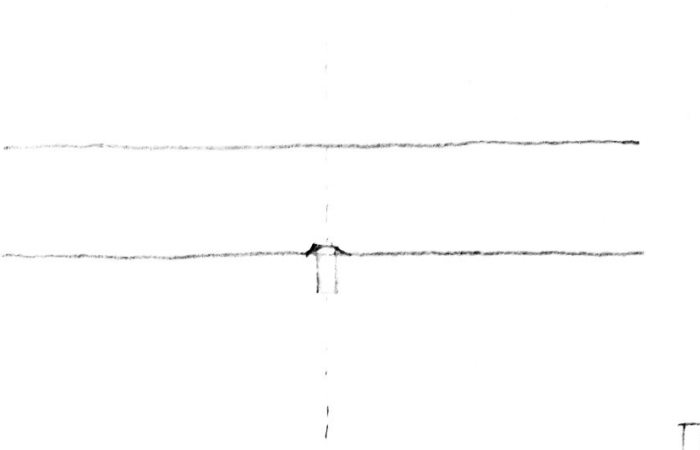
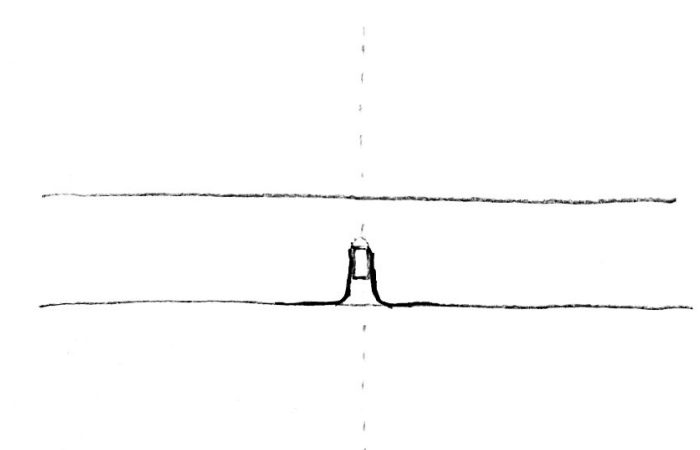
Po shlédnutí videí, bylo pro lepší pochopení principu porušení materiálů zhotoveno schématické rozkreslení průstřelu houževnatým materiálem (např. ocelí) a křehkým materiálem (betonem) ve dvou variantách:

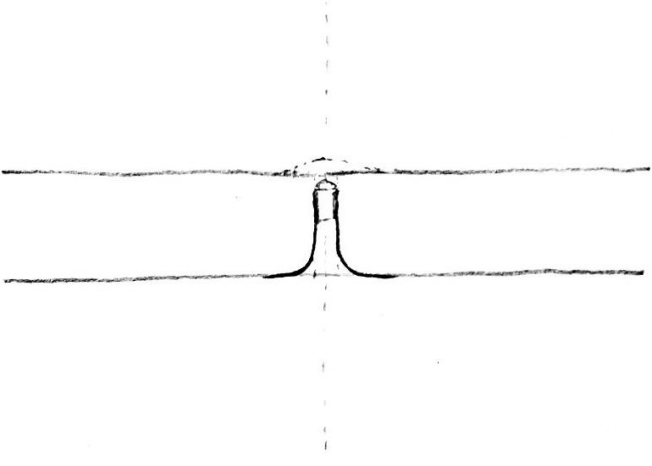
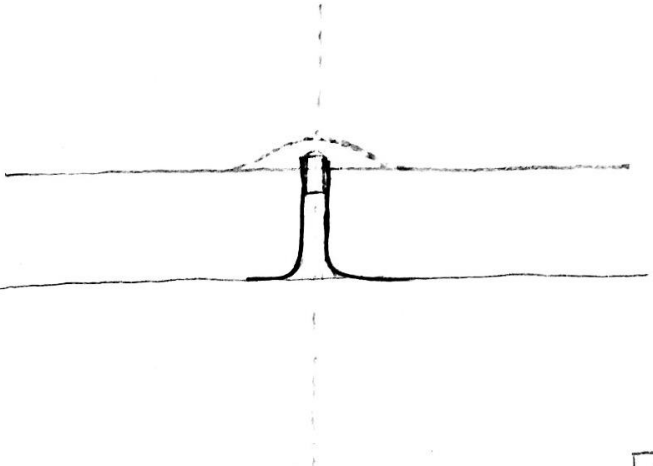
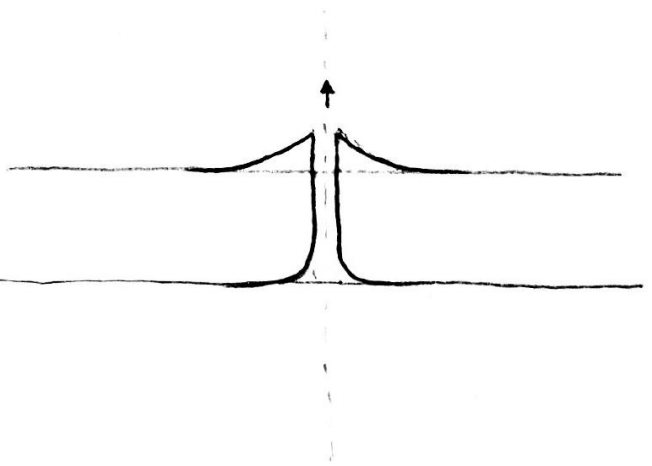
- Průstřel skrz – chování materiálu při průchodu střely skrz celou tloušťku
- Bez průstřelu - chování materiálu při zastavení střely

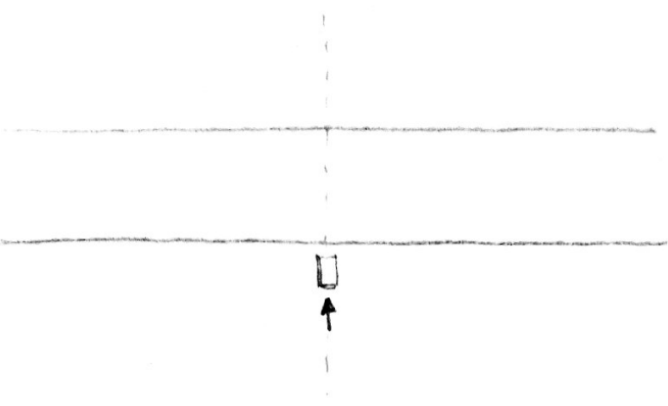
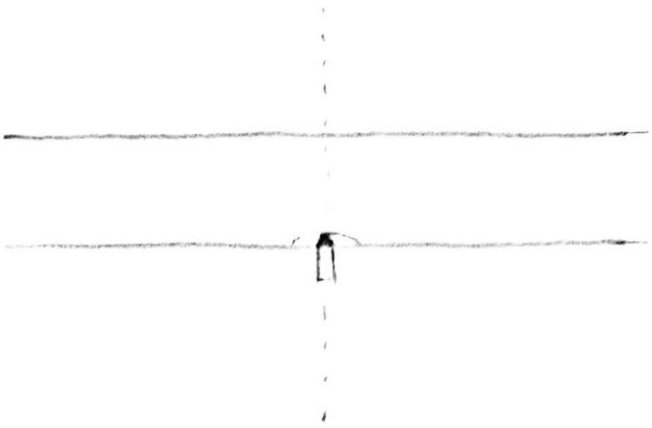
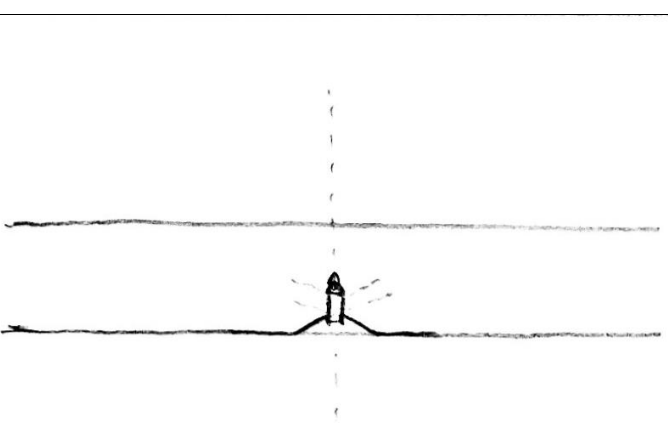
BETON - PRŮSTŘEL	
	<p>Materiál a střela těsně před dotykem.</p>

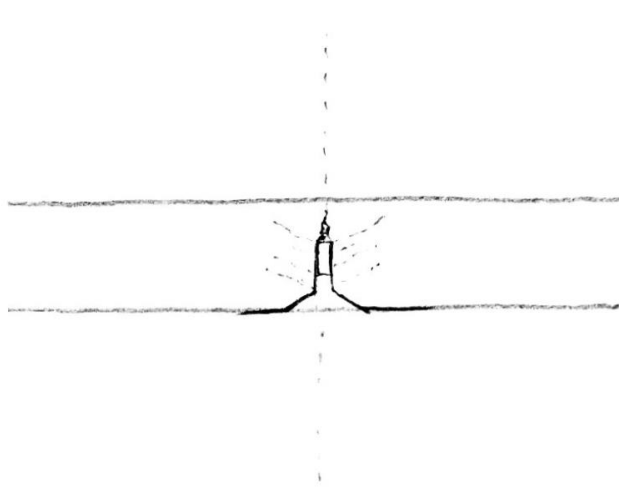
 <p style="text-align: right;">2</p>	<p>Střela se dotýká povrchu materiálu a dochází ke vzniku smykových trhlin (1. typ trhlin).</p> <p>Pro představu by se dalo uvažovat, že se jedná o podobný jev jako u sedání základové patky.</p> <p>Tvar střely je před nárazem aerodynamický (do špičky). Střela tedy snadněji rozrazí povrch, čímž dochází k prvotní deformaci (zaoblení špičky).</p>
 <p style="text-align: right;">3</p>	<p>Díky smykovým trhlinám dojde k odštěpení betonu na povrchu.</p> <p>Dochází ke vzniku předního „trychtýře“.</p> <p>Oddělený materiál odlétne proti směru pohybu střely.</p>
 <p style="text-align: right;">4</p>	<p>Při průchodu střely skrz desku dochází ke vzniku trhlin, které směřují k zadnímu povrchu (2. typ trhlin)</p> <p>Zároveň stále dochází ke vzniku smykových trhlin tím, jak si střela suně část materiálu před sebou.</p>

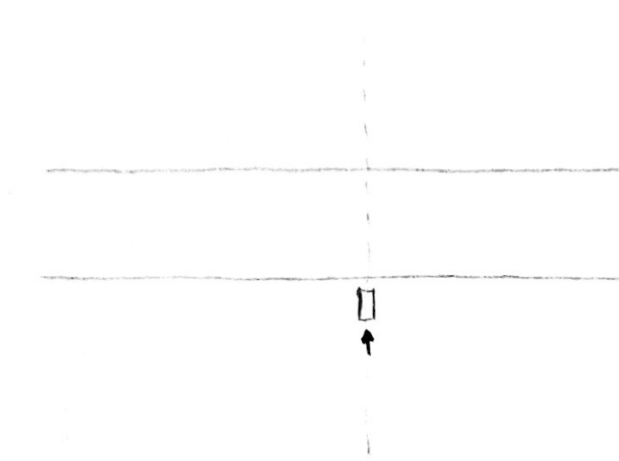
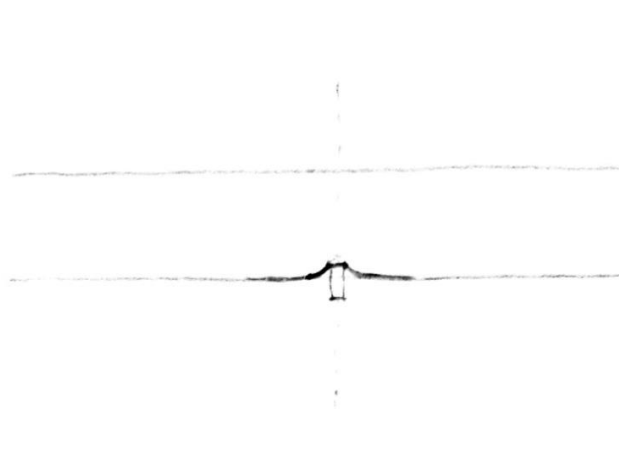
	<p>Vlivem smykových trhlin dochází ke zvětšení předního odštěpu. Posunem střely skrz vzorek dochází k dosahu trhlin (2 typ) až na zadní povrch. Tento účinek by se dal přirovnat k protlačení stropní desky sloupem. Dochází zde ke stejnému porušení, jen několikanásobnou rychlostí.</p>
	<p>Jakmile trhliny (2. typ) dosáhnou zadního povrchu vzorku, dojde k odštěpení (odstřelu) zadního „trychtýře“. Úlomky materiálu letí dále ve směru pohybu střely.</p>
	<p>Zjednodušený tvar poškození, které střela betonu způsobí. Délka rovného úseku je diskutabilní. Teoreticky tam žádný rovný úsek nevznikne, jelikož neustále dochází ke vzniku obou druhů trhlin. Ke vzniku odštěpu na přední straně vzorku dochází do chvíle, než dojde k odštěpu na zadní straně.</p>

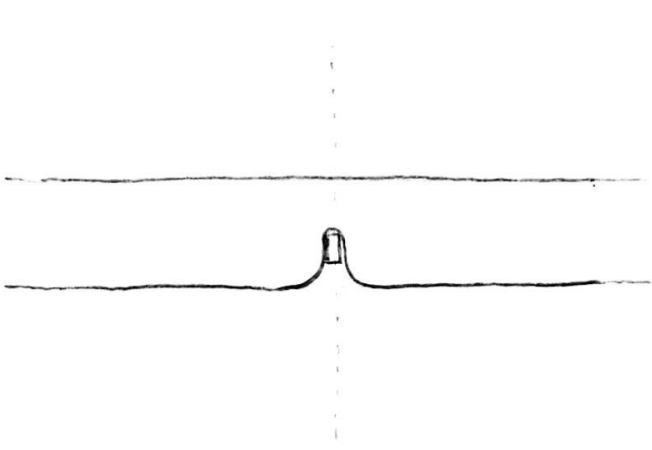
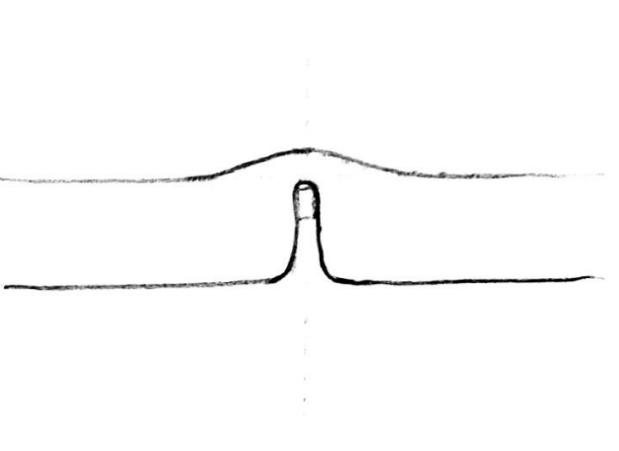
OCEL - PRŮSTŘEL	
	<p>Materiál a střela těsně před dotykem.</p>
	<p>Při doteku střely s ocelovou deskou vznikne důlek. Střela tlačí materiál svou dotykovou plochou vpřed. Dochází tedy k posunu tohoto materiálu dovnitř vzorku a v nejbližším okolí se povrch deformuje.</p>
	<p>Střela při průchodu skrz vytváří tunel, který značí její trajektorii. Zároveň před sebou stále tlačí materiál. Tento materiál se nemůže rozmístit do stran, dochází díky tomu k nahromadění před špičkou střely.</p>

	<p>Když se střela dostane dostatečně hluboko, vytvoří se polokulovitá deformace na zadní straně vzorku. Tato deformace je způsobena nahnutým materiálem z průchodu skrz desku.</p>
	<p>Ve chvíli, kdy se střela dostane za zadní plochu vzorku, může se nahromaděný materiál přesouvat do stran. Deformace se tedy nemůže zvětšovat do nekonečna.</p>
	<p>Jakmile dojde k porušení nahromaděného materiálu, střela projde skrz. Na zadní ploše zůstane protržená polokulovitá deformace (jakýsi komolý jehlan s otvorem uprostřed).</p>

BETON – BEZ PRŮSTŘELU	
	<p>Materiál a střela těsně před dotykem.</p>
	<p>Střela se dotýká povrchu materiálu a dochází ke vzniku smykových trhlin (1. typ trhlin). Pro představu by se dalo uvažovat, že se jedná o podobný jev jako u sedání základové patky. Tvar střely je před nárazem aerodynamický (do špičky). Střela tedy snadněji rozrazí povrch, čímž dochází k prvotní deformaci (zaoblení špičky).</p>
	<p>Díky smykovým trhlinám dojde k odštěpení betonu na povrchu. Dochází ke vzniku předního „trychtýře“. Oddělený materiál odlétne proti směru pohybu střely. Zároveň začíná docházet ke vzniku trhlin, které směřují k zadnímu povrchu (2. typ trhlin)</p>

	<p>Vlivem smykových trhlin dochází ke zvětšení předního odštěpu. Posunem střely skrz vzorek dochází k jejímu úplnému zastavení. Náboj tedy zůstane uvnitř vzorku. V tomto případě trhliny (2. typ) nedosáhnou až k zadnímu povrchu.</p>
---	---

<p>OCEL – BEZ PRŮSTŘELU</p>	
	<p>Materiál a střela těsně před dotykem.</p>
	<p>Při doteku střely s ocelovou deskou vznikne důlek. Střela tlačí materiál svou dotykovou plochou vpřed. Dochází tedy k posunu tohoto materiálu dovnitř vzorku a v nejbližším okolí se povrch deformuje</p>

	<p>Střela při průchodu skrz vytváří tunel, který značí její trajektorii. Zároveň před sebou stále tlačí materiál. Tento materiál se nemůže rozmístit do stran, dochází díky tomu k nahromadění před špičkou střely.</p>
	<p>Odpor materiálu je tak veliký, že dochází k úplnému zastavení střely. Na zadním povrchu vzorku může, ale nemusí, vzniknout deformace polokulovitého tvaru.</p>

4.2 PREFABRIKOVANÉ DESKY

Po pochopení základních principů následovala rozvaha experimentu. Hlavní myšlenkou bylo vyrobit desky, které by samy o sobě odolaly střelbě. Bylo potřeba uvážit, jak velké a tlusté desky vyrobit a čím se do nich bude střílet. Prvotním návrhem byly desky o rozměrech 40 x 40 cm o tloušťce 5 cm. Při dopočtení hmotnosti těchto desek však bylo zjištěno, že už by byly poměrně těžké (cca 20 kg jedna deska). Bylo tedy potřeba upravit rozměry. Novým návrhem byly desky o rozměrech 30 x 30 cm o tloušťce 3 cm. Jedna tato deska by vážila zhruba 7 kg. Tato hmotnost již byla přijatelná. Co se střely týče, byla zvolena ráže 222 REM. [25], resp. 223 REM. [26] (5,56 x 45 NATO).

Následovalo rozmyšlení typů desek – jak se budou lišit a co od nich bude očekáváno. Byly tedy navrženy 4 druhy desek – desky nevyztužené (prostý beton) a 3 typy desek vyztužených (slunečnice, ježci 1 a ježci 2).

Návrh výztuže by měl reprezentovat variantu usměrněných a variantu všesměrně orientovaných drátků. Varianta výztuže nazývaná „slunečnice“ představuje usměrněné drátky. V tomto vzorku se nachází dostředně orientované drátky uspořádané v kružnicích. Dalším variantou výztuže nazývaná „ježci 1“ představuje všesměrně orientované drátky. V tomto vzorku jsou drátky uspořádány do shluků, tzv. ježků, po 4 drátcích. Počet ježků byl určen tak, aby byl

zachován počet použitých drátků v typu „slunečnice“. Třetí varianta výztuže nazývaná „ježci 2“ taktéž představuje všesměrně orientované drátky. U tohoto vzorku jsou však ježci (shluky 4 drátků) rozmístěni v celé ploše desky.

V dalším kroku bylo potřeba rozmyslet, kolik vzorků bude potřeba vyrobit. Z důvodu prokazatelnosti bylo potřeba vyrobit od každého typu minimálně 3 desky. Pro bezpečnost, kdyby se nějaká deska nevydařila či rozbila při odbedňování nebo převozu, byly vyrobeny 4 desky ke každému typu.

4.3 VÝPOČET, NÁVRH DRÁTKŮ

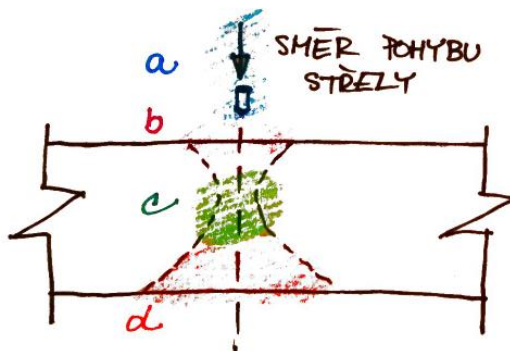
K výpočtu potřebného množství drátků se dá přistupovat několika způsoby. Při tvorbě diplomové práce byly postupně zváženy 3 způsoby, resp. úvahy.

1) ENERGIE

V rámci tohoto přístupu by byl výpočet prováděn dle Zákona zachování energie. Bylo by však potřeba velké množství vstupních údajů a parametrů, které nebylo možné dohledat. Nešlo tedy provést ani orientační výpočet. Tento přístup byl pouze teoretický, bez možnosti výpočtu. Krom vstupní rychlosti střely nebyly známá žádná z ostatních hodnot.

Díky tomuto přístupu jsem se však měla možnost detailněji zamyslet nad tím, jaké energetické procesy se dějí při letu a průletu střely. Dochází totiž k mnoha ztrátám, resp. přeměnám energie, kterou má kulka v okamžiku výstřelu. Shrnutí těchto přeměn se dá zapsat v několika bodech:

- a) Při výstřelu dochází k uvolnění kulky s určitou energií. Tato energie se začíná spotřebovávat v podstatě hned. Za letu kulka ohřívá bezprostřední vzduch kolem sebe, dochází tedy k přeměně energie na teplo.
- b) V momentě, kdy střela narazí na vzorek, dojde k odštěpu na přední straně. Zároveň dochází k počáteční deformaci kulky, resp. její špičky. Dochází tedy ke spotřebování energie na tyto změny materiálů.
- c) Při průchodu střely skrz vzorek dochází ke vzniku trhlin (postup a princip vysvětlen v kapitole 4.2 - Teorie průstřelu). Zároveň však také dochází k ohřívání vzorku a neustálému přetváření kulky. Energie střely je tedy spotřebovávána na deformace vzorku, kulky a je přeměněna na teplo.
- d) V momentě, kdy se střela dostane k zadnímu povrchu vzorku, dojde k odštěpu na tomto povrchu. Nastává zde tedy obdobný jev jako v bodě „b“. Nedochozí už zde však k deformaci kulky. Energie je tedy spotřebovávána pouze na deformaci, resp. poškození vzorku.



Obr. č. 14 – schématické znázornění oblastí a-d

2) TUHOST

Na problematiku experimentu by se dalo pohlížet i tak, že se jedná v podstatě o po obvodě podepřenou desku, resp. ze 3 stran podepřenou desku, která je zatížena osamělou silou (od kulky). Síla vyvolá deformaci desky. Tento případ by se tedy dal řešit metodou konečných prvků. Pro výpočet by tedy bylo potřeba stanovit tuhost drátkobetonové desky, dopočítat sílu od střely a určit způsob uložení desky (kloub, pružina, vetknutí). Tento přístup byl zavržen kvůli velkému množství neznámých. Spoustu hodnot by bylo potřeba nejprve experimentálně změřit. Tzn. bylo by potřeba udělat vzorky, na kterých se zjistí hodnoty (např. tuhostí). Tyto hodnoty by byly použity do výpočtu, dle kterého by se pak mohly navrhnout a vyrobit vzorky nové.

3) HYBNOST

V tomto přístupu bylo možné vycházet ze známých údajů – rychlosti, hmotnosti kulky a „brzdné“ dráhy. Uvažujeme, že se střela pohybuje známou rychlostí a my chceme, aby zastavila na dráze, která odpovídá tloušťce vzorku. Vycházíme ze vzorců pro sílu, hmotnost, rychlost a zrychlení:

$$F = m * a \quad (i) \quad - \text{ síla od střely}$$

$$a = \frac{\Delta v}{t} \quad (ii) \quad - \text{ zrychlení střely, resp. zpomalení}$$

$$s = v_1 * t + \frac{1}{2} * (-a) * t^2 \quad (iii) \quad - \text{ dráha = tloušťka vzorku}$$

m – hmotnost kulky

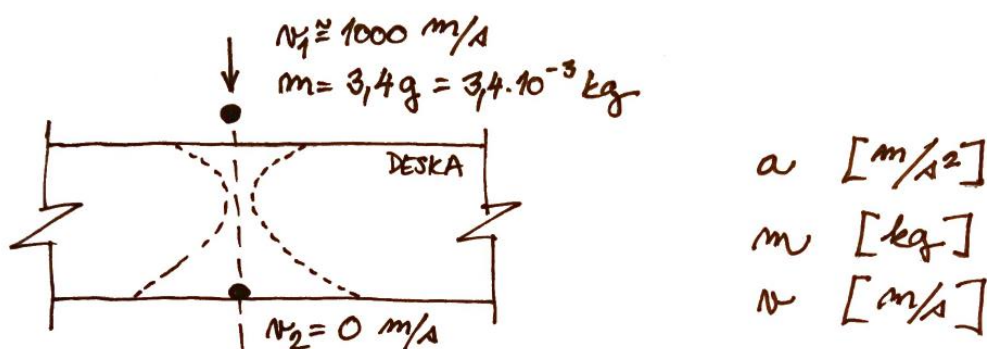
Δv – rozdíl rychlostí; $\Delta v = v_2 - v_1$

v_1 – počáteční rychlost – dle typu střely

v_2 – koncová rychlost – 0 m/s

t – čas, za který střela zpomalí z rychlosti v_1 na rychlost v_2

Při dosazení druhé rovnice (ii) do třetí rovnice (iii) jsme schopni si vyjádřit čas. Dostaneme tedy dobu, za kterou kulka projde skrz vzorek. Tuto hodnotu poté zpětně dosadíme do druhé rovnice (ii) a dostaneme tak hodnotu zrychlení, resp. zpomalení. Díky tomu jsme schopni dopočítat sílu, kterou střela vyvolá. Velikost této síly dostaneme dosazením do první rovnice (i).



Obr. č. 15 – schéma k výpočtu dle hybnosti

Původní výpočet byl proveden pro střelu ráže 222 REM. [25], resp. 223 REM. [26] (5,56 x 45 NATO). Prvek by však musel mít tak velké množství drátků na co nejmenší ploše, že by nebylo možné provést betonáž. Bylo tedy subjektivně zvoleno maximální množství drátků, které je možné do vzorku umístit tak, aby mohlo dojít k řádné betonáži. Poté byla tedy alespoň dopočtena vzdálenost, ze které by se muselo střílet výše uvedenou ráží, aby střelu prvek zastavil. Tato vzdálenost byla stanovena na 160 – 170 m.

Následně byla změněna ráže, pro kterou budou vzorky navrženy. Nově zvolená střela byla ráže 9 x 19 LUGER [27] (NATO). Pro výpočet už se uvažoval maximálně vyztužený prvek z předchozího výpočtu. Bylo stanoveno, že takto vyztužený vzorek by měl ráži 9 x 19 LUGER odolat.

Pro výpočet byly použity ústové rychlosti uvedené výrobcem. Grafy i jednotlivé hodnoty střel 222 REM. A 9 x 19 LUGER viz. Příloha č. 1.

Vzorci pro výpočet drátků byly převzaty ze základních fyzikálních vztahů a z normy ČSN EN 1992-1-1 [28]. Provedený výpočet drátků viz Příloha č. 2.

Součástí návrhu drátků bylo i rozkreslení schémat vyztužení dle jednotlivých typů desek. Pro experiment byly navrženy 4 typy vyztužení. Prvním typem byly desky z prostého betonu, které obsahují pouze drátek po obvodě (viz Příloha č. 3) Druhým typem byly desky s vyztužením „slunečnice“. Tyto vzorky měly obvodový třmínek a zároveň měly 4 řady dostředně orientovaných drátků (viz Příloha č. 4). Třetím vzorkem byly desky s vyztužením „ježci 1“. Tyto vzorky obsahovaly třmínek po obvodě a ve středu měly uspořádané skupiny 4 drátků, tzv. ježků. Počet drátků ježků odpovídal počtu drátků ve slunečnici. (viz Příloha č. 5) Čtvrtým vzorkem byly desky s vyztužením „ježci 2“. Tyto vzorky měly také třmínek. Na rozdíl od třetího typu desek však měly ježky (skupiny 4 drátků) uspořádané v pravidelném rastru pro celé ploše. Celkem tedy v jedné desce bylo 196 drátků (viz Příloha č. 6).

5. EXPERIMENT - OBKLADOVÉ DESKY

Přehled vzorků:

POPIS	OZNAČENÍ	VYZTUŽENÍ	KUSY	KUSY CELKEM
ZKUŠEBNÍ VZOREK		Bez výztuže	1	1
VZORKY Z PROSTÉHO BETONU	PB1	Obvodový třmínek (viz. Příloha č. 3)	1	4
	PB2		1	
	PB3		1	
	PB4		1	
VZORKY S VYZTUŽENÍM „SLUNČENICE“	S1	Obvodový třmínek + kruhově uspořádané drátky (viz. Příloha č. 4)	1	4
	S2		1	
	S3		1	
	S4		1	
VZORKY S VYZTUŽENÍM „JEŽCI 1“	J1-1	Obvodový třmínek + seskupení sdružených drátků, tzv. ježků (viz. Příloha č. 5)	1	4
	J1-2		1	
	J1-3		1	
	J1-4		1	
VZORKY S VYZTUŽENÍM „JEŽCI 2“	J2-1	Obvodový třmínek + celoplošně rozmístěné sdružené drátky, resp. ježci (viz. Příloha č. 6)	1	4
	J2-2		1	
	J2-3		1	
	J2-4		1	

Do všech vzorků, kromě zkušební, byly vloženy třmínky ze žebříkové výztuže o průměru 6 mm. Tyto třmínky sloužily k zachycení sil, které by způsobily roztržení celých vzorků. Díky nim tedy zůstaly vzorky v jednom kuse a bylo možné jejich řádné nafocení po střelbách, převoz a u některých i zabalení (pro názorné ukázky při obhajobě diplomové práce).

5.1 PŘÍPRAVA

V první řadě bylo potřeba zajistit veškeré potřebné materiály. Drátky, plastifikátor a stabilizátor byly zajištěny fakultou. Ostatní materiály bylo potřeba nakoupit. Vzhledem k možnostem byly materiály zakoupeny ve stavebninách (Hornbach).

Potřebné materiály:

- drátky, plastifikátor, stabilizátor - zajištěno fakultou
- polystyrenové desky – tloušťka 3 cm
- betonářská výztuž – žebříková, průměr 6 mm
- cement – Prachovice CEMENT UNIVERZAL 32,5 R
- plnivo – betonářský písek 0-4 mm
- vazelína – na spojení polystyrenových desek a na plošné vymazání bednění
- silikonový sprej – na plošné „vymazání“ bednění
- pomůcky – rukavice, lámací nůž, „tesa páska“, lihový fix



Obr. č. 16 – fotografie použitých materiálů (zleva: vazelína, písek, cement)

Následovala výroba bednění z polystyrenu. Vzhledem k tloušťce byla jedna deska vždy plně proříznuta a přiložena k druhé desce, která sloužila jako dno bednění. Do jedné desky byly vyřezány vždy tři čtverce 30x30 cm. Bylo také vytvořeno jedno speciální bednění pro zkušební betonáž, ve kterém byly vyřezané čtverce 30 x 30 cm a 10 x 10 cm.

Na závěr příprav bylo potřeba vytvořit třmínky z betonářské výztuže. Jednotlivé pruty byly upevněny do čelistí a ohýbány tak, aby se vešly do čtverců 30 x 30 cm. Vzhledem k výrobě v domácích podmínkách došlo k nepřesnostem jak ve výrobě bednění, tak při ohýbání výztuže.

Již při návrhu provedení bednění bylo třeba se zamyslet nad spojením desek. Jedna z variant byla spojit desky pomocí roznašecích prkének, která by byla umístěna mezi jednotlivými vzorky v jednom bednění. Tato prkénka by poté byla sepnuta čelistmi tak, aby došlo k dostatečnému sevření desek k sobě a beton nemohl prosakovat. Bohužel nebylo možné zajistit takové uložení bednění, aby vznikl prostor pro čelisti. Bylo třeba vymyslet něco jiného. Další variantou bylo vytvořit sevření pomocí šňůry / provázku. Otázkou však bylo, zda by se provázek nezařezával do polystyrenu, čímž by docházelo k poškození bednění. Riziko protečení mezi jednotlivými vzorky by se tak naopak zvětšovalo.

Nakonec bylo použito spojení desek polystyrenu pomocí celoplošného potření spojované plochy vazelínou, která zároveň vytvořila nepropustnou bariéru ve všech spárách, v kombinaci s lepenkou. Lepenka v tomto případě posloužila jako náhrada za prkénka a čelisti. V rámci výroby bednění bylo ověřeno spojení pouze vazelínou a jeho nepropustnost vody.



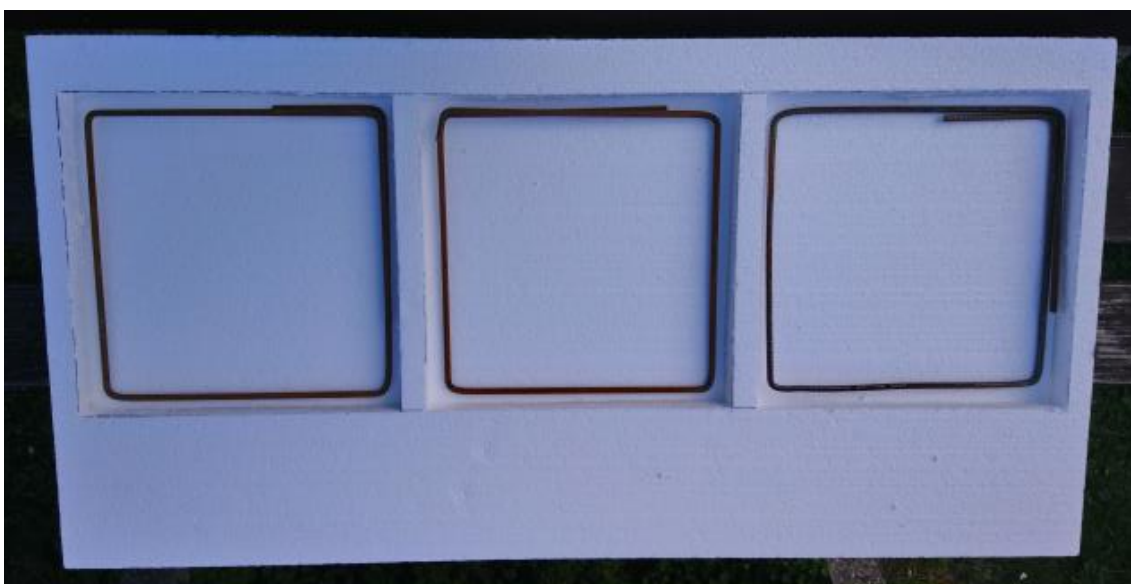
Obr. č. 17 – fotografie bednění pro zkušební vzorky



Obr. č. 18 – fotografie bednění pro finální vzorky

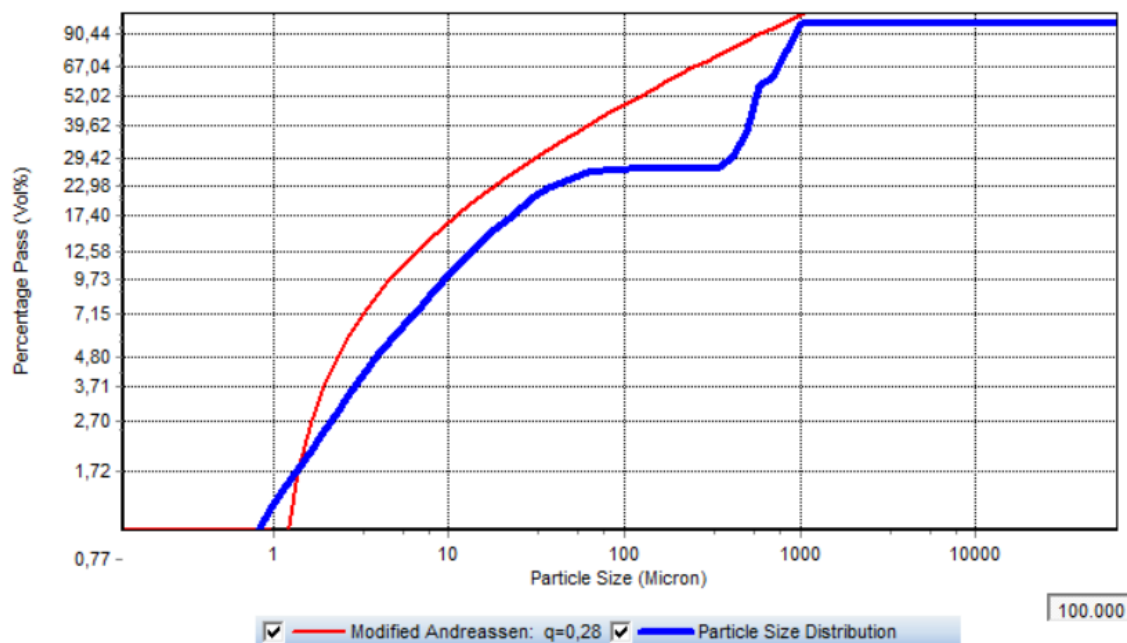


Obr. č. 19 – fotografie výroby bednění



Obr. č. 20 – fotografie zkoušky třmínků v bednění

Před první betonáží byla ještě potřeba navrhnout betonová směs. Jako odrazový můstek posloužily poskytnuté receptury drátkobetonu od pana Ing. Štěpána Šonky. Jednalo se o mnohem sofistikovanější receptury, ale hlavně šlo o receptury pro klasický drátkobeton s rozptýlenými drátky/vlákný. Ve výsledku tedy tento soubor posloužil pouze jako inspirace pro návrh jednodušší směsi. Nakonec byla směs navržena, resp. ověřena, pomocí programu EMMA. Do programu vstupuje kamenivo, cement a voda. Vzhledem k tomu, že pro výrobu byla použita pouze jedna frakce kameniva (0-4 mm – betonářský písek), šlo o vyladění poměru drobných částic (cementu) a písku.



Obr. č. 21 – graf navržené betonové směsi z programu EMMA

5.2 ZKUŠEBNÍ VZORKY

Zkušební vzorky byly betonovány pro ověření konzistence navržené betonové směsi. Jednalo se pouze o 4 vzorky – 1ks 30 x 30 cm, 3x 10 x 10 cm. Tyto vzorky byly vyrobeny pouze z prostého betonu, bez jakékoliv výztuže.

Zároveň byly při zkušební betonáži vyzkoušeny různé způsoby vymazání bednění. Forma pro velký vzorek a jedna z forem pro malý vzorek byla vymazána po obvodě dna a v rozích vazelínou, zbytek plochy byl vystříkaný silikonovým sprejem. Druhý malý vzorek byl vymazaný vazelínou pouze po obvodě dna (zbytek ze spojování polystyrenových desek), jinak byl vystříkaný silikonovým sprejem. Třetí vzorek byl celý vymazaný vazelínou.

Na spojení desek bednění byla použita pouze vazelína. Vzhledem ke členění nebylo možné vytvořit spojení i za pomoci lepenky. Při betonáži vše vypadalo v pořádku. V průběhu procesu tuhnutí a tvrdnutí však došlo k úniku vody. Krom nedostatečné těsnosti spojení desek polystyrenu došlo k průsaku vody skrz plochu bednění, která byla vystříkaná pouze silikonovým sprejem. Ten tedy následně již nebyl použit.

Při betonáži byly přepočteny dávky jednotlivých složek betonové směsi podle objemu, který je potřeba namíchat. V rámci betonáže byla provedena i domácí verze zkoušky rozlití kužele. Více informací o zkoušce v kapitole 4.4.1.

Várka č.	Rozlití 1 [cm]	Rozlití 2 [cm]
1	13,2	12,8

Čerstvý beton byl nedostatečně promíchán. Bylo by lepší, pro řádné působení plastifikátoru, kdyby se beton míchal ještě minimálně minutu.



Obr. č. 22 – zkušební vzorky ihned po betonáži (10.09.2021)



Obr. č. 23 – zkušební vzorky 2 dny po betonáži (12.09.2021)

Zkušební vzorky byly odbedněny 21.09.2021. Rozdílné ošetření bednění bylo znatelné na 3 malých vzorcích (10 x 10 cm). Jeden ze vzorků byl o něco těžší. Jednalo se o ten, který měl celé bednění vymazané vazelínou.

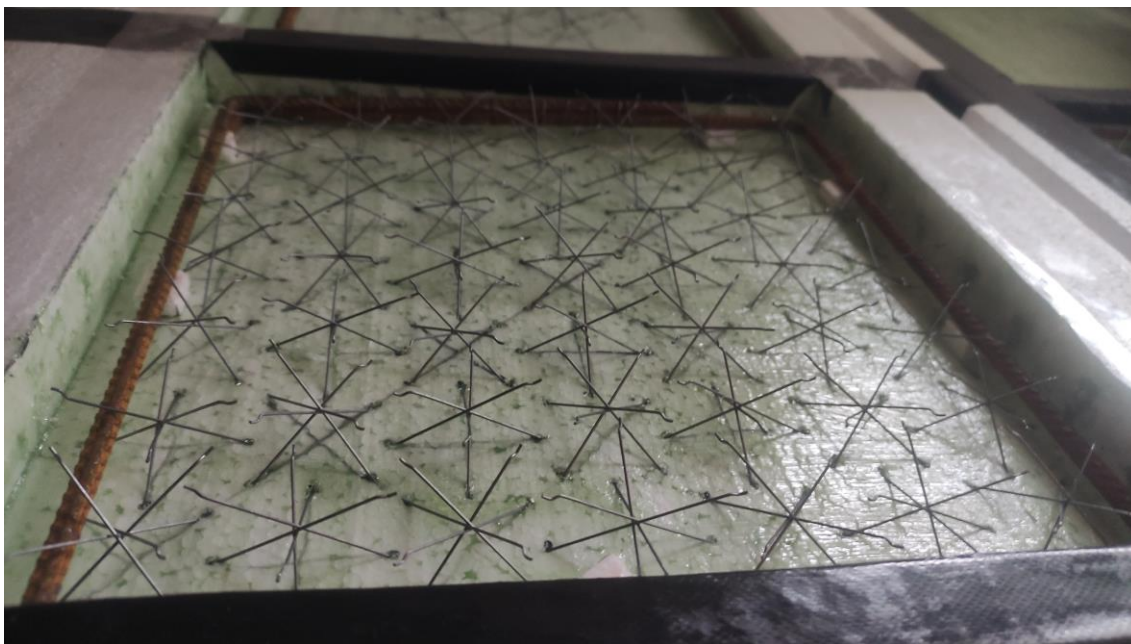
Zkušební betonáž posloužila svému účelu. Díky ní bylo možné určit vhodný způsob ošetření bednění – celoplošné vymazání vazelínou. Bylo také vyzorováno, že by bylo vhodné bednění ještě spojit zvenku. Bednění pro výrobu vzorků bylo tedy spojeno pomocí lepenky a tesa pásky.

5.3 VÝROBA VZORKŮ

První fází výroby vzorků bylo spojení desek bednění pomocí vazelíny a lepenky (tesa pásky), která nebyla použita při výrobě zkušebních vzorků. Lepenka sloužila k sevření desek k sobě tak, aby vydržely při snaze betonové směsi protéct. Následovalo důkladné vymazání všech bednění. Současně byly usazovány třmínky na dilatační podložky tvořené malými čtverečky z polystyrenu. Nejpracnější částí první fáze bylo vytvoření všech typů rozvržení drátků. Jednotlivá rozvržení bylo potřeba vytvořit 4-krát. Byla vynaložena velká snaha, aby byla vždy všechna 4 provedení co nejvíce podobná navzájem a zároveň, aby odpovídala návrhu.



Obr. č. 24 – boční pohled na připravené drátky – vzor slunečnice



Obr. č. 25 – pohled na připravené drátky – vzor ježci 2

5.3.1 BETONÁŽ

Betonáž byla provedena ve stejný den jako finální příprava bednění. Betonovalo se tedy v odpoledních až večerních hodinách dne 28.09.2021.

Beton byl namíchán podle receptury ze zkušební betonáže. Nejprve bylo potřeba si všechny potřebné složky navážít. Na vážení byla použita digitální kuchyňská váha a plastové lavy různých velikostí. Na přísady byly použity malé plastové kelímky.

Receptura betonu: na 10 dm³ = 10 l

Písek 12 kg

Cement 5 kg

Voda 3,5 kg

Plastifikátor 50 g

Stabilizátor 50 g

Beton byl namíchán podle receptury ze zkušební betonáže. Míchání směsi probíhalo v plastovém kýblu. Nejprve došlo k promísení suchých složek. Písek a cement byly vsypány do kýble a promíchány pomocí zednické lžice. Poté byla přilita část vody a směs byla opět promíchána zednickou lžicí. Do zbytku vody byly přidány přísady (plastifikátor i stabilizátor). Voda s přísadami byla následně nalitá do kýble ke zbytku složek. Finální míchání mělo 2 fáze. Nejprve došlo k promíchání zednickou lžicí, aby došlo k odlepení vlhké směsi písku a cementu ode dna kýble. Na závěr byla celá směs zhomogenizována za pomoci nástavce pro míchání na vrtačku. Vzhledem k obsažení plastifikátoru a stabilizátoru ve směsi bylo třeba čerstvý beton zamíchat opravdu důkladně a bylo potřeba míchat delší dobu.

V rámci betonáže byly kromě betonových desek vybetonovány také zkušební krychle o rozměrech 5 x 5 x 5 cm. Tyto krychle byly určeny na následné provedení zkoušek pevnosti betonu v tlaku.

Betonáž probíhala v 5 várkách. Při každé várce byly vybetonovány 3-4 desky a 2 zkušební krychle. Z každé várky byla hned po zamíchání provedena zkouška rozlití kužele. I tato zkouška byla upravena tak, aby se dala provést snadno, rychle a v domácích podmínkách. Jako podložka posloužila deska z polystyrenu, na které byly nakresleny soustředné kružnice o poloměru 5 cm a 10 cm. Uprostřed byla vyšrafovaná kružnice, která odpovídala hornímu obvodu kelímku. Malý plastový kelímek – stejný jako pro odměření přísad – s uříznutým dnem sloužil jako kužel. Při každé zkoušce byl tedy umístěn kužel na podložku. Jak povrch podložky, tak vnitřní povrch kužele byly otřeny vlhkým hadrem. Čerstvý beton byl nalit po okraj do kužele, který byl následně zvednut svisle vzhůru. Na závěr byly změřeny dvě na sebe kolmé (největší) hodnoty rozlití betonu. Tyto hodnoty byly pečlivě zaznamenány.

Várka č.	Rozlití 1 [cm]	Rozlití 2 [cm]
1	14,5	13,4
2	15,0	14,8
3	16,5	14,0
4	16,0	14,5
5	14,0	14,5



Obr. č. 26 – provádění zkoušky rozlití kužele v domácích podmínkách



Obr. č. 27 – výsledek zkoušky rozlití kužele

Vzorky byly po betonáži několikrát kontrolovány – po dobu cca 14 dní, každý 2-3 den. Pravděpodobně kvůli napíchání drátků do polystyrenu (skrz vazelínu) docházelo k pomalému průsaku vody skrz bednění. Bylo potřeba beton řádně ošetřovat, aby nedošlo k jeho poškození. Vzorky byly tedy při každé kontrole polity po celé ploše vodou.

5.3.2 ODBEDNĚNÍ

Odbednění probíhalo ve venkovních podmínkách dne 23.10.2021. Všechny vzorky se povedlo bez problémů odbednit. Byly hezky pevné, nikde se nedrolily. Jediná nepříjemnost byla, že zůstaly celé olepené od vazelíny. Přebytek vazelíny byl otřen hadrem s mydlinkovou vodou. Nepovedlo se však dostat dolů všechnu vazelínu. Díky tomu došlo k nalepení trávy a jehličí na vzorky. Vzhledem k vyčnívajícím drátkům na zadní straně vzorků nebylo možné všechny přilepené nečistoty odstranit.

V průběhu odbedňování bylo zároveň likvidováno bednění, které bylo celé rozřezáno a následně vyhozeno. Po odbednění byly všechny vzorky ometeny, jelikož měly na povrchu jemné částice. Na očištěný povrch byly napsány jednotlivé identifikační zkratky tak, aby bylo jasné, který vzorek je který. Na závěr byly na vzorcích vyznačeny středy pro umístění terčů pro střelbu.



Obr. č. 28 – fotografie odbědných vzorků (23.10.2021)

5.4 STŘELBA

Ke střelbě došlo 14.11.2021 na venkovní střelnici.

Vzorky byly podepřeny ze 3 stran. Ve spodní části byly zahrabány do písku a po stranách byly opřeny do ocelových sloupků. Tyto sloupky byly vytvořeny pomocí terčů zahrabaných do písku vzhůru nohama. Uložení vzorků je vidět na následujících obrázcích.



Obr. č. 29 – pohled na uložení betonových desek na střelnici



Obr. č. 30 – boční pohled na uložení desek na střelnici

Parametry střelby:

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

Na některých fotografiích vzorků si můžeme všimnout odlišného zbarvení betonu v místě průstřelu a odštěpu materiálu. Při bližším pohledu je znatelný rozdíl v povrchu materiálu (hrubosti odštěpeného povrchu) a sklonu odštěpu. V místě průstřelu (otvoru) a nejbližším okolí je sklon odštěpu větší, povrch materiálu jemnější. Toto pravděpodobně nastalo z důvodu rychlosti odtržení. Při průchodu střely skrz vzorek došlo k odštěpení předního „kužele“. V momentě, kdy už vznikající trhliny (2. typ, viz komiks, kapitola 4.) dosáhly k zadnímu povrchu, došlo k odtržení strmější části materiálu, která ale zároveň začala fungovat jako jakási hlavice střely. Díky tomu došlo ke změně sklonu trhlín. Při strmějším sklonu (vnitřní část) docházelo k odtržení materiálu ve směru tloušťky vzorku. V druhé fázi, při mírnějším sklonu, docházelo spíše k odtrhávání materiálu po ploše prvku. Tento rozdíl způsobil změnu povrchu odštěpu.

ZKUŠEBNÍ VZOREK – NEVYZTUŽENÝ

U zkušebního vzorku došlo k čistému průstřelu. Na přední straně se vytvořil výrazně menší kužel, než jaký se vytvořil na zadní straně. Již na přední straně si můžeme všimnout svislé trhliny, která vznikla na obě strany od místa průstřelu. Na zadní straně vznikla svislá i vodorovná trhlina. Vzorek byl tedy rozpraskán zhruba na čtvrtiny. Při uvolňování vzorku ze stojánu došlo k jeho rozlomení na čtyři díly.

Vzhledem k velikosti kužele odštěpu na zadní straně došlo ke vzniku poměrně velkého množství šrapnelu. Podrobnější fotografie viz Příloha č. 7.



Obr. č. 31 – přední a zadní strana zkušebního vzorku na střelnici



Obr. č. 32 – zadní strana zkušebního vzorku po uvolnění ze stojánu

VZORKY – PROSTÝ BETON (PB)

U vzorků z prostého betonu nedošlo ke vzniku trhlin, díky třmínku umístěného po obvodu vzorku. Co se týče průstřelu, dá se říct, že tvar odpovídá zkušebnímu vzorku. Vpředu vznikl menší odštěp než na zadní straně.

Přehled odštěpů na vzorcích z prostého betonu:

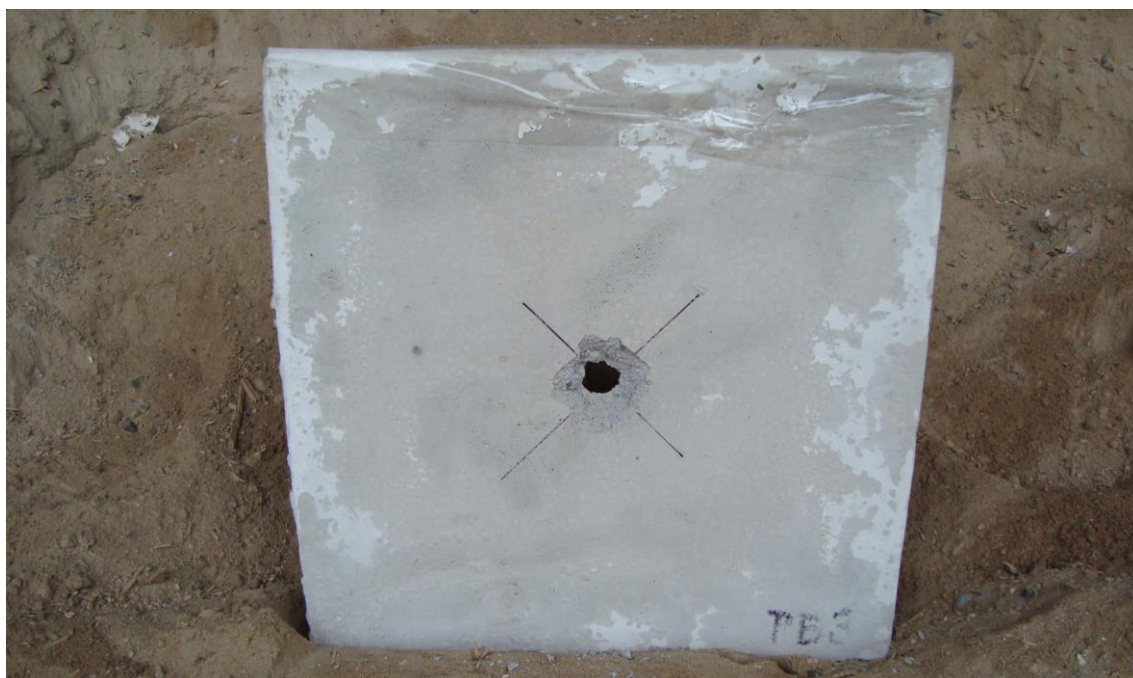
VZOREK Označení	ODŠTĚP	
	Přední [cm]	Zadní [cm]
PB1	4,7	7,5
PB2	5,7	6,0
PB3	4,5	7,2
PB4	4,0	6,0

Přehled vzniklých průstřelů:

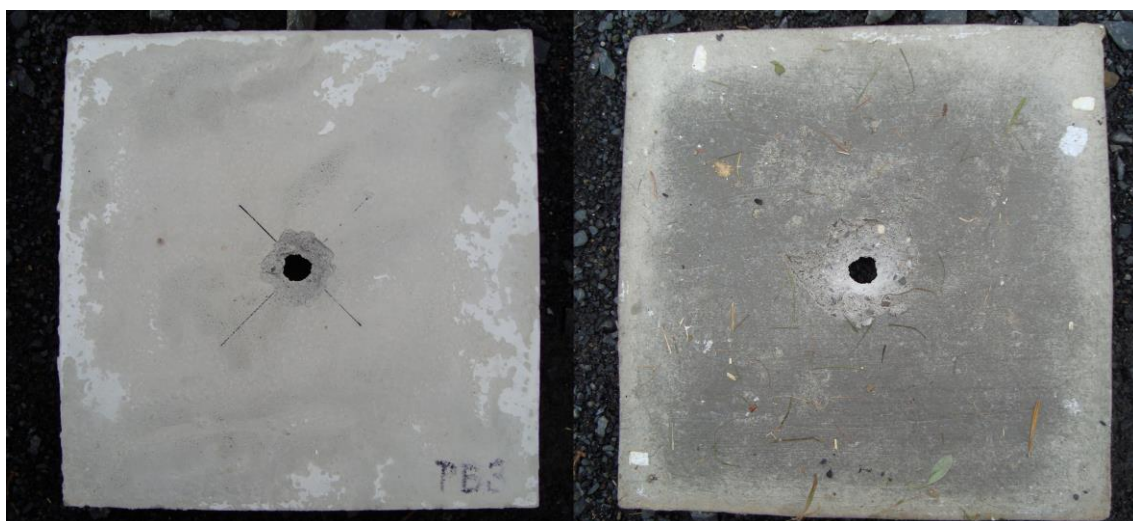
VZOREK Označení	ROZMĚR PRŮSTŘELU		POZNÁMKY Poloha průstřelu
	Přední [cm]	Zadní [cm]	
PB1	1,3	1,3	1. kvadrant
PB2	1,6	1,6	1. kvadrant
PB3	1,3	2,0	Střed
PB4	1,6	1,6	1. kvadrant

Hodnoty odštěpů i průstřelů byly měřeny dodatečně. Mohlo tedy dojít k dodatečnému odrolení materiálu. Hodnoty mohou být mírně zkreslené.

- PB3



Obr. č. 33 - přední strana vzorku PB3 na střelnici



Obr. č. 34 – přední a zadní strana vzorku PB3 po přemístění ze střelnice

U vzorku PB3 nedošlo k dodatečnému odrolení materiálu při manipulaci na střelnici. Deska tedy zůstala ve stejném stavu.

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku PB3:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	4,5	1,3
Zadní	7,2	2,0

Podrobnější fotografie všech vzorků z prostého betonu viz Příloha č. 8

VZORKY – VYZTUŽENÍ TYP SLUNEČNICE (S)

U vzorků s vyztužením typu slunečnice již také nedošlo ke vzniku trhlin. Krom třmínku po obvodě bylo nejbližší okolí středu vyztužené v několika kružnicích drátky (viz Příloha č. 4). Tvar i velikost odštěpů na přední straně vzorků a průstřelů je dost podobná jako u vzorků z prostého betonu. Drátky však měly vliv na velikost odštěpů na zadní straně vzorků. Velikost zadních odštěpů je zhruba o 1 cm menší.

Přehled odštěpů na vzorcích s vyztužením slunečnice:

VZOREK	ODŠTĚP	
Označení	Přední [cm]	Zadní [cm]
S1	4,2	6,5
S2	4,0	5,0
S3	4,5	5,5
S4	4,5	6,0

Přehled vzniklých průstřelů:

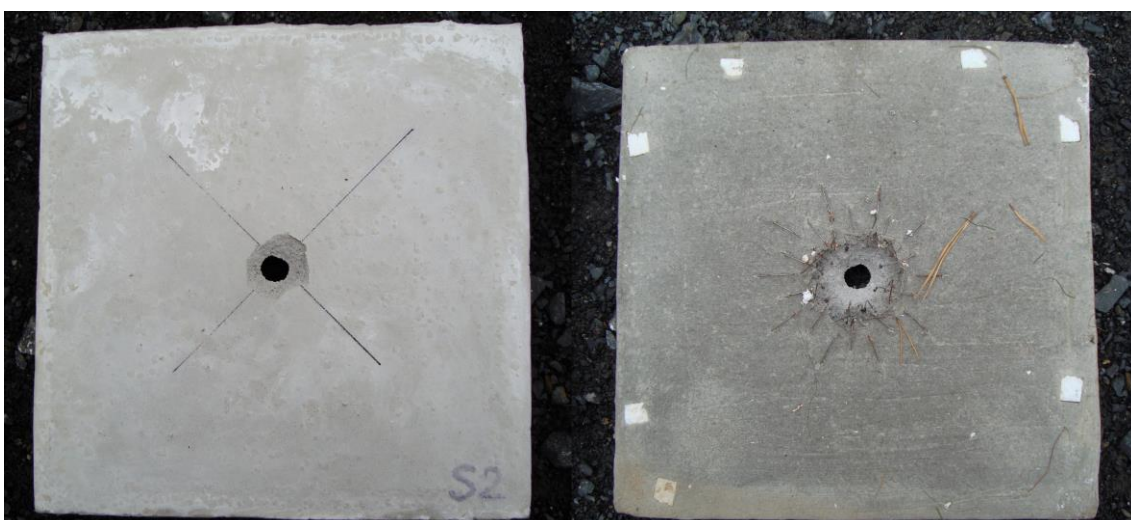
VZOREK	ROZMĚR PRŮSTŘELU		POZNÁMKY
Označení	Přední [cm]	Zadní [cm]	Poloha průstřelu
S1	1,8	1,5	3. kvadrant
S2	1,8	1,6	střed
S3	1,2	1,4	3. kvadrant
S4	1,8	1,8	4. kvadrant

Hodnoty odštěpů i průstřelů byly měřeny dodatečně. Mohlo tedy dojít k dodatečnému odrolení materiálu. Hodnoty mohou být mírně zkreslené.

- S2



Obr. č. 35 – přední strana vzorku S2 na střelnici



Obr. č. 36 – přední a zadní strana vzorku S2 po přemístění ze střelnice

U vzorku S2 došlo k průstřelu přímo do středu vzorku. Deformace drátků tedy nejlépe odpovídá úvaze. Při manipulaci na střelnici nedošlo k dodatečnému odrolení.

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku S2:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	4,0	1,8
Zadní	5,0	1,6

Podrobnější fotografie všech vzorků s vyztužením typu S viz Příloha č. 9

VZORKY – VYZTUŽENÍ TYP JEŽEK 1 (J1)

U vzorků s vyztužením typu ježek 1 opět nedošlo ke vzniku trhlin. Prvky byly vyztuženy kromě třmínku po obvodě také seskupením ježků (4 drátky), které celkem obsahovalo stejný počet drátku jako vyztužení typu slunečnice (viz Příloha č. 5). Vzhledem k tomu, že střed vzorků J1 byl vyztužen méně než střed vzorků S, došlo zde k většímu odštěpu na zadní straně. Tvar i velikost odštěpů na přední straně vzorků a průstřelů je dost podobná jako u vzorků z prostého betonu.

Přehled odštěpů na vzorcích s vyztužením ježek 1:

VZOREK Označení	ODŠTĚP	
	Přední [cm]	Zadní [cm]
J1-1	4,0	6,5
J1-2	4,5	7,4
J1-3	6,2	6,6
J1-4	4,2	6,5

Přehled vzniklých průstřelů:

VZOREK Označení	ROZMĚR PRŮSTŘELU		POZNÁMKY Poloha průstřelu
	Přední [cm]	Zadní [cm]	
J1-1	1,5	1,4	2. kvadrant
J1-2	1,5	1,6	1. kvadrant
J13	1,5	1,6	Střed
J14	1,6	1,5	Střed

Hodnoty odštěpů i průstřelů byly měřeny dodatečně. Mohlo tedy dojít k dodatečnému odrolení materiálu. Hodnoty mohou být mírně zkreslené.

- J1-3



Obr. č. 37 – přední strana vzorku J1-3 na střelnici



Obr. č. 38 – přední a zadní strana vzorku J1-3 po přemístění ze střelnice

Na výše uvedených fotografiích si můžeme všimnout, že na vzorku J1-3 došlo ke vzniku velké pukliny. Materiál se v tomto místě oddělil, ale zůstal na místě. Při přesunu vzorku v prostorech střelnice došlo k dodatečnému uvolnění tohoto materiálu.

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku J1-3:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	6,2	1,5
Zadní	6,6	1,6

Podrobnější fotografie všech vzorků J1 viz Příloha č. 10

VZORKY – VYZTUŽENÍ TYP JEŽEK 2 (J2)

U vzorků s vyztužením typu ježek 2 také nedošlo ke vzniku jakýchkoliv trhlin, které by způsobovaly rozpad vzorků. Prvky byly vyztuženy kromě třmínku po obvodě ještě seskupením ježků (4 drátky). Tito ježci byli vyskládáni v pravidelném rastru do celé plochy desky (viz Příloha č. 6). Střed těchto vzorků byl vyztužen přímo jedním ježkem. Dalo by se tedy říct, že tyto vzorky byly nejlépe vyztuženy. Vzhledem k celoplošnému vyztužení bylo jedno, do jakého místa budou střeleny. Pro splnění stejných podmínek byla snaha i tyto vzorky střelit na střed. U vzorků s vyztužením J2 došlo ke zmenšení odštěpů oproti vzorkům z prostého betonu. Na přední straně tvoří rozdíl cca 1 cm a na zadní straně zhruba 0,5 cm až 1 cm.

Přehled odštěpů na vzorcích s vyztužením ježek 2:

VZOREK	ODŠTĚP	
Označení	Přední [cm]	Zadní [cm]
J2-1	3,5	5,4
J2-2	3,5	7,0
J2-3	3,1	5,5
J2-4	5,3	6,1

Přehled vzniklých průstřelů:

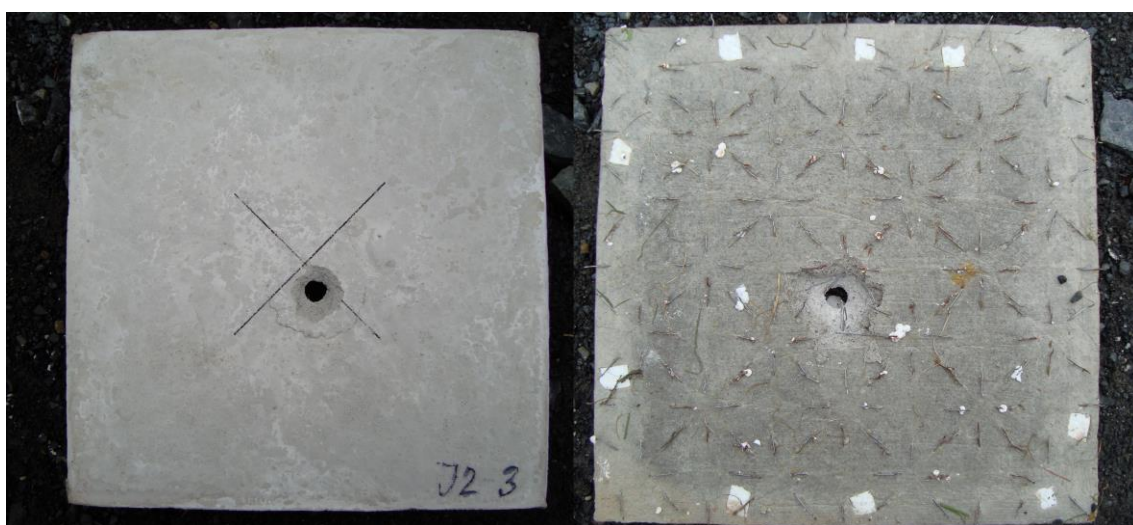
VZOREK	ROZMĚR PRŮSTŘELU		POZNÁMKY
Označení	Přední [cm]	Zadní [cm]	Poloha průstřelu
J2-1	1,4	1,3	4. kvadrant
J2-2	1,2	1,4	střed
J2-3	1,2	1,4	4. kvadrant
J2-4	1,8	1,6	3. kvadrant

Hodnoty odštěpů i průstřelů byly měřeny dodatečně. Mohlo tedy dojít k dodatečnému odrolení materiálu. Hodnoty mohou být mírně zkreslené.

- J2-3



Obr. č. 39 – přední strana vzorku J2-3 na střelnici



Obr. č. 40 – přední a zadní strana vzorku J2-3 po přemístění ze střelnice

Na vzorku J2-3 je velmi dobře vidět účinek drátků. Na přední straně vzorku došlo ke vzniku kruhové pukliny. Tato puklina obepisuje, zhruba ve vzdálenosti 1,35 cm, tvar předního odštěpu. Materiál v místě pukliny byl přidržen drátků a nedošlo tedy k jeho uvolnění. Při přesunu vzorku nedošlo k dodatečnému odrolení materiálu. Podrobnější fotografie všech vzorků J2 viz Příloha č. 10

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku J2-3:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	3,1	1,2
Zadní	5,5	1,4

5.5 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

Pro získání informací o samotném použitém betonu bylo v rámci betonáže vyrobeno 10 zkušebních krychlí o rozměrech 5 x 5 x 5 cm. Tyto krychle byly namíchány z různých várek betonu. Byly tedy náhodně promíchány, aby odpovídaly výrobě desek. Krychle byly vyrobeny, aby na nich byly provedeny zkoušky ke zjištění mechanických vlastností betonu.

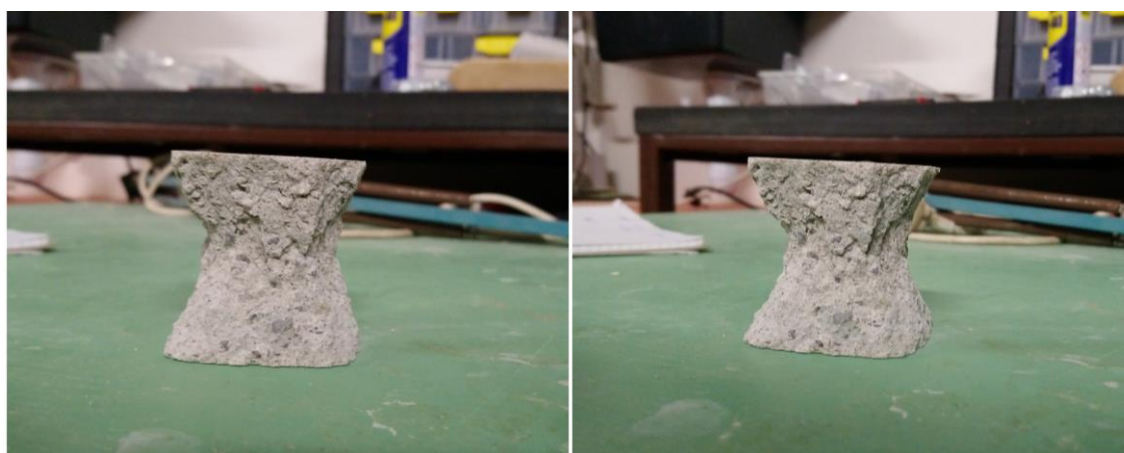


Obr. č. 41 – zkušební krychle při drcení v lisu



Obr. č. 42 – ručně zatěžovaný lis

Část krychlí (5 kusů) bylo podrobena tlakové zkoušce na ručně zatěžovaném lisu (viz Obr. č.41 a 42). Tato zkouška bylo provedena v prostorech Fakulty stavební, ČVUT. Na některých z těchto krychlích bylo možné pozorovat typické porušení betonu v tlaku ve tvaru přesýpacích hodin. (viz Obr. č. 43).



Obr. č. 43 – rozdrčená zkušební krychle (typický tvar porušení)

Výstupem z provedených zkoušek byly hodnoty tlaku v barech. Tyto hodnoty tlaku byly následně pomocí převodové tabulky převedeny na tlak v MPa. Získané hodnoty jsou pro přehlednost uvedeny v tabulce níže. Vzorky měly pevnost 16 – 18 MPa. Třída betonu byla tedy nižší, než s jakou bylo v počátečních úvahách uvažováno.

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

Při vyhodnocení desek je potřeba si ujasnit, co je pro nás důležité. Dle výpočtů a odhadu měly vyztužené vzorky (typ slunečnice a ježci 2) vydržet střelbu naprosto bez problémů. Bylo však uvažováno s kvalitnějším betonem. Jak již bylo uvedeno v kapitole 5.4, všechny vzorky byly prostřeleny. Nedá se však jednoznačně říci, že by experiment nebyl úspěšný. Když se podíváme na jednotlivé přehledy odštěpů (viz níže uvedená tabulka) na vzorcích, je viditelný rozdíl.

Přehled odštěpů na vzorcích (průměr z naměřených hodnot):

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

Dle mého odhadu měly nejlépe dopadnout vzorky s vyztužením typu slunečnice. Další v pořadí měly být vzorky s vyztužením ježci 2, poté ježci 1. Nejhůře měly dopadnout samozřejmě vzorky z prostého betonu. Když se podíváme na výše uvedenou tabulku odštěpů, zjistíme, že experiment dopadl trochu jinak. U vzorků s vyztužením slunečnice nastal rozdíl k lepšímu zhruba o 0,5 - 1 cm oproti vzorkům z prostého betonu. Vzorky s vyztužením ježci 1 měly v podstatě shodné výsledky jako prostý beton. U vzorků s vyztužením ježci 2 došlo ke zmenšení odštěpů zhruba o 0,5 – 1 cm. Vzorky s vyztužením typu slunečnice a ježci 2 tedy dopadly nejlépe. Hodnoty vzorků s vyztužením slunečnice však mohou být mírně zkresleny, jelikož byl pouze jeden vzorek trefen přesně na střed. Vzorky typu slunečnice měly větší zlepšení u zadních odštěpů, zatímco vzorky typu ježci 2 měly výraznější zlepšení u předních odštěpů.

6. ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala využitím betonových prvků jako ochranných prostředků proti střelbě – od historických staveb, přes dnešní zátarasů až po novodobé mobiliiáře. Dnes je snaha tvořit prvky subtilnější a zároveň houževnatější. Začaly se používat nové příměsi a přísady, díky čemuž došlo ke zlepšení mechanických vlastností betonu. Jedním ze způsobů zvýšení houževnatosti a zlepšení pevnosti (hlavně v tahu) je přidání vláken do betonu. Tato vlákna mohou být z různých materiálů. V této diplomové práci byla věnována pozornost betonu s ocelovými drátky, tzv. drátkobetonu.

Dále se práce zabývala účinkem drátků v betonu. Kromě zvýšení pevnosti a houževnatosti mají drátky mnoho dalších účinků, mezi které například patří zvýšení odolnosti proti agresivnímu prostředí, větší trvanlivost / životnost konstrukce a snížení vlivu účinků objemových změn. U běžných drátkobetonů jsou drátky všesměrně orientovány. Dochází k jejich rozmíchání v čerstvém betonu. Díky tomu se dá drátkobeton využít u konstrukcí, kde nelze přesně stanovit směry hlavních napětí. V případě, že směry hlavních napětí dokážeme určit, může drátkobeton posloužit k úspoře betonářské výztuže. Pokud bychom drátky usměrnili, bylo by možné betonářskou výztuž omezit ještě více. Případně by bylo možné atypické konstrukce, kde je např. vyvázání výztuže velice obtížné, provádět pouze z drátkobetonu. Drátky lze usměrnit za pomoci elektromagnetického pole tak, že budou všechny orientované stejným směrem. Pokud chceme mít drátky orientované ve vícero (předem stanovených) směrech, je potřeba drátky usměrnit manuálně, případně vytvořit automatický způsob usměrňování drátků.

Práce se skládá z teoretické a praktické části. Hlavní náplní teoretické části práce bylo pochopení chování různých materiálů při průstřelu. V návaznosti na to, byl navržen experiment, který se týkal výroby drátkobetonových desek. Součástí tohoto experimentu byl i výpočet a návrh drátků do těchto desek. Bylo potřeba určit rozměry a tloušťku desek, určit ráži střely, zvolit vhodný způsob výpočtu drátků a vymyslet uspořádání drátků. Byly navrženy tři varianty rozmístění drátků v prvku, jejichž hlavním cílem bylo ověřit efekt usměrňování drátků.

V rámci experimentální části diplomové práce byly vyrobeny 4 typy desek z betonu a usměrněného drátkobetonu, které se lišily vyztužením. Od každého typu byly vyrobeny 4 desky. Prvním typem byly desky z prostého betonu, které byly vyztuženy pouze třmínkem po obvodu. Druhým typem byly desky s vyztužením typu slunečnice. Tyto vzorky měly kromě obvodového třmínku ještě dostředně orientované drátky uspořádané v kružnicích, které měly reprezentovat usměrnění drátků přesně ve směru hlavních napětí vyvozených při průstřelu. Třetím typem byly desky s vyztužením ježci 1. Tyto desky měly stejný počet drátků (jako u vzorků slunečnice) uskupený po 4 drátcích, tzv. ježcích. Tito ježci byly uspořádáni kolem středu vzorku. Čtvrtým a posledním typem byly vzorky s vyztužením ježci 2. Tyto desky měly ježky (4 drátky) uspořádané v pravidelném rastru po celé ploše. Ježci představují všesměrné rozmístění drátků v desce.

Po betonáži a procesu tuhnutí a tvrdnutí byly vzorky odvezeny na střelnici. Zde došlo ke střelbě na desky. Střelba probíhala ze vzdálenosti 5 m ráží 9 x 19 LUGER [27] (NATO). Fotky všech vzorků po střelbě jsou podrobně zdokumentovány a popsány v přílohách této diplomové práce. Dle odhadů a výpočtů měly drátkobetonové vzorky vydržet. To se však nestalo. Všechny vzorky byly prostřeleny skrz. Lze však pozorovat rozdíl mezi jednotlivými typy vyztužení. Jako nejlepší způsob vyšlo vyztužení typu ježci 2. Vzhledem k povaze vyztužení tohoto typu desky bylo

jedno, do jakého místa se střelec trefí. Odolat měla deska v celé ploše, resp. v jakémkoliv místě, stejně. Při využití tohoto typu vyztužení se nabízí otázka, jak výrobu takto vyztužených prvků automatizovat. Bylo by potřeba jednotlivé ježky v předem stanovených vzdálenostech navázat k sobě tak, aby mohly být nataženy do výrobní linky.

Nevýhodou drátků rozmístěných do slunečnice byla potřeba trefit se přesně do požadovaného místa. Trefit vzorek slunečnice přímo do středu se povedlo pouze u vzorku S2. Pokud by se vzaly vzorky typu ježci 1, které se také povedlo trefit do středu (J1-3, J1-4), bylo by vidět, že rozložení drátků do slunečnice bylo efektivnější. Došlo k menšímu odštěpu jak na přední, tak i na zadní straně desky. Přesné hodnoty těchto odštěpů jsou uvedeny v následující tabulce:

VZOREK	ODŠTĚP	
	Přední [cm]	Zadní [cm]
S1	4,0	5,0
J1-3	6,2	6,6
J1-4	4,2	6,5

Při návrhu drátků byla uvažována pevnostní třída betonu C20/25. Tento údaj je důležitý při výpočtu kotevní délky. Drátky byly navrženy tak, aby jich bylo v desce dostatečné množství. Síla vznikající při průchodu střely by se tedy dostatečně rozdělila a drátky by jednotlivé dílčí síly byly schopny přenést. Při výrobě však došlo k použití nekvalitního cementu. Při experimentální části byl tedy použit beton s nižší třídou, než jaká byla uvažována. Změřená krychlená pevnost na zkušebních vzorcích (krychlích) byla v rozmezí 16 – 18 MPa.



Obr. č. 44 – fotografie z průběhu střílel

V návaznosti na experiment však vyvstává několik dalších otázek:

- Jaký rastr drátků by byl nejefektivnější?
- Opravdu to bylo vyztužení typu ježci 2, nebo by se dalo vymyslet ještě efektivnější uskupení drátků?
- Kolik drátků by bylo potřeba do jedné skupiny (ježka)? 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?

Řešení těchto otázek je na delší dobu a bude potřeba rozsáhlejšího výzkumu. Ráda bych tedy s tímto tématem pokračovala a navázala tak s doktorským studiem.

7. ZDROJE

- [1] „BUNKRY.cz,“ [Online]. Available: <https://www.bunkry.cz/>. [Přístup získán 02 12 2021].
- [2] „Československé opevnění,“ [Online]. Available: <https://www.bunkry.cz/clanek/1180>. [Přístup získán 02 12 2021].
- [3] „FOTOarchiv dobových fotografií - Lehké opevnění,“ [Online]. Available: <https://www.bunkry.cz/fotoarchiv/katalog.aspx>. [Přístup získán 02 12 2021].
- [4] „Experti z ČVUT vymýšlejí pevnější, méně nápadné bariéry proti útokům autem,“ 08 01 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].
- [5] „FOTOarchiv dobových fotografií - Těžké opevnění,“ [Online]. Available: <https://www.bunkry.cz/fotoarchiv/katalog.aspx>. [Přístup získán 02 12 2021].
- [6] „Testovací pěchotní pevnost a dělostřelecká střelnice Jordán,“ [Online]. Available: <https://www.kudyznudy.cz/aktivity/testovaci-pechotni-pevnost-jordan>.
- [7] M. Pavec, „Český vynález: květináče proti teroru. Běžnou zábranu útočící kamion odsune, tato ho zastaví,“ 18 08 2017. [Online]. Available: https://www.lidovky.cz/byznys/kvetinace-proti-teroru-beznou-zabranu-utocici-kamion-odsune-tato-ho-znici.A170817_114330_firmy-trhy_pave. [Přístup získán 05 12 2021].
- [8] „Vláknobeton,“ [Online]. Available: <https://www.ebeton.cz/pojmy/vlaknobeton/>. [Přístup získán 27 11 2021].
- [9] d. I. J. V. C. Ing. V. Ráček, „Trvanlivost vláknobetonů a návrhová životnost vláknobetonových konstrukcí,“ 18 05 2015. [Online]. Available: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/12723-trvanlivost-vlaknobetonu-a-navrhova-zivotnost-vlaknobetonovych-konstrukci>. [Přístup získán 05 12 2021].
- [10] „Karbonatace betonu,“ [Online]. Available: <https://www.ebeton.cz/pojmy/karbonatace-betonu/>. [Přístup získán 18 12 2021].
- [11] J. Krátký, K. Trtík a J. Vodička, Drátkobetonové konstrukce, R. Karasová, Editor, Praha: Informační centrum ČKAIT, 1999.
- [12] „Smršťování betonu,“ [Online]. Available: <https://www.ebeton.cz/pojmy/smrstovani-betonu/>. [Přístup získán 18 12 2021].
- [13] „Beton,“ [Online]. Available: <https://www.dlubal.com/cs/reseni/online-sluzby/glosar/000121>. [Přístup získán 05 12 2021].

- [14] I. Š. Šonka, „ALIGNMENT OF STEEL FIBRES WITH ELECTROMAGNETIC FIELD,“ 2020. [Online]. Available: https://concrete.fsv.cvut.cz/phdworkshop/proceedings/2020/pdf/Sonka_Stepan.pdf. [Přístup získán 14 12 2021].
- [15] „Vysokohodnotný beton (HPC),“ [Online]. Available: <https://www.ebeton.cz/pojmy/vysokohodnotny-beton-hpc/>. [Přístup získán 2021 12 18].
- [16] „Youtube - AK-47 VS AR-15 - 7.62 VS 5.56 VS CONCRETE BLOCK,“ [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=Sgn6tF8t54Y&list=PLSU0LV8uIWphG_mvKbZIHkGKiKW1JexrO&index=2&t=3s. [Přístup získán 03 2021].
- [17] „Youtube - 50 BMG vs Concrete Wall,“ [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=aX05bSn59uo&list=PLSU0LV8uIWphG_mvKbZIHkGKiKW1JexrO&index=4.
- [18] „Youtube - Will Bulletproof Glass Stop A .50 Cal? slow motion Richard Ryan,“ [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=lzbJ8E-WjFI&list=PLSU0LV8uIWphG_mvKbZIHkGKiKW1JexrO&index=5.
- [19] „Youtube - Can a Solid Glass Ball Stop a 50cal???,“ [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=a7WwrMgGTzo&list=PLSU0LV8uIWphG_mvKbZIHkGKiKW1JexrO&index=5.
- [20] „Youtube - 50 Cal vs Steel Olympic Weight,“ [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=jnjK2ReXrwA&list=PLSU0LV8uIWphG_mvKbZIHkGKiKW1JexrO&index=8.
- [21] „Youtube - 50 BMG vs Anvil,“ [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=ypWoPpdH_Wk&list=PLSU0LV8uIWphG_mvKbZIHkGKiKW1JexrO&index=9.
- [22] „Youtube - 1.75" Titanium vs 50 Cals Baddest rounds. (surprise at the end),“ [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=bDWBc19jWY&list=PLSU0LV8uIWphG_mvKbZIHkGKiKW1JexrO&index=10.
- [23] „Youtube - Elephant Rifles vs GIANT Gummy Bears,“ [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=nhW1WoTtVe8&list=PLSU0LV8uIWphG_mvKbZIHkGKiKW1JexrO&index=6&t=650s.
- [24] „Youtube - Hand Cannons vs GIANT Gummy Bears,“ [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=ng_F_AZCrto&list=PLSU0LV8uIWphG_mvKbZIHkGKiKW1JexrO&index=7&t=489s.
- [25] „222 REM FMJ,“ [Online]. Available: <https://www.sellier-bellot.cz/produkty/kulove-naboje/kulove-naboje-fmj/detail/182/>. [Přístup získán 05 04 2021].

- [26] „223 REM FMJ,“ [Online]. Available: <https://www.sellier-bellot.cz/produkty/kulove-naboje/kulove-naboje-fmj/detail/180/>. [Přístup získán 05 04 2021].
- [27] „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].
- [28] ČSN EN 1992-1-1, Český normalizační institut, Listopad 2006.

Příloha č. 1 – Technické listy střel

222 REM. FMJ

V330102
50 GRS



Celoplášťová střela. Olověné jádro je překryto kovovým pláštěm. Vzhledem k pevné konstrukci vytváří střela hladký průstřel bez devastace tkáně, neboť se nedeformuje při zásahu cíle.



VLASTNOSTI

STŘELA	TYP		FMJ
	HMOTNOST	grs	50
		g	3,24
	SECTIONAL DENSITY	lb/in ²	0,142
	MATERIÁL PLÁŠTĚ		Fe/CuZn 10
	ČÍSLO		2902
BALISTICKÝ KOEFICIENT		G1	0,235
		G7	0,114
ONV		m	185
NÁBOJ	HMOTNOST	g	11,1
	DÉLKA	mm	54,10
PLÁŠŤ			N/A
POWER FACTOR ESTIMATED		kgf·fps	159,1
+P MUNICE			Ne
DÉLKA HLAVNĚ		mm	600
DOPORUČENÉ POUŽITÍ			N/A
VLASTNOSTI			N/A
BALENÍ			
KRABIČEK V KARTONU			60
HMOTNOST KARTONU		kg	15,2
		lb	32

BALISTICKÉ VLASTNOSTI

VZDÁLENOST	m	ústí	100	200	300	400
RYCHLOST	m/s	970	829	699	581	475
ENERGIE	J	1524	1113	791	548	365
VZDÁLENOST	m	50	100	200	300	400
PŘEVÝŠENÍ	cm	-1,0	0,0	-9,4	-39,2	-98,4
PŘEVÝŠENÍ PRO ONV	cm	0,9	3,7	-2,0	-28,0	-83,6





9 mm LUGER / 9 mm PARA / 9 × 19 FMJ V310452 115 GRS

Celoplášťová střela. Olovené jádro je překryto kovovým pláštěm. Vzhledem k pevné konstrukci vytváří střela hladký průstřel bez devastace tkáně, neboť se nedeformuje při zásahu cíle.

VLASTNOSTI

STŘELA	TYP		FMJ
	HMOTNOST	grs	115
		g	7,50
	SECTIONAL DENSITY	lb/in ³	0,130
	MATERIÁL PLÁŠTĚ		CuZn 30
	ČÍSLO		N/A
BALISTICKÝ KOEFICIENT		G1	0,106
NÁBOJ	HMOTNOST	g	12,2
	DÉLKA	mm	29,69
PLÁŠŤ			Factory Brass
POWER FACTOR ESTIMATED		kgf-tps	147,2
+P MUNICE			Ne
DÉLKA HLAVNĚ		mm	150
DOPORUČENÉ POUŽITÍ			N/A
VLASTNOSTI			N/A
BALENÍ			
KRABÍČEK V KARTONU			20
HMOTNOST KARTONU		kg	12,7
		lb	28

BALISTICKÉ VLASTNOSTI

VZDÁLENOST	m	ÚSTÍ	25	50	100
RYCHLOST	m/s	390	355	327	289
ENERGIE	J	570	473	401	312
VZDÁLENOST	m	12,5	25	50	100
PŘEVÝŠENÍ	cm	-0,2	0,0	-2,8	-28,2



Příloha č. 2 - VÝPOČET DRÁTKŮ

VÝPOČET MNOŽSTVÍ DRAŽEKŮ

- porušení drátek:

1) PŘETRŽENÍ

$$F_1 = A_s \cdot f_{y,d} = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot f_{y,d}$$

$f_{y,d}$ - návrhová hodnota pevnosti drátek v tahu

A_s - plocha drátek

ϕ - průměr drátek

2) VYTRŽENÍ

$$F_2 = f_{sd} \cdot \pi \cdot \phi \cdot l_b$$

f_{sd} - mezí napětí v soudržnosti

ϕ - průměr drátek

l_b - základní kotvení délka

$$l_b = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_s}{f_{sd}}$$

$$\sigma_s = f_{y,d}$$

uvážuji:

C20/25 - BETON

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk,100} = 1,5 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

DRAŽKY

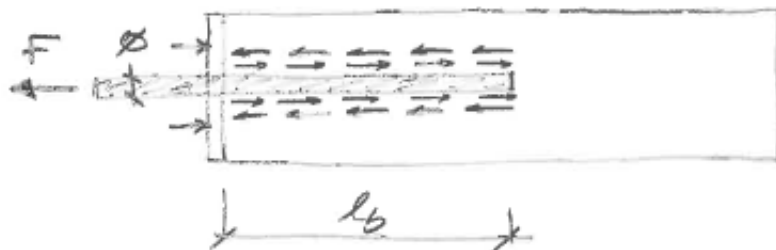
$$\phi = 10,5 \text{ mm}$$

$$l = 60 \text{ mm}$$

$$f_{d,k} = 1000 \text{ MPa}$$

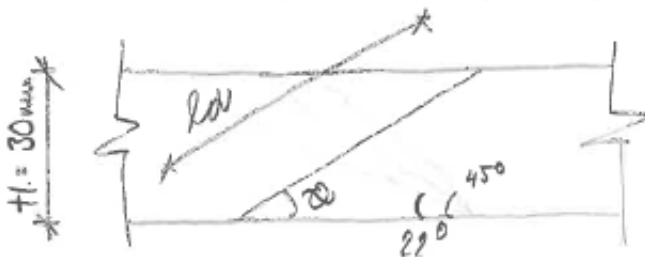
$$\gamma_d = 1,0$$

(orientační
dohledané
hodnoty)



z geometrie:

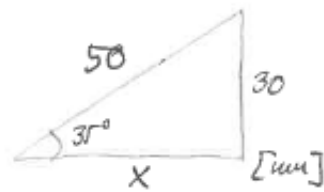
- sklon drátek $\alpha = 35^\circ$ (volím)



délka drátek: $\sin \alpha = \frac{h}{l_d}$

$$l_d = \frac{h}{\sin \alpha} = \frac{30}{\sin 35} = 52,3$$

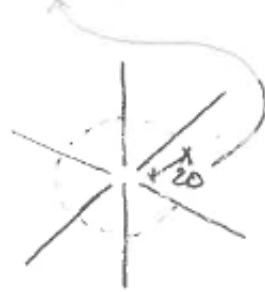
$$l_d = \underline{\underline{50 \text{ mm}}}$$



$$x^2 + 30^2 = 50^2$$

$$x = \sqrt{50^2 - 30^2} = \underline{40 \text{ mm}}$$

$$r_j = x - 20 = 40 - 20 = \underline{20 \text{ mm}}$$



↳ uvažuji, že dojde k přetřaívání drátek v jeho polovině, tzn. $l_b = 25 \text{ mm}$

- využiji vzorec z normy pro žebřikovou vyztužici

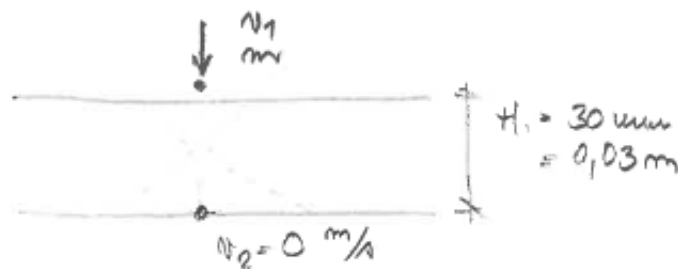
$$F_{\max} = f_{bd} \cdot \pi \cdot \varnothing \cdot l_b = F_2 \text{ (vytřžení)}$$

$$= 2,25 \cdot \pi \cdot 1,05 \cdot 25 = \underline{185,5 \text{ N}}$$

↳ Maximální síla pro jeden drátek je 185,5 N.

PŮSOBÍCÍ SÍLA

- ráže: 222 REH.
- ústředí rychlost: $v_1 \hat{=} 1000 \text{ m/s}$
- hmotnost: $m = 3,4 \text{ g}$



$$F = m \cdot a$$

$$a = \frac{v}{t}$$

$$A = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} (-a) t^2$$

$$A = v_1 \cdot t + \frac{1}{2} \left(-\frac{v_1}{t}\right) \cdot t^2$$

$$A = v_1 \cdot t - \frac{1}{2} v_1 t = \underline{\frac{1}{2} v_1 t} \quad \left(= \frac{1}{2} a t^2 \right)$$

$$A = t \cdot l = 30 \text{ mm}$$

$$A = \frac{1}{2} n_1 t \rightarrow t = \frac{2A}{n_1} = \frac{2 \cdot 0,03}{1000} = \underline{6 \cdot 10^{-5} \text{ m}}$$

$$F = m \cdot a = m \cdot \frac{v_1}{t} = 3,4 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1000}{6 \cdot 10^{-5}} \\ = 56666,67 \text{ N} = \underline{56,67 \text{ kN}}$$

Přetřetí: $\frac{N}{A} = \sigma \rightarrow \frac{F}{A_{d,c}} = f_{d,k}$

draťky: Dramix $f_{d,k} = 1800 \text{ MPa}$

$$\varnothing_d = 0,75 \text{ mm}$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$A_d = n \frac{\varnothing_d^2}{4} = 0,442 \text{ mm}^2$$

$A_{d,c,min}$ - minimální
potřebná celková
plocha drátek^o

$$A_{d,c,min} = \frac{F}{f_{d,k}} = \frac{56,6 \cdot 10^3}{1800} = 31,44 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{d,c,min}}{A_d} = \frac{31,44}{0,442} = 71,14 \rightarrow \underline{72 \text{ drátek}^o}$$

Takovéto množství drátek^o se do vzorku
nevejde tak, aby byly všechny drátky
řádně uspořádané (např. do vzoru
slunečnice).

Maximální zvolené vyztužení je počtem
40 drátek^o.

$$n = 40$$

$$A_{d,c} = n \cdot A_d = 40 \cdot 0,442 = \underline{17,68 \text{ mm}^2}$$

$$F_{max} = f_{d,k} \cdot A_{d,c} = 1800 \cdot 17,68 = 31824 \text{ N} = \underline{31,8 \text{ kN}}$$

$$A = \frac{1}{2} n_1 t \rightarrow n_1 = \frac{2A}{t}$$

$$F = m \cdot a = m \cdot \frac{v_1}{t} = m \cdot \frac{2A/t}{t} = \frac{m \cdot 2A}{t^2}$$

$$F = \frac{m \cdot 2A}{t^2}$$

$$\frac{F}{2m \cdot A} = \frac{1}{t^2}$$

$A_{d,c}$ - celková
plocha použitých
(navrtaných)
drátek^o

$$t^2 = \frac{2 \cdot m \cdot A}{F}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot A}{F}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,003 \cdot 3,4 \cdot 10^{-3}}{51824}} = \underline{\underline{8,0 \cdot 10^{-5} \text{ s}}}$$

* hodnotu max. rychlosti, kterou může mít střela při dotyku vzorku

Dosažením času do vzorce pro rychlost dostaneme potřebnou hodnotu rychlosti a z m' vzdálenost (dle tabulky od výrobce), ze které by se danou ráží muselo střelit.

$$v_1 = \frac{2 \cdot 0,03}{8 \cdot 10^{-5}} = \underline{\underline{750 \text{ m/s}}}$$

Střelba by musela být zhruba ze 160 - 170 m

Změna ráže!

9mm LUGER / 9x19

$$v_1 = 390 \text{ m/s}$$

$$m = 7,5 \text{ g}$$

$$t = \frac{2 \cdot x}{v_1} = \frac{2 \cdot 0,03}{390} = \underline{\underline{1,54 \cdot 10^{-4} \text{ s}}}$$

$$F = m \cdot a = m \cdot \frac{v_1}{t} = 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{390}{1,54 \cdot 10^{-4}} = 18993,5 \text{ N} = 18,99 = \underline{\underline{19 \text{ kN}}}$$

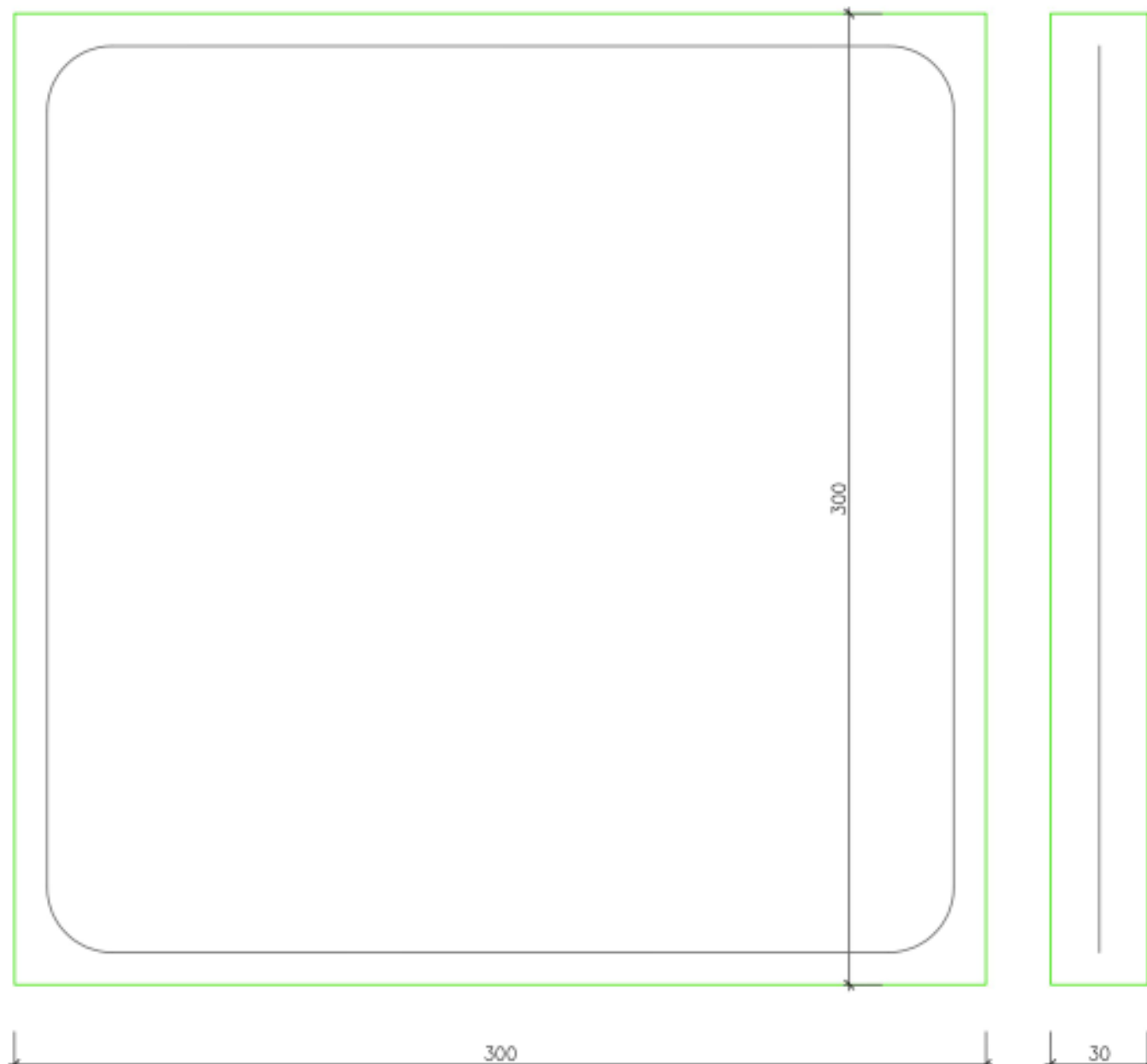
Průměrná síla o velikosti 19 kN, rozek vytržený 40 drátek přenesl (na přetržení) sílu o velikosti 31,8 kN.

Kritičtějším parametrem je vytržení.

Příloha č. 3 – VZOREK 1 – PROSTÝ BETON


PŘEDNÍ POHLED

BOČNÍ POHLED

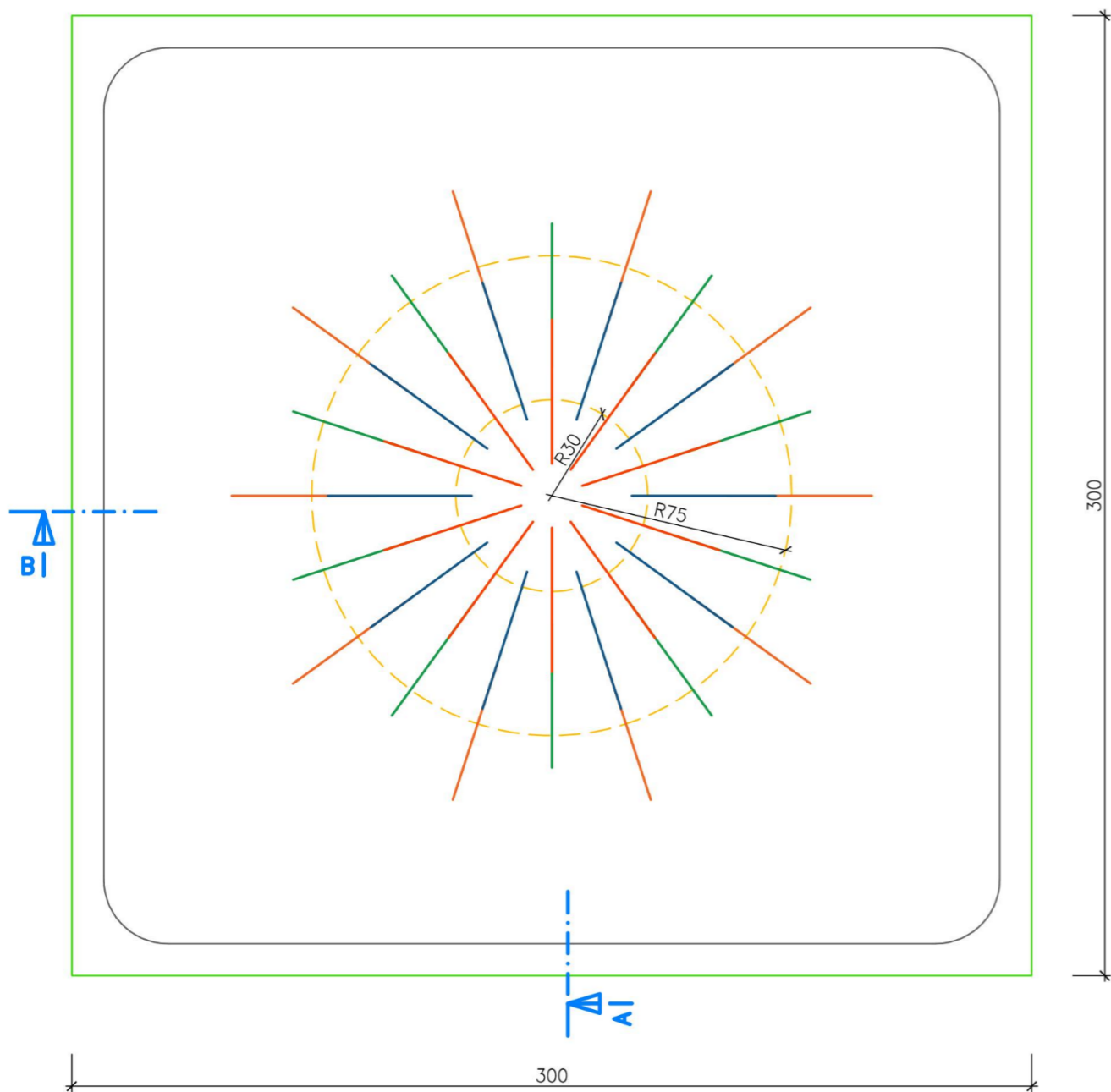


LEGENDA

————— TRMÍNEK $\varnothing 6\text{mm}$

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	
C – kce pozemních staveb	k133 – beton. a zděn. kčí	Bc. Veronika Schutová	
ROČNÍK	VYUČUJÍCÍ		
1	Ing. Michaela Frantová, PhD		
AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE DRÁTKOBETON – BALISTICKÁ OCHRANA			FORMÁT A4
OBSAH : SCHÉMA ROZMÍSTĚNÍ DRÁTKŮ PROSTÝ BETON			MĚŘITKO 1:2
			DATUM 22.09.2021
			Č. VÝKR. 01

Příloha č. 4 – VZOREK 2 – SLUNEČNICE



LEGENDA

- 1. ŘADA DRÁTKŮ
- 2. ŘADA DRÁTKŮ
- 3. ŘADA DRÁTKŮ
- 4. ŘADA DRÁTKŮ
- TRMÍNEK $\phi 6\text{mm}$

ŘEZ A



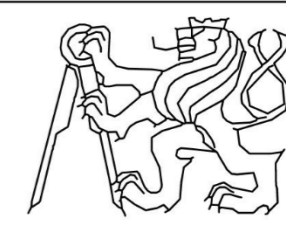
ŘEZ B



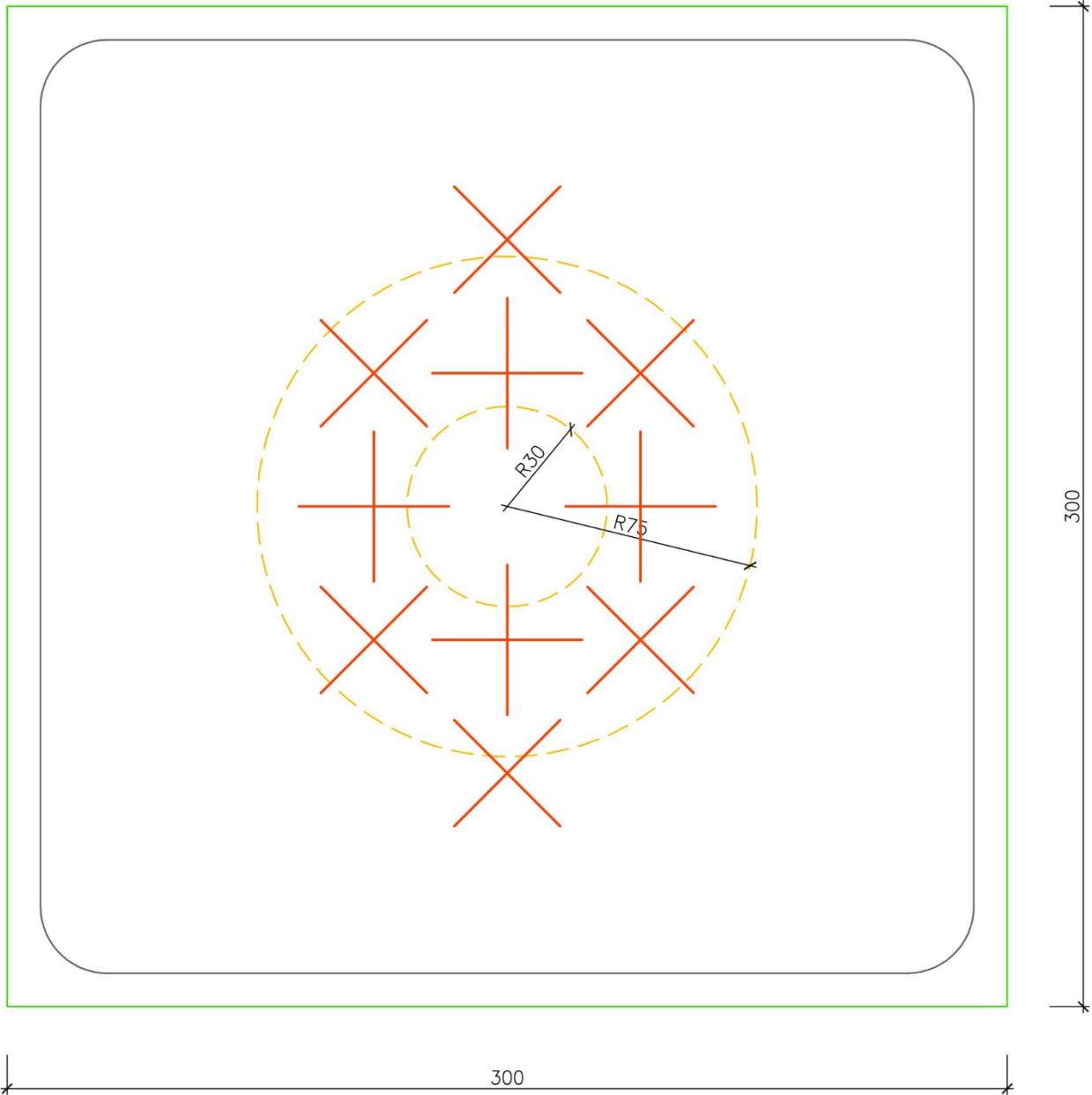
POZNÁMKA:

VYKRESLENÍ DRÁTKŮ BYLO PROVEDENO DLE PŘEDPOKLÁDANÉHO SKLONU, SKUTEČNÉ PROVEDENÍ NEMUSÍ BÝT PŘESNÉ.

PRO VYKRESLENÍ BYLA ZANEDBÁNA KRYCÍ VRSTVA DRÁTKŮ NA PŘEDNÍM POVRCHU DESKY.

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA	
C – kce pozemních staveb	k133 – beton. a zděn. kcí	Bc. Veronika Schutová	
ROČNÍK	VYUČUJÍCÍ		
1	Ing. Michaela Frantová, PhD		
AKCE : DIPLOMOVÁ PRÁCE DRÁTKOBETON – BALISTICKÁ OCHRANA			FORMÁT A4
			MĚŘITKO 1:2
			DATUM 22.09.2021
OBSAH : SCHÉMA ROZMÍSTĚNÍ DRÁTKŮ SLUNEČNICE			Č. VÝKR. 02

Příloha č. 5 – VZOREK 3 – JEŽCI 1



LEGENDA



JEŽEK – 4ks drátků

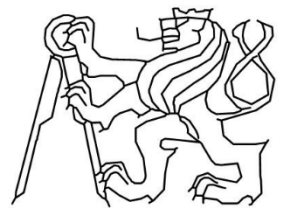
— TŘMÍNEK $\varnothing 6\text{mm}$

POZNÁMKA:

VYKRESLENÍ DRÁTKŮ BYLO PROVEDENO DLE PŘEDPOKLÁDANÉHO SKLONU, SKUTEČNÉ PROVEDENÍ NEMUSÍ BÝT PŘESNÉ.

PRO VYKRESLENÍ BYLA ZANEDBÁNA KRYCÍ VRSTVA DRÁTKŮ NA PŘEDNÍM PОВRCHU DESKY.

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA
C – kce pozemních staveb	k133 – beton. a zděn. kcí	Bc. Veronika Schutová
ROČNÍK	VYUČUJÍCÍ	
1	Ing. Michaela Frantová, PhD	



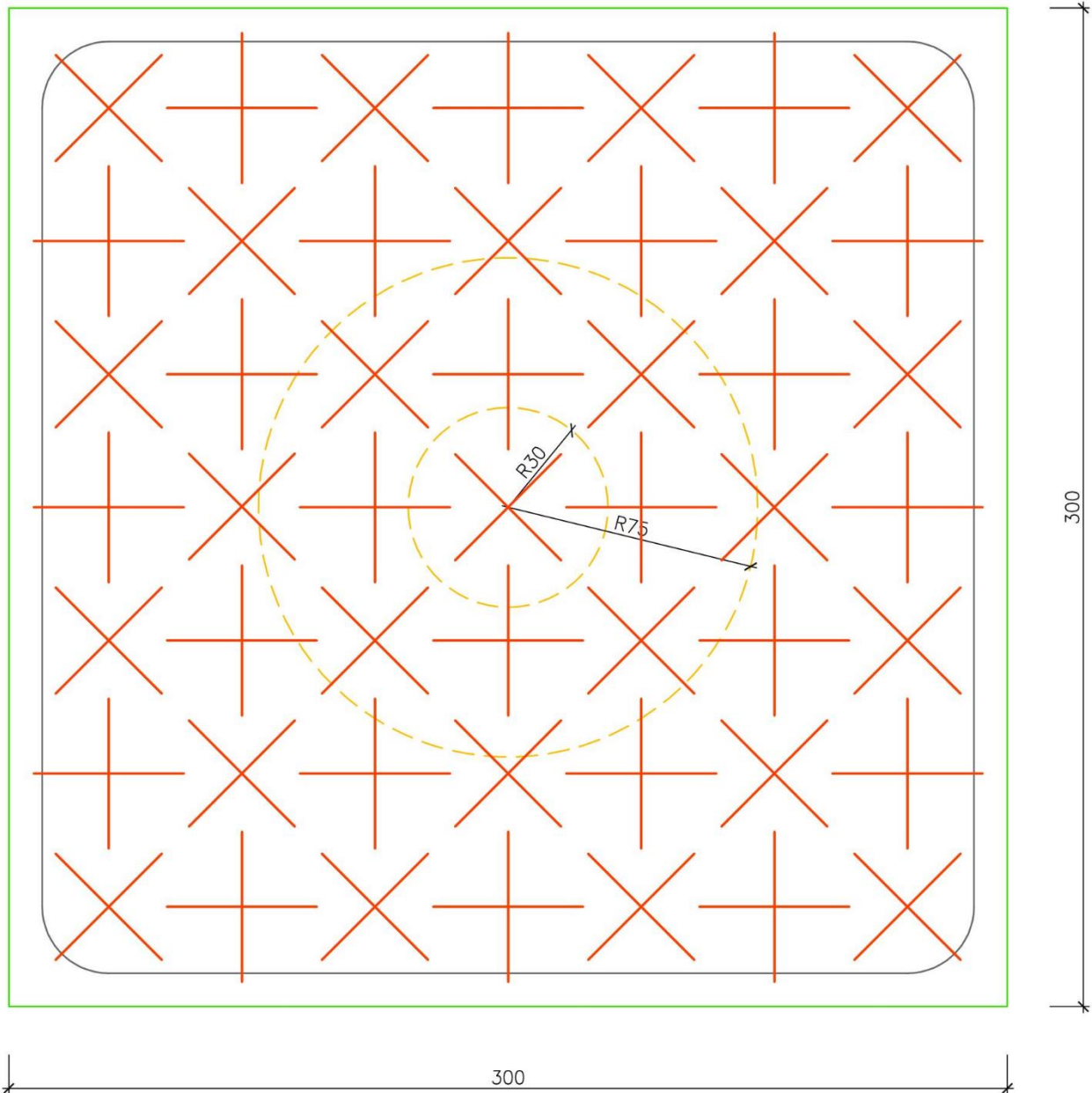
AKCE :
 DIPLOMOVÁ PRÁCE
 DRÁTKOBETON – BALISTICKÁ OCHRANA

FORMÁT	A4
MĚŘÍTKO	1:2
DATUM	22.09.2021

OBSAH :
 SCHÉMA ROZMÍSTĚNÍ DRÁTKŮ
 JEŽCI 1

Č. VÝKR.	03a
----------	-----

Příloha č. 6 – VZOREK 4 – JEŽCI 2



LEGENDA



JEŽEK – 4ks drátků

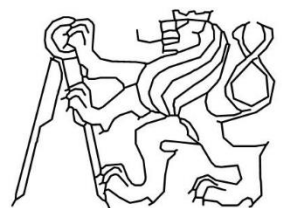
— TŘMÍNEK $\varnothing 6\text{mm}$

POZNÁMKA:

VYKRESLENÍ DRÁTKŮ BYLO PROVEDENO DLE PŘEDPOKLÁDANÉHO SKLONU, SKUTEČNÉ PROVEDENÍ NEMUSÍ BÝT PŘESNÉ.

PRO VYKRESLENÍ BYLA ZANEDBÁNA KRYCÍ VRSTVA DRÁTKŮ NA PŘEDNÍM POVRCHU DESKY.

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA
C – kce pozemních staveb	k133 – beton. a zděn. kcí	Bc. Veronika Schutová
ROČNÍK	VYUČUJÍCÍ	
1	Ing. Michaela Frantová, PhD	



AKCE :
DIPLOMOVÁ PRÁCE
DRÁTKOBETON – BALISTICKÁ OCHRANA

FORMÁT	A4
MĚŘÍTKO	1:2
DATUM	22.09.2021

OBSAH :
SCHÉMA ROZMÍSTĚNÍ DRÁTKŮ
JEŽCI 2

Č. VÝKR.
03b

Příloha č. 7 – Fotografie vzorků – ZKUŠEBNÍ VZOREK

ZKUŠEBNÍ VZOREK – vzorek č. 1

U zkušebního vzorku došlo k čistému průstřelu. Na přední straně se vytvořil výrazně menší kužel, než jaký se vytvořil na zadní straně. Již na přední straně si můžeme všimnout svislé trhliny, která vznikla na obě strany od místa průstřelu. Na zadní straně vznikla svislá i vodorovná trhliny. Vzorek byl tedy rozpraskán zhruba na čtvrtiny. Při uvolňování vzorku ze stojánku došlo k jeho rozlomení na čtyři díly. Vzhledem k velikosti kužele odštěpu na zadní straně došlo ke vzniku poměrně velkého množství šrapnelu.



Obr. – přední a zadní strana zkušebního vzorku na střelnici



Obr. – zadní strana zkušebního vzorku po uvolnění ze stojánku



Přední strana	Zadní strana
Detail předního odštěpu	Detail zadního odštěpu
Přední odštěp s pravítkem	Zadní odštěp s pravítkem

Příloha č. 8 – Fotografie vzorků – PROSTÝ BETON

Poznámky:

- U některých vzorků došlo k odpadu potřhaného betonu při přenosu na střelnici, fotografie v textu diplomové práce nemusí naprosto přesně odpovídat fotografiím v příloze
- Fotografie s pravítkem byly doplňovány až cca po měsíci od střelb, u některých vzorků došlo k dalšímu (drobnému) odpadu materiálu

Přehled odštěpů na vzorcích z prostého betonu:

VZOREK Označení	ODŠTĚP	
	Přední [cm]	Zadní [cm]
PB1	4,7	7,5
PB2	5,7	6,0
PB3	4,5	7,2
PB4	4,0	6,0

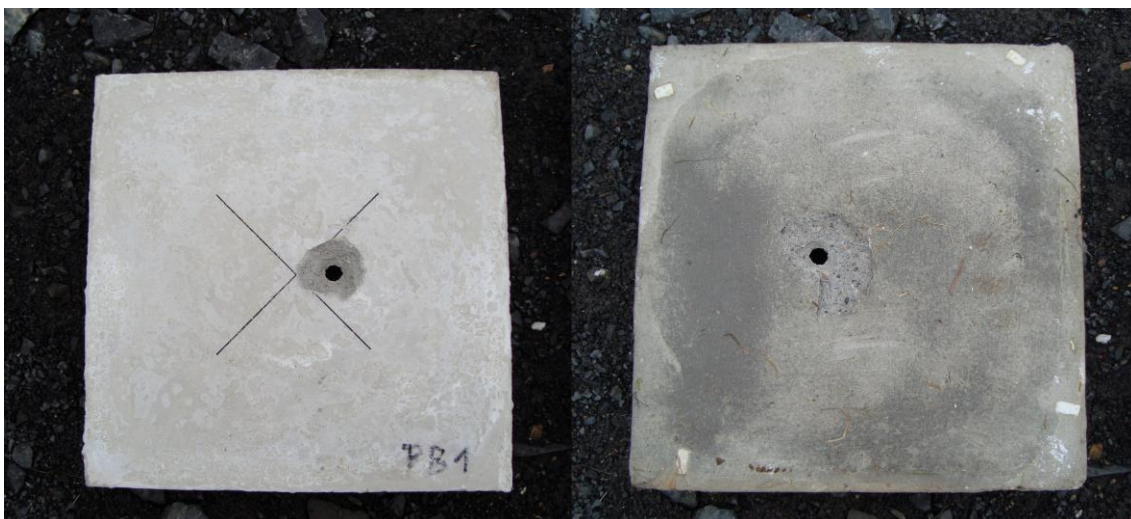
Přehled vzniklých průstřelů:

VZOREK Označení	ROZMĚR PRŮSTŘELU		POZNÁMKY Poloha průstřelu
	Přední [cm]	Zadní [cm]	
PB1	1,3	1,3	1. kvadrant
PB2	1,6	1,6	1. kvadrant
PB3	1,3	2,0	Střed
PB4	1,6	1,6	1. kvadrant

PROSTÝ BETON – vzorek č. 1



Obr. - přední strana vzorku PB1 na střešnici

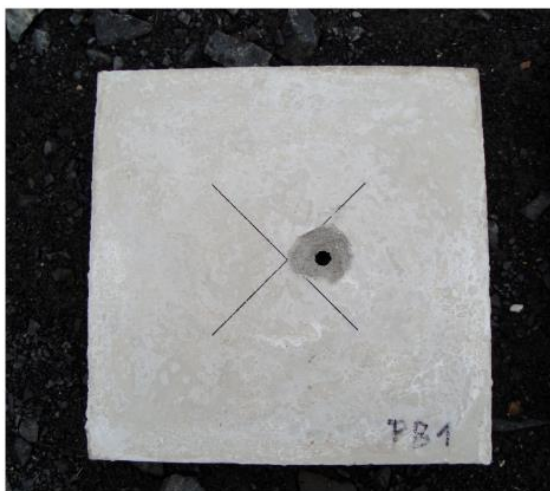


Obr. – přední a zadní strana vzorku po přemístění ze střešnice

U vzorku PB1 došlo k dodatečnému odrolení materiálu při manipulaci na střešnici. Rozdíl je vidět na výše uvedených fotografiích.

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku PB1:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	4,7	1,3
Zadní	7,5	1,3

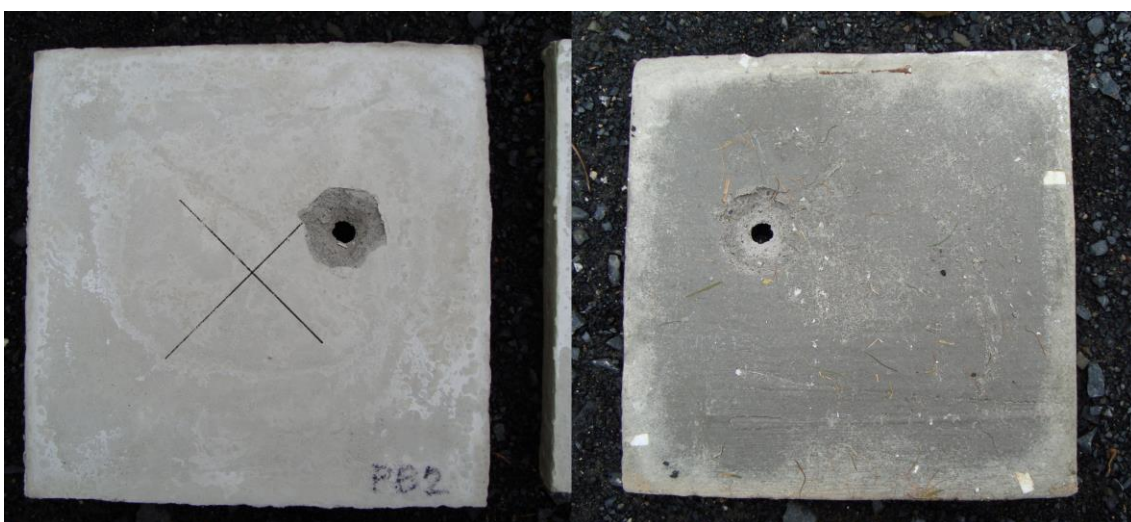


Přední strana	Zadní strana
Detail předního odštěpu	Detail zadního odštěpu
Přední odštěp s pravítkem	Zadní odštěp s pravítkem

PROSTÝ BETON – vzorek č. 2



Obr. – přední strana vzorku PB2 na střelnici

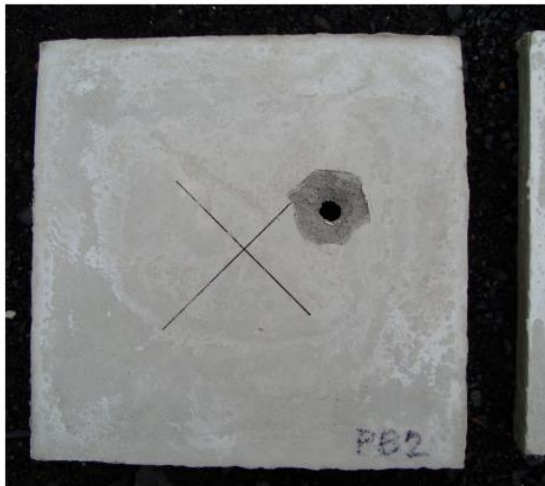


Obr. – přední a zadní strana vzorku PB2 po přemístění ze střelnice

Vzorek PB2 zůstal při přesouvání ve stejném stavu, nedošlo tedy k žádnému dodatečnému odrolení materiálu.

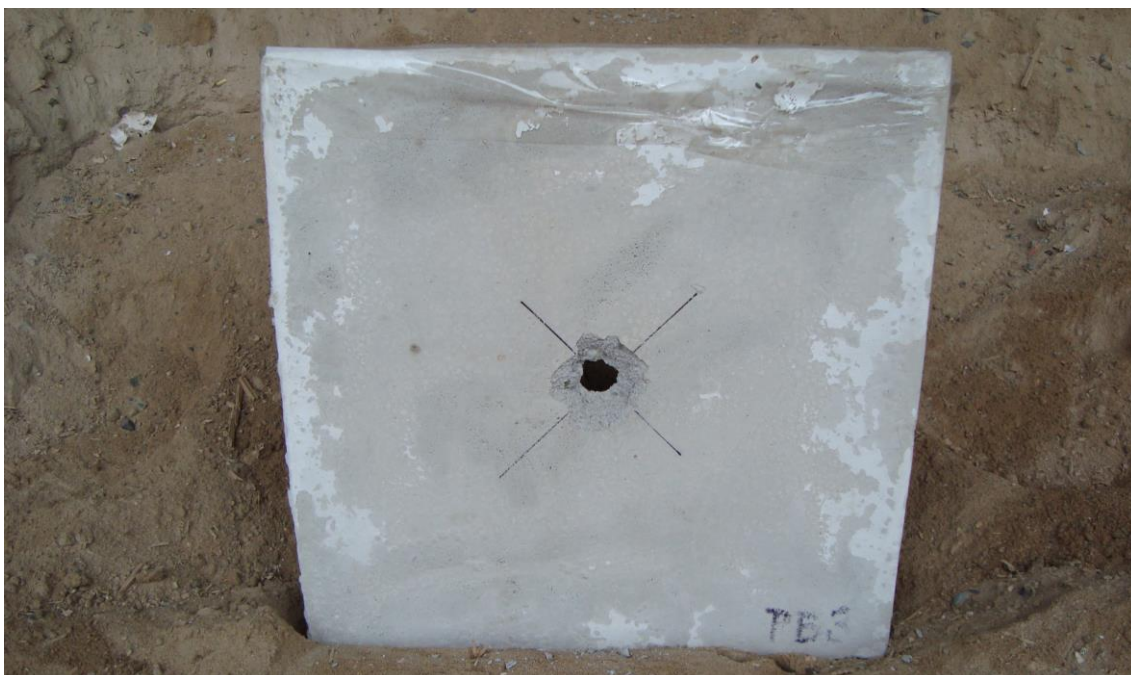
Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku PB2:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	5,7	1,6
Zadní	6,0	1,6

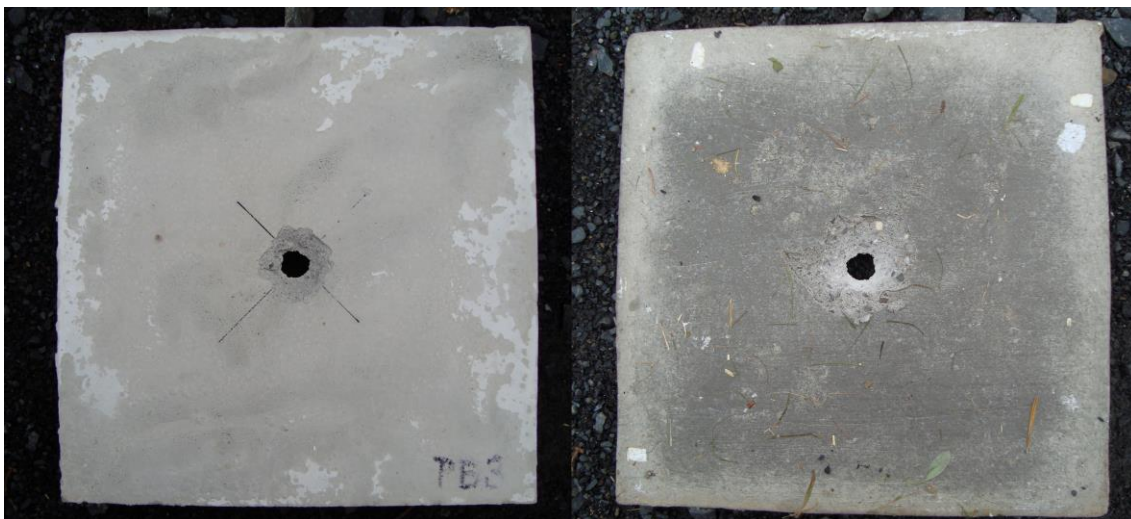


Přední strana	Zadní strana
Detail předního odštěpu	Detail zadního odštěpu
Přední odštěp s pravítkem	Zadní odštěp s pravítkem

PROSTÝ BETON – vzorek č. 3



Obr. - přední strana vzorku PB3 na střelnici

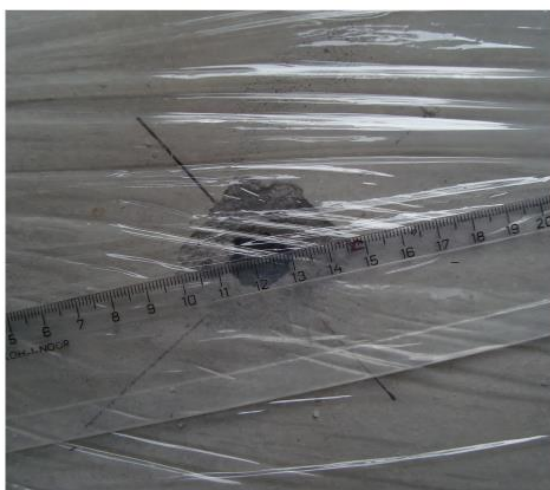
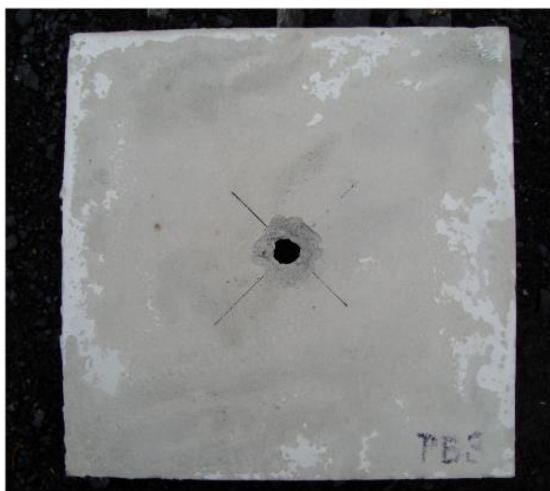


Obr. – přední a zadní strana vzorku PB3 po přemístění ze střelnice

U vzorku PB3 nedošlo k dodatečnému odrolení materiálu při manipulaci na střelnici. Deska tedy zůstala ve stejném stavu.

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku PB3:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	4,5	1,3
Zadní	7,2	2,0

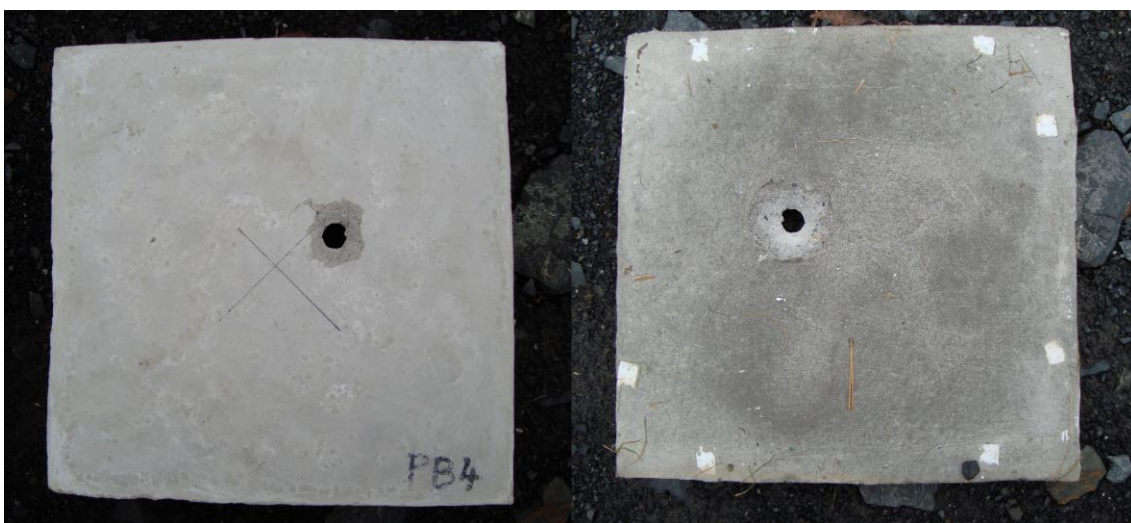


Přední strana	Zadní strana
Detail předního odštěpu	Detail zadního odštěpu
Přední odštěp s pravítkem	Zadní odštěp s pravítkem

PROSTÝ BETON – vzorek č. 4



Obr. – přední strana vzorku PB4 na střelnici

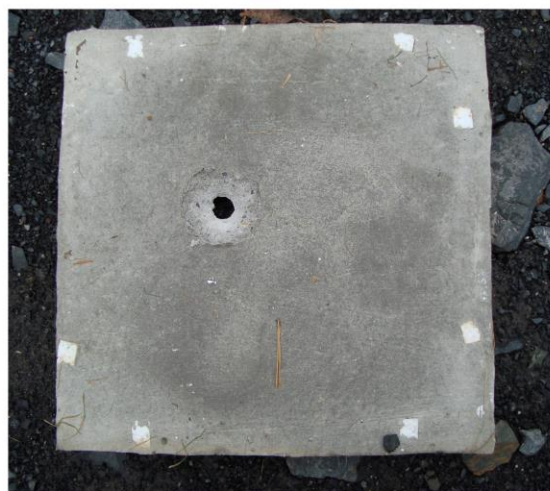


Obr. – přední a zadní strana vzorku PB4 po přemístění ze střelnice

U vzorku PB4 došlo ke vzniku pukliny na přední straně. Tato puklina však nebyla po obvodě průstřelu. Směřovala ke středu vzorku a nedošlo tedy k odštěpení materiálu v jejím místě. Při přesunu vzorku ze střelnice nedošlo k žádnému dodatečnému odrolení.

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku PB4:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	4,0	1,6
Zadní	6,0	1,6



Přední strana	Zadní strana
Detail předního odštěpu	Detail zadního odštěpu
Přední odštěp s pravítkem	Zadní odštěp s pravítkem

Příloha č. 9 – Fotografie vzorků – SLUNEČNICE

Poznámky:

- U některých vzorků došlo k odpadu potřáhaného betonu při přenosu na střelnici, fotografie v textu diplomové práce nemusí naprosto přesně odpovídat fotografiím v příloze
- Fotografie s pravítkem byly doplňovány až cca po měsíci od střelby, u některých vzorků došlo k dalšímu (drobnému) odpadu materiálu

Přehled odštěpů na vzorcích s vyztužením slunečnice:

VZOREK Označení	ODŠTĚP	
	Přední [cm]	Zadní [cm]
S1	4,2	6,5
S2	4,0	5,0
S3	4,5	5,5
S4	4,5	6,0

Přehled vzniklých průstřelů:

VZOREK Označení	ROZMĚR PRŮSTŘELU		POZNÁMKY Poloha průstřelu
	Přední [cm]	Zadní [cm]	
S1	1,8	1,5	3. kvadrant
S2	1,8	1,6	střed
S3	1,2	1,4	3. kvadrant
S4	1,8	1,8	4. kvadrant

SLUNEČNICE – vzorek č. 1



Obr. – přední strana vzorku S1 na střešnici

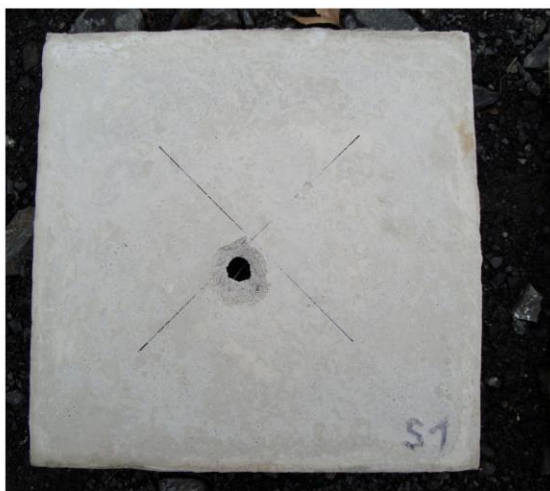


Obr. – přední a zadní strana vzorku S1 po přemístění ze střešnice

U vzorku S1 nedošlo k dodatečnému odrolení materiálu při manipulaci na střešnici

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku S1:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	4,2	1,8
Zadní	6,5	1,5

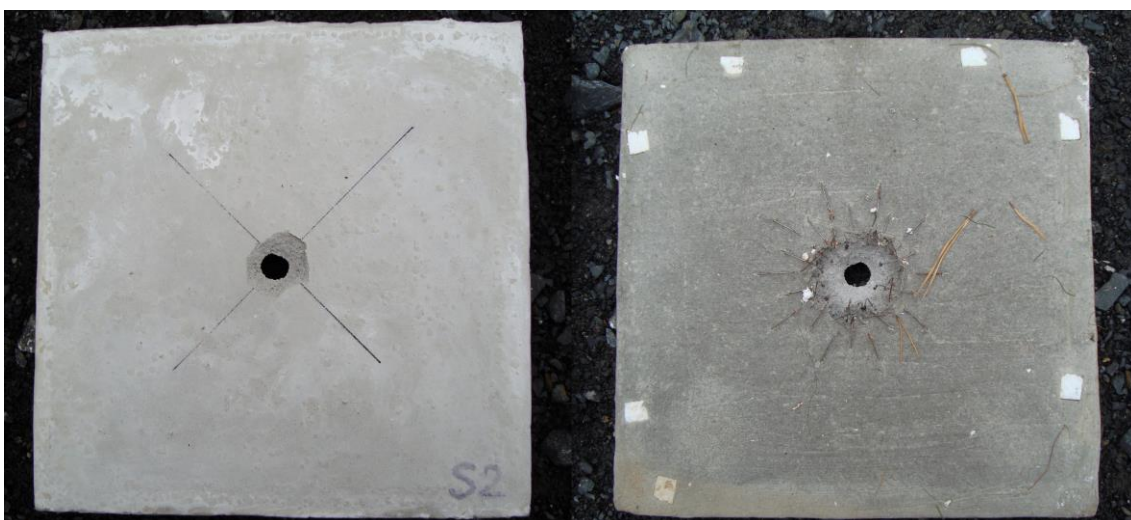


Přední strana	Zadní strana
Detail předního odštěpu	Detail zadního odštěpu
Přední odštěp s pravítkem	Zadní odštěp s pravítkem

SLUNEČNICE – vzorek č. 2



Obr. – přední strana vzorku S2 na střelnici

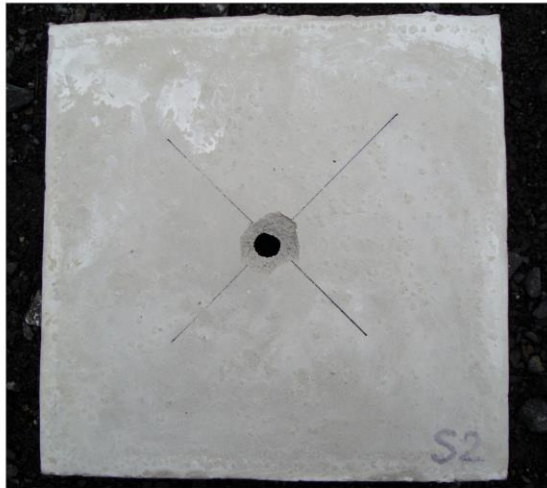


Obr. – přední a zadní strana vzorku S2 po přemístění ze střelnice

U vzorku S2 došlo k průstřelu přímo do středu vzorku. Deformace drátků tedy nejlépe odpovídá úvaze. Při manipulaci na střelnici nedošlo k dodatečnému odrolení.

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku S2:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	4,0	1,8
Zadní	5,0	1,6



Přední strana	Zadní strana
Detail předního odštěpu	Detail zadního odštěpu
Přední odštěp s pravítkem	Zadní odštěp s pravítkem

SLUNEČNICE – vzorek č. 3



Obr. – přední strana vzorku S3 na střelnici

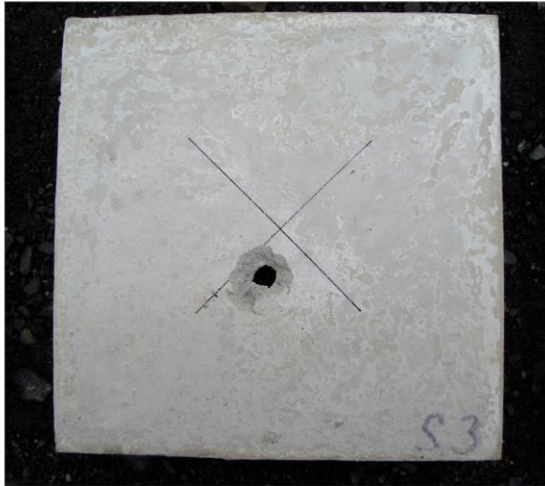


Obr. - přední a zadní strana vzorku S3 po přemístění ze střelnice

U vzorku S3 nedošlo k dodatečnému odrolení materiálu při manipulaci na střelnici. Můžeme si však všimnout, že na přední straně vzorku vznikla puklina. Puklina se však nespojila s odštěpující se částí, beton v této části tedy neodlétl.

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku S3:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	4,5	1,2
Zadní	5,5	1,4

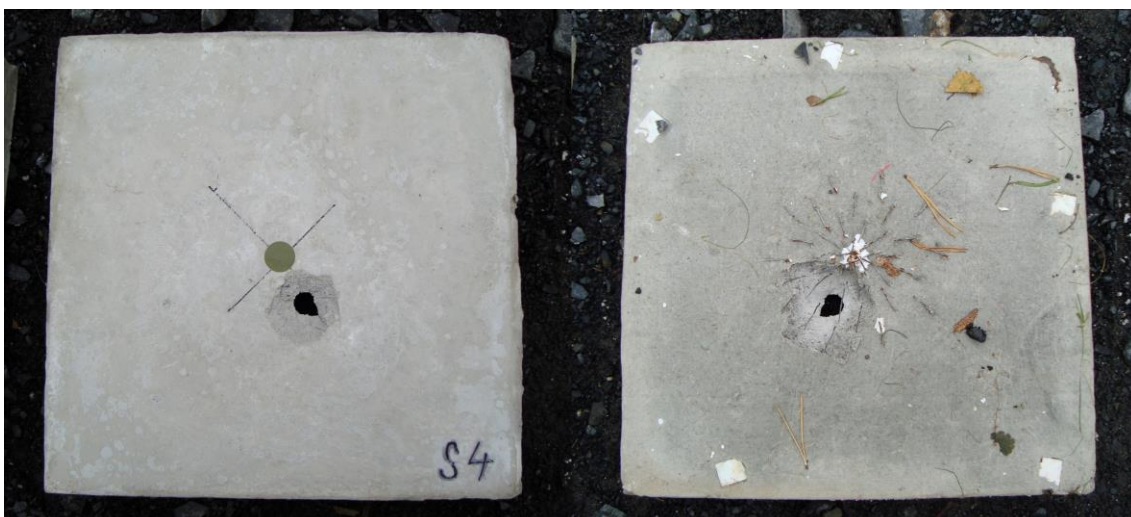


Přední strana	Zadní strana
Detail předního odštěpu	Detail zadního odštěpu
Přední odštěp s pravítkem	Zadní odštěp s pravítkem

SLUNEČNICE – vzorek č. 4



Obr. – přední strana vzorku S4 na střelnici



Obr. – přední a zadní strana vzorku S4 po přemístění ze střelnice

U vzorku S4 vznikl otvor průstřelu v atypickém tvaru. Pravděpodobně zde byla nějaká vada v betonu, případně došlo k prudkému vzniku trhliny. Na povrchu odštěpu si můžeme všimnout i drobného zlomu. Nedošlo zde k dodatečnému odrolení materiálu při manipulaci na střelnici

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku S1:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	4,5	1,8
Zadní	6,0	1,8



Přední strana	Zadní strana
Detail předního odštěpu	Detail zadního odštěpu
Přední odštěp s pravítkem	Zadní odštěp s pravítkem

Příloha č. 10 – Fotografie vzorků – JEŽCI 1

Poznámky:

- U některých vzorků došlo k odpadu potřhaného betonu při přenosu na střelnici, fotografie v textu diplomové práce nemusí naprosto přesně odpovídat fotografiím v příloze
- Fotografie s pravítkem byly doplňovány až cca po měsíci od střelby, u některých vzorků došlo k dalšímu (drobnému) odpadu materiálu

Přehled odštěpů na vzorcích s vyztužením ježek 1:

VZOREK	ODŠTĚP	
	Přední [cm]	Zadní [cm]
J1-1	4,0	6,5
J1-2	4,5	7,4
J1-3	6,2	6,6
J1-4	4,2	6,5

Přehled vzniklých průstřelů:

VZOREK	ROZMĚR PRŮSTŘELU		POZNÁMKY
	Přední [cm]	Zadní [cm]	
J1-1	1,5	1,4	2. kvadrant
J1-2	1,5	1,6	1. kvadrant
J13	1,5	1,6	Střed
J14	1,6	1,5	Střed

JEŽCI 1 – vzorek č. 1



Obr. – přední strana vzorku J1-1 na střelnici

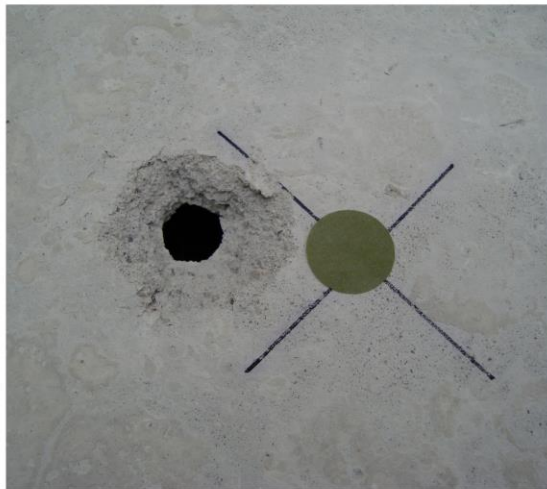
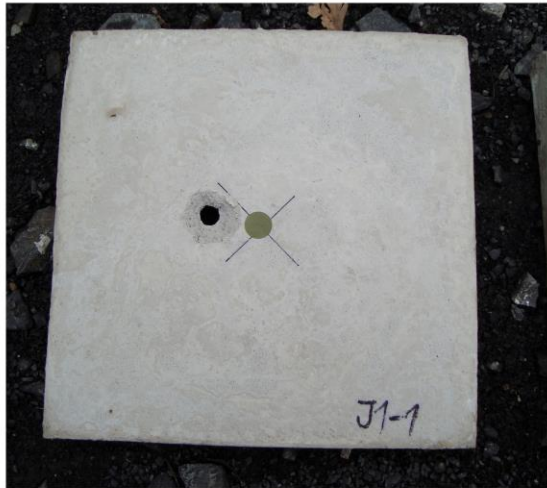


Obr. – přední a zadní strana vzorku J1-1 po přemístění ze střelnice

U vzorku J1-1 nedošlo k dodatečnému odrolení materiálu při manipulaci na střelnici

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku J1-1:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	4,0	1,5
Zadní	6,5	1,4

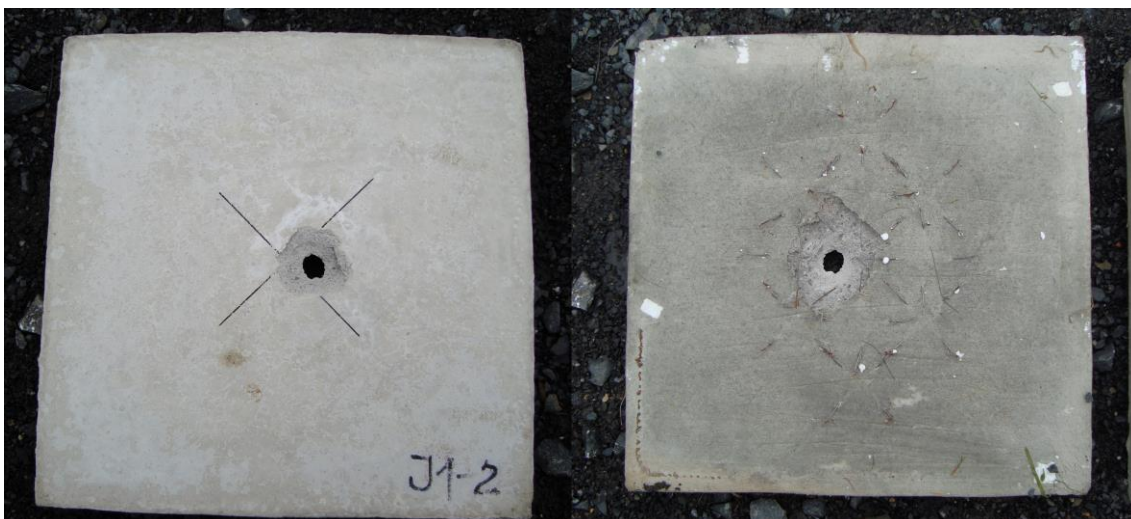


Přední strana	Zadní strana
Detail předního odštěpu	Detail zadního odštěpu
Přední odštěp s pravítkem	Zadní odštěp s pravítkem

JEŽCI 1 – vzorek č. 2



Obr. – přední strana vzorku J1-2 na střelnici

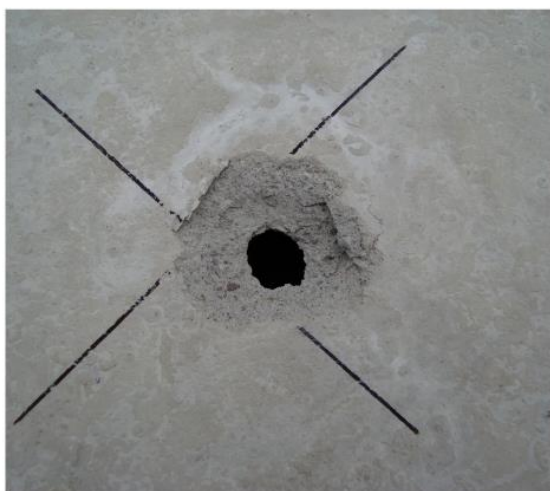
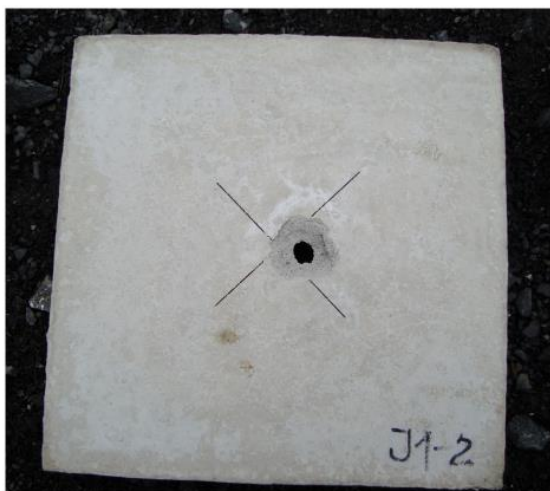


Obr. – přední a zadní strana vzorku J1-2 po přemístění ze střelnice

Vzorek J1-2 zůstal ve stejném stavu i po přesunu ze střelnice. Nedošlo u něj k dodatečnému odrolení materiálu.

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku J1-2:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	4,5	1,5
Zadní	7,4	1,6



Přední strana	Zadní strana
Detail předního odštěpu	Detail zadního odštěpu
Přední odštěp s pravítkem	Zadní odštěp s pravítkem

JEŽCI 1 – vzorek č. 3



Obr. – přední strana vzorku J1-3 na střelnici



Obr. – přední a zadní strana vzorku J1-3 po přemístění ze střelnice

Na výše uvedených fotografiích si můžeme všimnout, že na vzorku J1-3 došlo ke vzniku velké pukliny. Materiál se v tomto místě oddělil, ale zůstal na místě. Při přesunu vzorku v prostorech střelnice došlo k dodatečnému uvolnění tohoto materiálu.

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku J1-3:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	6,2	1,5
Zadní	6,6	1,6

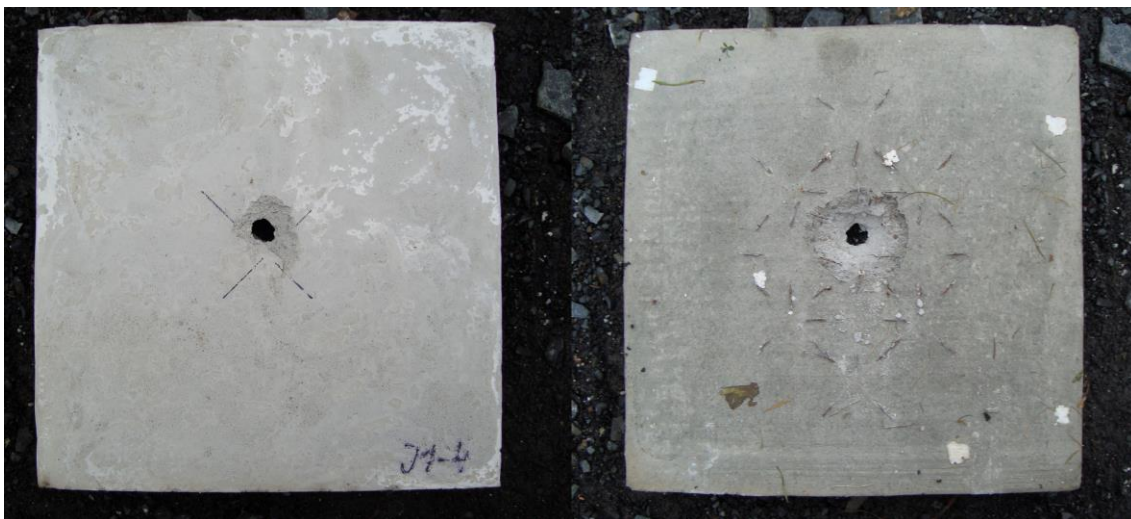


Přední strana	Zadní strana
Detail předního odštěpu	Detail zadního odštěpu
Přední odštěp s pravítkem	Zadní odštěp s pravítkem

JEŽCI 1 – vzorek č. 4



Obr. – přední strana vzorku J1-4 na střelnici



Obr. – přední a zadní strana vzorku J1-4 po přemístění ze střelnice

U vzorku J1-4 došlo ke vzniku pukliny, jak si můžeme všimnout na výše uvedených fotografiích. V místě této pukliny zůstal oddělený materiál držet na svém místě. Díky tomu je tvar předního odštěpu nepravidelný. Nedošlo k dodatečnému odrolení materiálu.

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku J1-4:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	4,2	1,6
Zadní	6,5	1,5



Přední strana	Zadní strana
Detail předního odštěpu	Detail zadního odštěpu
Přední odštěp s pravítkem	Zadní odštěp s pravítkem

Příloha č. 11 – Fotografie vzorků – JEŽCI 2

Poznámky:

- U některých vzorků došlo k odpadu potřhaného betonu při přenosu na střílnici, fotografie v textu diplomové práce nemusí naprosto přesně odpovídat fotografiím v příloze
- Fotografie s pravítkem byly doplňovány až cca po měsíci od střelb, u některých vzorků došlo k dalšímu (drobnému) odpadu materiálu

Přehled odštěpů na vzorcích s vyztužením ježek 2:

VZOREK Označení	ODŠTĚP	
	Přední [cm]	Zadní [cm]
J2-1	3,5	5,4
J2-2	3,5	7,0
J2-3	3,1	5,5
J2-4	5,3	6,1

Přehled vzniklých průstřelů:

VZOREK Označení	ROZMĚR PRŮSTŘELU		POZNÁMKY Poloha průstřelu
	Přední [cm]	Zadní [cm]	
J2-1	1,4	1,3	4. kvadrant
J2-2	1,2	1,4	střed
J2-3	1,2	1,4	4. kvadrant
J2-4	1,8	1,6	3. kvadrant

JEŽCI 2 – vzorek č. 1



Obr. – přední strana vzorku J2-1 na střelnici



Obr. – přední a zadní strana vzorku J2-1 po přemístění ze střelnice

U vzorku J2-1 došlo ke vzniku pukliny, ze které se však úplně oddělila jen část materiálu. Na přední straně odštěpu si můžeme všimnout drobné hrany. V místě zmíněné hrany jsou také vidět malé trhliny, které se rozbíhají od konce hrany. U tohoto vzorku nedošlo k dodatečnému odrolení materiálu při přesunu v prostorech střelnice.

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku J2-1:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	3,5	1,4
Zadní	5,4	1,3

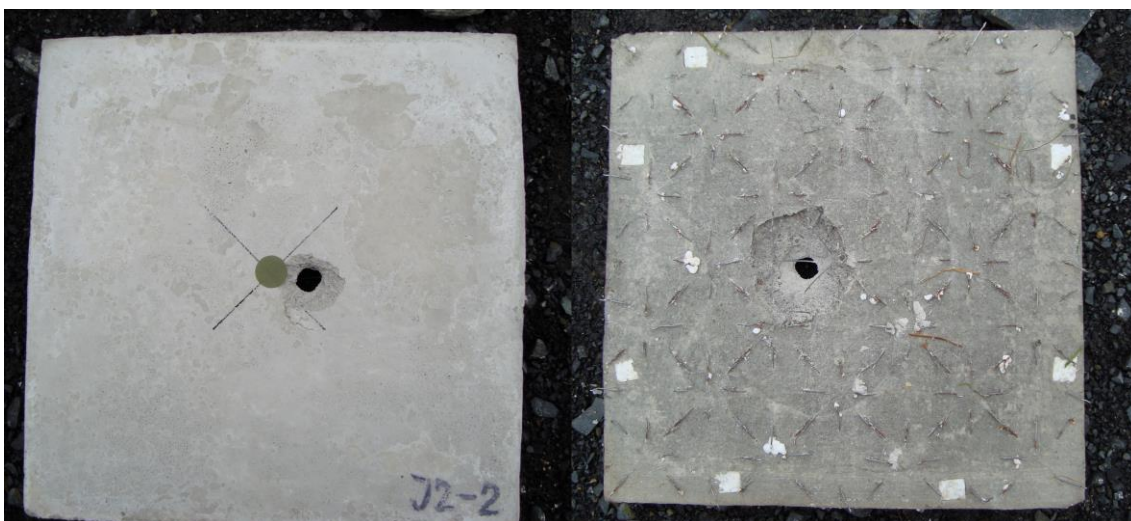


Přední strana	Zadní strana
Detail předního odštěpu	Detail zadního odštěpu
Přední odštěp s pravítkem	Zadní odštěp s pravítkem

JEŽCI 2 – vzorek č. 2



Obr. – přední strana vzorku J2-2 na střelnici

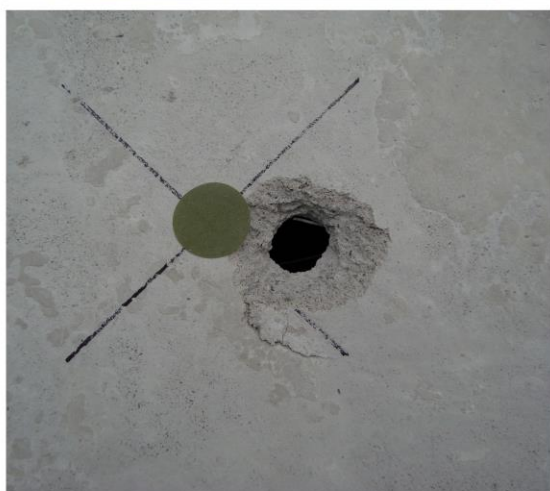


Obr. – přední a zadní strana vzorku J2-2 po přemístění ze střelnice

U vzorku J2-2 došlo ke vzniku pukliny pod spodní částí předního odštěpu. V místě této pukliny zůstal oddělený materiál držet na svém místě. Při přesunu vzorku v prostorech střelnice nedošlo k dodatečnému odrolení materiálu.

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku J2-2:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	3,5	1,2
Zadní	7,0	1,4

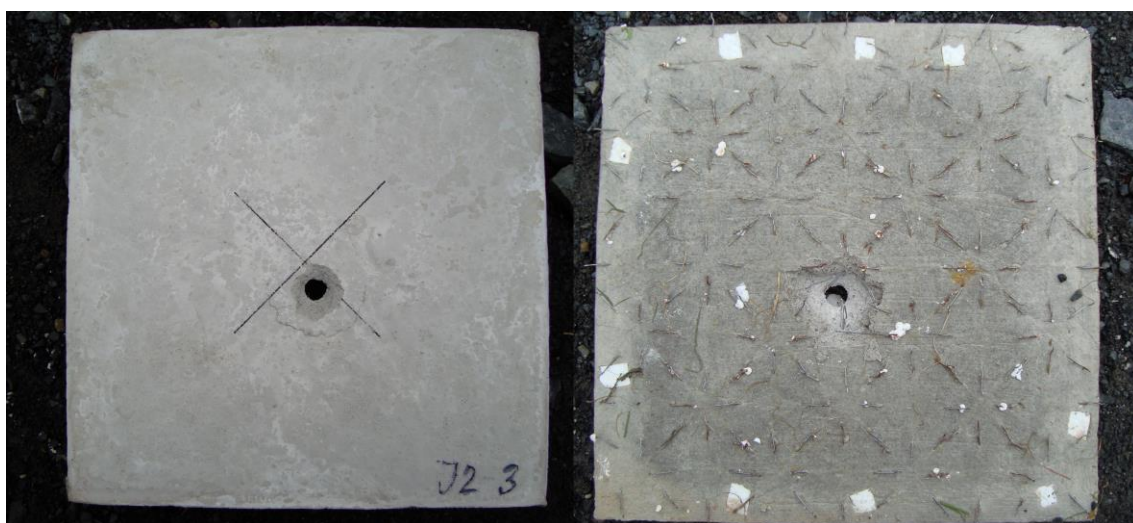


Přední strana	Zadní strana
Detail předního odštěpu	Detail zadního odštěpu
Přední odštěp s pravítkem	Zadní odštěp s pravítkem

JEŽCI 2 – vzorek č. 3



Obr. – přední strana vzorku J2-3 na střelnici

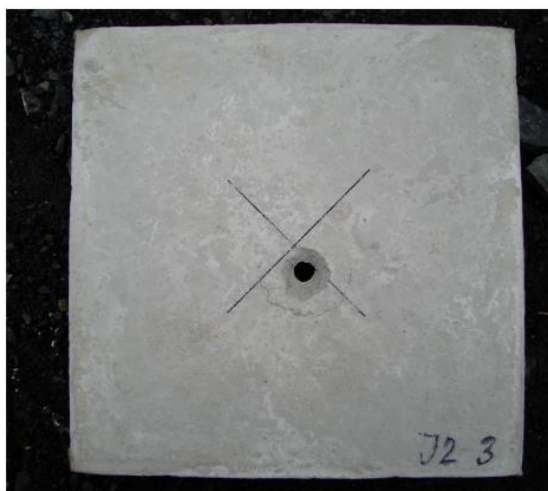


Obr. – přední a zadní strana vzorku J2-3 po přemístění ze střelnice

Na vzorku J2-3 je velmi dobře vidět účinek drátků. Na přední straně vzorku došlo ke vzniku kruhové pukliny. Tato puklina obepisuje, zhruba ve vzdálenosti 1,35 cm, tvar předního odštěpu. Materiál v místě pukliny byl přidržen drátky a nedošlo tedy k jeho uvolnění. Při přesunu vzorku nedošlo k dodatečnému odrolení materiálu. Podrobnější fotografie viz. Příloha č. 10

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku J2-3:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	3,1	1,2
Zadní	5,5	1,4

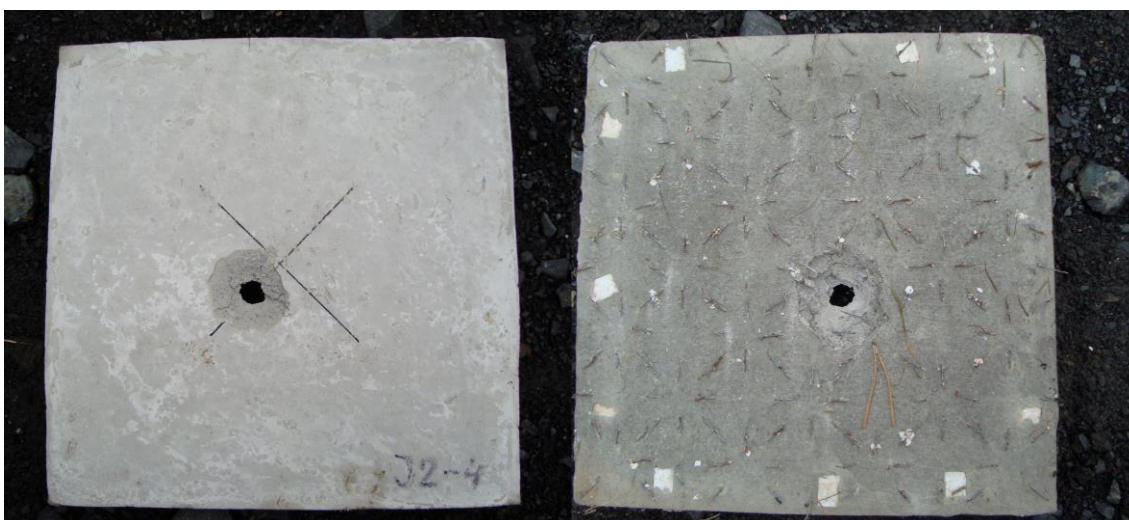


Přední strana	Zadní strana
Detail předního odštěpu	Detail zadního odštěpu
Přední odštěp s pravítkem	Zadní odštěp s pravítkem

JEŽCI 2 – vzorek č. 4



Obr. – přední strana vzorku J2-4 na střelnici

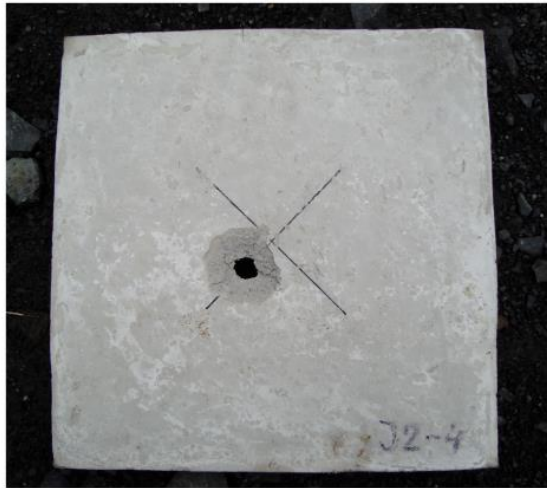


Obr. – přední a zadní strana vzorku J2-4 po přemístění ze střelnice

U vzorku J2-4 došlo také ke vzniku pukliny po celém obvodu odštěpu. Ve spodní části došlo k celkovému odlomení materiálu z pukliny. Zbývá část materiálu v puklině se odklonila z roviny desky, zůstala však přidržená drátky. Při přesunu vzorku v prostorech střelnice došlo k odlomení puklého materiálu. Změřené hodnoty odštěpu jsou tedy zkreslené, jelikož byly změřeny až po odlomení materiálu.

Velikost odštěpu a průstřelu na vzorku J2-4:

Strana vzorku	Odštěp [cm]	Průstřel [cm]
Přední	5,3	1,8
Zadní	6,1	1,6



Přední strana	Zadní strana
Detail předního odštěpu	Detail zadního odštěpu
Přední odštěp s pravítkem	Zadní odštěp s pravítkem