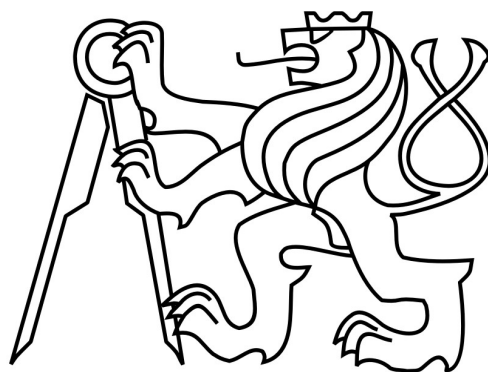


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Experimentální centrum



Bakalářská práce

Vojtěch Pommer



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Pommer Jméno: Vojtěch Osobní číslo: 410085

Zadávací katedra: Experimentální centrum (k210)

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Balistická odolnost vysokohodnotného vlákny vyztuženého cementového kompozitu vůči vícenásobnému dopadu projektilu

Název bakalářské práce anglicky: Ballistic resistance of high-performance fibre-reinforced cementitious composite against multiple projectile impact

Pokyny pro vypracování:

Literární rešerše ultra vysokohodnotných a vysokohodnotných cementových kompozitů s rozptýlenou ocelovou výztuží v podobě ocelových mikro vláken.

Prozkoumání současného stavu poznání v oblasti balistické odolnosti cementových kompozitů.

Návrh experimentálního programu pro splnění cílů bakalářské práce, výroba vzorků pro experimentální ověření.

Provedení experimentů, vyhodnocení a popsání odolnosti, odezvy a poškození cementových kompozitů po vícenásobném dopadu projektilu.

Závěr a shrnutí výsledků, popřípadě návrh na další bádání v dané oblasti.

Seznam doporučené literatury:

Energy absorption capacity of a sustainable Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC) in quasi-static mode and under high velocity projectile impact. Cement and Concrete Composites, Volume 68, April 2016, Pages 109-122.

Mix Design of UHPFRC and its Response to Projectile Impact. International Journal of Impact Engineering, Volume 63, January 2014, Pages 158-163.

Resistance of slim UHPFRC targets to projectile impact using in-service bullets. International Journal of Impact Engineering, Volume 76, February 2015, Pages 166-177.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Radoslav Sovják, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 20.2.2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017

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 bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v bakalářské 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“.

20.2.2017

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího Ing. Radoslava Sovjáka, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

.....

podpis

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu práce Ing. Radoslavu Sovjákovi, Ph.D. za odborné a trpělivé vedení při zpracování práce. Také všem, kteří se podíleli na nastřílení vzorků na střelnici, především pak střelci, kterým byl Ing. Jan Zatloukal, Ph.D. také bych rád poděkoval rodině a přátelům, kteří mi byli po celou dobu studia oporou.

Název práce česky

Balistická odolnost vysokohodnotného vlákny
vyztuženého cementového kompozitu vůči
vícenásobnému dopadu projektilu

Název práce anglicky

Ballistic resistance of high-performance fiber-reinforced
cementitious composite against multiple projectile
impact

Anotace:

Cílem práce je zjištění míry ovlivnění poškození balisticky odolného kompozitu při změně rozpětí dopadu projektilu. Především pro účely zkoušení tzv. multi-hitu. Práce se zabývá především hloubkou penetrace, objemem kráterů a plochou kráterů. V práci se podařilo zjistit do jaké vzdálenosti se projektily ovlivňují a od jaké vzdálenosti se již neovlivňují

Klíčová slova: *UHPFRC, Multi-hit, hloubka penetrace, balistická odolnost*

Abstract:

Thesis objective is the determination of the damage extent of a ballistically resistant composite at the change of projectile impact span. Primarily for the purpose of testing the so-called multi-hit. The thesis focuses mainly on depth of penetration, crater volume and crater area. The distances on which the projectiles have and on which do not have affect on each other were determined.

Keywords: *UHPFRC, Multi-hit, depth of penetration, ballistic resistance*

Obsah

Seznam příloh	2
Seznam obrázků	3
Seznam tabulek.....	5
Seznam použitých symbolů	6
1 Úvod.....	7
2 Přehled o současném stavu problematiky	7
2.1 Vysokopevnostní betony (UHPC).....	8
2.2 Vláknobeton	9
2.3 Balisticky odolný kompozit	9
2.4 Munice.....	10
2.5 Návrh a princip experimentu.....	12
3 Výroba a zkoušky vzorků	14
3.1 Výroba vzorků.....	15
3.2 Příprava vzorků na střelnici.....	17
3.3 Průběh zkoušky na střelnici.....	17
4 Vyhodnocení	18
4.1 Průběh vyhodnocení zkoušky.....	18
5 Výsledky	28
5.1 Hloubka penetrace.....	28
5.2 Plocha kráteru.....	30
5.3 Objem kráteru.....	32
6 Závěr.....	34
Přílohy	35
Literatura	67

Seznam příloh

[1] Příloha 1 (str.35) – Grafy kráterů ze scanneru

Seznam obrázků

Obr. 2.3.1: Rozložení Multi-hit	10
Obr. 2.4.1: Řez nábojem	10
Obr. 2.4.2: Řezy používaných nábojů	11
Obr. 2.5.1: Rozdělení vzdálenosti na deskách	12
Obr. 2.5.2: Hloubka penetrace projektilu	12
Obr. 2.5.3: Vývoj plochy	13
Obr. 2.5.4: Předpokládaný vývoj hodnot	13
Obr. 2.5.5: Matematický model	14
Obr. 3.1.1: Ocelové bednění	15
Obr. 3.1.2: Míchané složky	15
Obr. 3.1.3: Odbedněná destička	16
Obr. 4.1.1: Řez MSC a SLC	19
Obr. 4.1.2: Kontrolní vzorek MSC	20
Obr. 4.1.3: 200 mm MSC	20
Obr. 4.1.4: 150 mm MSC	20
Obr. 4.1.5: 125 mm MSC	20
Obr. 4.1.6: 100 mm MSC	20
Obr. 4.1.7: 75 mm MSC	20
Obr. 4.1.8: 50 mm MSC	21
Obr. 4.1.9: 25 mm MSC	21
Obr. 4.1.10: 0 mm (přední) MSC	21
Obr. 4.1.11: 0 mm (zadní) MSC	21
Obr. 4.1.12: Kontrolní vzorek SLC	21
Obr. 4.1.13: 200 mm SLC	21
Obr. 4.1.14: 150 mm SLC	22
Obr. 4.1.15: 125 mm SLC	22
Obr. 4.1.16: 100 mm SLC	22
Obr. 4.1.17: 75 mm SLC	22
Obr. 4.1.18: 50 mm SLC	22
Obr. 4.1.19: 25 mm SLC	22
Obr. 4.1.20: 0 mm (přední) SLC	23

Obr. 4.1.21: 0 mm (zadní) SLC	23
Obr. 5.1.1: Vysvětlení grafů	29
Graf. 5.1.1: Hloubka penetrace MSC	29
Graf. 5.1.2: Hloubka penetrace SLC	30
Graf. 5.2.1: Plocha kráteru MSC	31
Graf. 5.2.2: Plocha kráteru SLC	31
Obr. 5.3.1: Vysypání kráterů pískem.....	32
Graf. 5.3.1: Objem kráterů MSC	33
Graf. 5.3.2: Objem kráterů SLC	33

Seznam tabulek

Tab. 3.2.1: Objemová hmotnost	17
Tab. 4.1.1: Ztráta hmotnosti, hmotnostní objem	18
Tab. 4.1.2: Plochy, rychlosti.....	23
Tab. 4.1.3: DOP, výpočtový objem pro MSC	24
Tab. 4.1.4: Pískový objem MSC.....	25
Tab. 4.1.5: DOP, výpočtový objem pro MSC	26
Tab. 4.1.6: Pískový objem MSC.....	27

Seznam použitých symbolů

m_i	[kg]	hmotnost
t_i	[mm]	tloušťka desky
t_{ekv}	[mm]	zprůměrovaná tloušťka desky
ρ	[kg/m ³]	objemová hmotnost
V_m	[cm ³]	hmotnostní objem
A_i	[cm ²]	plocha
v_i	[m/s]	rychlost projektilů
d_i	[cm]	hloubka penetrace
l	[cm]	rozpětí dopadu projektilů
V_v	[cm ³]	výpočtový objem
V_p	[cm ³]	pískový objem

1 Úvod

V dnešní době rychlých aut, těžkých nákladních aut a teroristických útoků jsou na konstrukce kladeny větší požadavky. Tato práce se zabývá vlastnostmi balisticky odolných kompozitů, které mají v dnešní době velké využití od odpadkových košů odolných proti výbuchům, přes konstrukce zajišťující bezpečnost na silnicích (svodidla, ochrana mostních pilířů, atd.), až po obklady či celé konstrukční prvky u více ohrožených budov (nádražní haly, divadla, úřady, atd.). Tyto materiály mají za úkol ochraňovat zdraví a životy lidí. [5]

Tato práce se nejdříve zabývá současným stavem problematiky. Následně vysvětluje základní pojmy pro pochopení toho co to UHPFRC (Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete) vlastně je. A na závěr je velká část věnována principu experimentu, jeho průběhu a vyhodnocení.

2 Přehled o současném stavu problematiky

Výzkum balistické odolnosti stavebních materiálů se částečně zastavil po druhé světové válce. Tehdy byly zkoumány dostupné stavební materiály, které se v dnešní době již povětšinou nepoužívají. Tyto návrhové postupy a výsledky tedy nelze aplikovat na dnešní moderní materiály, a proto je nutné zkoumat současné materiály na balistickou odolnost.

Co se balistické odolnosti týká, tak v této práci se zabýváme UHPFRC. UHPFRC je moderní cementový kompozit o vysoké pevnosti vyztužený vlákny. Jeho využití je uvažováno například pro policii či armádu na stavbu krytů a zátaras. Aktuálně je vyvíjen a zkoušen systém prefabrikovaných desek, které pohodlně unesou dva lidé a jsou z nich schopni rychle postavit balisticky odolný úkryt.

Největší konkurencí tohoto systému je prostý pytel s pískem. Nevýhodou tohoto systému je skutečnost, že se jedná o pytlovinu, která ve venkovním prostředí za působení vlhkosti podléhá celkem rychle rozpadu, také zde není zaručena kvalita (jak materiálu, kterým se plní, tak jeho hutnění) a zároveň po prvním zásahu se samozřejmě plnicí materiál (písek) začne sypat ven. Zatímco prefabrikované desky z UHPFRC tyto nevýhody nemají. Jejich odhadovaná životnost je 100-200 let (odhadovaná je proto, že tento materiál se vyrábí krátce

a hodnoty jsou jen ze zrychlených laboratorních zkoušek), po zásahu se nevysypou a jelikož se jedná o „beton“, tak jsme schopni zaručit jeho vlastnosti.

2.1 Vysokohodnotné betony (UHPC)

Jako vysokohodnotné betony jsou nazývány betony, které splňují nejen vysoké požadavky na pevnost, ale i jiné vlastnosti např. spojené s trvanlivostí.[2]

Pevnost betonu v tlaku odvozená z meziatomárních sil je teoreticky třikrát větší než pevnost dosažitelná běžnými technologiemi, což je 110MPa. Technologicky nelze předem ovlivnit vznik pórů, trhlin a dutin, ve kterých se koncentruje napětí při zatěžování. Lze ale dosáhnout dílčích úspěchů respektováním určitých zásad jako jsou: nízký vodní součinitel, nízká mezerovitost ve ztuhnutém stavu a použití cementu o vysokém měrném povrchu.

Výzkumy prokázaly, že pevnost, trvanlivost a mrazuvzdornost jsou funkcí pórovitosti betonu, proto je nutné obsah pórů ve struktuře betonu snížit. Obsah pórů lze minimalizovat snížením vodního součinitele, přidáním mikroplniv (křemičité úlety, popílky), optimalizováním křivky zrnitosti, důkladným ztuhnutím čerstvého betonu. [1]

Vodní součinitel lze snížit za pomoci plastifikátorů, které mění náboj cementových zrn na záporný, což způsobuje, že se zrna navzájem odpuzují a molekuly vody se k nim snáze dostanou, čímž se sníží obsah vody a zároveň i pórů, které vznikají po odpaření přebytečné záměšové vody (nepotřebné k hydrataci cementových zrn). [1]

Mikroplniva vyplňují póry ve zhydratované cementové pastě, odkud vytlačují přebytečnou vodu a tím také snižují vodní součinitel. U většiny mikroplniv zároveň probíhají pucolánové reakce, při kterých vznikají podobné produkty jako u hydratace cementových zrn (CSH gely), které také přispívají ke zvýšení pevnosti betonu. [1]

Betony s pevností vyšší jak 50 MPa jsou nazývány vysokopevnostní, betony s pevností větší jak 150MPa nazýváme ultravysokopevnostní betony. [4]

V dnešní době jsou vyvíjeny prefabrikované cementové směsi, u kterých jde především o rychlost výroby, rychlý nárůst mechanických vlastností a dlouhou trvanlivost. [3]

2.2 Vlákno-beton

Pojmem vlákno-beton je označován beton, který má ve své struktuře rozptýlená vlákna. Důležité je, aby vlákna v betonu byla rozptýlená rovnoměrně, nesmí docházet k vytváření shluků (ježků), čímž je zajištěna homogenita betonové směsi. Obsah vláken ve směsi se pohybuje do 3 %. Výzkumy prokázaly, že vyšší obsah vláken nezajišťuje výrazně lepší vlastnosti, ba naopak v některých případech se při přidání vyššího obsahu vláken vlastnosti betonu ještě zhoršily. [1]

Vlákna mohou být různých délek (krátká, dlouhá), tvarů (rovná, vlnitá, s koncovou úpravou), materiálů (polymerové, ocelové, uhlíkové, skleněné). Zároveň všechny druhy vláken mají pozitivní vliv na snížení smršťovacích trhlin.

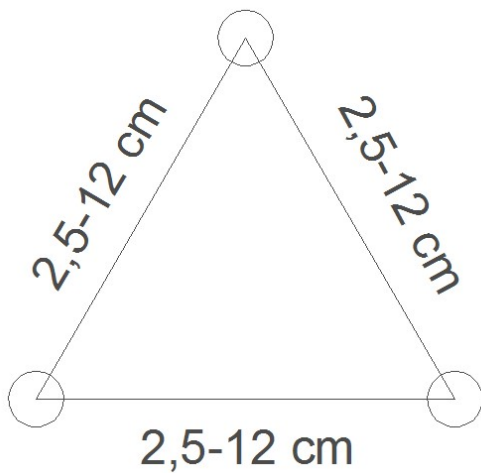
Délka vláken ovlivňuje především tloušťku konstrukce. Tvar vláken ovlivňuje jeho soudržnost s betonem, především zda se po porušení betonu vlákna vytrhnou nebo přetrhnou. Materiál vláken ovlivňuje další vlastnosti betonu: pevnost v tlaku, pevnost v tahu, trvanlivost, protipožární odolnost, a další. [1]

Drátkobeton je typ vlákno-betonu vyztužený ocelovými vlákny (drátky). U ocelových vláken má délka vláken vliv také na pevnost. Kratší vlákna zlepšují především pevnost v tlaku, delší vlákna pevnost v tahu. [4]

2.3 Balisticky odolný kompozit

Balisticky odolný kompozit je takový kompozit, u kterého nedochází k tzv. křehkému lomu. Oproti tradičním silikátovým kompozitům má výrazně vyšší pevnosti v tahu. Aby mohl být kompozit nazýván jako balisticky odolný, je nutné, aby z něj po porušení neodlétaly menší či větší kusy, které poté samy mohou působit jako projektily. Z výše uvedeného důvodu se tyto kompozity vyztužují vlákny. Vlákna v materiálu zajišťují, aby se materiál i po dosažení meze pevnosti nerozpadl, a tím zvyšují jeho schopnost pohltit co nejvíce mechanické energie.[5]

Pro kvalitní balistickou ochranu je na materiály kladen požadavek, aby vzdorovaly vícenásobnému zásahu (Multi-hit), při kterém zásahy směřují blízko sebe ve tvaru rovnoramenného trojúhelníku o délce strany 2,5-12 cm (obr. 2.3.1), kdy se předpokládá ovlivnění míry poškození materiálu deformací po předchozím zásahu a vznikem mikrotrhlin, které nejsou pouhým okem viditelné, ale ovlivňují pevnost materiálu. [7]



obr. 2.3.1 – Rozložení Multi-hit

Tato práce zkoumá míru porušení balisticky odolného kompozitu na silikátové bázi při zásahu projektilem. Experiment byl proveden na destičkách z UHPC a ocelových mikrovláken vysoké pevnosti. Cílem experimentu je prokázat závislost porušení na vzdálenosti a zjistit do jaké vzdálenosti se střely ovlivňují a od jaké již nikoli.

2.4 Munice

Pro pochopení a vyhodnocení výsledků je v této práci velice důležitá munice, z tohoto důvodu je nutné nejprve objasnit některé pojmy:

Ráže

Je vnitřní smluvní průměr hlavně uváděný v milimetrech (9,7.62, atd.) případně v palcích (0.45, 0.380, atd.) [9]

Konstrukce náboje (obr.2.4.1)



obr.2.4.1- Řez nábojem [11]

Typy střel

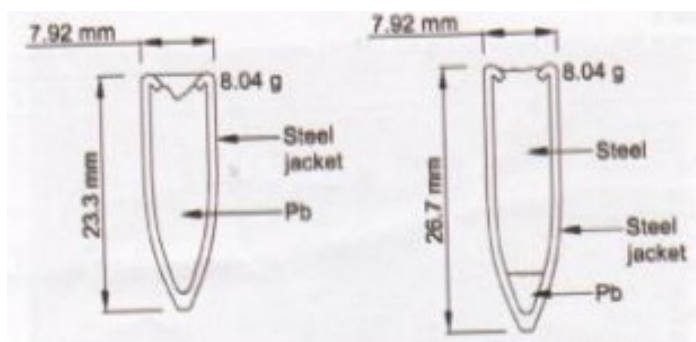
- **Olověné** - jsou levné, vznikají po nich olověné usazeniny v hlavni
- **Poloplášťové** - na hrotu odhalené olovo, po obvodu/ v zadní části je plášť z jiného materiálu
- **Celoplášťová** - celá střela je potažena jiným materiálem
- **S ocelovým jádrem** - projektil je z tvrdé oceli
- **Svítící**
- **Střely se zápalnou složkou**
- **Tvrdé kalené jádro**

Kategorie použití

- *Malorážkové/Pistolové/Revolverové náboje*
- *Puškové náboje*
- *Brokové náboje*

[9]

V této práci se používají puškové celoplášťové střely s tvrdým (MSC - Mild-Steel Core) a měkkým (SLC - Soft-Lead Core) jádrem (obr.2.4.2)

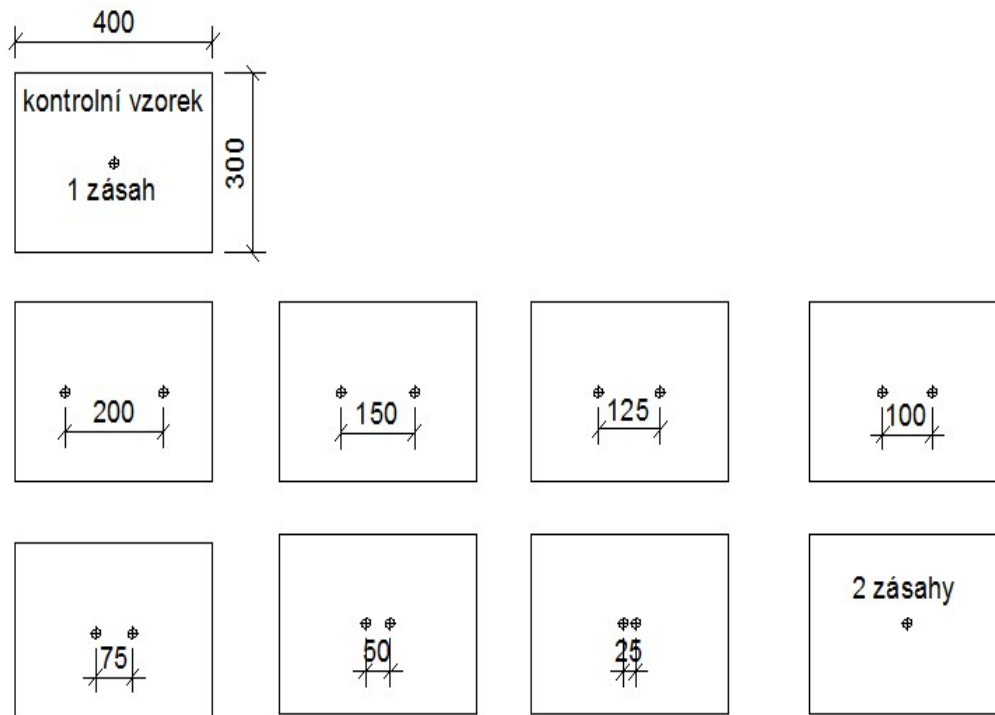


obr. 2.4.2- řezy používaných nábojů [8]

2.5 Návrh a princip experimentu

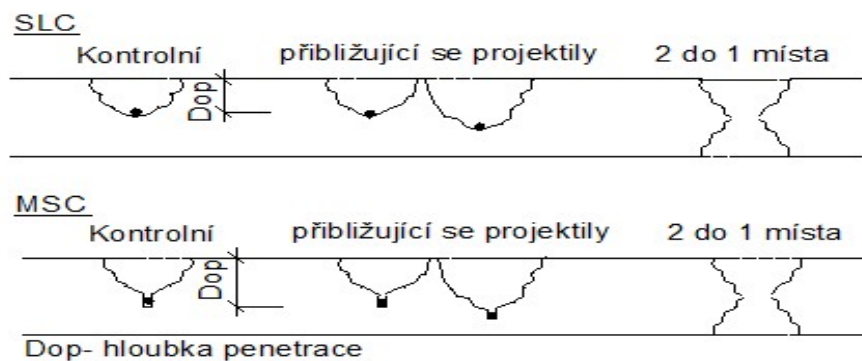
Tento experiment by měl zjistit, jaká je závislost hloubky penetrace, plochy a objemu kráteru po dopadu projektilu v závislosti na jejich vzdálenosti. Základní předpoklad je, že by bližší zásahy, měli způsobovat větší a hlubší krátery.

Vyrobeno bylo 18 vzorků, které byly rozděleny na 2 sady po 9 kusech, kde byly vzdálenosti jednotlivých zásahů rozděleny dle následujícího schématu (obr.2.5.1):



obr. 2.5.1- rozdělení vzdálenosti na deskách

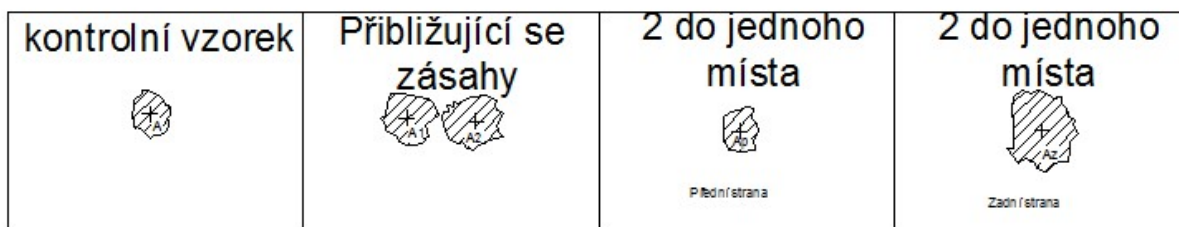
Do jedné ze sad se střílelo střelami s měkkým jádrem (SLC) a do druhé střelami s tvrdým jádrem (MSC). Předpokladem je, že s přibližující se vzdáleností, by se měla zvětšovat i hloubka penetrace projektilu (2.5.2).



obr. 2.5.2- Hloubka penetrace projektilu

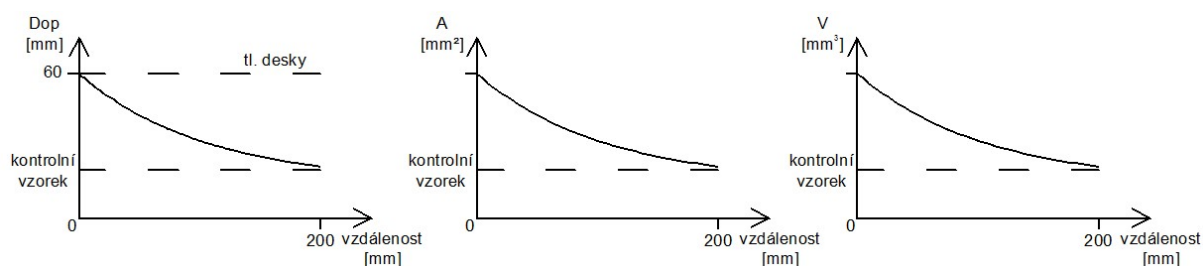
Hypotéza experimentu předpokládá, že s přibližující se vzdáleností zásahu projektilů, se bude zvětšovat i velikost plochy poškození na zkušebních vzorcích (2.5.3).

Vývoj plochy kráterů



obr. 2.5.3- Vývoj plochy

Výsledkem experimentu by měly být grafy, které budou znázorňovat hloubku penetrace v závislosti na vzdálenosti zásahů, plochu poškození desky v závislosti na vzdálenosti zásahů a objem kráterů v závislosti na vzdálenosti zásahů. Předpokládaný průběh grafů (obr.2.5.4):



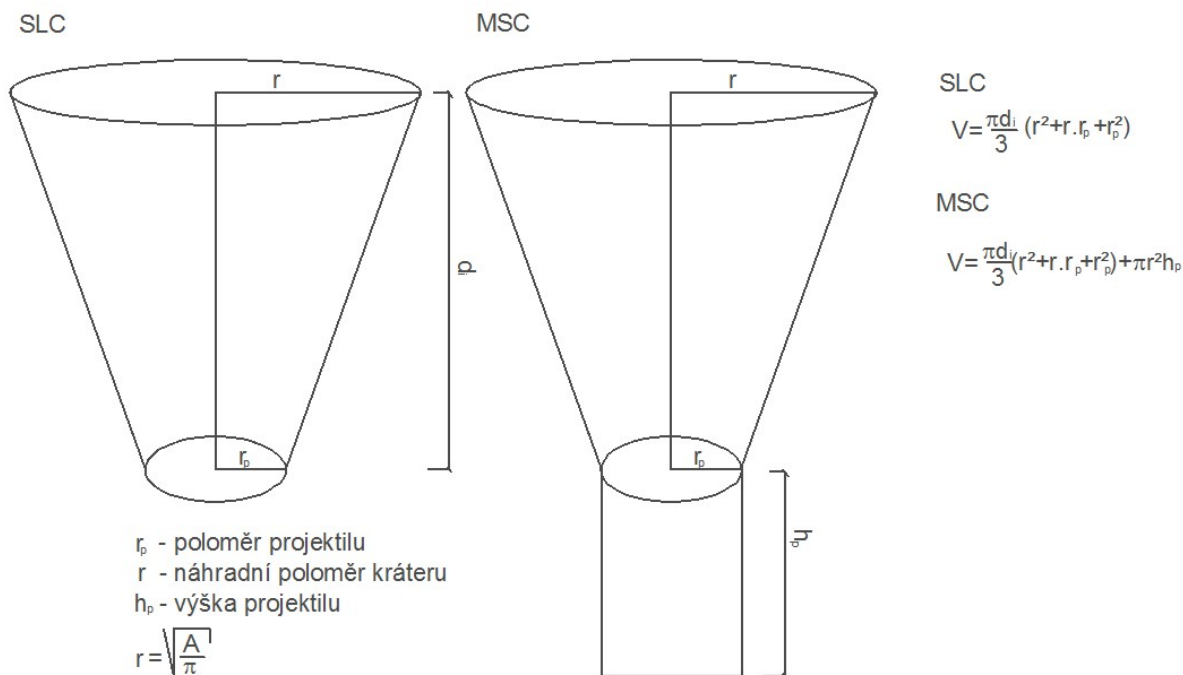
obr. 2.5.4- předpokládaný vývoj hodnot

Hloubka penetrace (DOP) se změří posuvným měřidlem a na laserovém scanneru.

Plocha bude změřena z fotografií za pomoci softwaru.

Objem se bude měřit různými způsoby:

- 1) výpočtem z objemové hmotnosti destiček a úbytku jejich hmotnosti po průstřelu
- 2) vysypáním kráterů pískem
- 3) za pomoci matematického modelu za použití plochy a hloubky penetrace (obr.2.5.5)



obr.2.5.5. Matematický model

3 Výroba a zkoušky vzorků

Jako vzorky pro naše zkoušky byly použity destičky 40x30x6 cm, ze suché prefabrikované směsi UHPC[10] vyztužené ocelovými mikrovlákny o vysoké pevnosti.

Složení a vlastnosti suché prefabrikované směsi

„Množství	složka
1	hmotnostní díl pojivé složky
0,1	hmotnostního dílu aktivní formy SiO_2 tzv. mikrosiliky
0,25	hmotnostního dílu křemičité moučky se střední velikostí zrna d_{50} okolo 6 μm
1,6	hmotnostního dílu čistého křemičitého písku plynulé granulometrie 0,1 až 1,2 mm střední velikosti zrna d_{50} okolo 500 μm
0,01	hmotnostního dílu plastifikační přísady
0,001	hmotnostního dílu odpěňovací přísady“[10]

„Přídavkem vláken dochází k významnému zvýšení ohybových pevností zatvrdlého kompozitu a k výraznému zvýšení odolnosti vůči rázovému namáhání, nebo výraznému zvýšení efektivní

lomové energie v závislosti na použitém obsahu ocelových vláken jak vyplývá z následujícího přehledu.

Obsah vláken	Efektivní lomová energie
%	J/m^2
0	80
0,5	3000
1	11 000
2	17 000
3	22 000“ [10]

3.1 Výroba vzorků

Vzorky byly vyráběny ze suché prefabrikované směsi UHPC [10], vody a ocelových mikrovláken v přesně nadefinovaném poměru 16:1,624:1,234 kg.

Prvním krokem výroby bylo složení ocelového bednění (obr. 3.1.1), které bylo následně zapotřebí vymazat odbedňovacím prostředkem. Po přípravě bednění bylo nutné si odvážit a připravit všechny složky kompozitu (obr 3.1.2). Míchání se provádělo na nízkootáčkové míchačce, kde bylo nutné nejprve krátce promíchat suchou prefabrikovanou směs a postupně přidávat požadované množství vody. Po přidání záměsové vody se směs míchala po dobu 5 minut. Následně se přidávala ocelová mikrovlákna, po jejichž přidání se směs míchala dalších 5 minut.



obr.3.1.1 Ocelové bednění



obr.3.1.2 Míchané složky

Výsledná směs měla výbornou zpracovatelnost a medovitou konzistenci, díky které se dobře ukládala do připraveného bednění. Po uložení směsi do bednění bylo nutné směs ztuhnout po dobu 30 s na vibračním stole, bez použití stabilizačních magnetů. Při použití

magnetů by se vlákna ve směsi mohla orientovat jedním směrem a nebyla by tím zaručena homogenita výsledného produktu.

Zhutněná směs, zakrytá igelitem se nechala po dobu 24 h v bedně a poté byla odbedněna (obr.3.1.3). Po odbednění bylo nutné vzorek vložit do kádě s vodou, kde v optimálním prostředí zrál po dobu 28 dní.

Bednění po dokončení výroby vzorku bylo nutné očistit a znovu opakovat celý proces od začátku. Jelikož byly k dispozici jen 3 kusy bedně, bylo nutné celý proces výroby zopakovat několikrát.

Datумы výroby vzorků: VP 1-3 14.2.2017
VP 4-6 15.2.2017
VP 7-9 17.2.2017
VP 10-12 21.2.2017
VP 13-15 22.2.2017
VP 16-18 27.2.2017



obr. 3.1.3 Odbedněná destička

3.2 Příprava vzorků na střelnici

Vzorky byly po 28 dnech vyndány z kádě s vodou a nechaly se oschnout. Den před přepravou vzorků na střelnici byly všechny vzorky zváženy a změřena jejich tloušťka. Poté se z naměřených hodnot spočítala objemová hmotnost (tab. 3.2.1), která se kvůli relevantním výsledkům nesměla lišit o více jak 5 %. Průměrná hustota vzorků $\rho_{\phi} = 2395,572 \text{ kg/m}^3$. Odchylka je vztažena k průměru.

Tabulka 3.2.1 Objemová hmotnost

č. vzorku	m [kg]	t ₁ [mm]	t ₂ [mm]	t ₃ [mm]	t ₄ [mm]	t _{ekv} [mm]	ρ [kg/m ³]	odchylka [%]
1	17.20	59.47	59.80	58.90	58.82	59.25	2419	0.96
2	16.95	58.39	58.30	58.33	58.45	58.37	2420	1.02
3	17.46	60.13	59.74	60.62	60.11	60.15	2418	0.95
4	16.97	58.44	58.26	58.27	58.74	58.43	2420	1.01
5	17.07	58.36	58.57	57.90	58.14	58.24	2442	1.95
6	17.30	59.68	59.29	59.61	59.39	59.49	2423	1.16
7	17.52	60.03	60.58	60.70	60.75	60.52	2413	0.71
8	17.98	63.30	63.55	63.63	63.38	63.47	2361	-1.45
9	17.80	62.74	62.41	63.30	62.69	62.79	2363	-1.38
10	16.88	59.63	58.64	57.71	58.81	58.70	2396	0.04
11	17.18	60.32	59.80	60.84	60.69	60.41	2370	-1.08
12	17.02	59.97	59.52	60.58	60.55	60.16	2358	-1.58
13	17.57	61.15	61.34	61.13	60.79	61.10	2396	0.03
14	17.36	60.69	61.72	60.41	60.36	60.80	2379	-0.70
15	17.30	60.69	61.22	59.85	60.44	60.55	2380	-0.64
16	17.12	59.10	57.33	58.82	60.32	58.89	2422	1.12
17	17.16	61.83	61.30	58.23	57.50	59.72	2395	-0.04
18	17.78	64.39	64.52	62.06	61.72	63.17	2345	-2.09

$$t_{ek} = \frac{\sum_{i=1}^4 t_i}{4} \text{ [mm]} \quad \rho = \frac{m}{0,4 \times 0,3 \times t_{ekv}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

3.3 Průběh zkoušky na střelnici

Zkouška probíhala 12. 4. 2017 za sychravého počasí v odpoledních hodinách.

Na vzorky se střílelo ze samonabíjecí pušky CZ 858, ráže 7,62 mm na vzdálenost 20 m. Při střelbě se také měřila rychlost vystřelených projektilů a byla zapsána i s pořadím střel na vzorky. Střelba proběhla bez problémů a po nastřílení všech vzorků byly vzorky odvezeny zpět na fakultu pro vyhodnocení výsledků zkoušky.

4 Vyhodnocení

4.1 Průběh vyhodnocení zkoušky

Vyhodnocení výsledků zkoušky probíhalo znovu na fakultě, kde bylo, pro zjištění úbytku hmotnosti, zapotřebí nejprve všechny vzorky zvážit. Naneštěstí ve většině vzorků, do kterých se střílelo projektily s tvrdým jádrem (MSC), zůstala jádra, která vážení zkreslila, a proto musela být následně z desek odečtena (tab. 4.1.1).

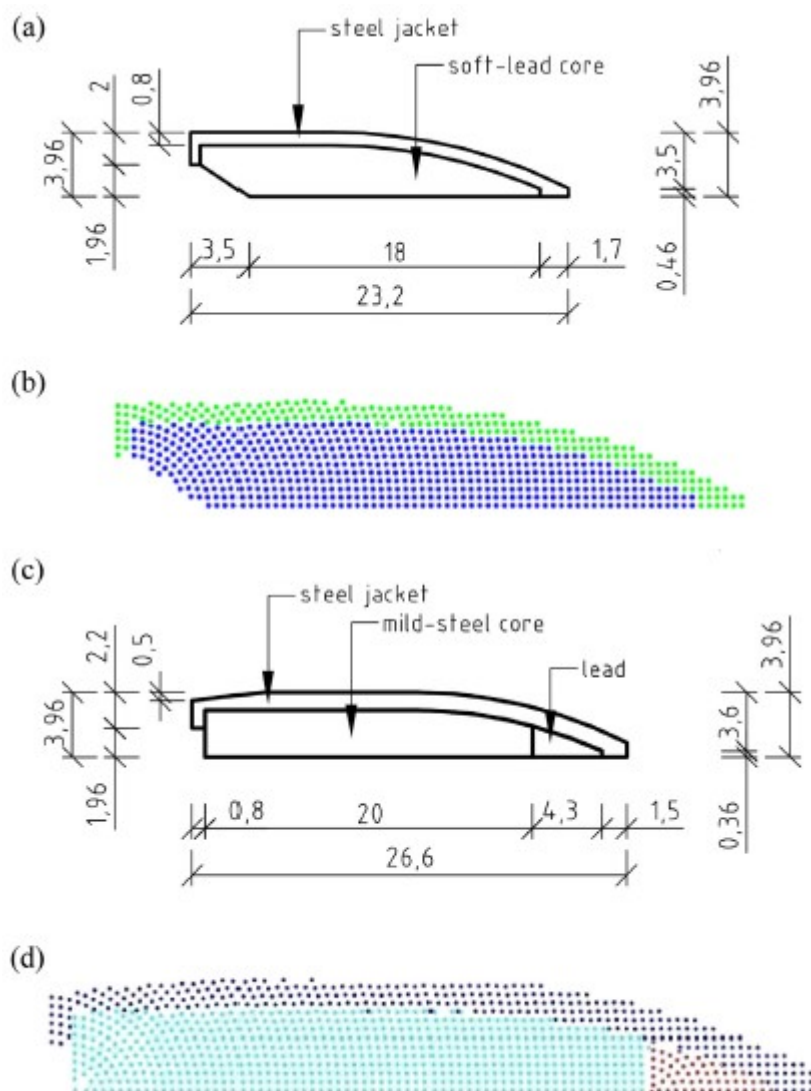
Tabulka 4.1.1 ztráta hmotnosti, hmotnostní objem

č. vzorku	$m_{\text{před zk}}$ [kg]	$m_{\text{po zk}}$ [kg]	počet projektilů	$m_{\text{projektilu}}$ [kg]	$m_{\text{ztráta}}$ [kg]	ρ [kg/m ³]	V_m [cm ³]
1	17.20	17.16	1	0.004	0.036	2419	15.03
2	16.95	16.91	2		0.045	2420	18.59
3	17.46	17.40	2		0.060	2418	24.81
4	16.97	16.92	2		0.045	2420	18.60
5	17.07	17.03	2		0.045	2442	18.42
6	17.30	17.25	2		0.050	2423	20.63
7	17.52	17.44	2		0.085	2413	35.23
8	17.98	17.88	1		0.100	2363	42.32
9	17.80	17.64	1		0.160	2363	67.72
10	16.88	16.84	0		0.045	2396	18.78
11	17.18	17.08	0		0.105	2370	44.31
12	17.02	16.93	0		0.095	2358	40.29
13	17.57	17.47	0		0.100	2396	41.73
14	17.36	17.25	0		0.110	2379	46.24
15	17.30	17.20	0		0.100	2380	42.01
16	17.12	17.04	0		0.080	2422	33.02
17	17.16	17.10	0		0.065	2395	27.14
18	17.78	17.62	0		0.165	2345	70.35

$$m_{\text{ztráta}} = m_{\text{před zk}} - m_{\text{po zk}} - m_{\text{projektilu}} \times \text{počet projektilů} \text{ [kg]}$$

$$V_m = \frac{m_{\text{ztráta}}}{\rho} \text{ [m}^3\text{]}$$

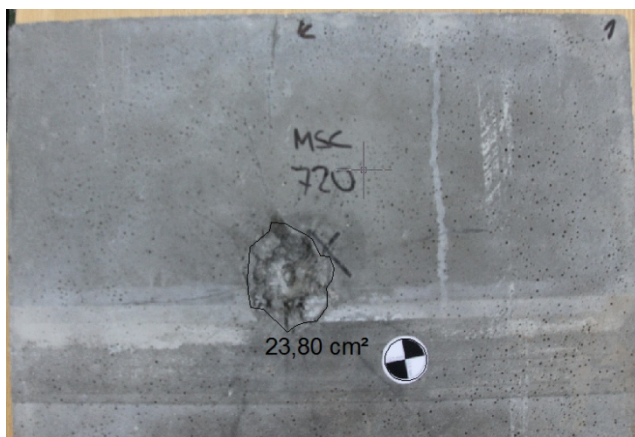
Po zvážení všech vzorků, bylo provedeno focení a měření hloubky kráterů. V případě kdy zůstal projektil v desce, bylo předpokládáno, že je projektil usazen kolmo, a tudíž se hloubka kráteru měřila k projektilu. Za každý projektil bylo přičteno 20 mm, což je délka jádra projektilu (obr. 4.1.1). Tato hodnota byla převzata z předchozích výzkumů.



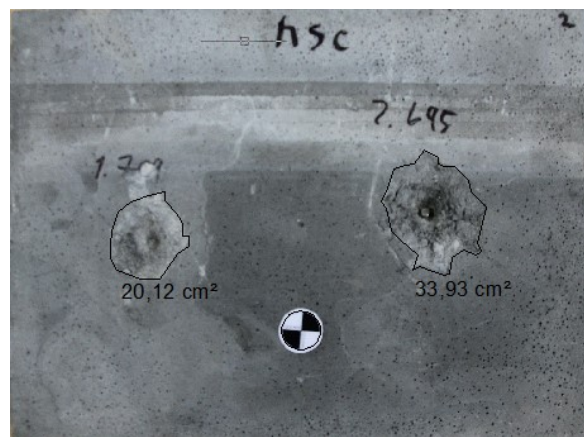
obr.4.1.1- Řez MSC a SLC [6]

Následující fotografie, zachycují snímky všech vzorků, s vyznačenými hranami kráterů a plochami jednotlivých kráterů. Popisky pod fotografiemi udávají teoretické rozpětí a číslo vzorku. Jednotlivé rychlosti střel jsou vidět na snímcích, také jsou pro přehlednost zapsány v tabulce 4.1.2 (str.23) společně s plochami kráterů.

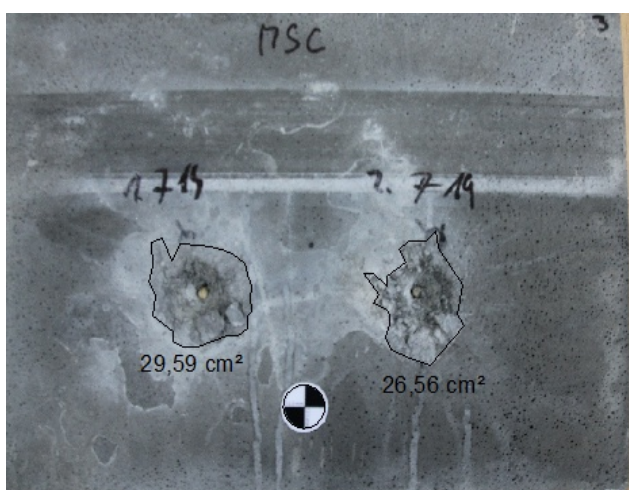
Na snímcích je také vidět, že u střel které byly blízko od sebe (do 5 cm), došlo k propojení kráterů, tudíž vznikl jeden společný kráter, který je menší než součet dvou samostatných kráterů. Plochy kráterů byly po nafocení vloženy v odpovídajícím měřítku do softwaru AutoCAD a byla tak změřena jejich plocha, jak je vidět z fotografií (obr.4.1.2-4.1.21).



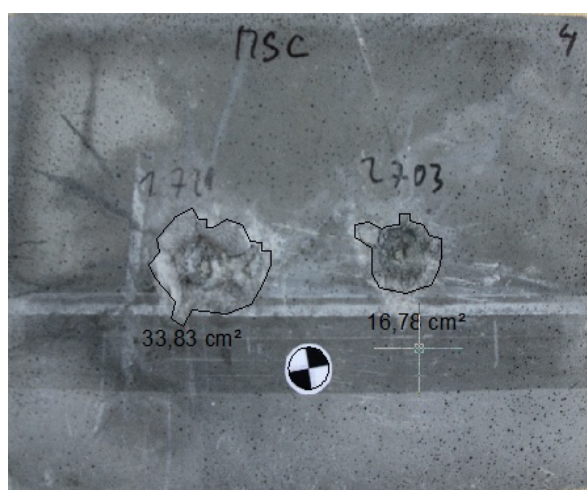
Obr.4.1.2 Kontrolní vzorek (č.1)



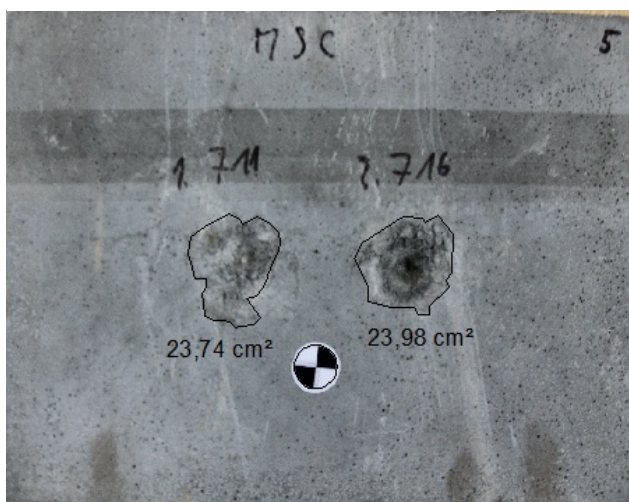
Obr.4.1.3 200mm (č.2)



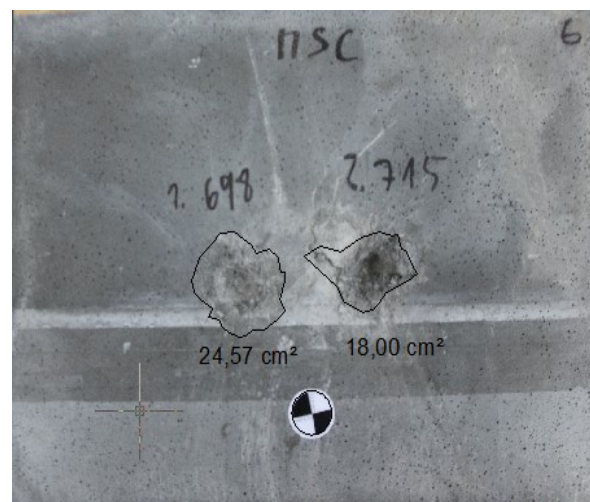
Obr.4.1.4 150mm (č.3)



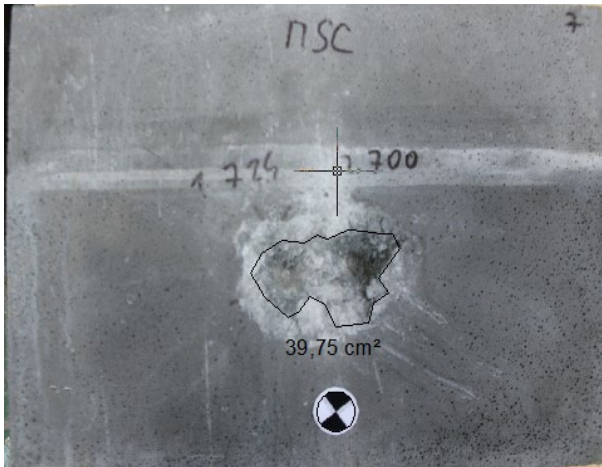
Obr.4.1.5 125mm (č.4)



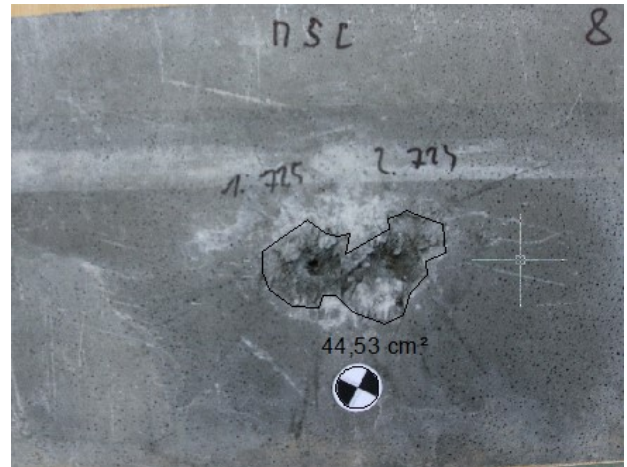
Obr.4.1.6 100mm (č.5)



Obr.4.1.7 75mm (č.6)



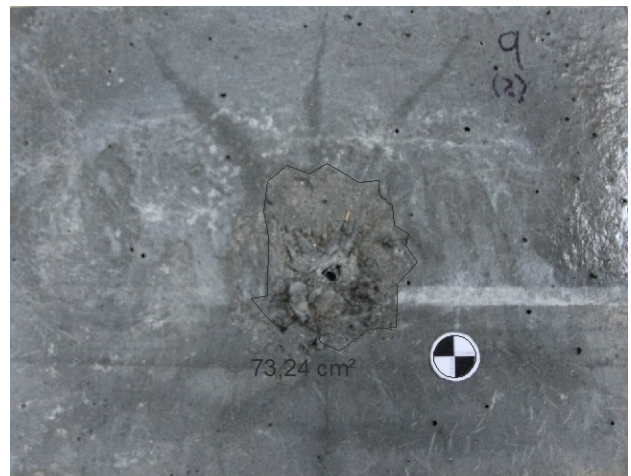
Obr.4.1.8 50mm (č.7)



Obr.4.1.9 25mm (č.8)



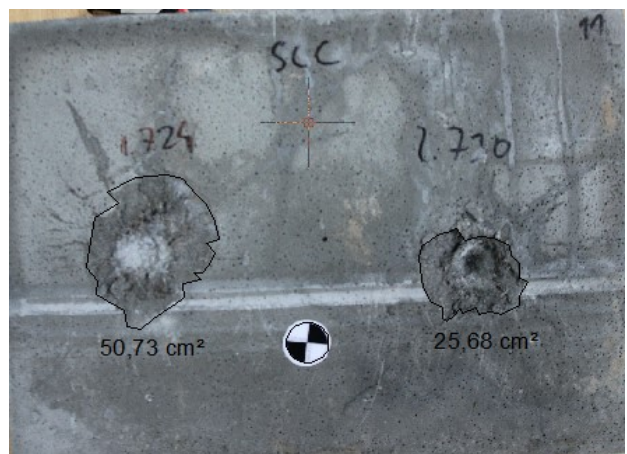
Obr.4.1.10 2 střely do 1 místa, přední strana



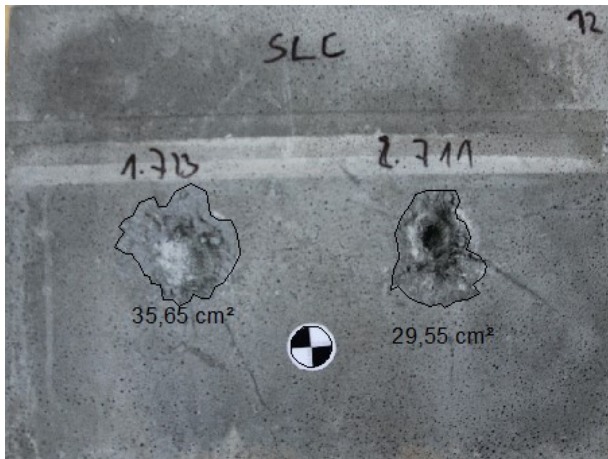
Obr.4.1.11 2 střely do 1 místa, zadní strana



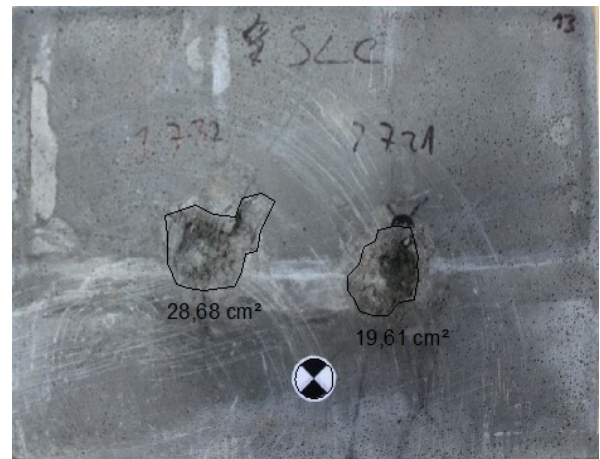
Obr.4.1.12 Kontrolní vzorek (č.10)



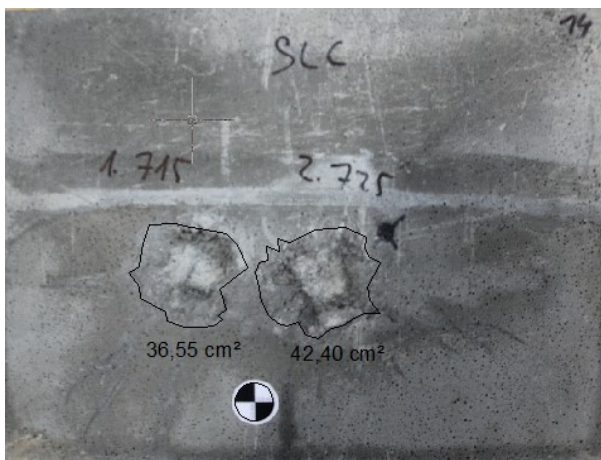
Obr.4.1.13 200mm (č.11)



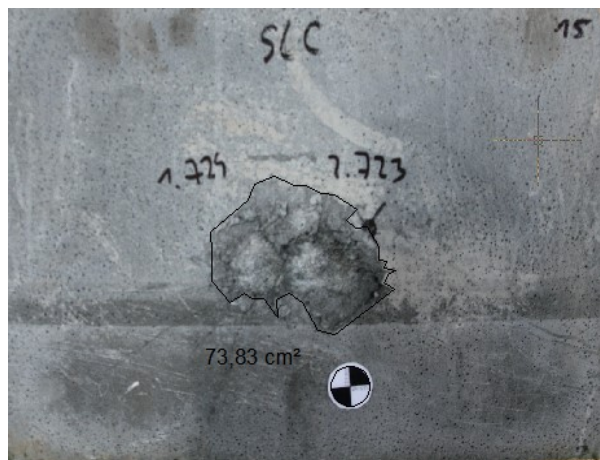
Obr.4.1.14 150mm (č.12)



Obr.4.1.15 125mm (č.13)



Obr.4.1.16 100mm (č.14)



Obr.4.1.17 75mm (č.15)



Obr.4.1.18 50mm (č.16)



Obr.4.1.19 25mm (č.17)



Obr.4.1.20 2 střely do 1 místa, přední strana (č.18)

Obr.4.1.21 2 střely do 1 místa, zadní strana

Tabulka 4.1.2 Plochy, rychlosti

č. vzorku	A_1 [cm ²]	A_2 [cm ²]	A_{celk} [cm ²]	v_1 [m/s]	v_2 [m/s]
1	23,800		23,800	720	
2	20,120	33,930	54,050	709	695
3	29,590	26,560	56,150	714	719
4	33,830	16,780	50,610	729	703
5	23,740	23,980	47,720	711	716
6	24,570	18,000	42,570	698	715
7	39,500		39,500	724	700
8	44,530		44,530	725	724
9	22,500	73,240	95,740	709	711
10	32,610		32,610	728	
11	50,730	25,680	76,410	724	730
12	35,650	29,550	65,200	713	711
13	28,680	19,610	48,290	732	721
14	36,550	42,400	78,950	715	725
15	73,830		73,830	724	723
16	32,720		32,720	727	724
17	35,130		35,130	734	724
18	48,430	34,130	82,560	729	732

Tabulky hodnot pro vzorky s MSC

Hodnoty v tabulkách 4.1.3 a 4.1.4 (str. 25) byly naměřeny v laboratoři. Hodnoty d_1 a d_2 jsou hodnoty ve kterých je už přímo započítán případný projektil a odečtena hodnota velikosti pomocného rámečku pro měření hloubky, tzn. tyto hodnoty jsou skutečné hloubky, do kterých se projektil penetroval. Objemy V_{p1} a V_{p2} jsou přímo naměřené objemy písku v kráterech po střelách, tzn. nejsou zde ještě odečteny objemy projektilů. U vzorku č. 9 je hodnota d_1 hloubka kráteru z přední strany a d_2 hloubka kráteru ze zadní strany. Vzorek č. 1 je kontrolní vzorek s jediným zásahem. r_p je poloměr projektilu který, jak je vidět na obr. 4.1.1 (str.19), je 3,1mm. Hodnota d_s je hodnota naměřená scannerem s přičtenou hloubkou projektilu.

Tabulka 4.1.3 DOP, výpočtový objem pro MSC

č. vzorku	d_1 [cm]	$\varnothing d_1$ [cm]	d_2 [cm]	$\varnothing d_2$ [cm]	l [cm]	$\varnothing l$ [cm]	$\varnothing d_{s1}$ [cm]	$\varnothing d_{s2}$ [cm]	$A_{\text{celkové}}$ [cm ²]	$V_{v,\text{celk}}$ [cm ³]
1	3.83	3.83			0	0	3.83		23.80	16.33
	3.83				0					
	3.83				0					
2	3.78	3.77	3.50	3.50	19.10	19.22	3.74	3.38	54.05	56.75
	3.76		3.43		19.25					
	3.78		3.57		19.30					
3	3.62	3.73	3.87	3.91	13.74	13.71	3.59	3.78	56.15	57.20
	3.72		3.99		13.72					
	3.85		3.89		13.66					
4	3.65	3.68	3.37	3.38	12.54	12.49	3.64	3.35	50.61	42.38
	3.65		3.38		12.45					
	3.73		3.39		12.48					
5	3.72	3.72	3.92	3.94	9.48	9.94	3.47	3.81	47.72	50.33
	3.82		3.97		10.60					
	3.63		3.93		9.74					
6	3.53	3.55	3.83	3.86	8.36	8.31	3.42	3.78	42.57	40.54
	3.55		3.89		8.32					
	3.56		3.88		8.25					
7	3.76	3.75	3.91	3.94	4.65	4.54	3.69	3.88	39.75	42.59
	3.77		3.89		4.44					
	3.73		4.01		4.53					
8	3.61	3.61	4.27	4.18	4.38	4.36	3.25	4.23	44.53	48.21
	3.69		3.92		4.36					
	3.54		4.36		4.34					
9	2.17	2.17	2.19	2.26	0	0	2.07	2.15	95.74	59.83
	2.18		2.27		0					
	2.18		2.32		0					

$$V_{vi} = \frac{\pi \times \varnothing d_i}{3} \times \left(\sqrt{\frac{A_i}{\pi}} + \sqrt{\frac{A_i}{\pi}} \times r_p + r_p^2 \right) + \pi \times r_p^2 \times d_i$$

Tabulka 4.1.4 Pískový objem pro MSC

č. vzorku	$\varnothing d_1$ [cm]	$\varnothing d_2$ [cm]	$\varnothing l$ [cm]	$A_{\text{celkové}}$ [cm ²]	V_{p1} [cm ³]	V_{p2} [cm ³]	$V_{p,\text{celk}}$ [cm ³]	$V_{v,\text{celk}}$ [cm ³]
1	3.83		0	23.80	13.30	0	13.30	16.33
2	3.77	3.50	19.22	54.05	9.15	12.60	21.75	56.75
3	3.73	3.91	13.71	56.15	14.00	14.90	28.90	57.20
4	3.68	3.38	12.49	50.61	12.65	9.00	21.65	42.38
5	3.72	3.94	9.94	47.72	9.95	9.75	19.70	50.33
6	3.55	3.86	8.31	42.57	10.60	11.65	22.25	40.54
7	3.75	3.94	4.54	39.75	33.55	0	33.55	42.59
8	3.61	4.18	4.36	44.53	45.60	0	45.60	48.21
9	2.17	2.26	0	95.74	70.00	0	70.00	59.83

Tabulky hodnot pro vzorky s SLC

Hodnoty v tabulkách 4.1.5 a 4.1.6 (str.27) byly naměřeny v laboratoři. Hodnoty d_1 a d_2 jsou hodnoty skutečných hloubek kráterů, do kterých se projektil penetroval, kde je odečtena hodnota velikosti pomocného rámečku pro měření hloubky. Objemy V_{p1} a V_{p2} jsou přímo naměřené objemy písku v kráterech po střelách. U vzorku č. 18 je hodnota d_1 hloubka kráteru z přední strany a d_2 hloubka kráteru ze zadní strany. Vzorek č. 10 je kontrolní vzorek s jediným zásahem. r_p je poloměr projektilu který, jak je vidět na obr. 4.1.1 (str.19), je 3,1mm. Hodnota d_s je hodnota naměřená scannerem.

Tabulka 4.1.5 DOP, výpočtový objem pro MSC

č. vzorku	d_1 [cm]	$\varnothing d_1$ [cm]	d_2 [cm]	$\varnothing d_2$ [cm]	l [cm]	$\varnothing l$ [cm]	$\varnothing d_{s1}$ [cm]	$\varnothing d_{s2}$ [cm]	$A_{\text{celkové}}$ [cm ²]	$V_{v,\text{celk}}$ [cm ³]
10	2.07	2.08	0	0	0	0	2.03	0	32.61	24.54
	2.08		0		0					
	2.11		0		0					
11	2.40	2.33	2.36	2.35	20.50	20.62	2.22	2.25	76.41	63.99
	2.29		2.36		20.80					
	2.29		2.34		20.55					
12	2.33	2.32	2.27	2.31	14.32	14.26	2.31	2.25	65.20	54.57
	2.35		2.35		14.22					
	2.29		2.33		14.23					
13	2.10	2.10	2.03	2.03	12.13	12.11	1.97	1.91	48.29	36.59
	2.08		2.03		12.17					
	2.12		2.04		12.03					
14	2.18	2.14	2.34	2.35	7.58	7.65	2.05	2.23	78.95	63.67
	2.18		2.34		7.74					
	2.07		2.37		7.64					
15	2.26	2.28	2.44	2.42	4.38	4.36	2.19	2.26	73.83	62.38
	2.28		2.40		4.30					
	2.30		2.43		4.41					
16	2.31	2.31	2.50	2.50	3.09	3.19	2.17	2.46	32.72	29.39
	2.29		2.47		3.23					
	2.32		2.53		3.26					
17	2.17	2.19	2.74	2.75	2.35	2.37	2.07	2.67	35.13	32.32
	2.20		2.77		2.39					
	2.22		2.74		2.39					
18	2.50	2.46	2.56	2.53	0	0	2.38	2.56	82.56	73.63
	2.26		2.59		0					
	2.61		2.44		0					

$$V_{vi} = \frac{\pi \times \varnothing d_i}{3} \times \left(\sqrt{\frac{A_i}{\pi}} + \sqrt{\frac{A_i}{\pi}} \times r + r_p^2 \right)$$

Tabulka 4.1.6 Pískový objem MSC

č. vzorku	$\varnothing d_1$ [mm]	$\varnothing d_2$ [mm]	$\varnothing l$ [mm]	$A_{\text{celkové}}$ [cm ²]	V_{p1} [cm ³]	V_{p2} [cm ³]	$V_{p,\text{celk}}$ [cm ³]	$V_{v,\text{celk}}$ [cm ³]
10	2.08	0	0	32.61	13.20	0.00	13.20	24.54
11	2.33	2.35	20.62	76.41	26.20	18.00	44.20	63.99
12	2.32	2.31	14.26	65.20	20.10	16.00	36.10	54.57
13	2.10	2.03	12.11	48.29	19.50	13.20	32.70	36.59
14	2.14	2.35	7.65	78.95	23.60	24.30	47.90	63.67
15	2.28	2.42	4.36	73.83	47.70	0	47.70	62.38
16	2.31	2.50	3.19	32.72	35.00	0	35.00	29.39
17	2.19	2.75	2.37	35.13	33.60	0	33.60	32.32
18	2.46	2.53	0	82.56	69.00	0	69.00	73.63

5 Výsledky

Výsledky měření byly zpracovány v programu Microsoft Office Excel 2007 a zakresleny do grafů v programu AutoCAD 2013.

5.1 Hloubka penetrace

Hloubka penetrace byla u každého zásahu změřena 3x, v případě střel s tvrdým jádrem (MSC) byl ještě připočten projektil, který zůstal zaražen v desce, a tudíž byla penetrace výrazně větší než v případě střel s měkkým jádrem (SLC). U projektilů, které v deskách zůstaly, bylo uvažováno, že jsou zaraženy kolmo a tudíž byla přičtena celá délka projektilu, i když v některých případech byly lehce odkloněny od svislé osy. Při zásahu projektilů do stejného místa byla prostřelena celá deska, tudíž hloubka penetrace je 6 cm. U ostatních vzorků nedošlo k úplné penetraci desky.

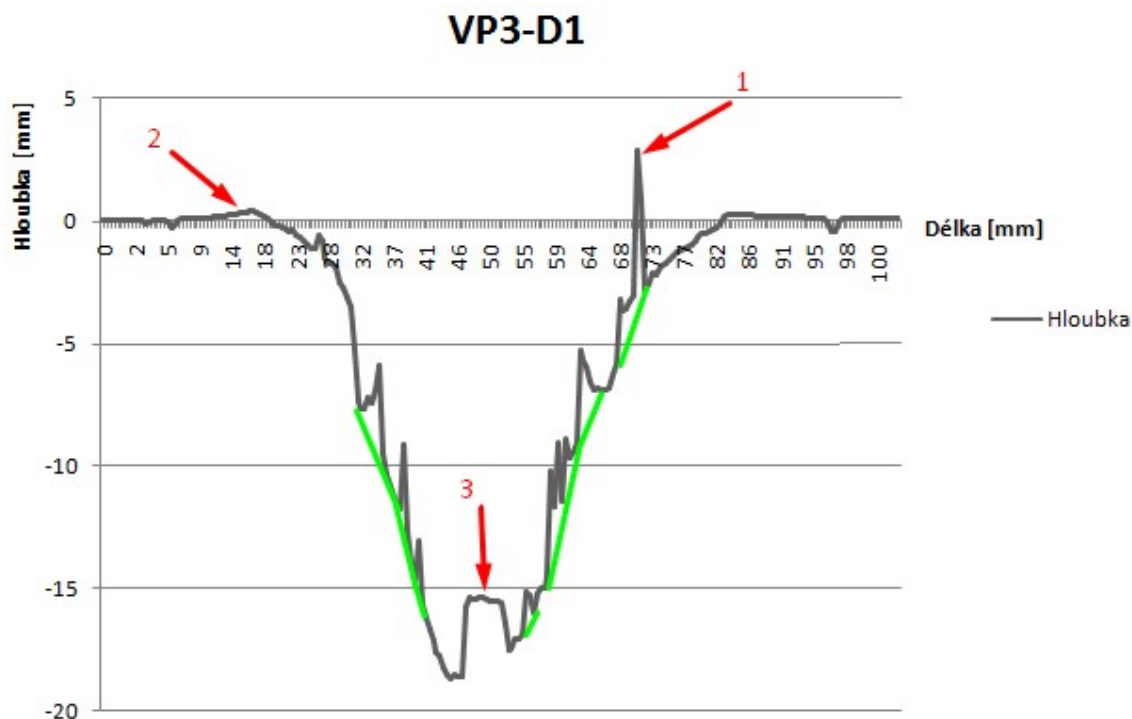
Zajímavý byl také výsledek u MSC při zásahu projektilu do stejného místa, kdy došlo sice k úplné penetraci desky, ale druhý projektil zůstal zaražen v desce, z čehož se dá usuzovat, že by průstřel nebyl smrtelný. Vzhledem k velkému kráteru na druhé straně desky, by pravděpodobně mohlo dojít ke zraněním způsobených drobnými úlomky materiálu, případně vyraženým prvním projektilem.

Také jak je vidět na následujících grafech 5.1.1 a 5.1.2 (str.29), v obou případech (MSC,SLC) je vidět, že při dopadu projektilů do vzdálenosti 5 cm od sebe je hloubka penetrace druhého zásahu výrazně větší. V rozmezí 5-10 cm je ještě vidět malé ovlivnění prvním zásahem. Při vzdálenosti větší jak 10 cm je viditelné, že se již tyto zásahy vzájemně neovlivňují.

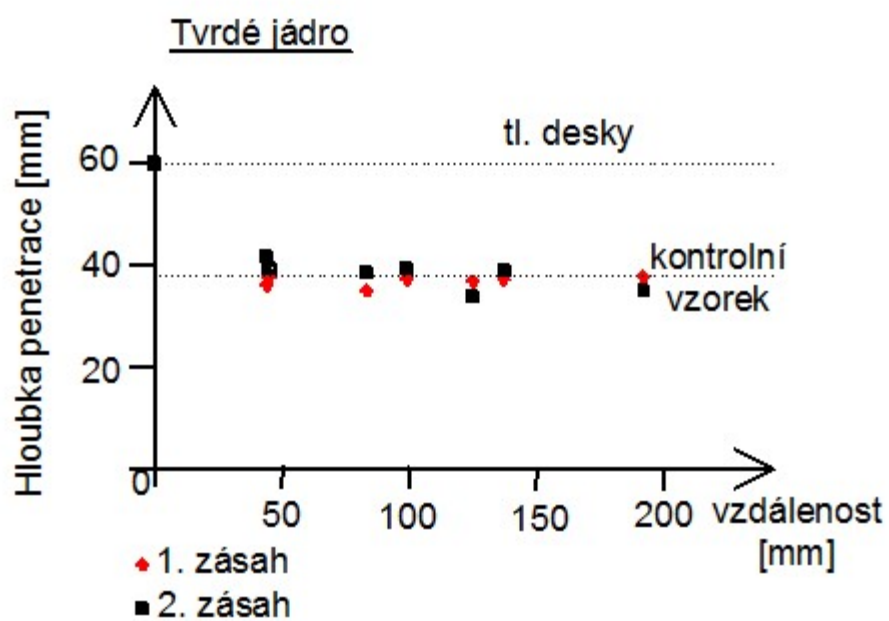
Hloubka penetrace byla také změřena za pomoci laserového scanneru. Všechny krátery byly změřeny ve 2 na sebe kolmých směrech (podél delší a kratší strany desky). Všechny grafy jsou součástí přílohy. Ukázkový graf, s vysvětlivkami je na obr.5.1.1. Výsledky jsou velmi podobné měřením za pomoci posuvného měřítka (šuplery), což jen potvrzuje správnost měření.

Vysvětlení grafů (obr.5.1.1).:

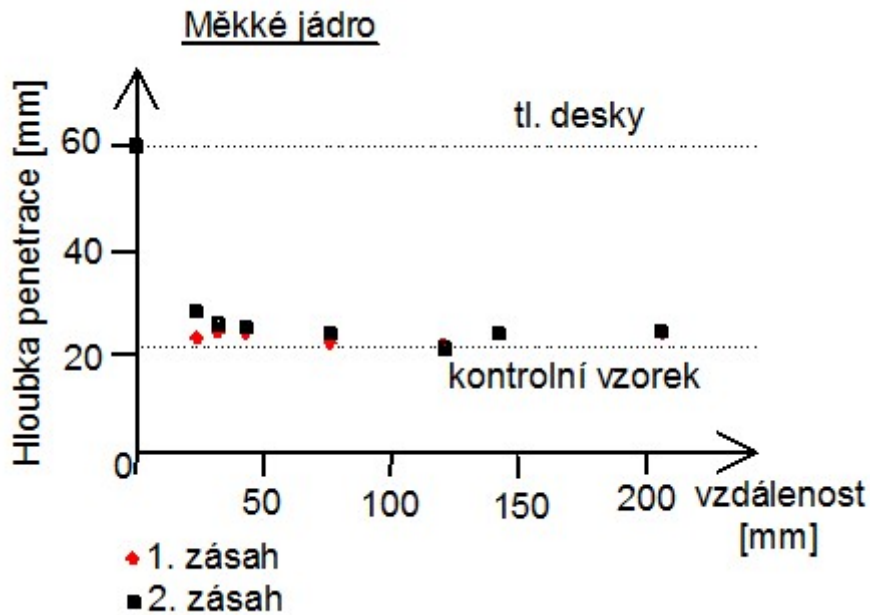
- 1) Zkreslení díky vláknům (nutno garf zarovnat-> zakresleno zeleňe)
- 2) Vrchol projektilu (měřená hloubka za pomoci šuplery)
- 3) Vzednutí materiálu v okolí kráteru



Obr. 5.1.1 Vysvětlení grafu



Graf 5.1.1 Hloubka penetrace MSC



Graf 5.1.2 Hloubka penetrace SLC

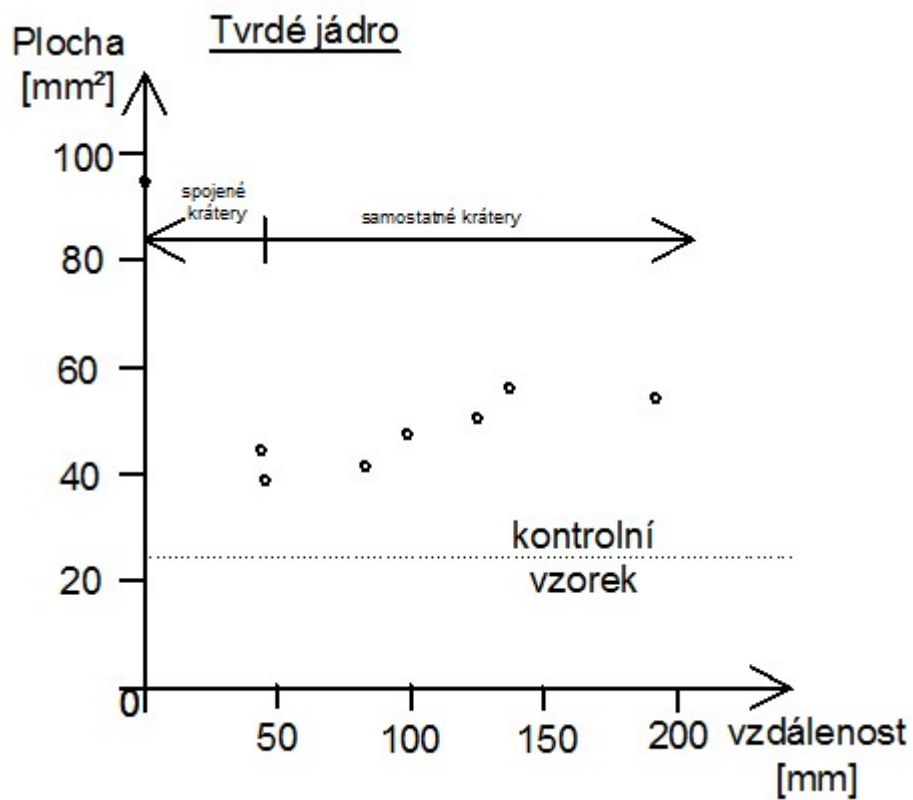
5.2 Plocha kráteru

Plocha kráteru byla změřena v softwaru AutoCAD 2013. V následujících grafech 5.2.1 (str.31) a 5.2.2 (str.31) jsou zaneseny již celkové plochy kráterů, to znamená, že v případě, kdy krátery zůstaly oddělené, byli změřeny zvlášť a jejich plocha následně sečtena. Jak je z grafů vidět, tak v případě, kdy se krátery propojily, je plocha celkového kráteru výrazně menší než plocha u kráterů, které se nepropojily.

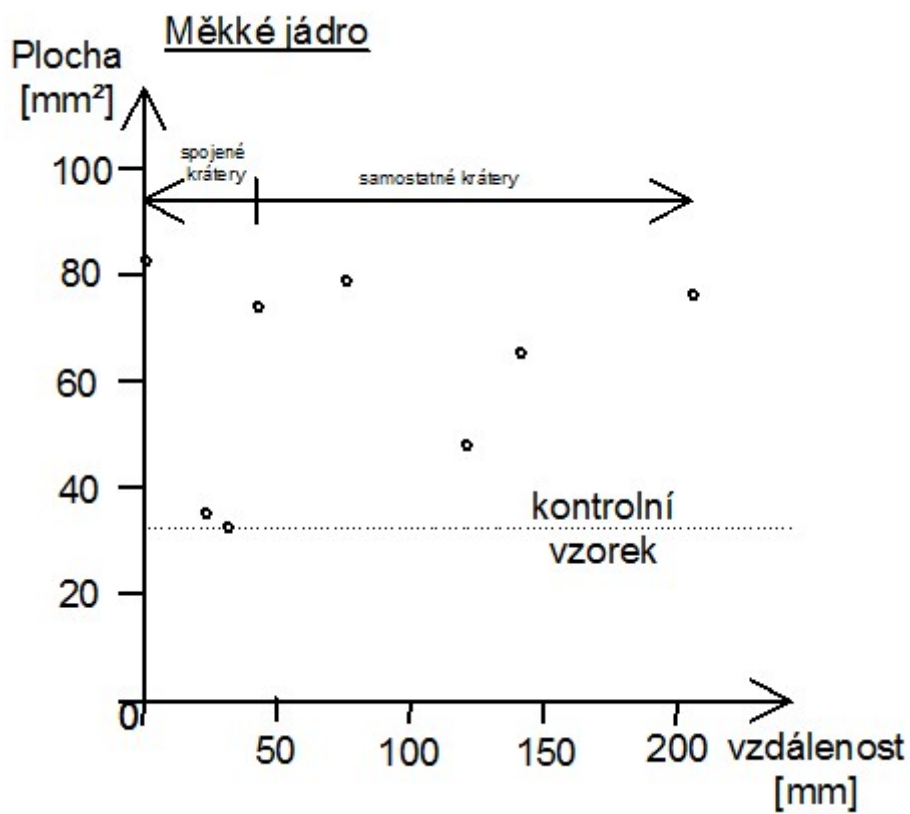
Tento parametr může být lehce zavádějící, jelikož aby se zachovala co největší reálná představa o chování materiálu, nebyly krátery po průstřelech nijak začištěvány, případně nebyly odstraňovány části desek, u kterých byla sice viditelně porušena cementová matrice, ale zároveň byly ještě pevně spojeny s deskou pomocí ocelových mikrovláken. Kdybychom tyto části odstranili, mohlo by dojít k výrazně většímu porušení desky a tím k většímu zkreslení získaných výsledků.

Zároveň plochu těchto kráterů ovlivňuje úhel, pod kterým střela zasáhne desku, a také drobné výstřednosti způsobené výrobou (orientace vláken u povrchu, kamenivo v místě dopadu projektilu, atd.)

U projektilu SLC je vidět, že díky rozpadu projektilu po dopadu je poškození větší, než je tomu u projektilů MSC.



Graf 5.2.1 Plocha kráteru MSC



Graf 5.2.2 Plocha kráteru SLC

5.3 Objem kráteru

Objem kráterů byl měřen třemi různými metodami, u kterých jak je vidět na grafech 5.3.1 (str.33) a 5.3.2 (str.33) se výsledky liší.

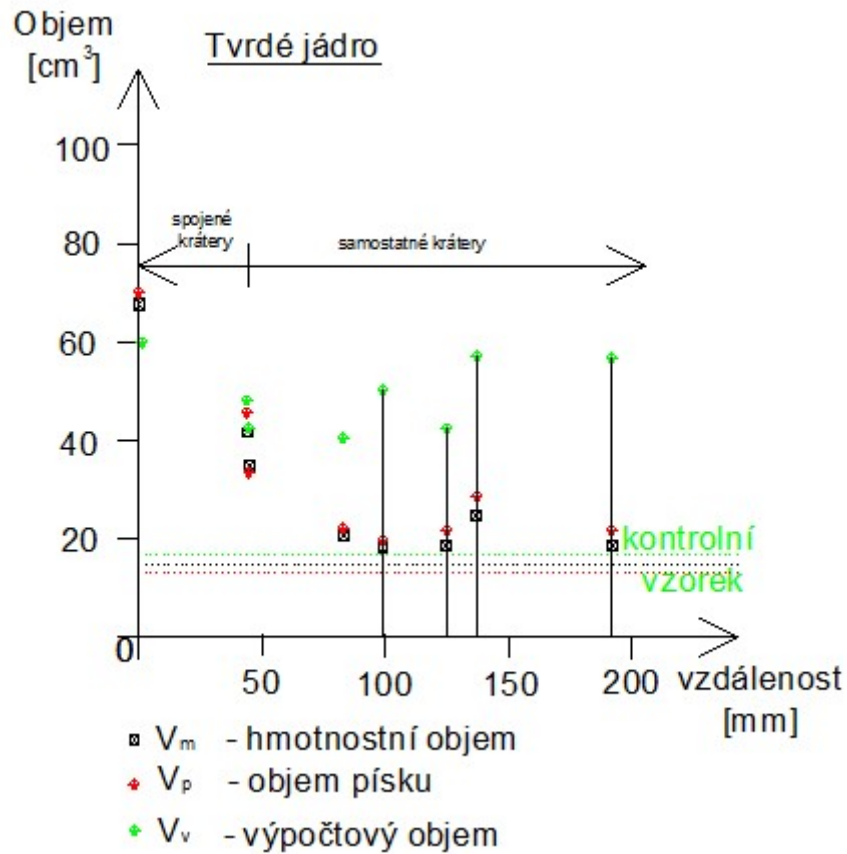
První metodou bylo vypočítání hmotnosti za pomoci objemové hmotnosti, která byla spočítána před cestou na střelnici. Jelikož destičky jsou pravidelné, byla objemová hmotnost změřena gravimetricky, kdy byla změřena tloušťka na každé straně desky 3x. Ostatní rozměry nebylo nutné přeměřovat 3x, jelikož destičky byly betonovány na ležato v přesném ocelovém bednění a po odbednění byly uloženy v kádi s vodou, kde se za pomoci ocelových mikrovláken smrštění minimalizovalo téměř na nulu.

Pro druhou metodu měření objemu byl zvolen matematický model popsany již dříve v této práci. Hodnoty z tohoto měření jsou závislé na ploše kráterů, což je ostatně při porovnání grafů vidět. Zároveň je tento model nedokonalý a nedokáže úplně přesně popsat skutečný tvar kráteru, ale jen jeho přibližný matematický model. Tato metoda je lehce konzervativní a ve většině výsledků vychází tento objem větší než z ostatních měření.

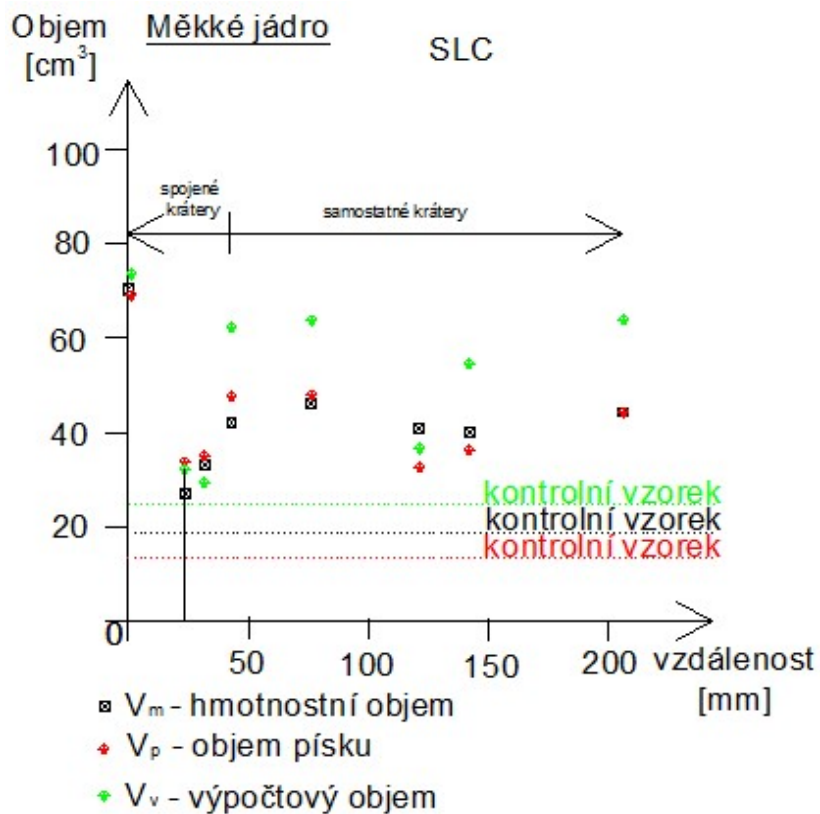
Třetí metodou bylo zvoleno vysypání kráterů pískem o známém objemu (obr. 5.3.1). Tato metoda byla zvolena nejen pro její nenáročnost a rychlost, ale i pro velkou přesnost měření. Byl zvolen velmi jemnozrný písek, který se plnil do injekčních stříkaček, ze kterých byl aplikován do kráteru. Při zaplnění kráteru se odečetl zbylý písek ve stříkačce s přesností na $0,1 \text{ cm}^3$. U vzorků s úplnou penetrací desky, byla spodní strana desky utěsněna lepicí páskou, aby nedocházelo k vysypávání písku. Jak je vidět z následujících grafů, výsledky těchto měření, se téměř schodují s výsledky vypočítanými z objemových hmotností.



Obr.5.3.1 Vysypání kráterů pískem



Graf 5.3.1 Objem kráterů MSC



Graf 5.3.2 Objem kráterů SLC

6 Závěr

Z experimentu je jasné patrné, že pokud je vzdálenost dopadu projektilů v rozmezí 0 - 5 cm, tak jsou výsledky výrazně ovlivněny prvním zásahem a vznikem mikrotrhlin, případně viditelným mechanickým poškozením materiálu. V rozmezí 5 – 10 cm je ovlivnění již malé, ale určité zhoršení balistické odolnosti je patrné. Po překročení hranice vzdálenosti dopadu projektilů 10 cm již nebylo zaznamenáno viditelné zhoršení balistické odolnosti, tudíž lze říci, že se tyto zásahy již vzájemně neovlivňují.

Z experimentu tedy vyplývá, že pokud by materiál byl zkoušen na vícenásobný zásah (Multi-hit), tak při zvolení dolní hranice 2,5 cm by se odolnost s přibývajícím zásahy pravděpodobně výrazně zhoršovala. Při zvolení horní hranice 12 cm by se zásahy neměli vůbec ovlivňovat, a tudíž by deska měla vyhovět bez problémů.

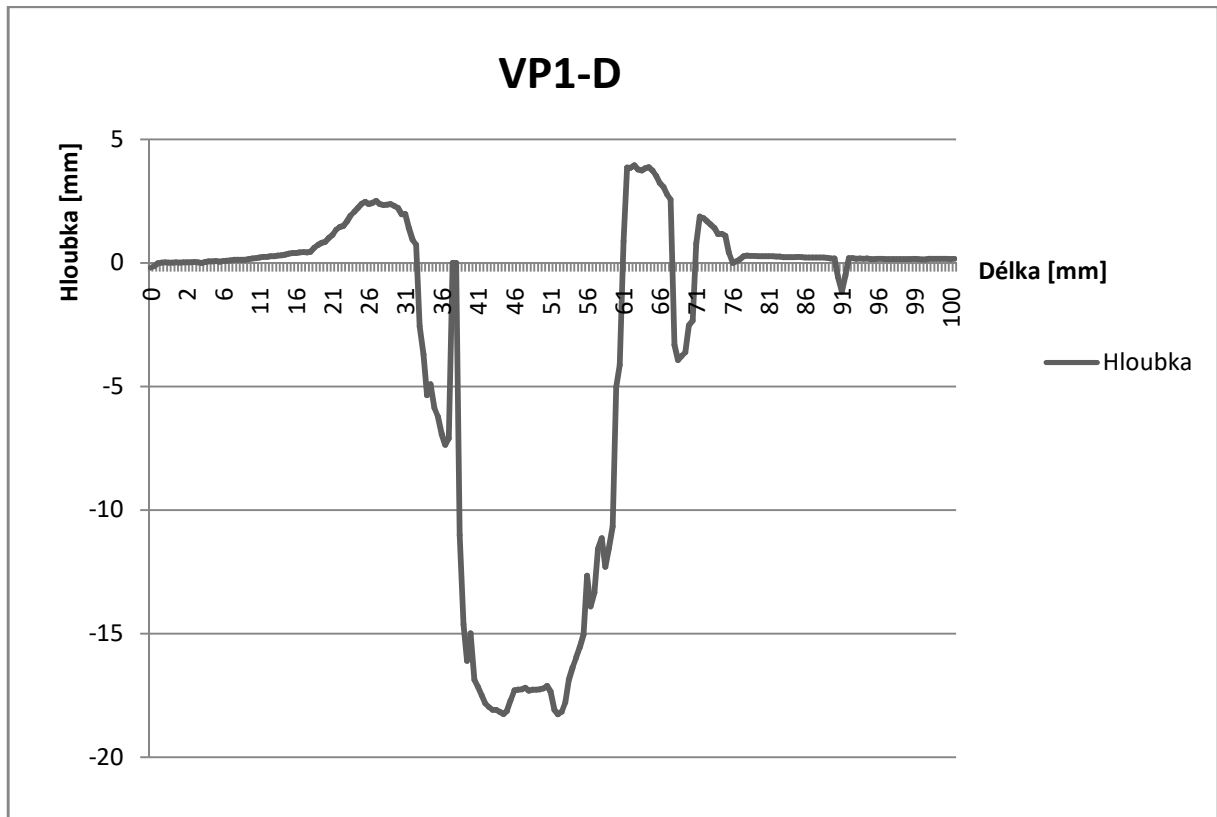
Z výsledků je vidět, že původní hypotéza byla potvrzena v případě hloubky penetrace. V případě objemů a ploch je vidět, že v případech, kde došlo k propojení kráterů, jsou výsledky výrazně nižší oproti očekávání.

V dalším pokračování experimentu, by bylo dobré ověřit zjištěná data, kdy by byl proveden Multi-hit na několika vzorcích v rozpětí od 2,5cm do 12 cm. V případě potvrzení závěrů z této práce a vyhovění vzorků na Multi-hit, by bylo dobré zjistit jaký vliv, by měl 4. zásah doprostřed trojúhelníku ve všech vyhovujících případech.

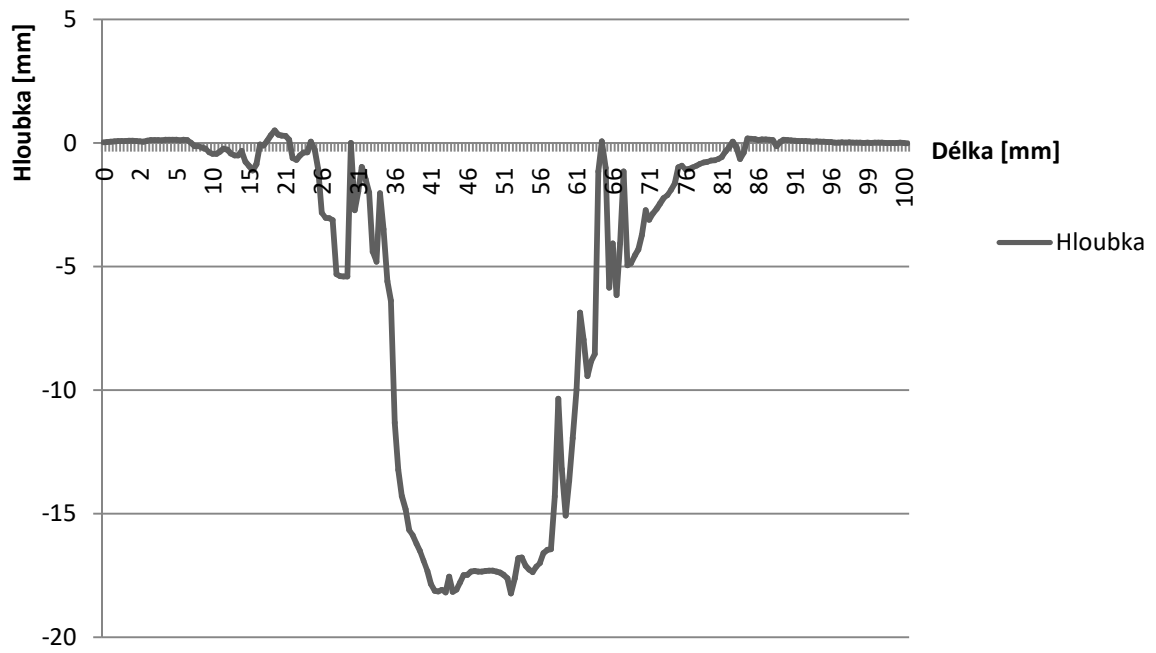
Příloha1

Vysvětlení používaných značek:

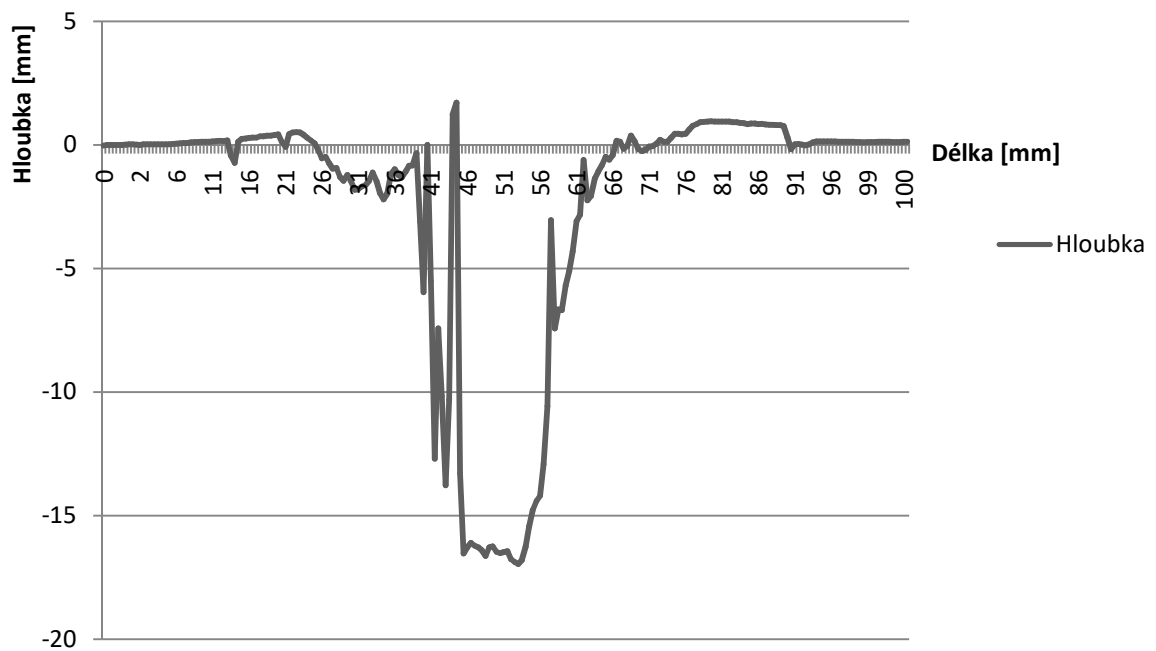
- VPx - Označení vzorku, x značí číslo vzorku
- Dx - Měření rovnoběžné s delší stranou desky
- Kx - Měření rovnoběžné s kratší stranou desky
- D1,K1 - Měření kráteru po 1. zásahu
- D2,K2 - Měření kráteru po 2. zásahu



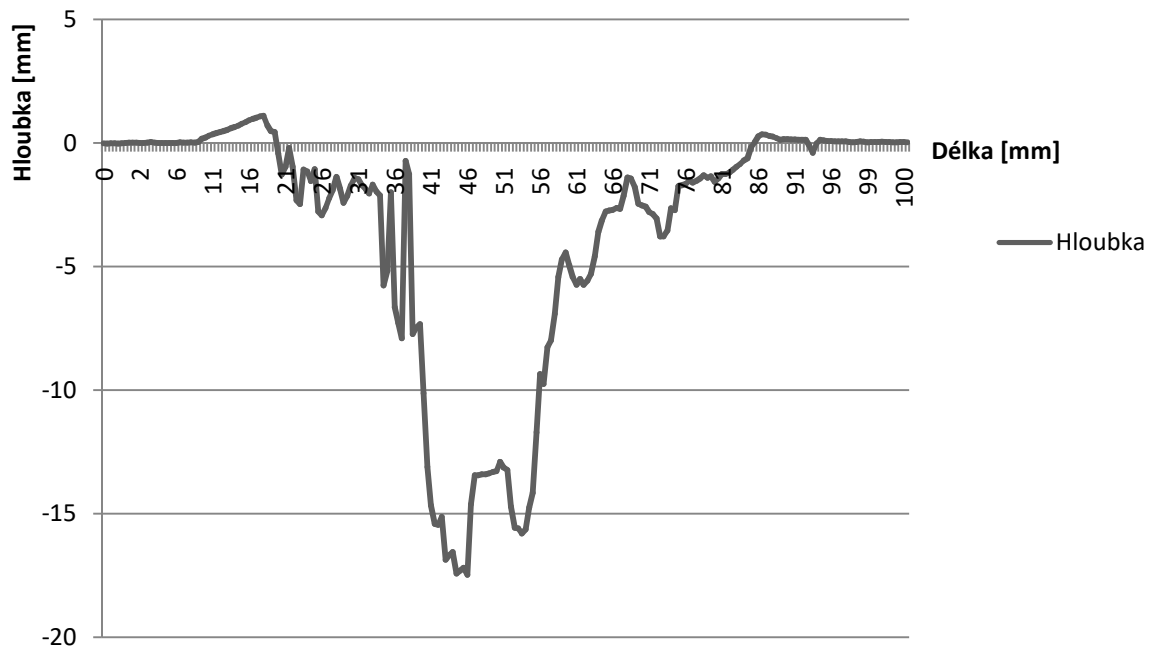
VP1-K



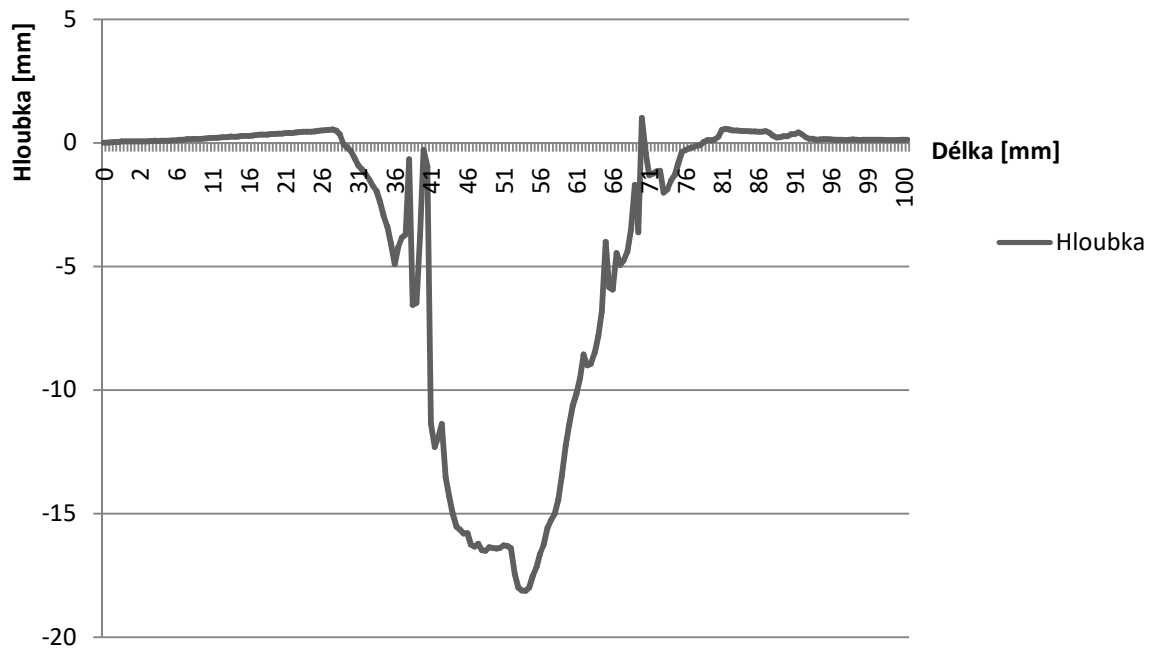
VP2-D1



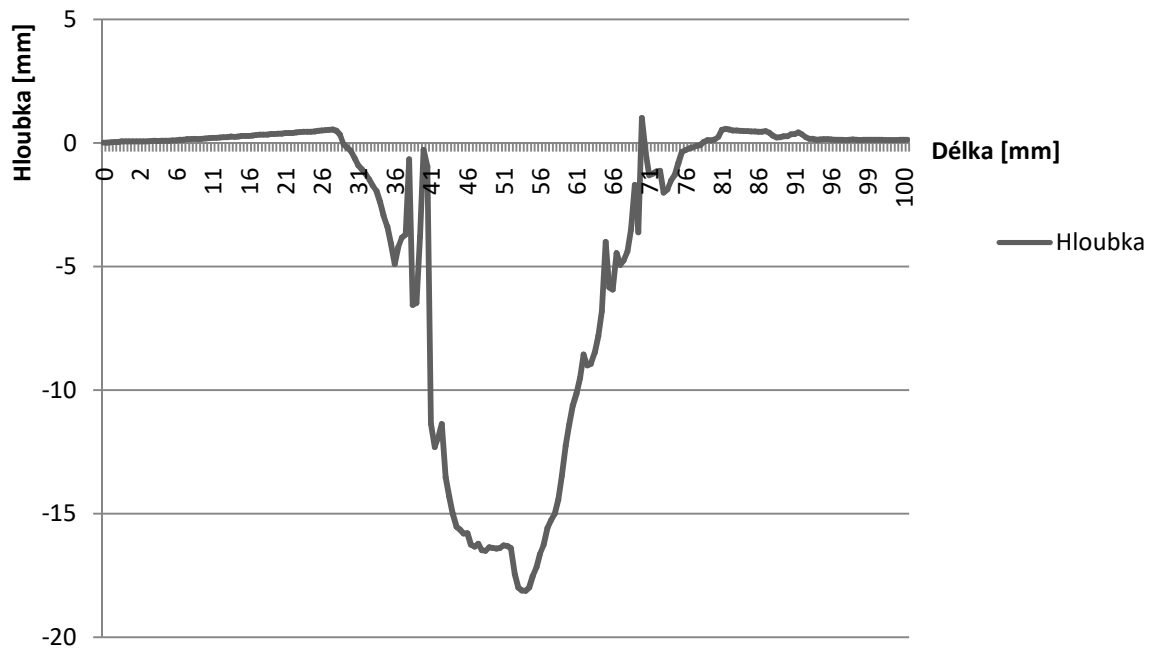
VP2-D2



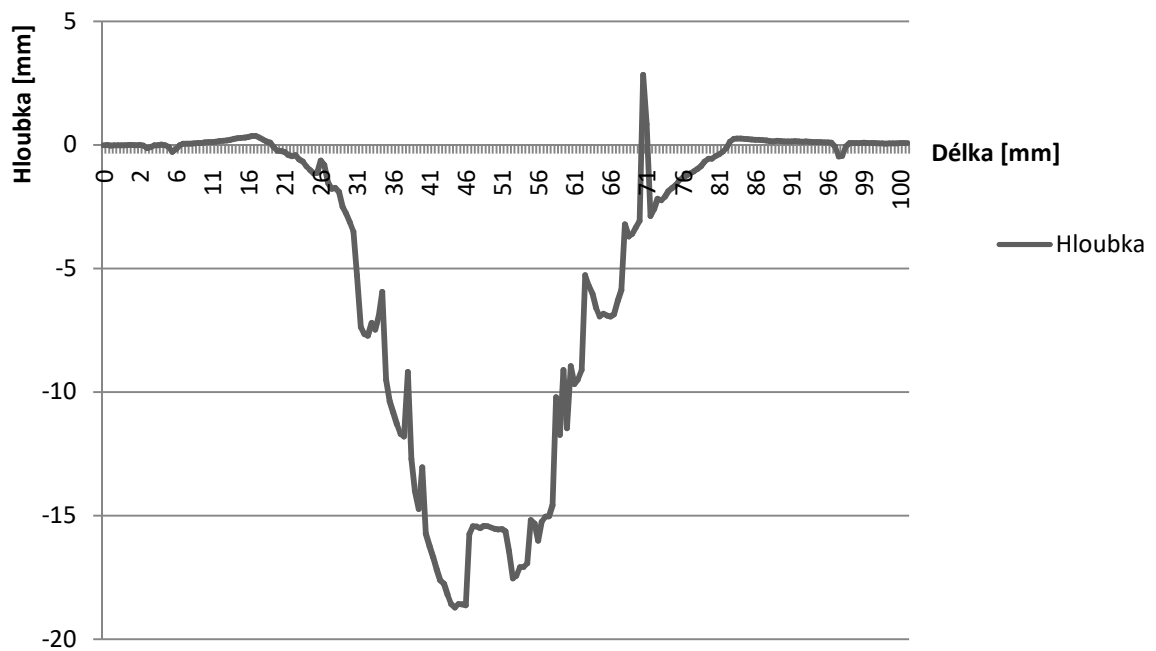
VP2-K1



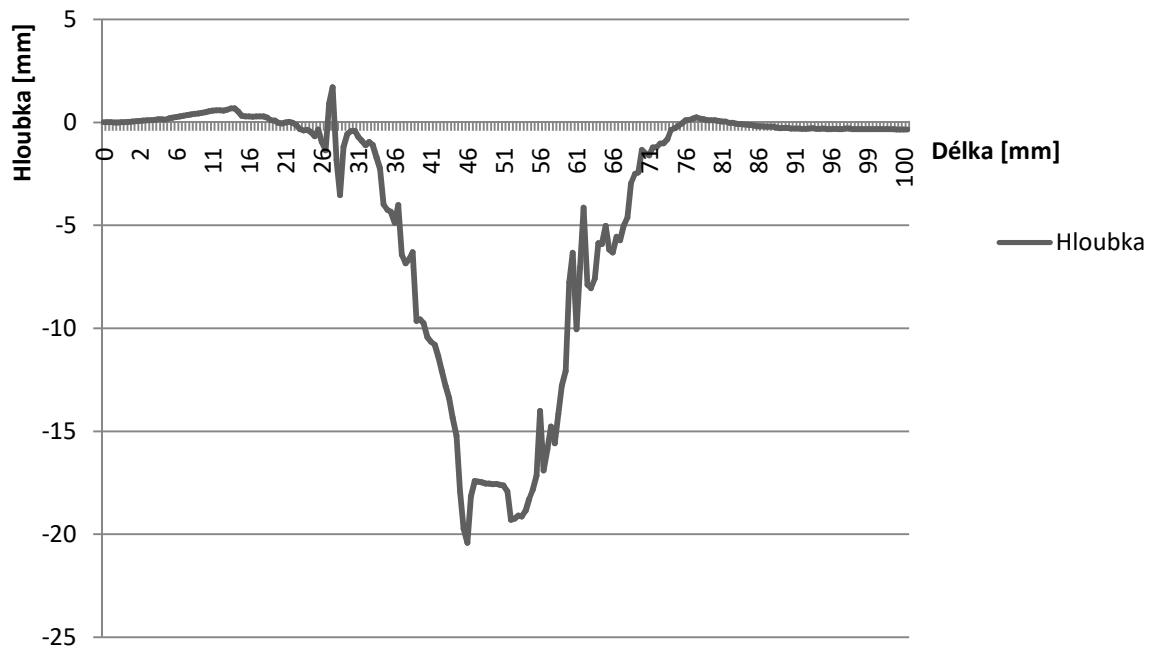
VP2-K1



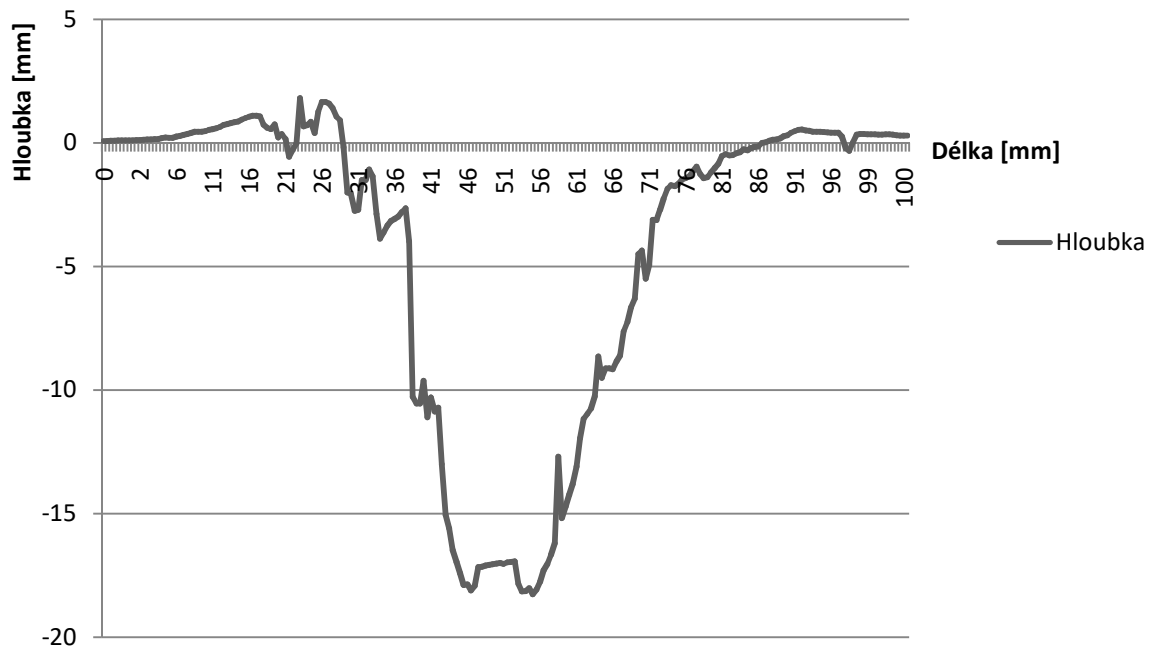
VP3-D1



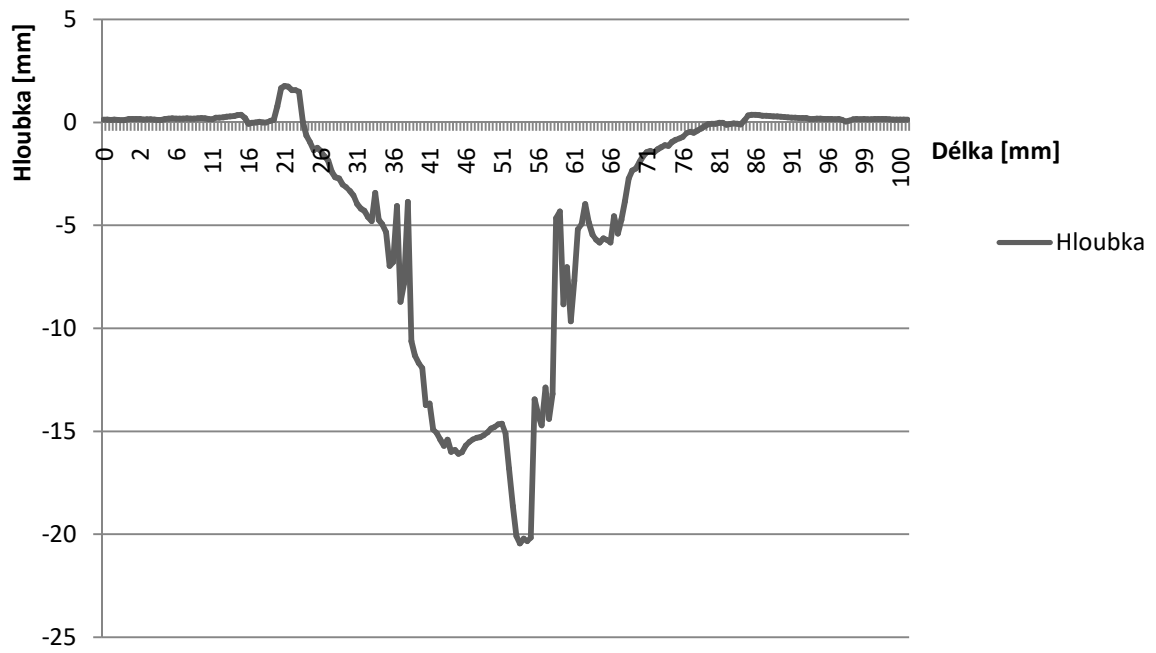
VP3-D2



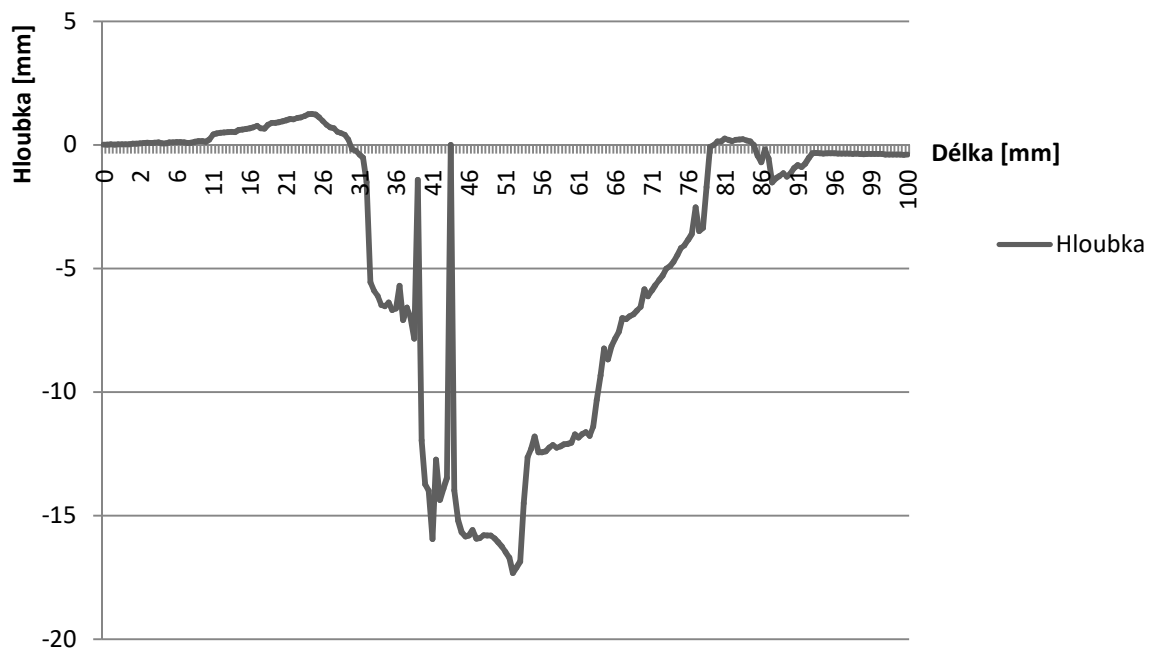
VP3-K1



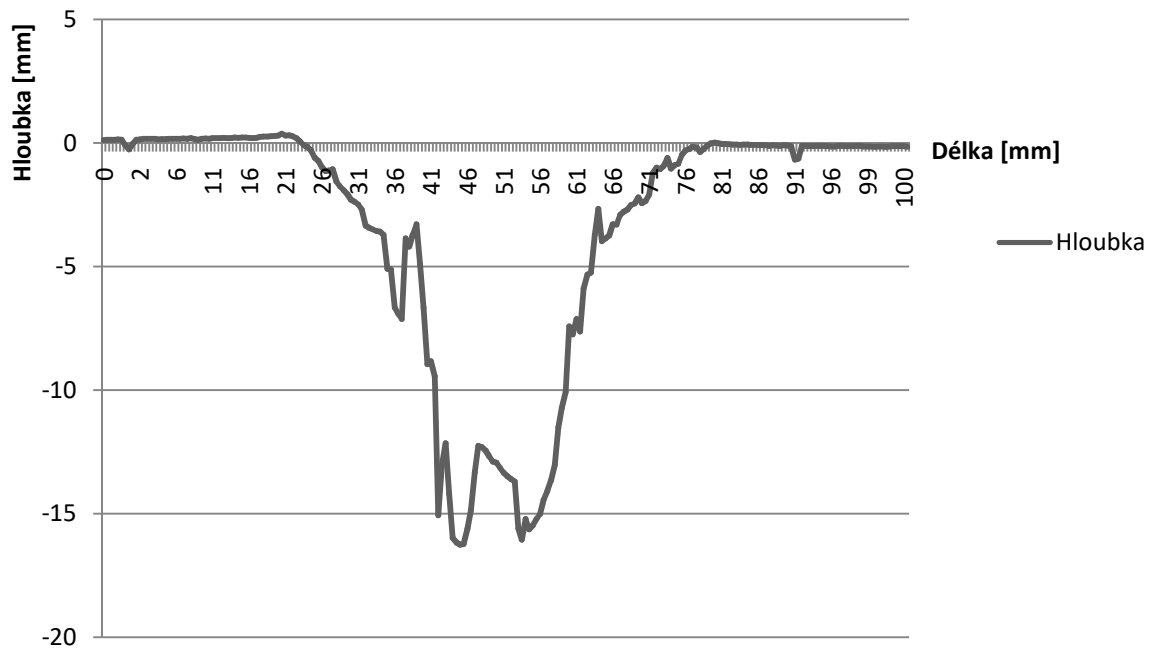
VP3-K2



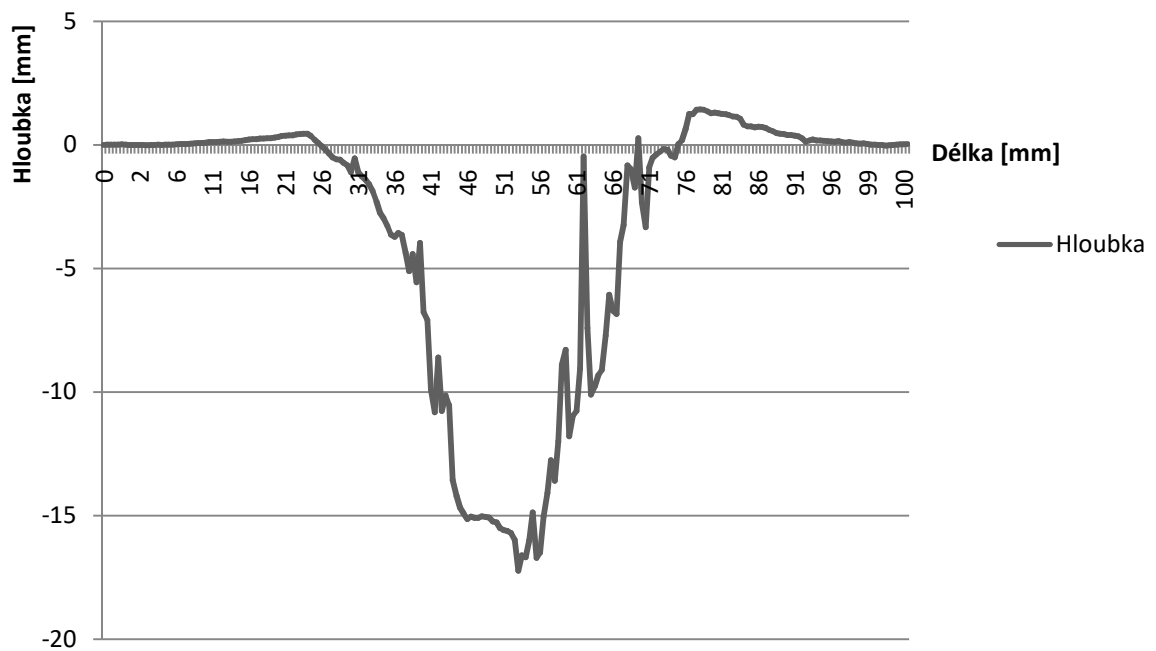
VP4-D1



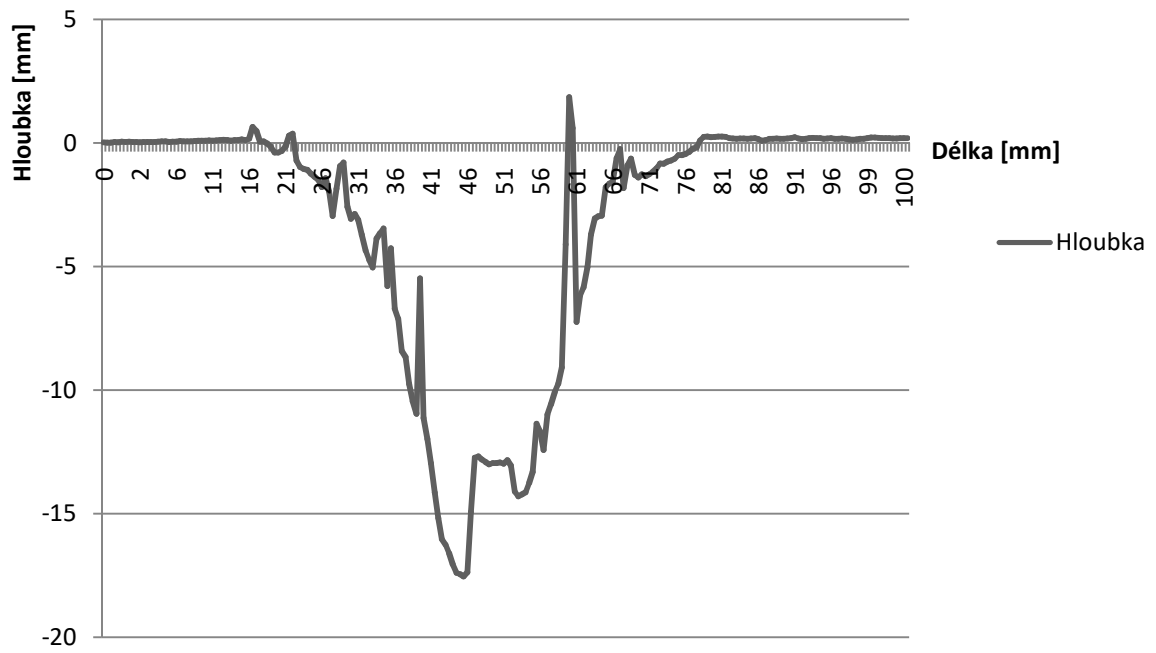
VP4-D2



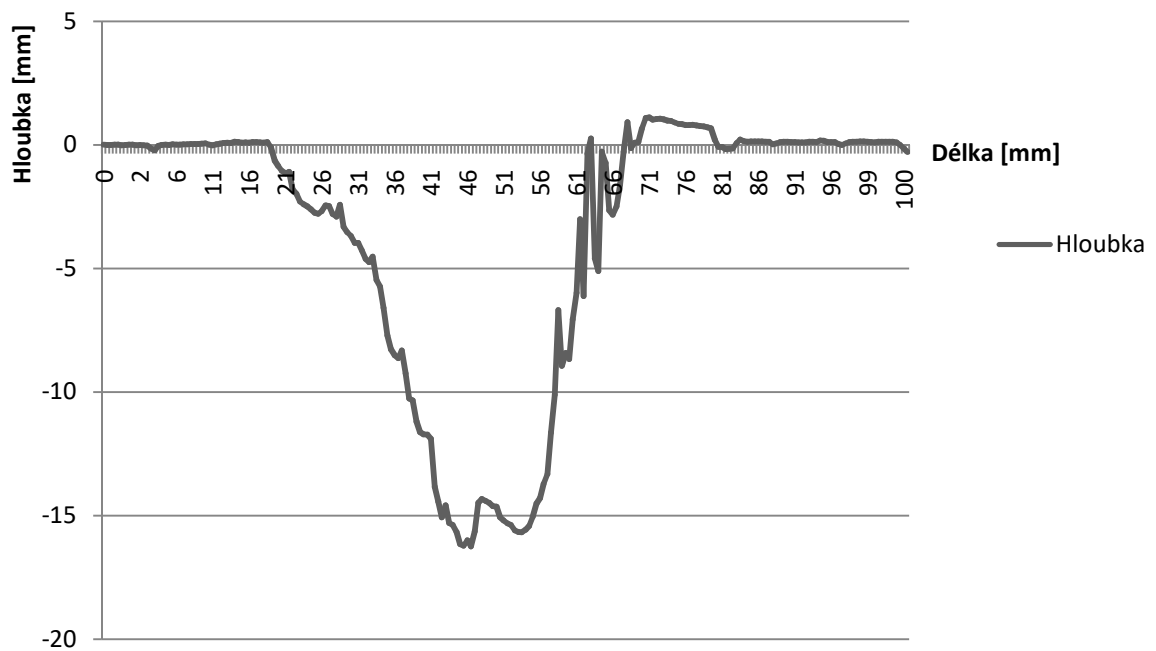
VP4-K1



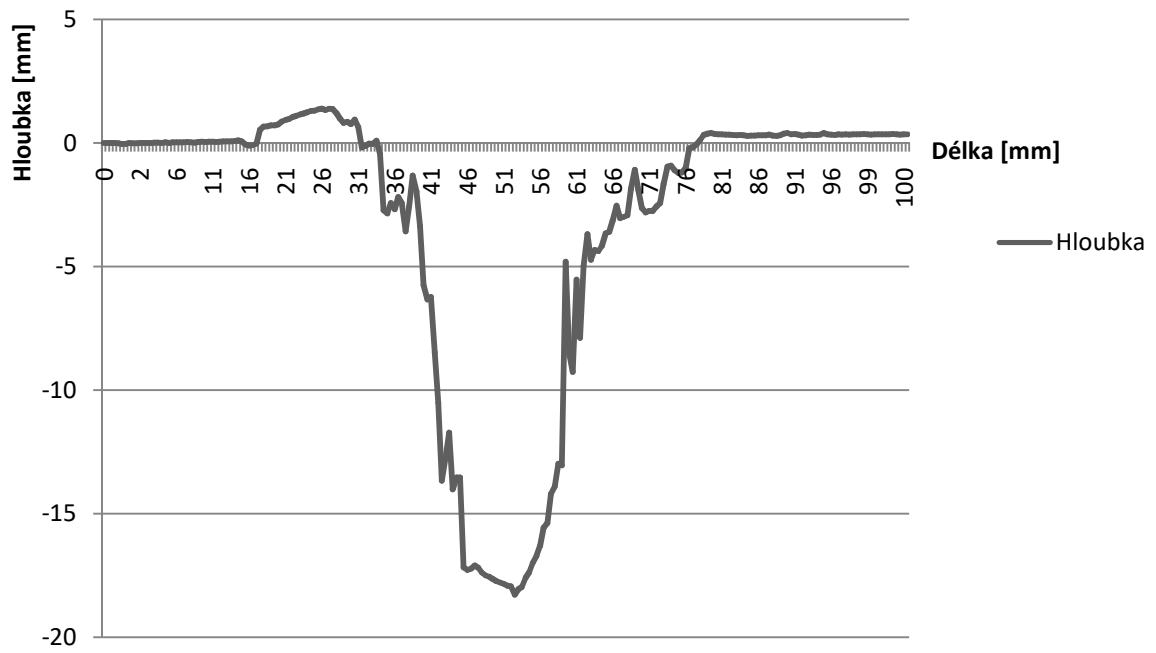
VP4-K2



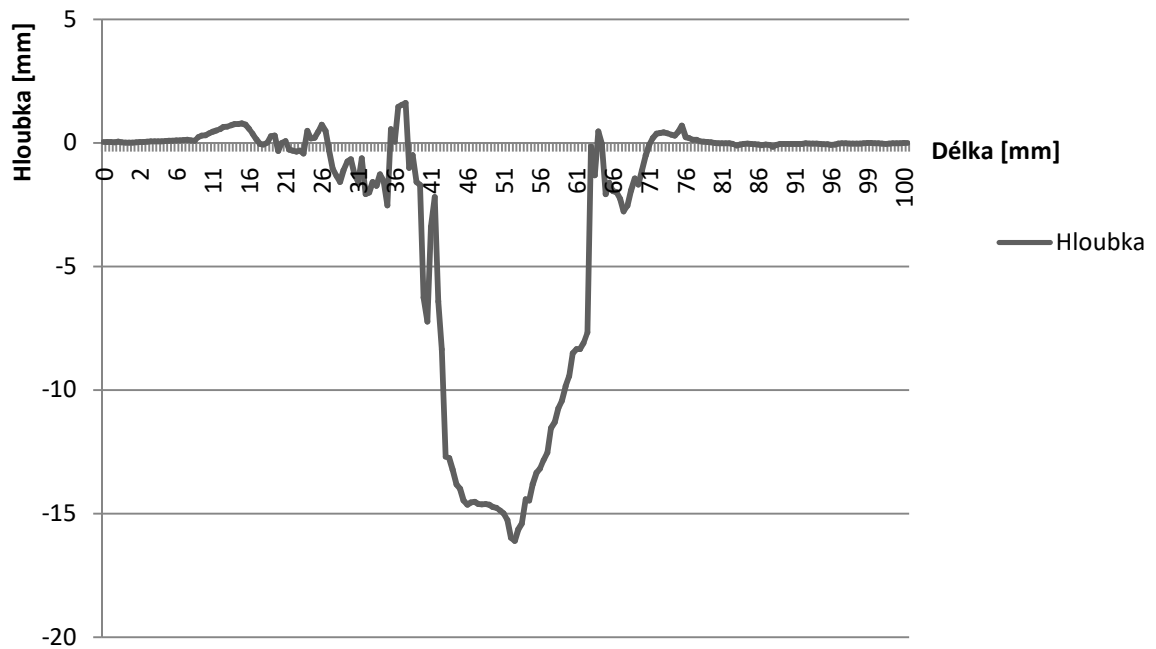
VP5-D1



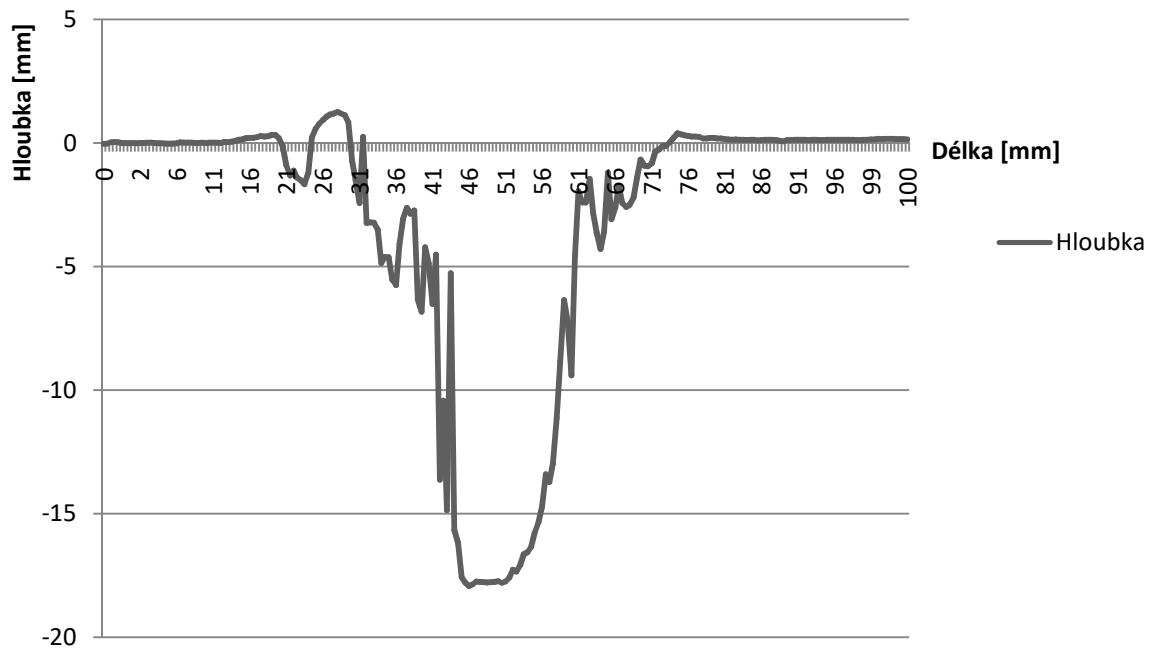
VP5-D2



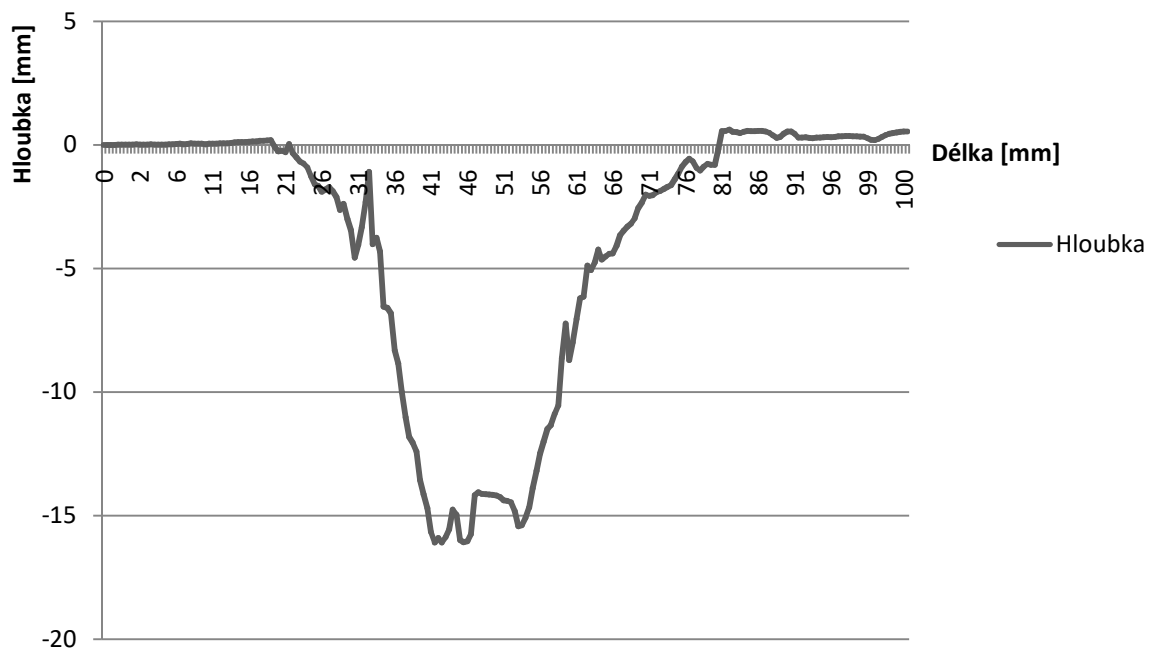
VP5-K1



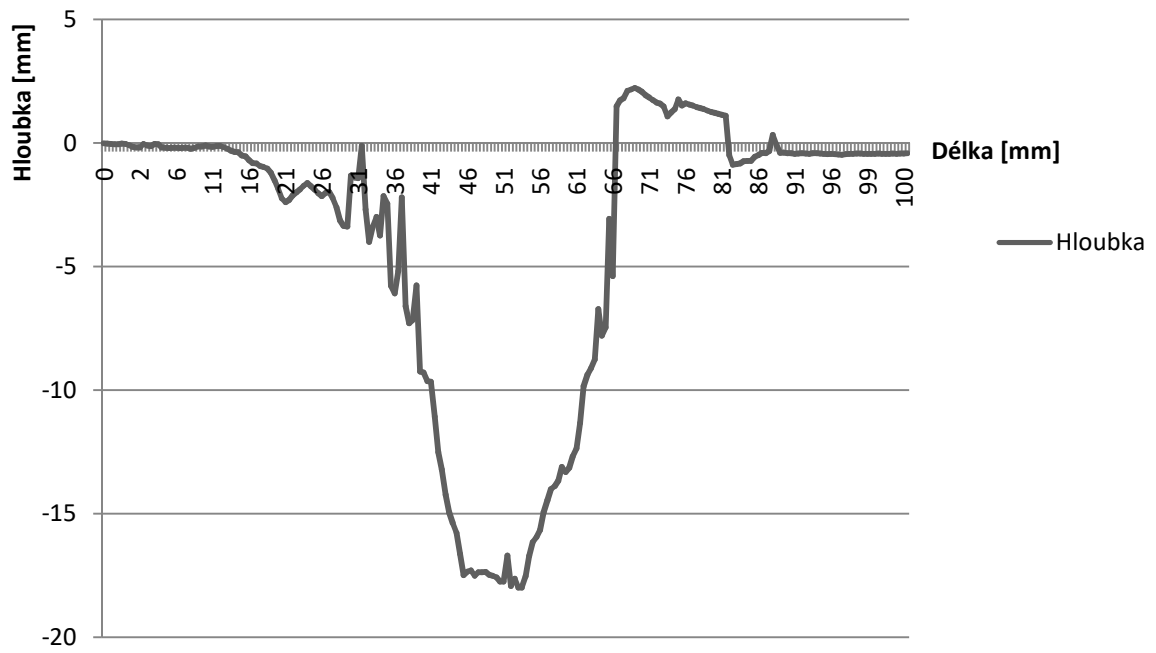
VP5-K2



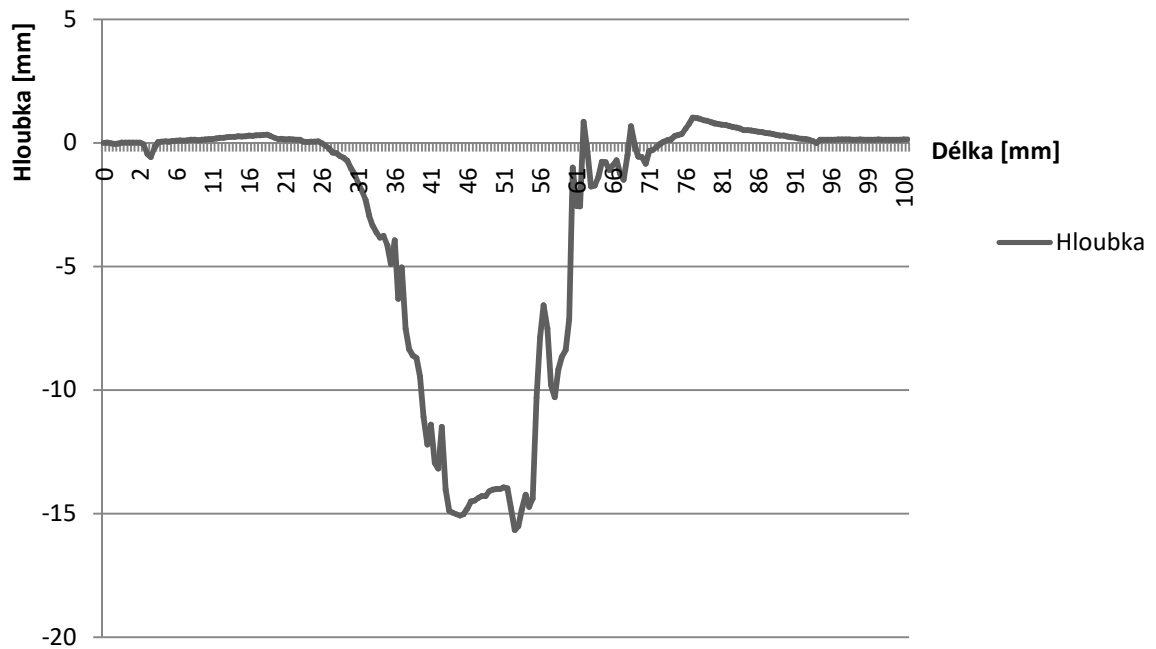
VP6-D1



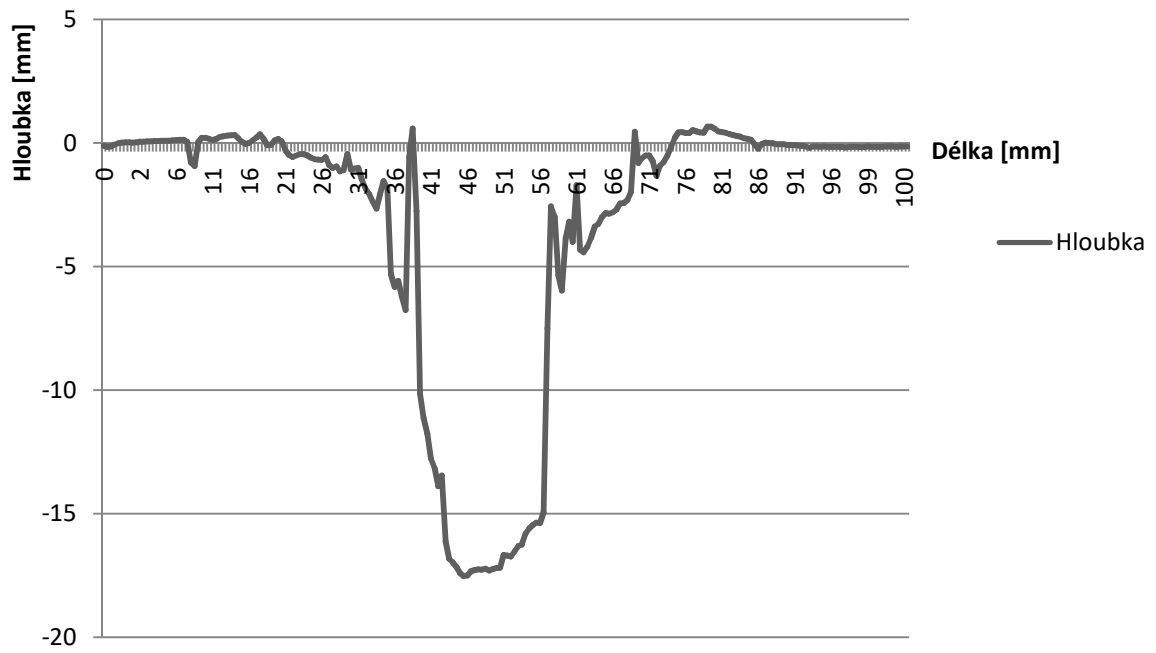
VP6-D2



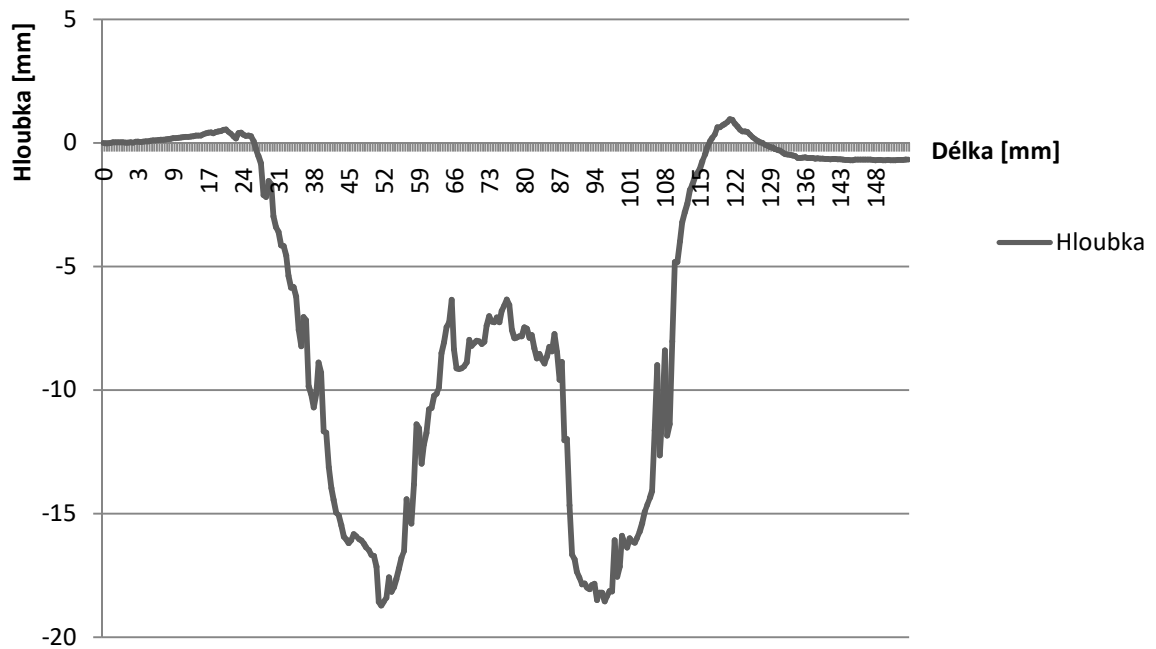
VP6-K1



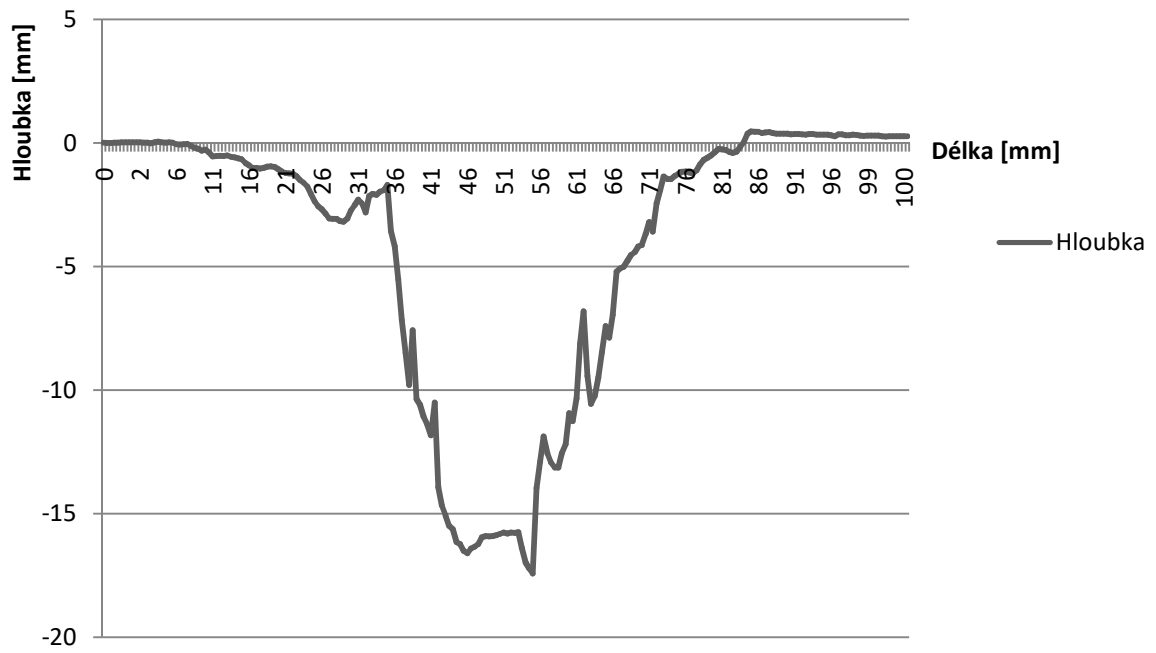
VP6-K2



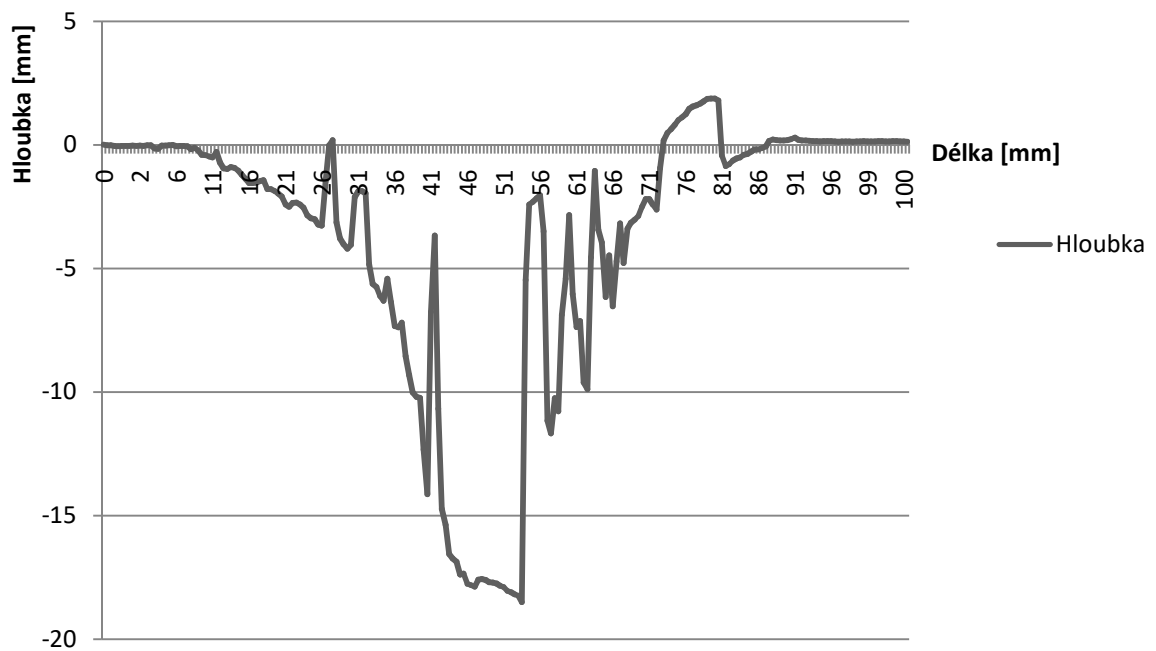
VP7-D



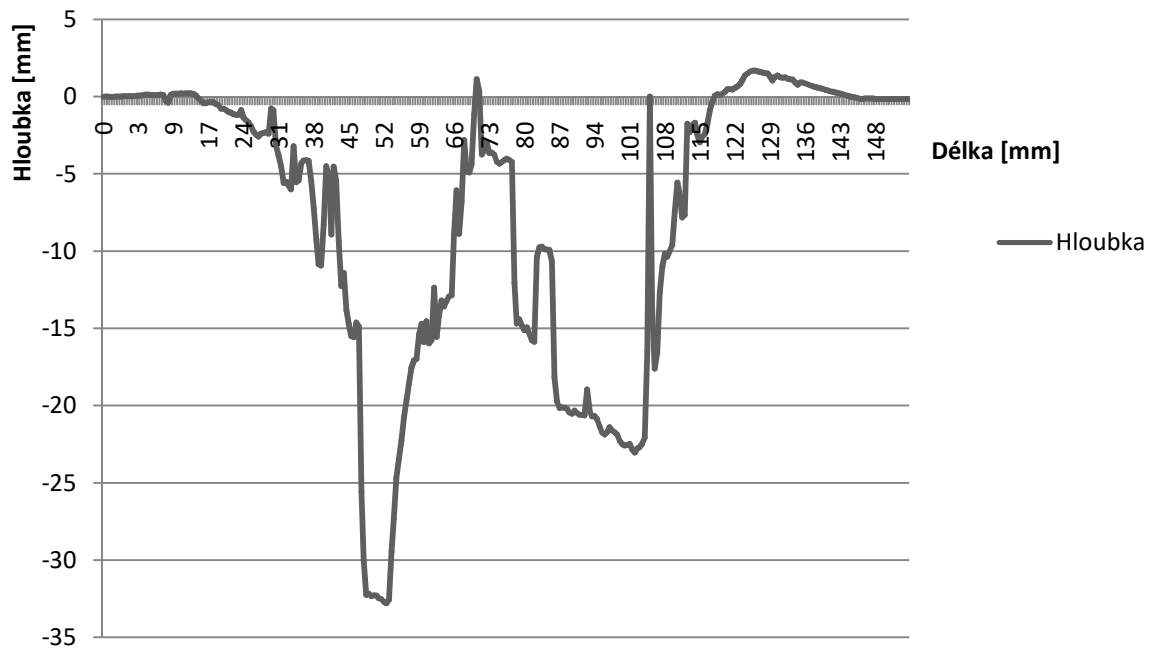
VP7-K1



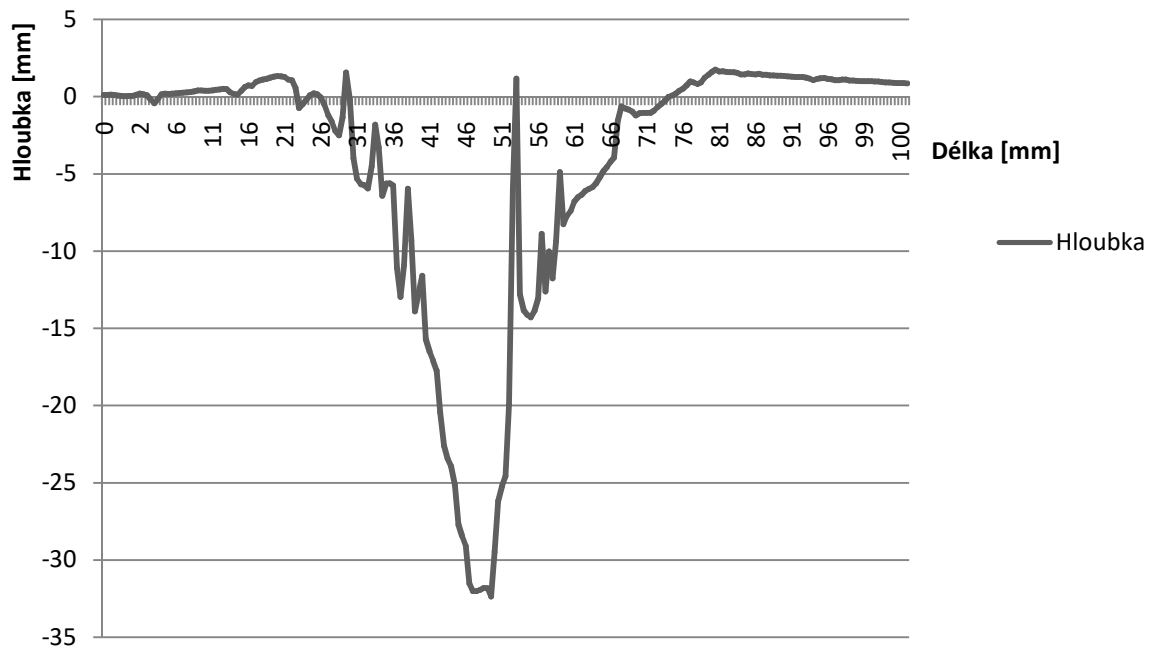
VP7-K2



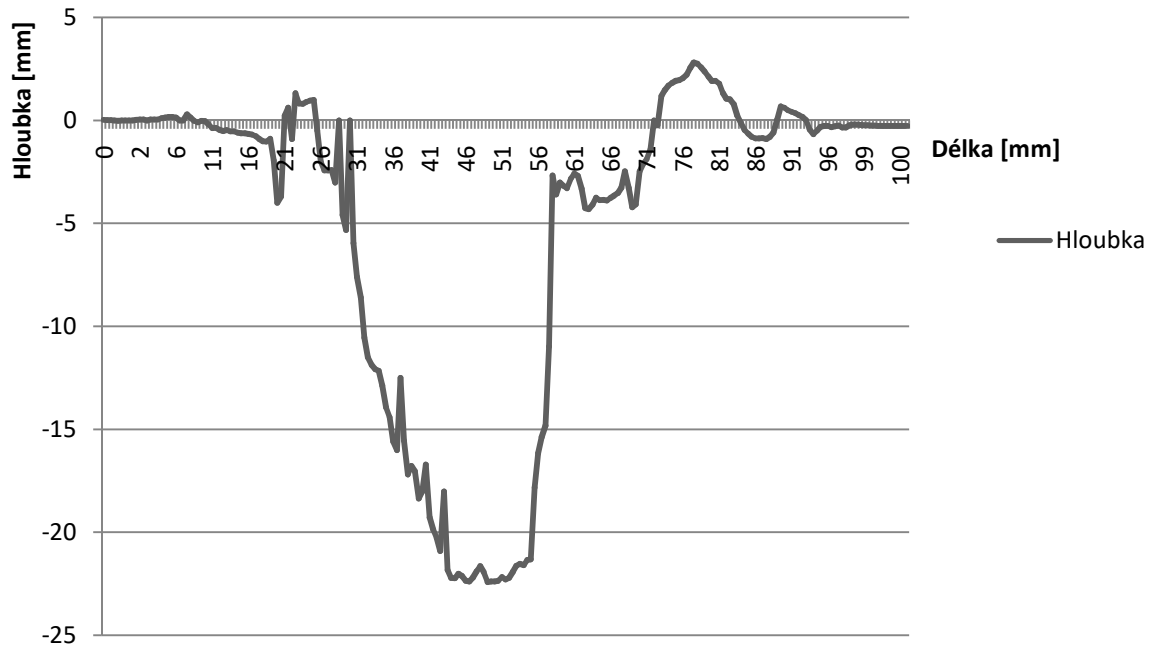
VP8-D



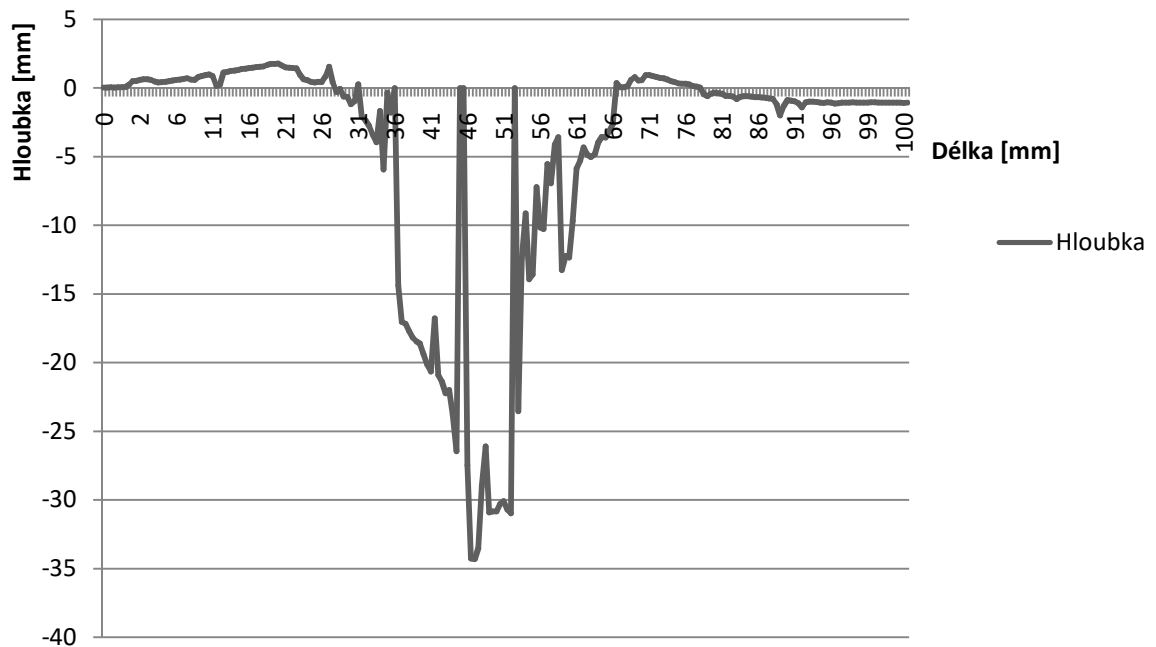
VP8-K1



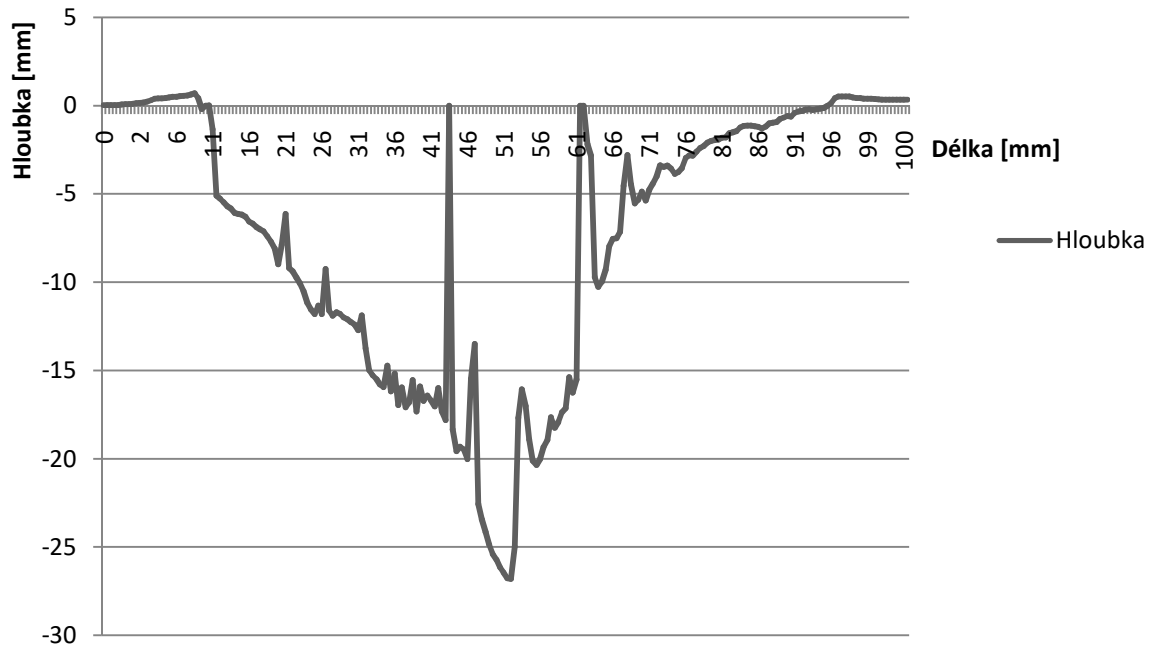
VP8-K2



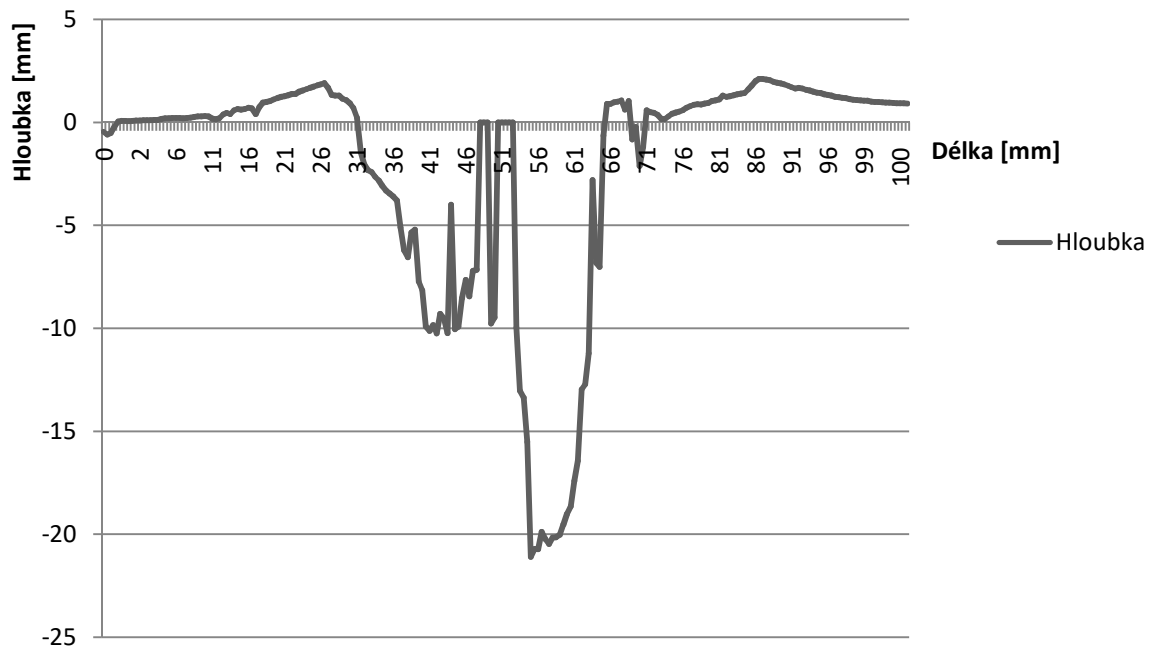
VP9-Dp



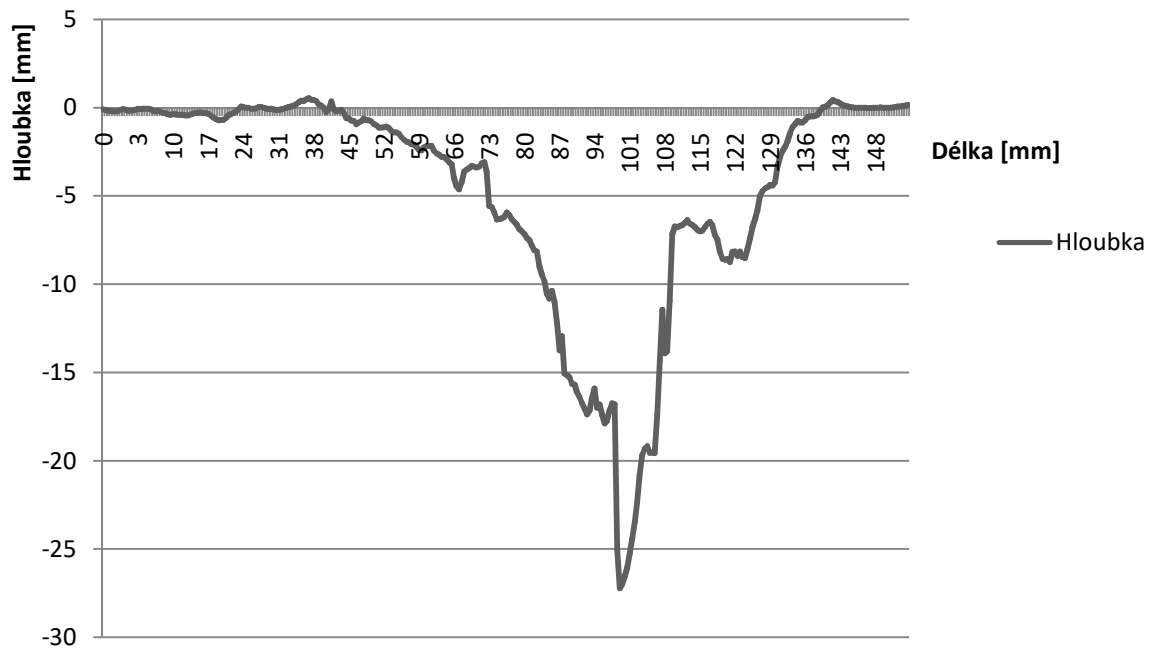
VP9-Dz



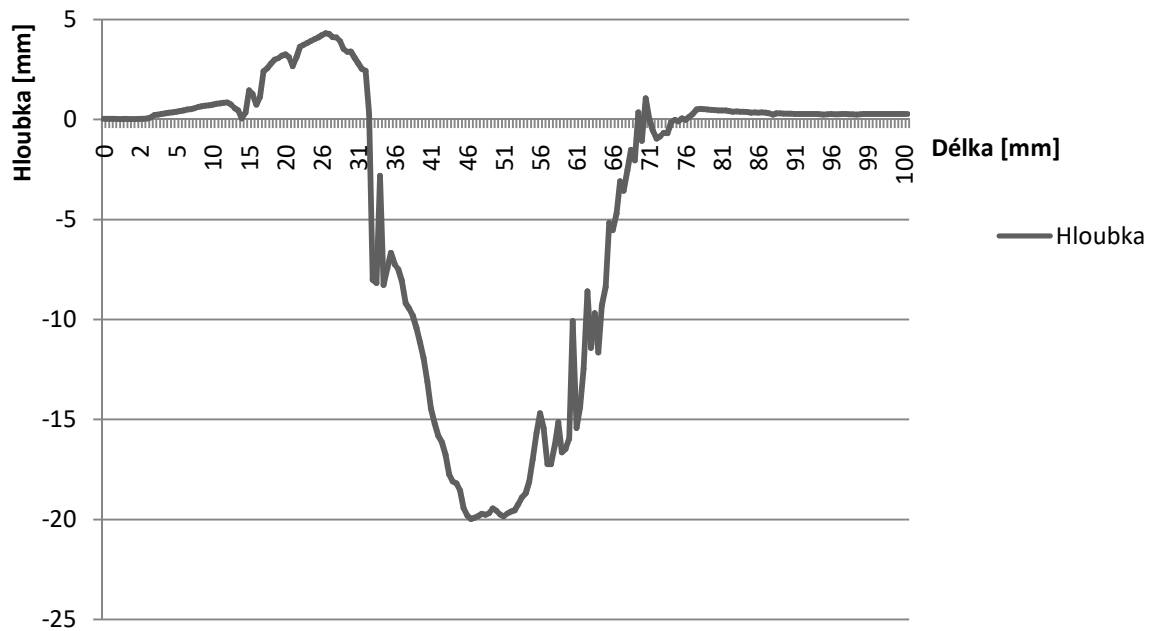
VP9-Kp



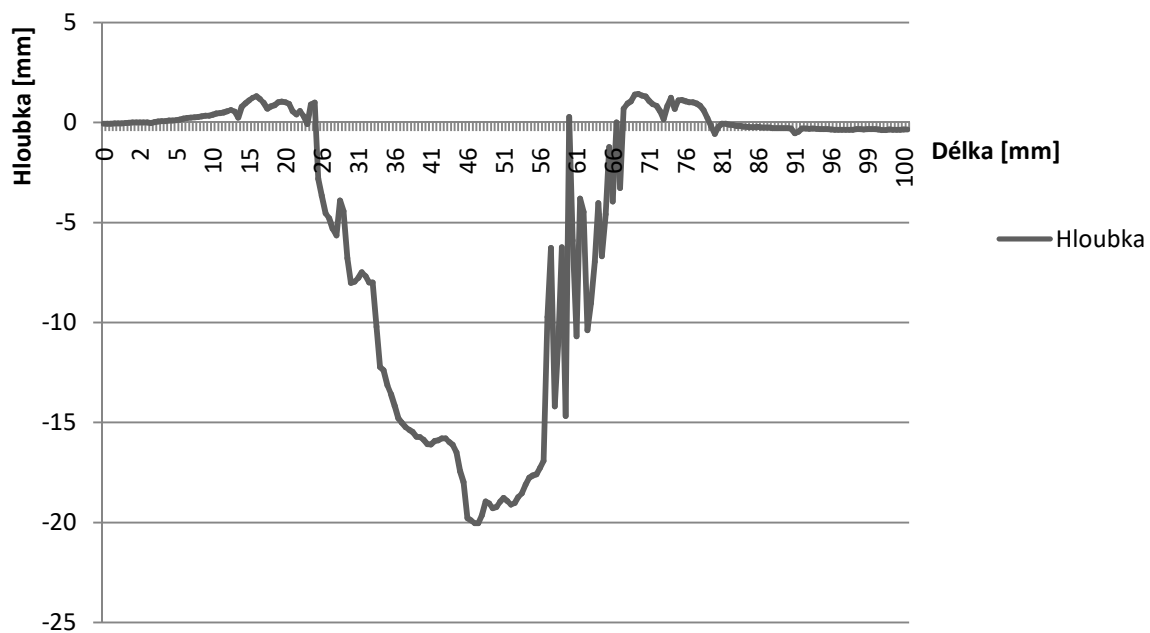
VP9-Kz



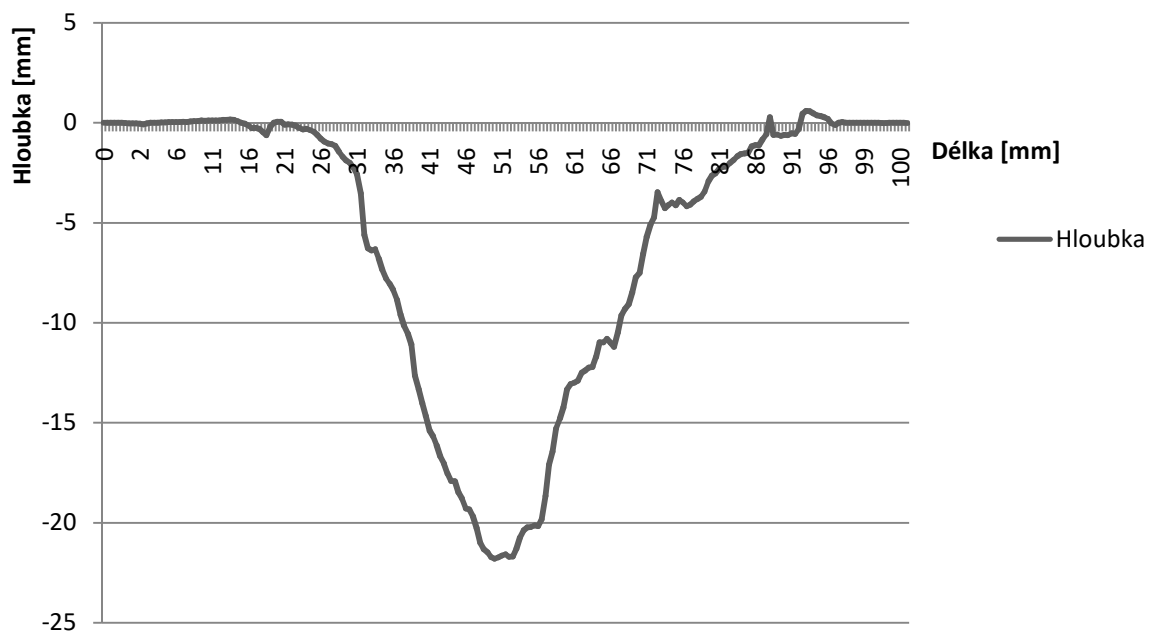
VP10-D



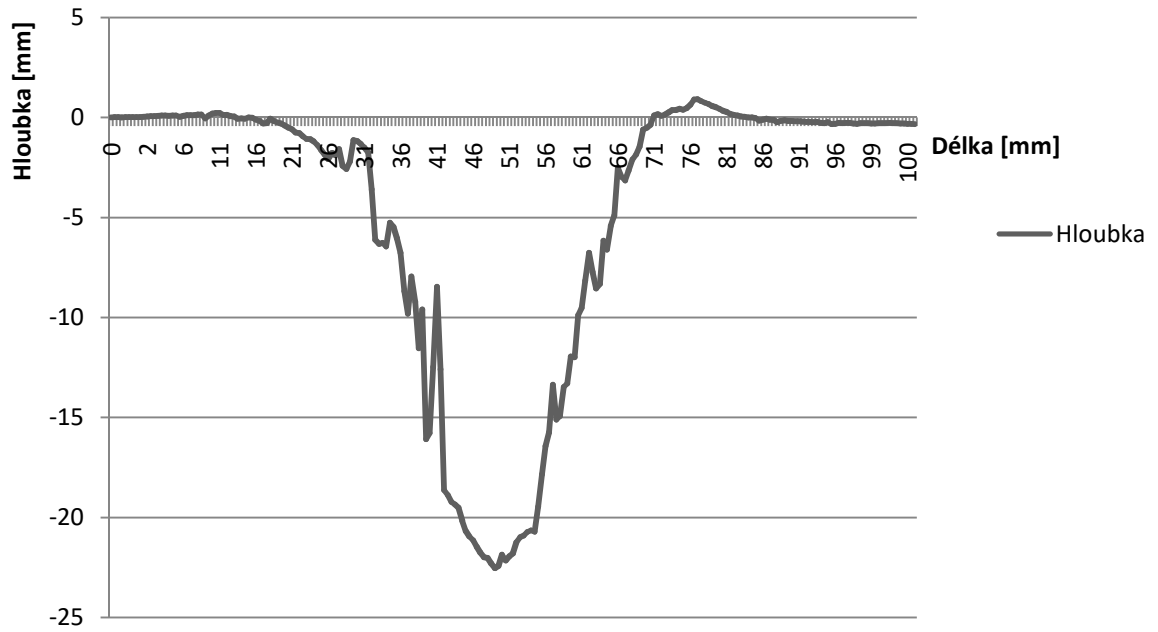
VP10-K



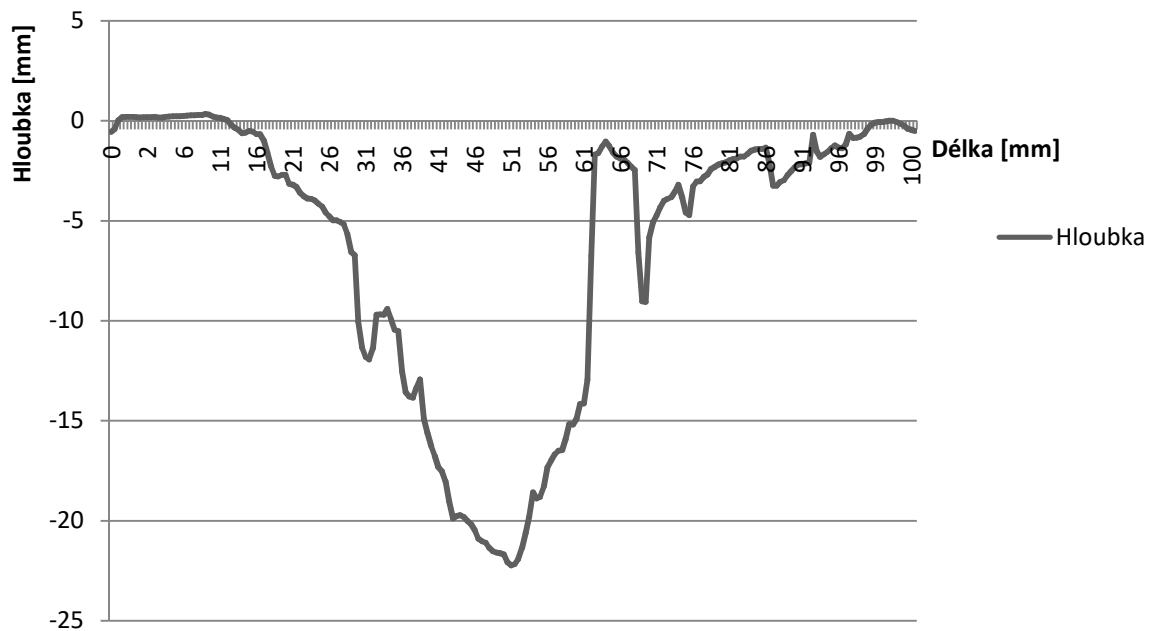
VP11-D1



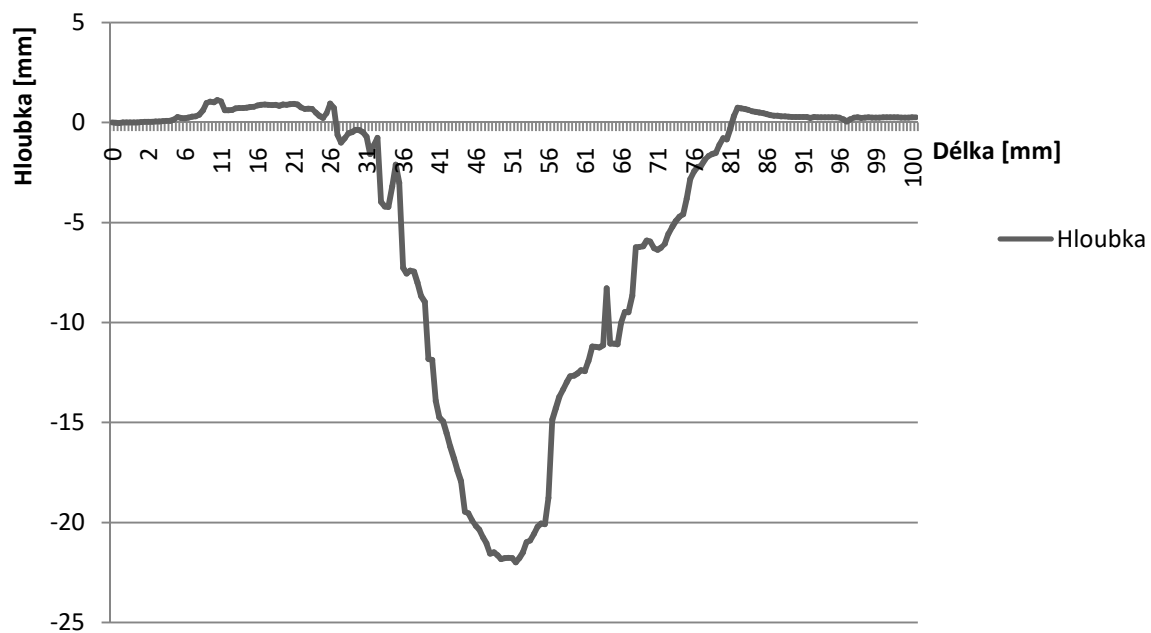
VP11-D2



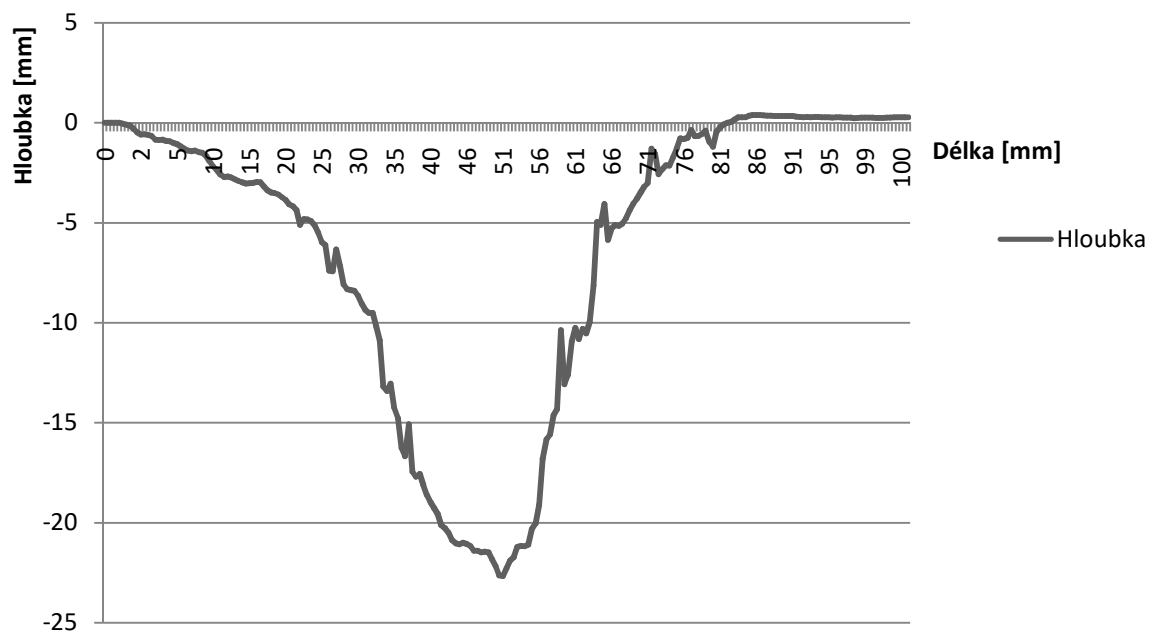
VP11-K1



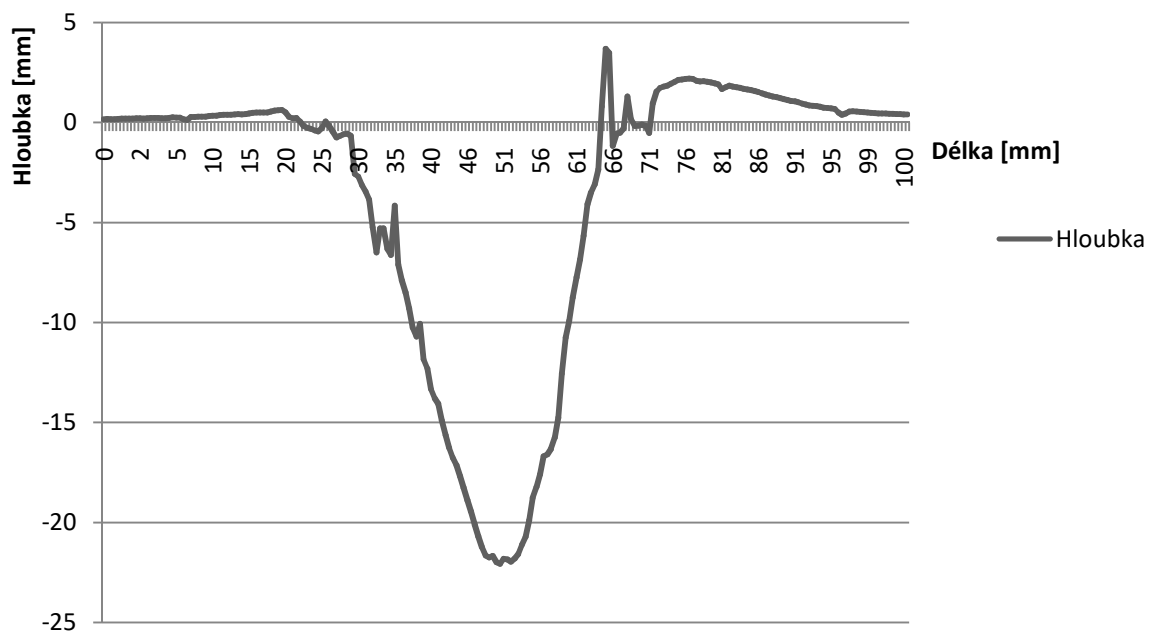
VP11-K2



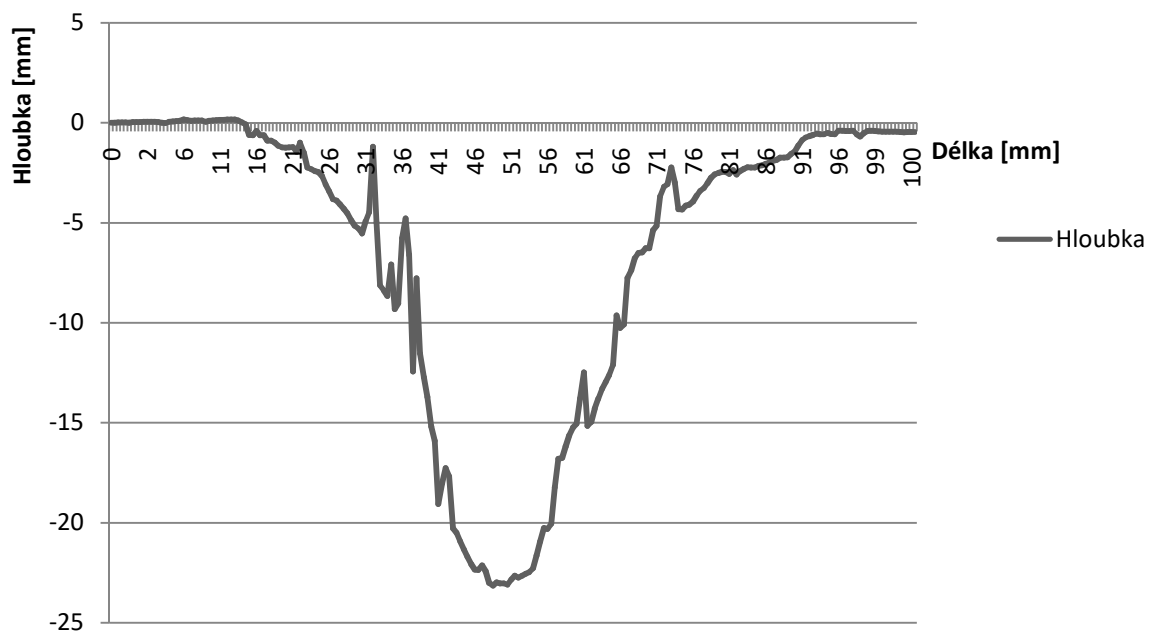
VP12-D1



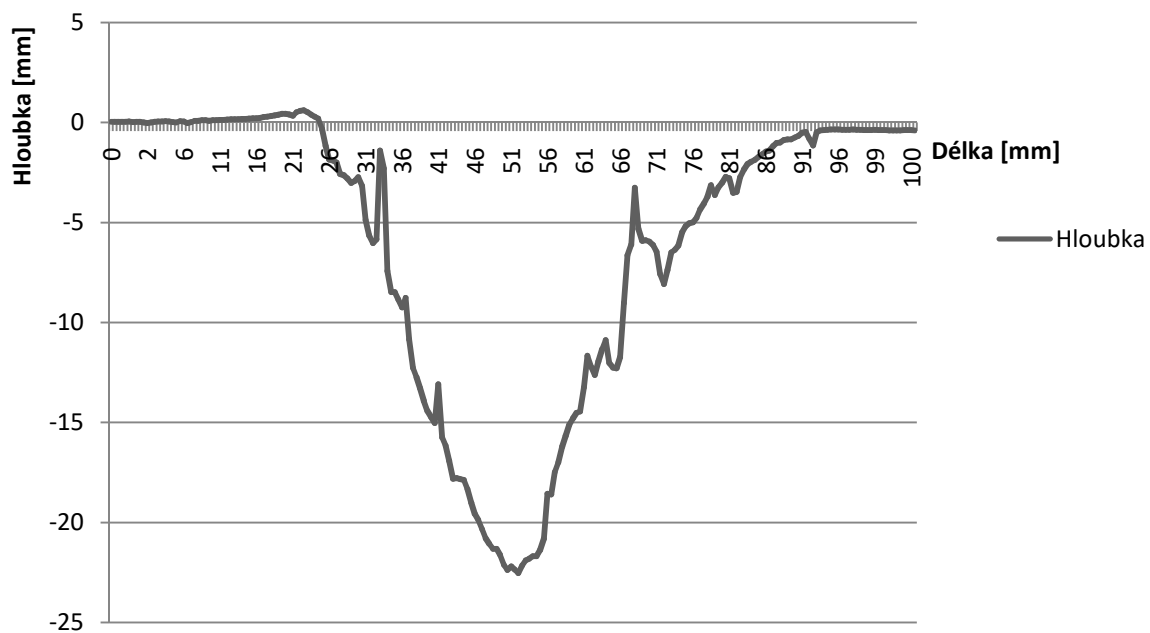
VP12-D2



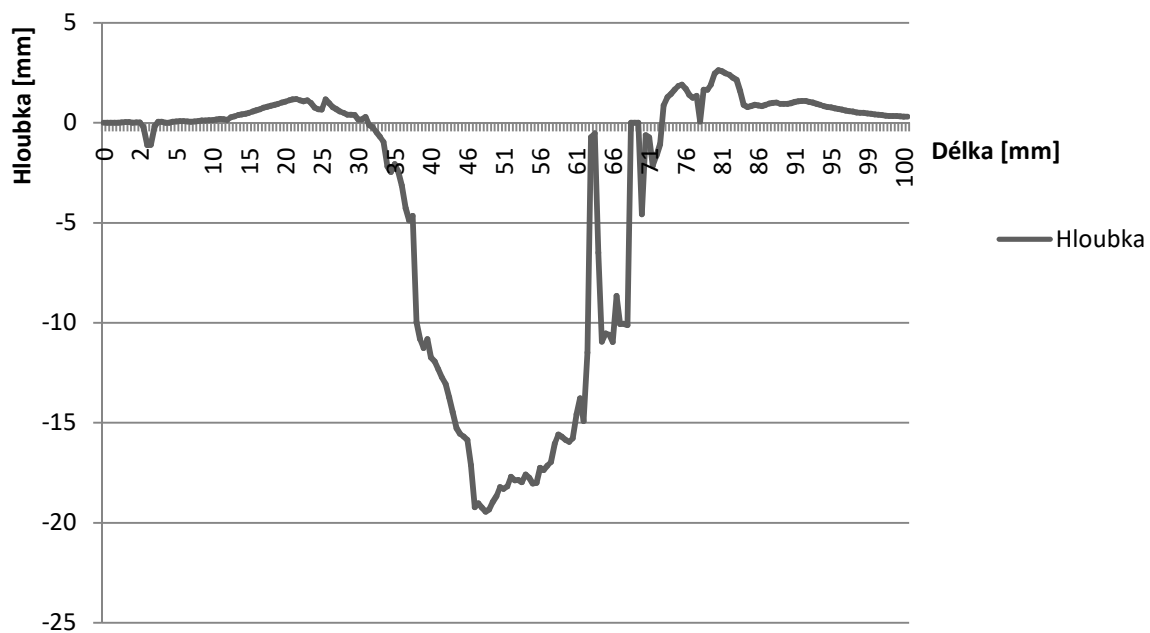
VP12-K1



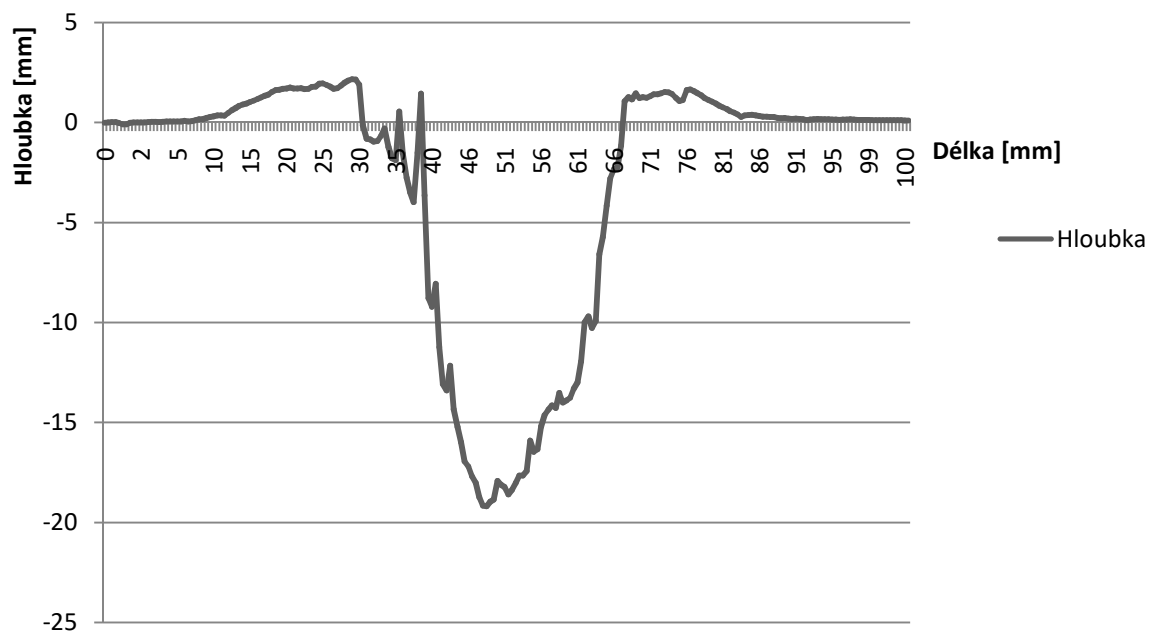
VP12-K2



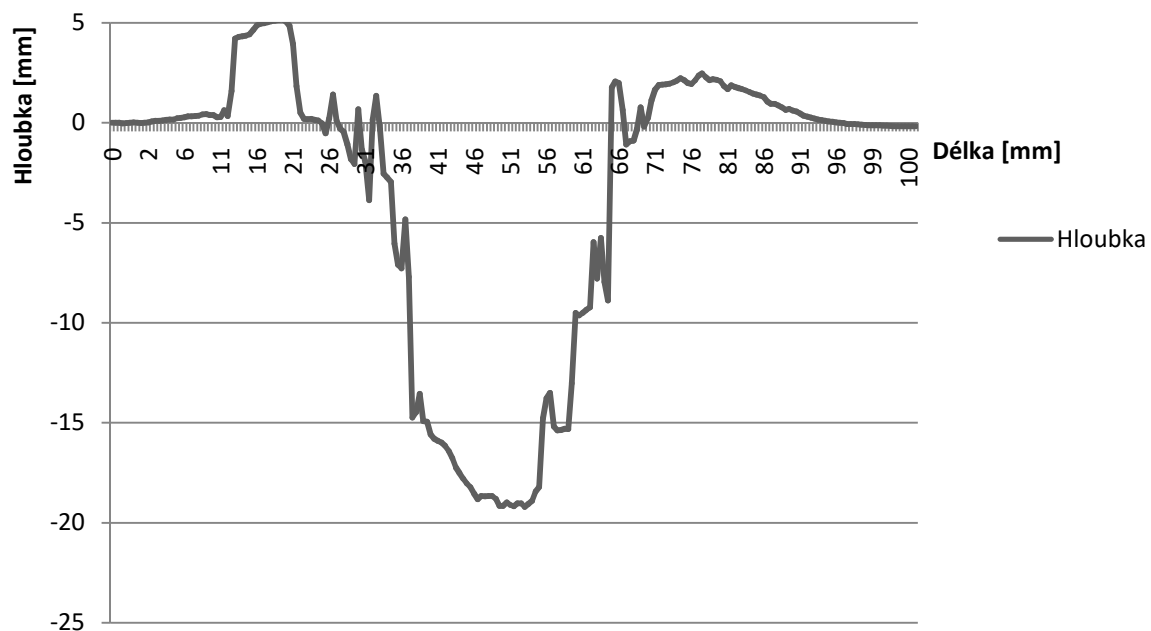
VP13-D1



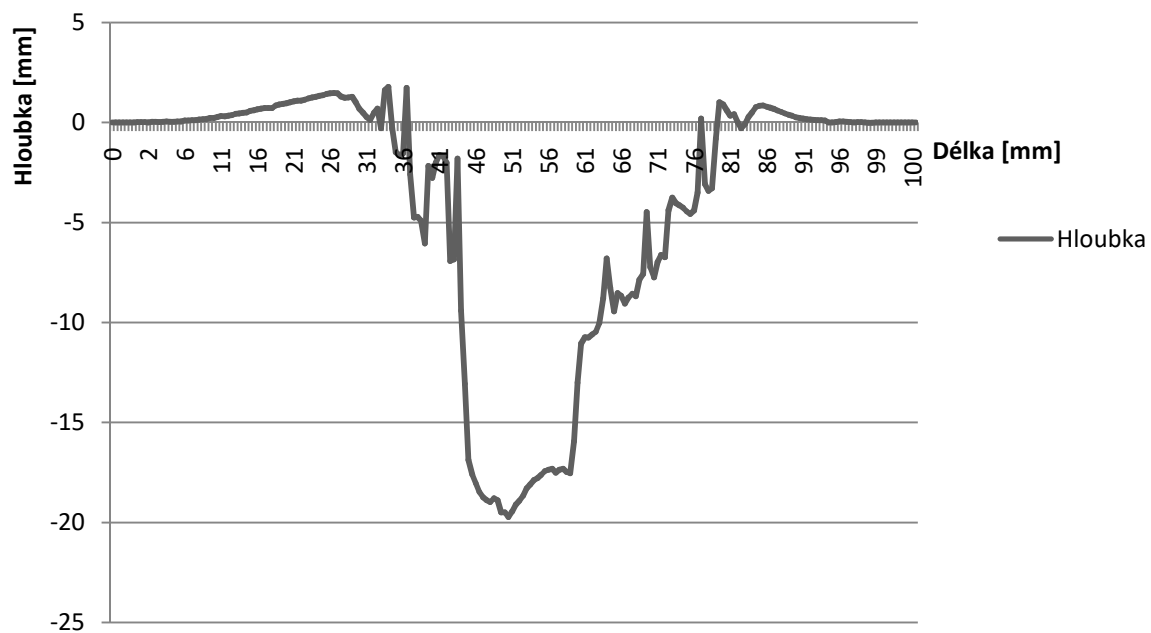
VP13-D2



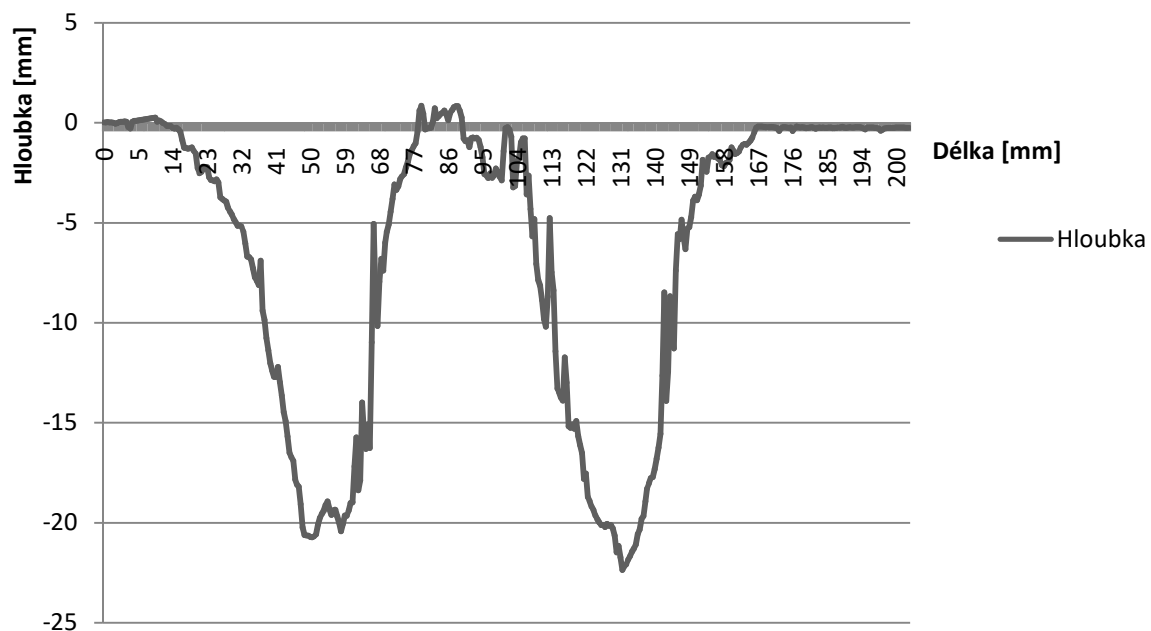
VP13-K1



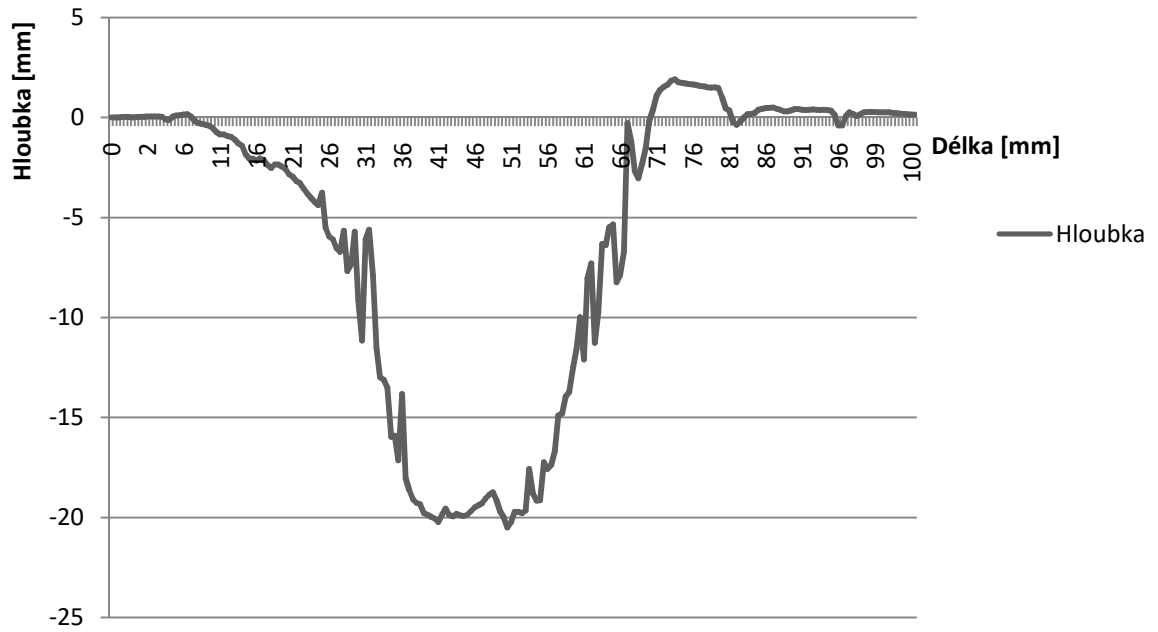
VP13-K2



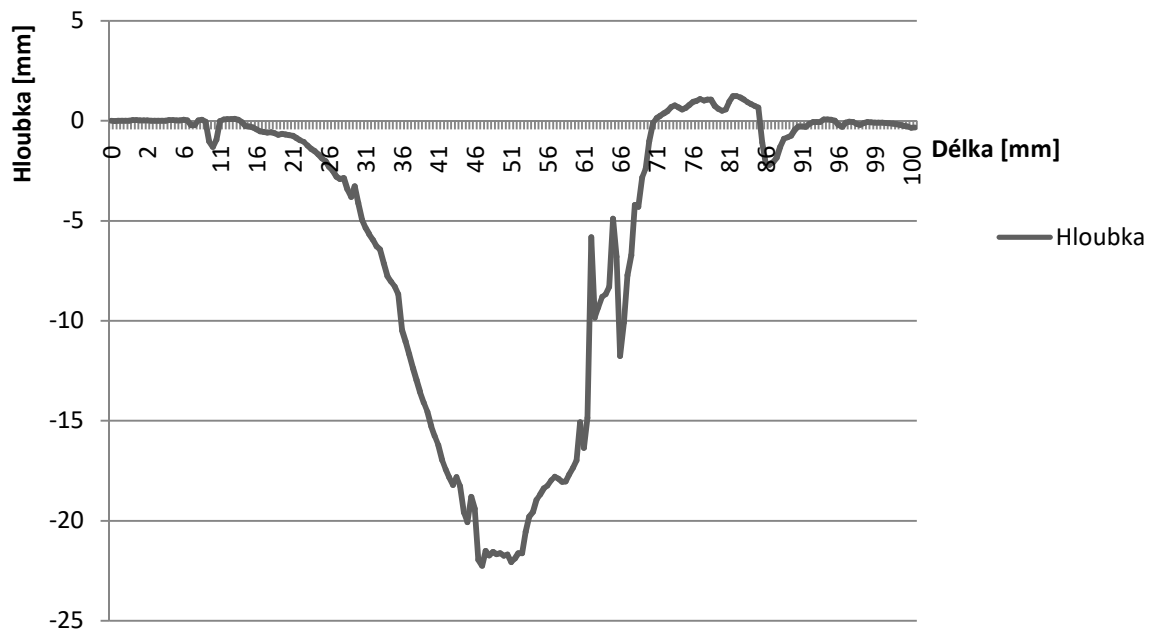
VP14-D



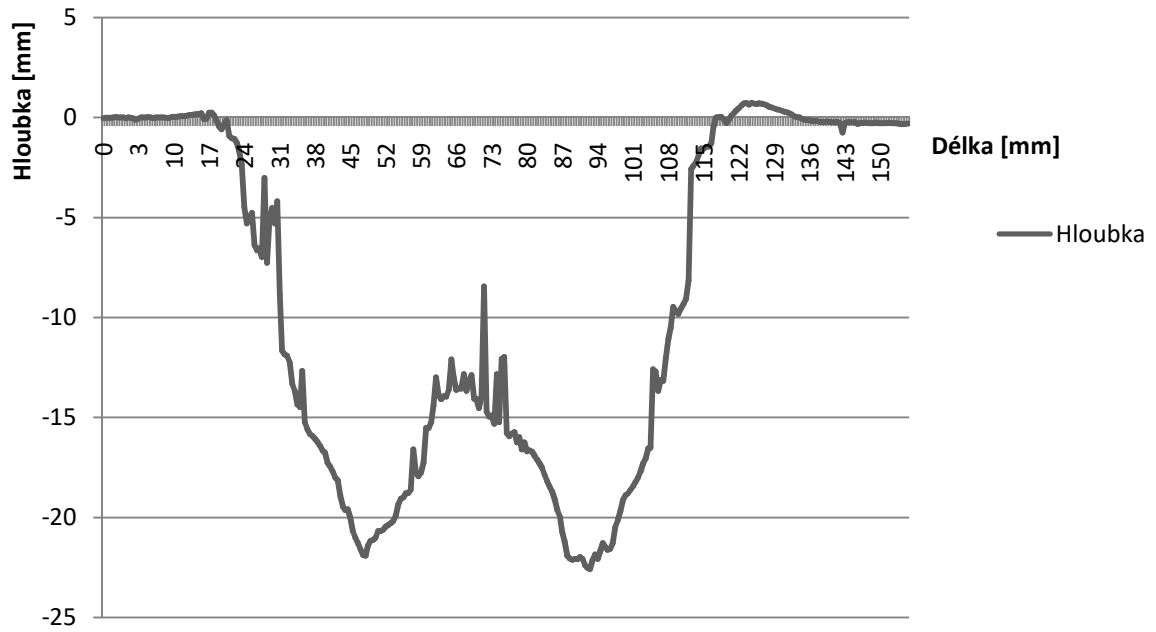
VP14-K1



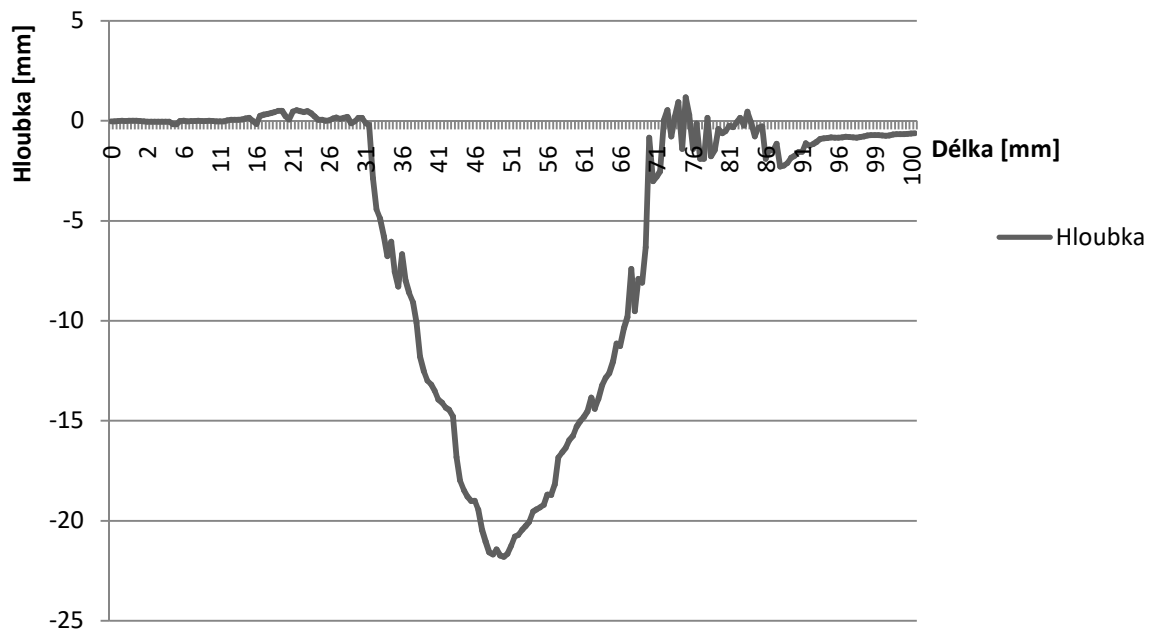
VP14-K2



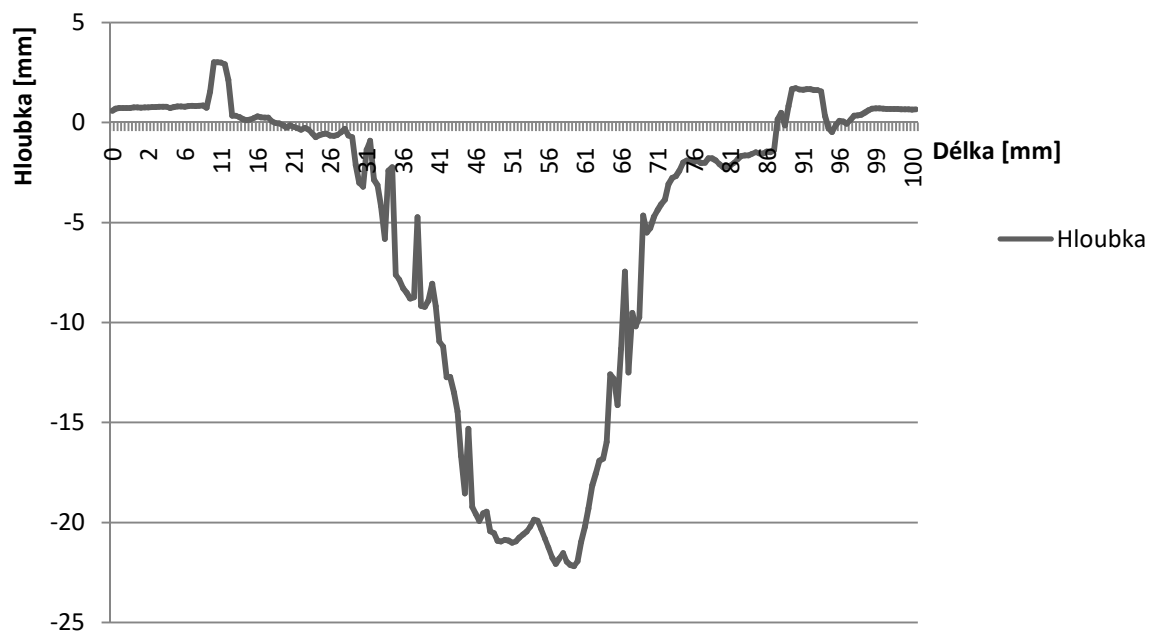
VP15-D



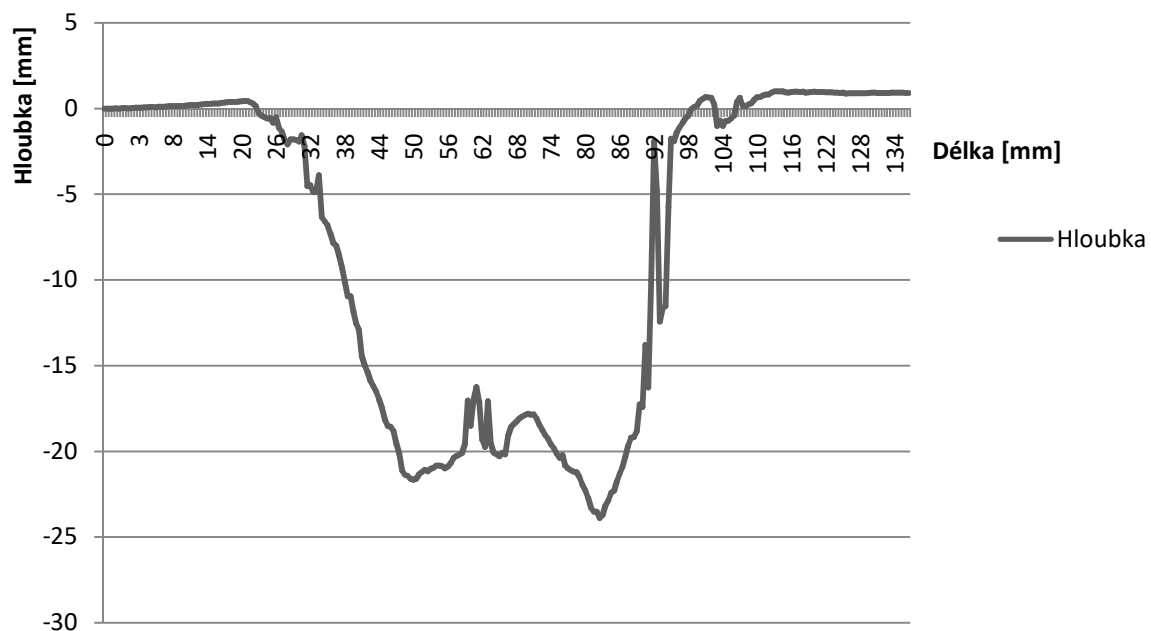
VP15-K1



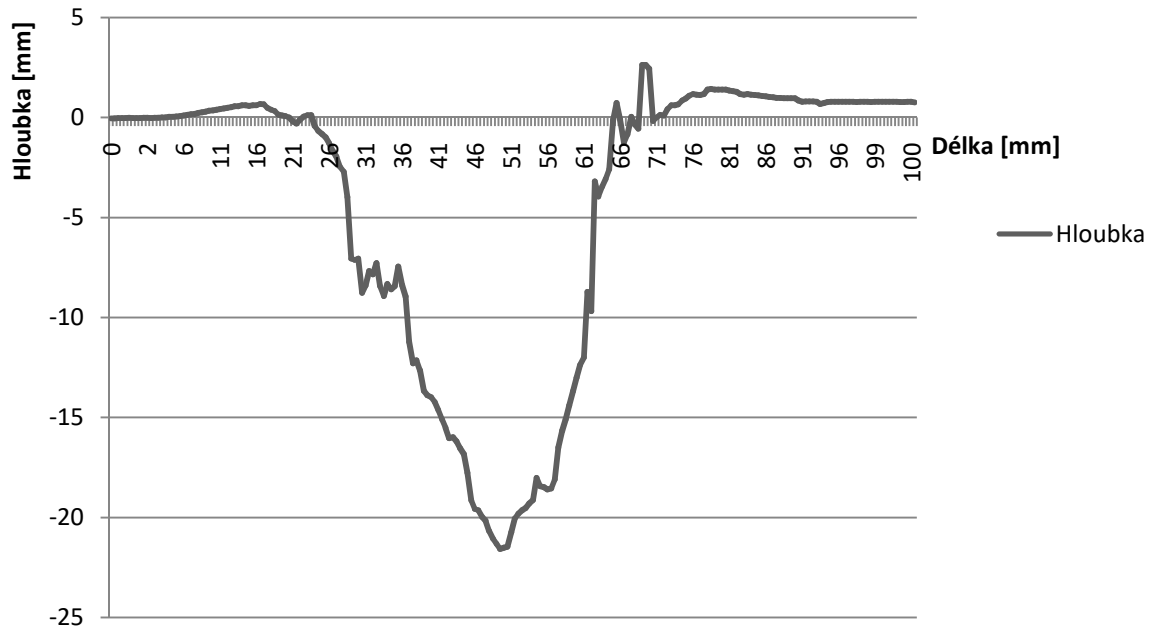
VP15-K2



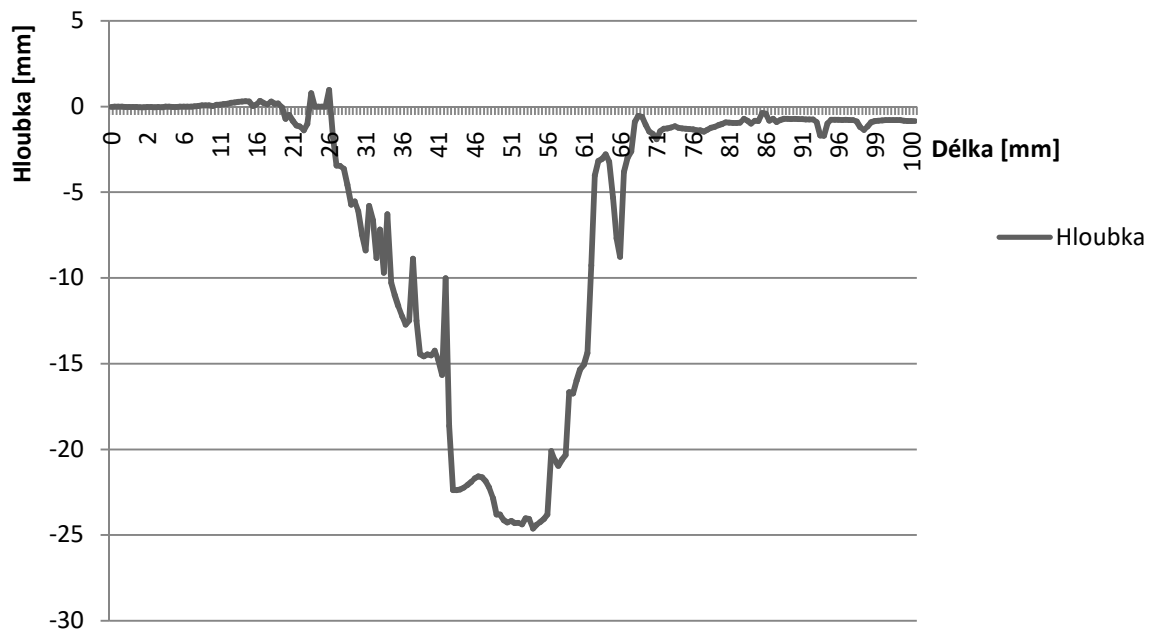
VP16-D



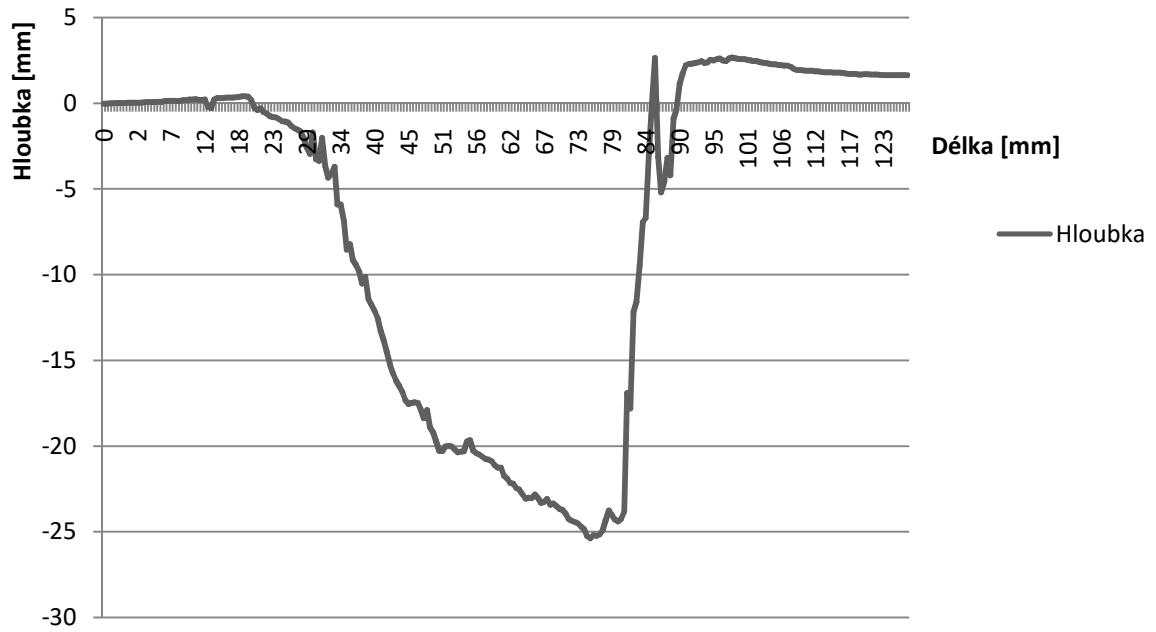
VP16-K1



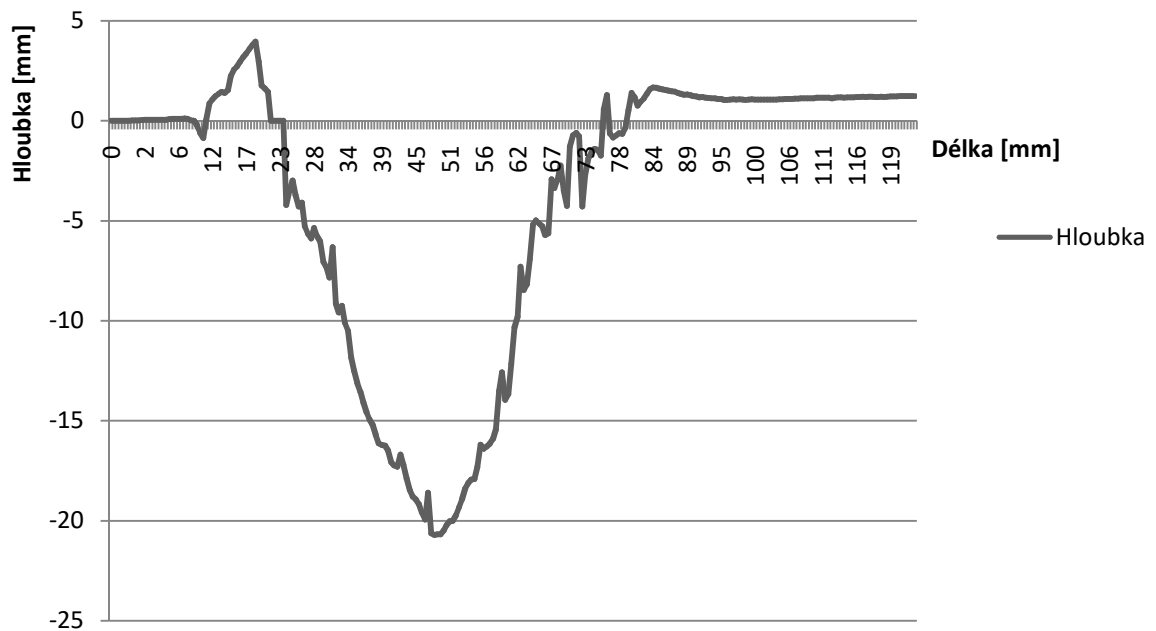
VP16-K2



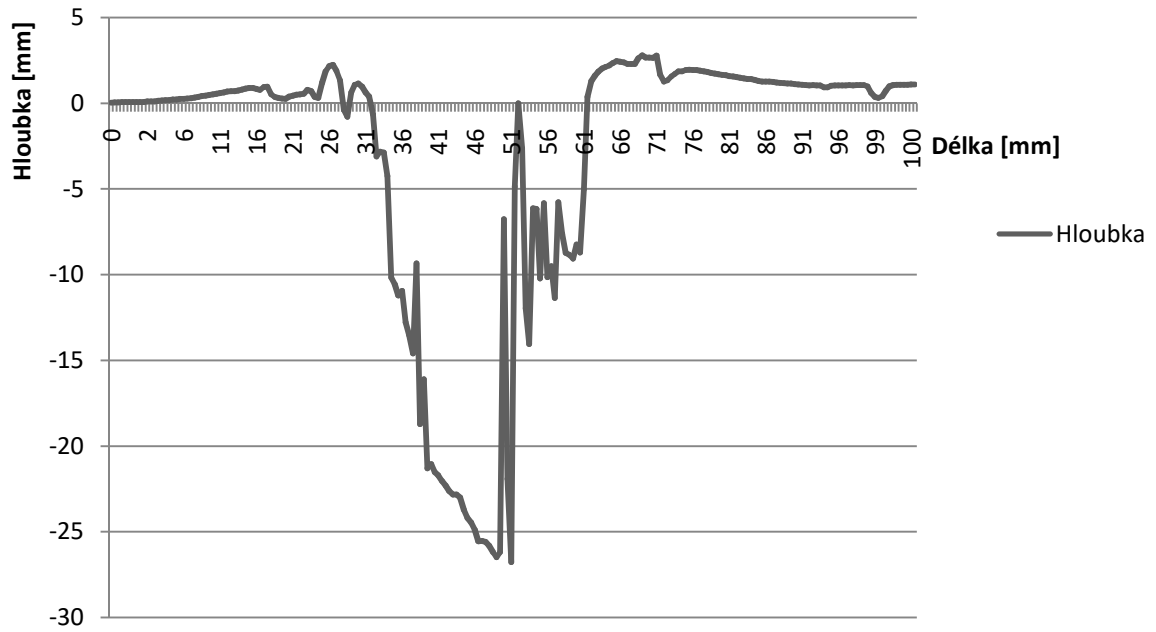
VP17-D



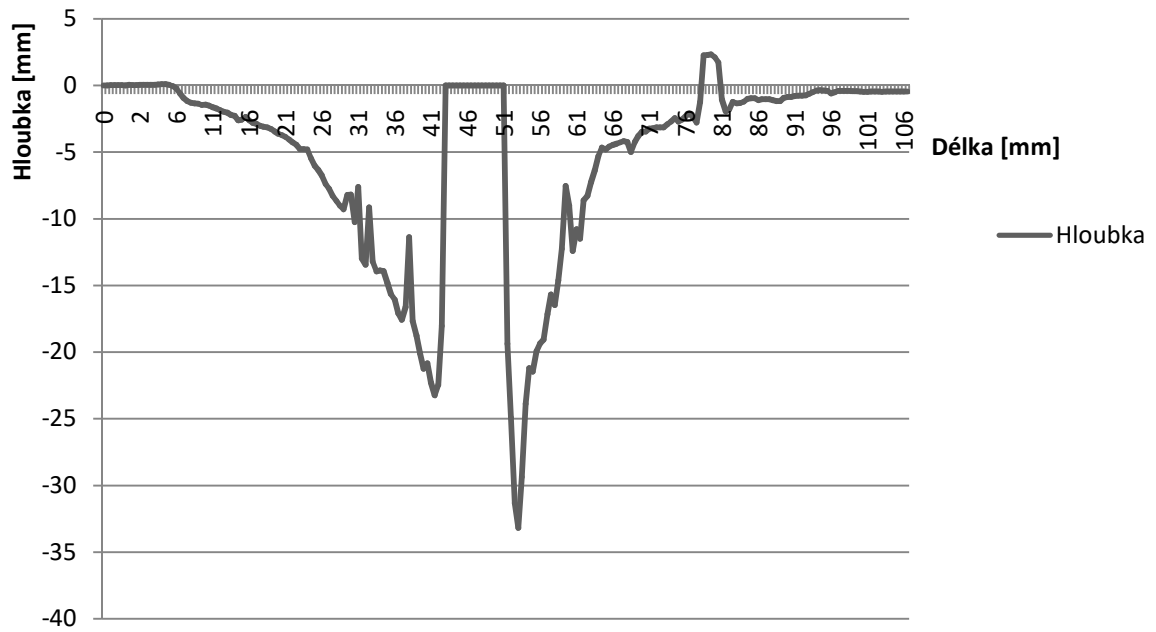
VP17-K1



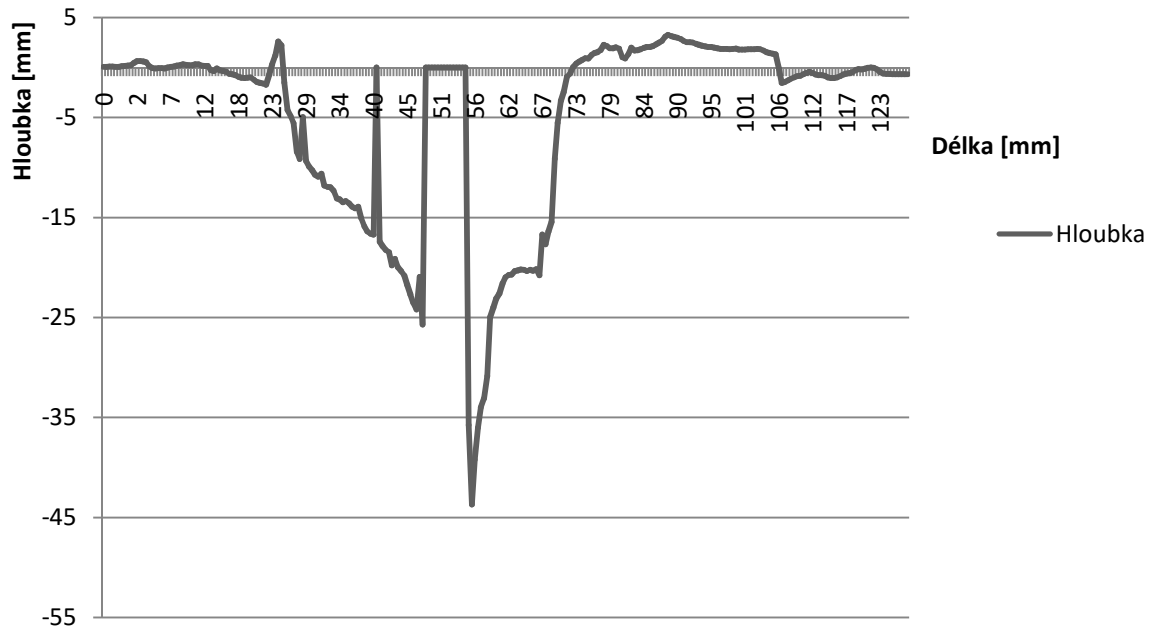
VP17-K2



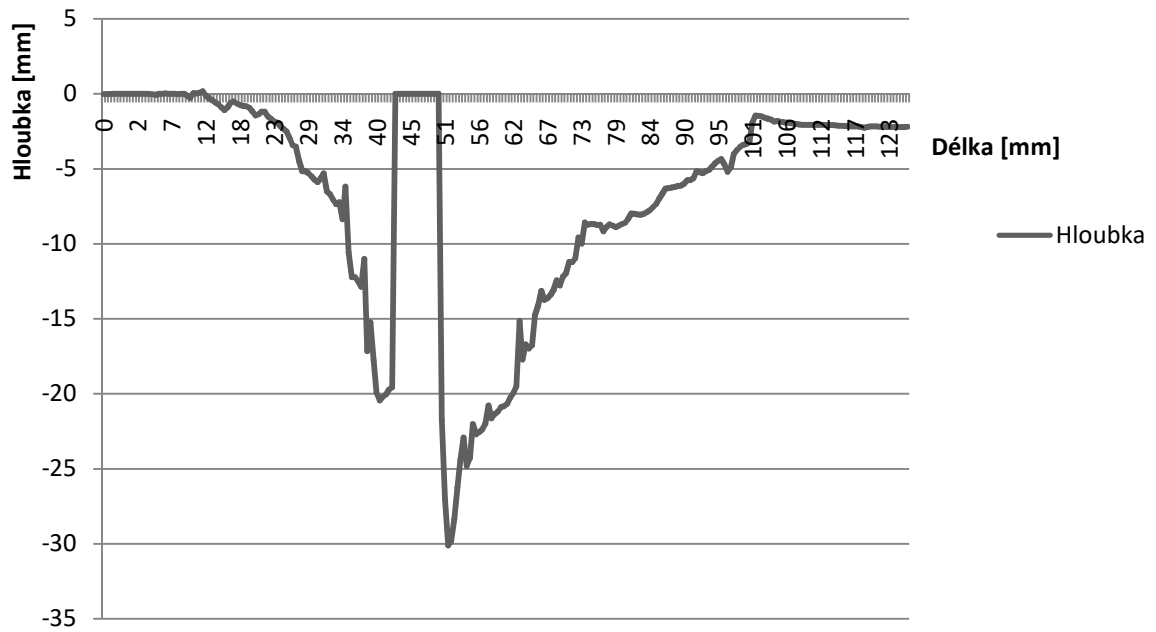
VP18-Dp



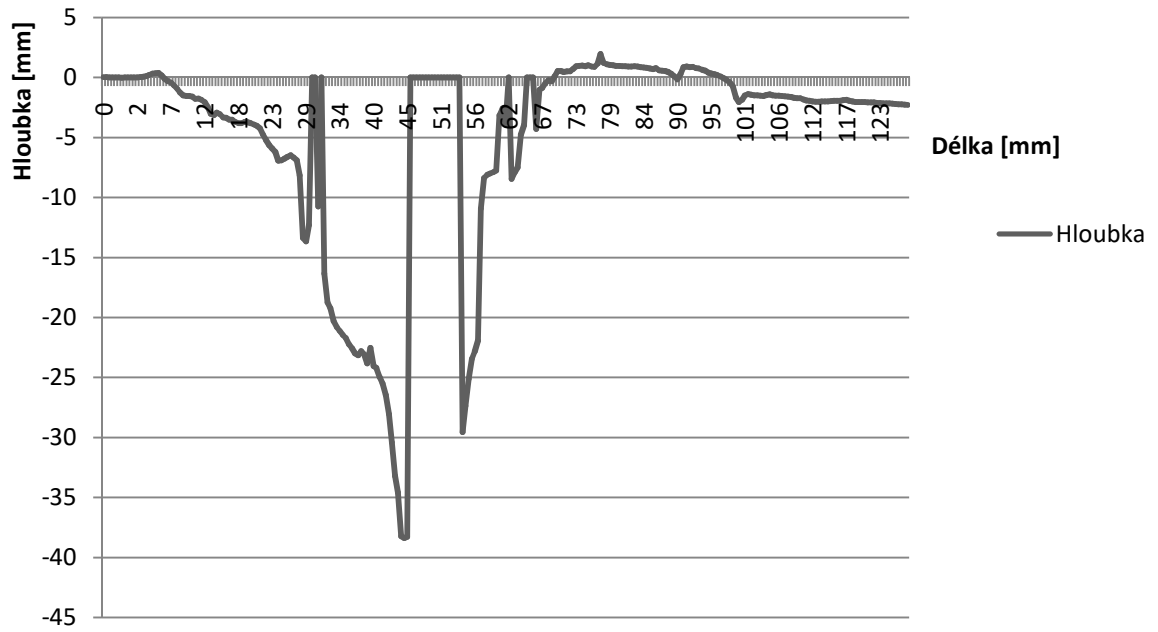
VP18-Dz



VP18-Kp



VP18-Kz



Zdroje

Literatura

[1] M. Pavlíková, Z. Pavlík, J. Hošek- *Materiálové inženýrství I*

[2] Pierre-Claude Aïtcin- *Vysokohodnotný beton*

[3] P. Reiterman- *Special Concrete and Composites 2015*

Ostatní zdroje:

[4] <http://www.ebeton.cz>

[5] <http://ecentrum.fsv.cvut.cz/cz/vav/vav/1.html>

[6] R. Sovják a kol.- *International Journal of Impact Engineering* 76 (2015) 166-177

[7] R. Yu, P. Spiesz, H. J. H. Brouwers- *Cement and Composites* 68 (2016) 109-122

[8] P. Máca, R. Sovják, P. Konvalinka- *International Journal of Impact Engineering* 63 (2014) 158-163]

[9] <http://www.survivor.cz>

[10] ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, FAKULTA STAVEBNÍ. Suchá prefabrikovaná směs multifunkčního silikátového kompozitu. Česká republika. Patentový spis CZ 306663 B6. 15.3.2017

[11] <http://detektory.hantec.cz/clanky/naboj-7-62-x-25-tokarev-male-povidani-o-nabojich-59.html>