



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING TESTING

EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ ZÁVISLOSTI PARAMETRŮ NDT A PEVNOSTI V TLAKU BETONU

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN NDT
PARAMETERS AND THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Vojtěch Kozáček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DALIBOR KOCÁB, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavebního zkušebnictví

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Vojtěch Kozáček
Název	Experimentální stanovení závislosti parametrů NDT a pevnosti v tlaku betonu
Vedoucí práce	Ing. Dalibor Kocáb, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Odborné knihy, jako jsou např.:

Neville, A. M.: Properties of concrete.

Newman, J.; Choo, B. S.: Advanced concrete technology – Concrete Properties.

Neville, A. M.; Brooks, J. J.: Concrete technology.

Colleparidi, M.: Moderní beton.

Bungey, J. H.; Millard, S. G.; Grantham, M. G.: Testing of Concrete in Structures.

Malhotra, V. M.; Carino, N. J.: Handbook on Nondestructive Testing of Concrete.

Tuzemské i zahraniční odborné články pojednávající o zadané problematice.

Návody a další dokumentace k přístrojům Pundit PL-200, SilverSchmidt N a SilverSchmidt L.

Všechny tč. platné normy, zejména s přihlédnutím k ČSN EN 206+A1, řada ČSN EN 12390,

řada ČSN EN 12504, ČSN EN 13791, ČSN 73 1370, ČSN 73 1371, ČSN 73 1373, ČSN 73 2011.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Teoretická část: Nejdříve bude provedena rešerše pramenů, na základě které bude ve zkratce pojednáno o betonu a možnostech stanovení jeho vlastností. Podrobněji bude rozebrána problematika zkoušení betonů pomocí nedestruktivních (nepřímých) metod, přičemž důraz bude kladen na metody použité v praktické části. Popsány budou také stávající vztahy mezi parametrem nedestruktivního zkoušení a pevností betonu v tlaku a možnosti, jak vytvořit vztah nový.

Praktická část: Jako první bude zpracován plán experimentu – určení závislosti mezi výsledky destruktivních a nedestruktivních zkoušek betonu. Poté budou na betonových blocích aplikovány nedestruktivní metody. Dále budou z odzkoušených bloků vyrobena zkušební tělesa pomocí jádrového vrtání, na nichž budou zjištěny pevnostní charakteristiky betonů. Praktická část bude zakončena zpracováním výsledků zkoušek, jejich vyhodnocením a formulací vyplývajících závěrů.

Práci se zkušebními lisy a zařízeními provede osoba k tomu oprávněná.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Dalibor Kocáb, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá nedestruktivním zkoušením betonu a závislostí zjištěných NDT parametrů na pevnosti v tlaku betonu. Pozornost je hlavně soustředěna na ultrazvukovou impulsovou metodu a tvrdoměrnou odrazovou metodu. V praktické části této práce jsou popsány nedestruktivní zkoušky provedené na betonových blocích. Z betonových bloků byly odebrány jádrové vývrty, na kterých se zkoušela pevnost v tlaku. Cílem práce je nalézt regresní modely závislosti pevnosti v tlaku betonu na nedestruktivních parametrech a následná analýza těchto výsledků.

KLÍČOVÁ SLOVA

Beton, pevnost v tlaku, nedestruktivní zkoušení, tvrdoměrná metoda, ultrazvuková impulsová metoda, regresní model

ABSTRACT

The diploma thesis deals with non-destructive testing of concrete as well as with the relationship between determined parameters and the compressive strength of concrete. The thesis is mainly focused on the ultrasonic pulse velocity method and the rebound hammer test. The experimental part of the thesis describes non-destructive tests performed on concrete blocks. The compressive strength was tested on the drill cores taken from the concrete blocks. The aim of this thesis is to find regression models of the relationship between the compressive strength and non-destructive parameters, and the subsequent analysis of the results.

KEYWORDS

Concrete, compressive strength, non-destructive testing, rebound hammer test, ultrasonic pulse velocity test, regression model

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Vojtěch Kozáček *Experimentální stanovení závislosti parametrů NDT a pevnosti v tlaku betonu*. Brno, 2019. 100 s., 29 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Dalibor Kocáb, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Experimentální stanovení závislosti parametrů NDT a pevnosti v tlaku betonu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 10. 1. 2020

Bc. Vojtěch Kozáček
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Experimentální stanovení závislosti parametrů NDT a pevnosti v tlaku betonu* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2020

Bc. Vojtěch Kozáček
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval především Ing. Daliboru Kocábovi, Ph.D. za jeho cenné rady, všechen věnovaný čas a skvělé odborné vedení v celém průběhu zpracovávání této diplomové práce.

Dále děkuji za přípravu a pomoc s jádrovým vrtáním kolektivu pracovníků pod vedením Ing. Petra Žítta. Za ideový návrh složení jednotlivých betonů a výrobu zkušebních těles děkuji firmě BETOTECH s.r.o. pod vedením Ing. Oldřicha Žaluda.

Děkuji svým rodičům, že mě v průběhu celého studia bezmezně podporovali.

Tato diplomová práce byla částečně zpracována v rámci řešení projektu GAČR č. 19-22708S.

OBSAH

1. ÚVOD	11
2. CÍLE PRÁCE	12
3. TEORETICKÁ ČÁST	13
3.1 BETON.....	13
3.2 NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ VLASTNOSTÍ BETONU	13
3.2.1 TVRDOMĚRNÉ METODY.....	13
HISTORIE ZKOUŠENÍ BETONU	13
METODY A PRINCIPY	15
ODRAZOVÁ METODA SCHMIDTOVÝCH TVRDOMĚRŮ.....	16
3.2.2 ULTRAZVUKOVÉ METODY.....	19
ULTRAZVUKOVÁ IMPULSOVÁ METODA ODRAZOVÁ	19
ULTRAZVUKOVÁ IMPULSOVÁ METODA PRŮCHODOVÁ	20
VYHODNOCENÍ VLASTNOSTÍ DLE ČSN 73 1371.....	21
3.2.3 OSTATNÍ NEDESTRUKTIVNÍ METODY	22
OBJEMOVÁ HMOTNOST ZTVRDLÉHO BETONU	22
REZONANČNÍ METODA	22
ELEKTROMAGNETICKÉ METODY	23
ELEKTRICKÉ METODY.....	24
RADIOMETRICKÉ METODY	24
RADIOGRAFICKÉ METODY.....	27
TENZOMETRICKÉ METODY.....	27
TRVANLIVOSTNÍ METODY	28
3.3 DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ BETONU.....	29
3.3.1 LABORATORNÍ.....	29
POŽADAVKY NA ZKUŠEBNÍ TĚLESA.....	29
POŽADAVKY NA FORMY	30
VÝROBA A OŠETŘOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES	31
PEVNOST V TLAKU ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	31
OSTATNÍ LABORATORNÍ ZKOUŠKY	35
3.3.2 IN-SITU.....	37
JÁDROVÉ VÝVRTY	37
ODTRHOVÉ ZKOUŠKY	38
3.4 ZÁVISLOST NDT PARAMETRŮ A PEVNOSTI V TLAKU.....	39
3.4.1 KALIBRAČNÍ VZTAHY.....	39
3.4.2 PEVNOST V TLAKU BETONU DLE ČSN EN 13791.....	40
POSTUP A	40
POSTUP B	41
3.4.3 PEVNOST V TLAKU BETONU URČENÁ TVRDOMĚREM	41
PŘEVODNÍ KŘIVKY VÝROBCE.....	41

VYHODNOCENÍ DLE ČSN 73 1373	43
VYHODNOCENÍ DLE ČSN EN 12504-2.....	44
VYHODNOCENÍ DLE ČSN EN 13791	44
3.4.4 PEVNOST V TLAKU BETONU URČENÁ ULTRAZVUKEM.....	45
DLE ČSN 73 1371	45
DLE ČSN EN 13791.....	46
3.4.5 KOMBINACE ULTRAZVUKOVÉ METODY A TVRDOMĚRU.....	46
4. PRAKTICKÁ ČÁST.....	48
4.1 EXPERIMENT	48
4.1.1 BETONOVÉ BLOKY.....	48
4.1.2 ULTRAZVUKOVÁ IMPULSOVÁ METODA.....	50
4.1.3 METODA SCHMIDTOVÝCH ODRAZOVÝCH TVRDOMĚRŮ.....	60
4.1.4 JÁDROVÉ VÝVRTY.....	65
4.1.5 ZKUŠEBNÍ TĚLESA.....	67
4.1.6 ZKOUŠKA PEVNOSTI VE ZKUŠEBNÍM LISU.....	69
4.2 VÝSLEDKY EXPERIMENTU A JEJICH DISKUZE.....	71
4.2.1 ZÁVISLOT PEVNOSTI V TLAKU NA RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ.....	71
BEZ ROZLIŠENÍ DRUHU BETONU.....	71
BETONY BEZ PŘÍRAD.....	72
BETONY S PLASTIFIKAČNÍ PŘÍSADOU (0,25 %)	73
BETONY S PLASTIFIKAČNÍ PŘÍSADOU (0,50 %)	74
BETONY S PLASTIFIKAČNÍ I PROVZDUŠŇOVACÍ PŘÍSADOU.....	74
4.2.2 ZÁVISLOT PEVNOSTI V TLAKU NA HODNOTĚ ODRAZU R.....	75
BEZ ROZLIŠENÍ DRUHU BETONU.....	75
BETONY BEZ PŘÍRAD.....	77
BETONY S PLASTIFIKAČNÍ PŘÍSADOU (0,25 %)	77
BETONY S PLASTIFIKAČNÍ PŘÍSADOU (0,50 %)	78
BETONY S PLASTIFIKAČNÍ I PROVZDUŠŇOVACÍ PŘÍSADOU.....	79
4.2.3 ZÁVISLOT PEVNOSTI V TLAKU NA HODNOTĚ KOEFICIENTU Q.....	80
BEZ ROZLIŠENÍ DRUHU BETONU.....	80
BETONY BEZ PŘÍRAD.....	81
BETONY S PLASTIFIKAČNÍ PŘÍSADOU (0,25 %)	82
BETONY S PLASTIFIKAČNÍ PŘÍSADOU (0,50 %)	83
BETONY S PLASTIFIKAČNÍ I PROVZDUŠŇOVACÍ PŘÍSADOU.....	83
4.2.4 ZÁVISLOST TVRDSOTI NA RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ.....	84
4.2.5 KOMBINACE TVRDSOTI A RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ.....	85
PEVNOST V TLAKU vs. ODRAZ R + RYCHLOST ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ.....	85
PEVNOST V TLAKU vs. KOEF. VRÁCENÉ ENERGIE Q + RYCHLOST ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ..	86
5. ZÁVĚR.....	88
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	90

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	93
SEZNAM GRAFŮ.....	95
SEZNAM TABULEK.....	97
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	98
SEZNAM PŘÍLOH.....	100
PŘÍLOHY.....	101

1. ÚVOD

Beton je nejpoužívanější stavební materiál současnosti, a proto často vzniká potřeba ověřit jeho vlastnosti přímo na konstrukci. Ruku v ruce se stále modernějšími přístroji a technickými možnostmi se do popředí zájmu stále častěji dostávají nedestruktivní (NDT) metody ověřování jeho vlastností.

Nedestruktivní metody mají řadu výhod. Největší výhodou je skutečnost, že konstrukci nepoškozují, resp. nenarušují její statickou funkci. Důležitou předností NDT zkoušek je i jejich rychlost a opakovatelnost. Za stejný čas lze získat mnohonásobně více NDT parametrů než při použití klasických destruktivních metod. Je tedy žádoucí, aby se nedestruktivní metody zkoušení betonu dále rozvíjely a rozšiřovalo se jejich uplatnění. Nicméně dnes ještě není možné spolehnout se pouze na výsledky NDT zkoušek, stále je třeba alespoň upřesnit výsledky některou destruktivní metodou.

Mezi dvě nejpoužívanější nedestruktivní metody současnosti patří ultrazvuková impulsová metoda a odrazová tvrdoměrná metoda. Obě mají své výhody i nevýhody, ale každá zvláště obstojně plní svůj účel. Ovšem kombinací obou metod by snad bylo možné vytvořit spolehlivější převodní vztah mezi získanými daty a jednou z nejdůležitějších charakteristik betonu.

Nejdůležitější vlastností betonu je ještě stále pevnost v tlaku. Pomocí různých regresních modelů lze nalézt závislosti mezi pevností v tlaku a některými nedestruktivně zjišťovanými parametry betonu. Nalezení obecně platné závislosti je ovšem velmi obtížné, neboť jednotlivé betony se mezi sebou velmi liší ve složení. Navíc v dnešní době se v recepturách betonů objevuje stále více přísad a příměsí, které podstatně mění vlastnosti betonu, přičemž vztahy mezi vlastnostmi nezůstávají stejné.

2. CÍLE PRÁCE

Jedním z cílů práce je podrobná rešerše problematiky nedestruktivního zkoušení vlastností betonu v konstrukcích. Rešerše bude použita pro zpracování teoretické části diplomové práce. Důraz bude kladen na popis a vyhodnocení nedestruktivních metod použitých v praktické části. Popsány tedy budou i stávající vztahy mezi parametry nedestruktivního zkoušení a pevností v tlaku betonu. Určité poznatky a postupy budou aplikovány i při experimentu popsáném v praktické části diplomové práce.

Hlavním cílem praktické části je nalézt regresní modely závislosti mezi výsledky (experimentálními daty) destruktivních a nedestruktivních zkoušek na betonových blocích. Na blocích budou nejprve aplikovány nedestruktivní metody (ultrazvuková impulsová metoda a tvrdoměrná odrazová metoda) a z již odzkoušených bloků budou vyrobena zkušební tělesa pomocí jádrového vrtání. Na zkušebních tělesech budou zjištěny pevnostní charakteristiky betonů zkouškou pevnosti v tlaku betonu ve zkušebním lisu.

Regresní modely budou hledány pro obě dvě použité nedestruktivní metody zvlášť i pro jejich kombinaci. Předpokladem úspěšného nalezení regresních modelů je beton známého složení, který se neliší v surovinách, ale pouze v jejich poměru, a především ve vodním součiniteli.

3. TEORETICKÁ ČÁST

Následující rozsáhlá část diplomové práce má za úkol představit beton jako jeden z nejrozšířenějších stavebních materiálů na světě. S ohledem na provedený experiment, kterému se následně věnuje praktická část, budou popsány vybrané vlastnosti betonu a možnosti, jak tyto vlastnosti stanovit.

3.1 BETON

Beton je ve světě velmi rozšířený stavební materiál. Norma ČSN EN 206+A1 [1] ho charakterizuje jako materiál ze směsi cementu, hrubého a drobného kameniva a vody, s přísadami, příměsemi nebo bez nich, který získá své vlastnosti hydratací cementu.

3.2 NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ VLASTNOSTÍ BETONU

3.2.1 TVRDOMĚRNÉ METODY

Tvrdoměrné metody zkoušení betonu platí v současnosti za nejvíce používané nedestruktivní metody (NDT) [2].

Tvrdot je důležitá vlastnost daného materiálu, kterou ovšem nelze jednoduše popsat jako fyzikální veličinu, může být ovšem definována jako odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa [2].

HISTORIE ZKOUŠENÍ BETONU

Již od prvopočátku používání betonu jako stavebního materiálu vznikala potřeba zjistit kvalitu betonu přímo v konstrukci. Vývoj nedestruktivních metod byl ovšem zdlouhavý. Zpočátku byla kontrola betonu odkázána pouze na vizuální pozorování. První zkoušky na ztvrdlém betonu se začínají provádět až ve 30. letech 20. století [3].

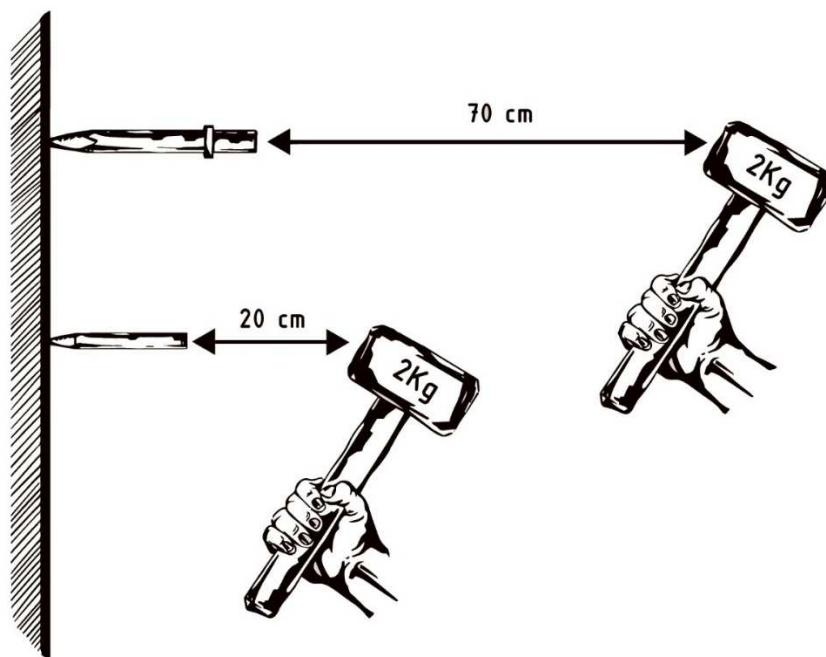
Za jednu z prvních metod můžeme považovat ostřelování betonu ze vzdálenosti 8 m revolverem systému Nagant (viz Obr. 1). Tuto metodu představil v roce 1934 sovětský profesor G. S. Skramtajev. Pevnost betonu v tlaku se pak určovala z objemu kráteru vzniklého na povrchu konstrukce [3].



Obr. 1: Revolver systému Nagant pro zkoušení betonu [3]

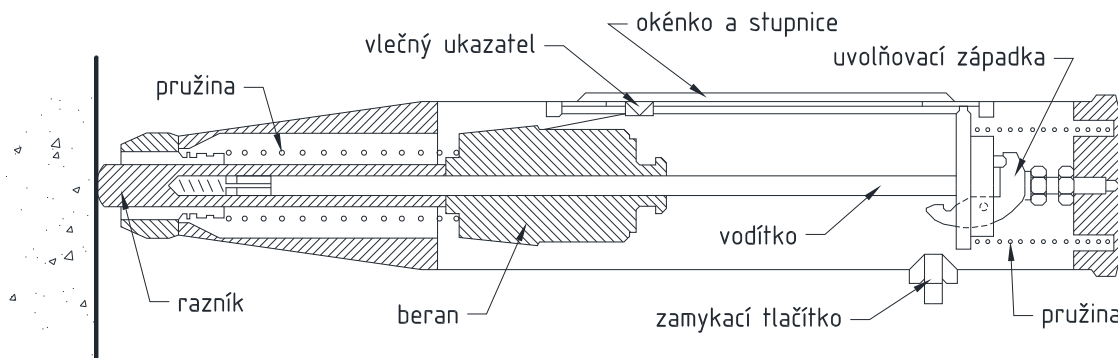
V Německu byly navrženy metody založené na vtisku kuličky do povrchu betonu. První výsledky představil profesor Gaede. Zkušební kladívko pro vtisk kuličky o průměru 10 mm vážilo přibližně 7 kg [3].

Jedním z českých průkopníků sklerometrických metod byl dr. Karel Waitzmann, který pro zkoušení betonu upravil Poldi kladívko. Dále například Ing. Jiří Mašek vypracoval jednoduchou metodu, kdy se sondovací dláto („Maškův špičák“) zatlačovalo do betonu pomocí dvaceti rázů vyvolaných údery paličky o hmotnosti 2 kg dopadající na špičák ze vzdálenosti 700 mm (viz Obr. 2). Stejný princip zarážení špičáku využívala také metoda vyvinutá v Brně profesorem Mojmírem Cigánkem, ovšem za použití subtilnějšího špičáku zaráženého paličkou ze vzdálenosti pouze 200 mm (viz Obr. 2) [3].



Obr. 2: Zkouška špičákem dle Maška (nahore) a dle Cigánka (dole) [3]

Zatím nejdůležitějším počinem v oblasti tvrdoměrného zkoušení betonu se stala metoda odrazových tvrdoměrů vyvinutá švýcarským inženýrem Ernstem Schmidtem, který s prvním typem odrazového tvrdoměru přišel již v roce 1950. Original Schmidt v dodnes nezměněné podobě byl poprvé vyroben již v roce 1965 (viz Obr. 3) [3].



Obr. 3: Schéma přístroje Original Schmidt vyráběného již od roku 1965 [4]

METODY A PRINCIPY

Pro zjištění tvrdosti betonu mohou být použity různé typy metod, které ovšem budou poskytovat různé hodnoty tvrdosti i na stejných zkušebních místech. Mezi hodnotami tvrdosti získanými různými metodami tak existují jen přibližné porovnávací tabulky [2].

V současné době je k dispozici hned několik metod pro určení tvrdosti materiálu. Vrypová metoda založená na stupnici tvrdosti podle Mohse; různé vtiskové metody měřící velikost vtisku vytvořeného předepsaným tělesem a předepsanou silou do materiálu; vnikací metody (špičákové) měřící např. hloubku vniku špičáku zaraženého předepsaným počtem úderů do materiálu; odrazové metody a další [2]. Pro zjištění tvrdosti betonu se nejčastěji používá právě odrazová metoda při použití Schmidtových sklerometrů (tvrdoměrů).

Tvrdot betonu se zjišťuje hlavně kvůli odvození pevnosti v tlaku z ní. Opět ovšem neexistuje jednoduchý vztah závislosti mezi naměřenou tvrdostí a pevností v tlaku. Ale u řady tvrdoměrných metod jsou k dispozici tzv. kalibrační vztahy, pomocí kterých je možné z naměřené tvrdosti určit odpovídající pevnost. Takto stanovené pevnosti bývají nezaručené a mnohdy se mohou výrazně lišit od skutečné pevnosti betonu v tlaku [2]. Například norma ČSN EN 12504-2 [5] uvádí, že tvrdost stanovená odrazovým tvrdoměrem se má primárně využívat pro posouzení rovnoměrnosti betonu a že metoda není sama o sobě zamýšlena jako alternativa ke stanovení pevnosti betonu v tlaku.

Beton se zkouší na upravených místech volených tak, aby jejich rozložení a počet zajistil dostatečné množství informací pro posouzení celé konstrukce. Na reálné konstrukci se místa označí a popíše (zakreslí) se jejich poloha do protokolu. Místa musejí být upravena způsobem předepsaným pro použitou tvrdoměrnou metodu (např. odstranění povrchové zkarbonatované vrstvy). Tvrdoměrem se zkouší cementový tmel povrchové vrstvy [6].

ODRAZOVÁ METODA SCHMIDTOVÝCH TVRDOMĚRŮ

Jak již bylo řečeno, metoda Schmidtových tvrdoměrů je dnes nejčastěji používanou tvrdoměrnou metodou na světě. Jednou z jejích nejsilnějších předností je schopnost testovat i jiné materiály než beton (viz [7-12]) [13].

Používaným zkušebním zařízením jsou Schmidtovy odrazové tvrdoměry. Tvrdoměr je sestaven z ocelového beranu s pružinou, která vymrští beran na ocelový razník opřený o povrch betonu [6]. Na vlečném ukazateli je pak možné odečíst velikost odrazu. Velikost odrazu je závislá na poloze tvrdoměru.

Přípustné polohy pro zkoušení dle ČSN 73 1373 [6]: vodorovně, svisle dolů, svisle nahoru, šikmo nahoru a dolů pod úhlem 45° [2].



Obr. 4: Přístroje Original Schmidt (nahore) a SilverSchmidt (dole) firmy Proceq SA [14]

Schmidtovy pružinové tvrdoměry se dělí podle energie vyvozené při zkušebním rázu na typ N (2,207 J), typ L (0,735 J) a typ M (29,43 J) [6][15]. Základní tvrdoměr Schmidt N (viz Obr. 4) je určen pro běžné případy zkoušení betonu. Schmidt L byl vyvinut pro zkoušení tenkostěnných prvků a Schmidt M pro masivní konstrukce. Schmidt M se v praxi již téměř nepoužívá. Pro zkoušení odbedňovacích pevností a pórobetonů byla určena padací kladívka Schmidt P a Schmidt PT. Pro zkoušení vysokopevnostních betonů bylo vyvinuto firmou Proceq SA nové digitální kladívko SilverSchmidt (viz Obr. 4) v modifikacích N a L, které měří veličinu nazvanou koeficient vrácené energie Q a umožňuje zkoušet i betony vyšších pevností (do 100 MPa). S tzv. hřibovitým nástavcem je naopak vhodný pro zkoušení mladých betonů s pevností již od 5 MPa [16]. Aktuálně nejnovějším přístrojem představeným firmou Proceq SA je Schmidt Live schopným odesílat nasbíraná data v reálném čase přímo do aplikace v mobilním telefonu. Na bázi Schmidt Live nyní fungují 2 typy přístrojů, a to Original Schmidt OS8000 (modifikace N i L) a SilverSchmidt OS8200 (modifikace N i L) [15].

Přístroje musí být pravidelně metrologicky prověřovány. Navíc před každým souborem měření by měla být zkontrolována velikost odrazu na kalibrační kovadlině. Kovadlina má mít tvrdost nejméně 52 HRC, hmotnost 16 ± 1 kg a průměr cca 150 mm [6].

Zkušební místa je potřeba zbavit zkarbonatované vrstvy betonu [6]. Zjistit přítomnost/nepřítomnost zkarbonatované vrstvy můžeme pomocí fenolftaleinového testu, kdy na testovaný povrch nanese (nastříkáme) 1% roztok fenolftaleinu rozpuštěného v etylalkoholu. Pokud se povrch betonu zbarví fialovou barvou, má beton pH vyšší než 9,5 a není zkarbonatován (viz Obr. 5). Pokud se beton nezbarví, má hodnotu pH nižší než 9,5 a je zkarbonatován, je tedy nutné zkarbonatovanou vrstvu odstranit (vybrousit). Zkarbonatovaná vrstva by mohla ovlivnit výsledek zkoušky. Hodnoty odrazů získaných ze zkoušek na zkarbonatovaných vrstvách by mohly vést například k nadhodnocení pevnosti v tlaku betonu.



Obr. 5: Obroušená plocha pro tvrdoměrné zkoušení. Na dvě místa v ploše byl kápnut fenolftaleinový roztok – fialové zbarvení značí úspěšné odstranění zkarbonatované vrstvy

Důležité je zkušební místa vybrousit až na jasně patrnou makrostrukturu betonu tak, aby bylo možné provést zkoušku na cementovém tmelu, jenž rozhoduje o pevnosti v tlaku betonu [6].

Vyhodnocení tvrdoměrné metody dle normových postupů bude detailněji probráno později.

3.2.2 ULTRAZVUKOVÉ METODY

Ve stavebnictví se nejčastěji používají dvě základní ultrazvukové impulsové metody, a to metoda průchodová a metoda odrazová [17].

ULTRAZVUKOVÁ IMPULSOVÁ METODA ODRAZOVÁ

Principem metody je vyslání mechanického impulzu ze sondy přiložené na povrch zkoušeného prvku a následné zachycení odražených vln od protějšího povrchu vzorku nebo jiné překážky touž samou sondou. Používá se tedy pouze jedna sonda, která funguje jako budič i jako snímač. Sonda převede odražené vlny na elektrický tvar, který lze zobrazit jako tzv. „echo“ na obrazovce defektoskopu. Ve strojírenské defektoskopii se používají sondy pracující na frekvencích od 1 do 6 MHz [2].

Z defektoskopického hlediska se odrazová impulsová metoda nehodí pro materiály s velkým útlumem a pro heterogenní hmoty, jako je např. beton [2]. Na betonových konstrukcích tuto metodu využijeme např. při zjišťování tloušťky prvku přístupného pouze z jednoho povrchu. Lze použít např. přístroj Pundit 200 Pulse Echo (viz Obr. 6) od firmy Proceq SA [18].



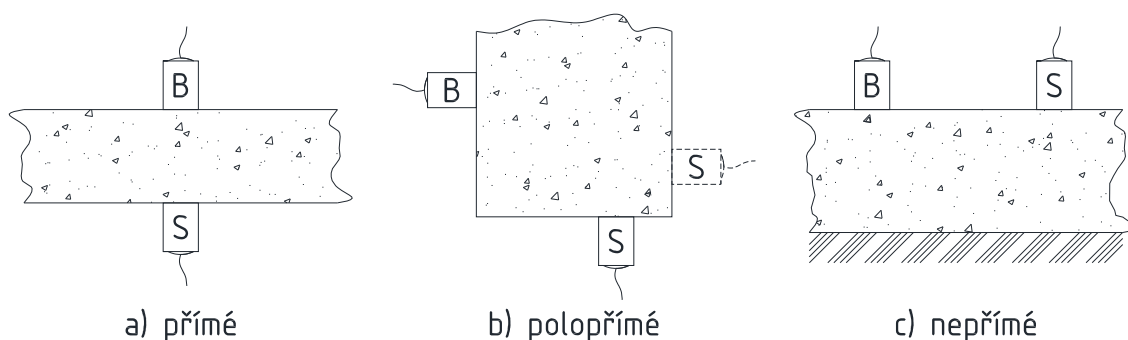
Obr. 6: Přístroj Pundit PL-200 Pulse Echo od firmy Proceq SA [18]

ULTRAZVUKOVÁ IMPULSOVÁ METODA PRŮCHODOVÁ

Principem této nejpoužívanější ultrazvukové metody je měření doby průchodu impulsů ultrazvukového (dále jen UZ) vlnění materiálem. Pokud známe délku měřicí základny, je snadné dopočítat rychlost šíření UZ vlnění zkoumaným materiálem [19]. Impulsy (mechanicky tlumené vlny) vysílané do zkoušeného materiálu jsou vyvozeny v magnetostrikčním nebo piezoelektrickém budiči o UZ frekvenci. Ve stavebnictví se běžně používají budiče o frekvenci 20 kHz až 150 kHz (ovšem klidně až 500 kHz) [2].

Metodu používáme například pro stanovení rovnoměrnosti betonu, pro stanovení dynamického modulu pružnosti v tlaku, pro zjištění přítomnosti trhlin nebo větších dutin v betonu. Obecně lze konstatovat, že se jedná o výbornou doplňkovou metodu k ostatním nedestruktivním i destruktivním metodám zkoušení betonu. Velké využití najde také ve strojírenství, kde se pro zkoušení (defektoskopii) kovů používají ultrazvuky se sondami o mnohonásobně vyšší frekvenci [19].

Při použití dvou sond (budiče a snímače) mohou nastat tři základní případy jejich uspořádání na zkušební tělese nebo konstrukci. Měření na protilehlých stranách (přímé prozvučování), na přilehlých stranách (polopřímé – šikmé prozvučování) nebo na stejné straně (nepřímé – povrchové prozvučování). Viz Obr. 7 [20].



Legenda: B = budič; S = snímač

Obr. 7: Možné způsoby umístění sond na zkušební tělese [20]

Nejdůležitějším krokem celé zkoušky je co nejpřesnější stanovení měřicí základny. U přímého prozvučování se délka měřicí základny stanovuje nejsnadněji, je to nejkratší vzdálenost mezi sondami. U polopřímého

prozvučování je to délka mezi středem budiče a středem snímače. U nepřímého prozvučování se délka měřicí základny nezjišťuje, místo toho se provede více měření s rozdílnými vzdálenostmi budiče a snímače [20].

Vhodným přístrojem pro průchodovou UZ impulsovou metodu je např. Pundit PL-200 (viz Obr. 8) od firmy Proceq SA [18].



Obr. 8: Práce s přístrojem Pundit PL-200 od firmy Proceq SA

VYHODNOCENÍ VLASTNOSTÍ DLE ČSN 73 1371

Rychlost šíření impulsů podélných vln v betonu se pro přímé a polopřímé prozvučování vypočte ze vztahu:

$$v_L = \frac{L}{T}, \quad (1)$$

kde: v_L je rychlost impulsu [$\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$],
 L je délka měřicí základny [mm],
 T je čas průchodu impulsu měřicí základnou [μs] [21].

Dynamický modul pružnosti v tlaku a tahu se určí ze vztahu:

$$E_{cu} = \rho \cdot v_L^2 \cdot \frac{1}{k^2}, \quad (2)$$

kde: E_{cu} je dynamický modul pružnosti v tlaku a tahu [MPa],

- ρ je objemová hmotnost betonu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
- v_L je impulsová rychlost podélného UZ vlnění [$\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$],
- k je součinitel rozměrnosti prostředí [-] [21].

Dle normy ČSN 73 1371 [21] lze i pevnost betonu v tlaku stanovit z impulsové rychlosti podélného UZ vlnění. Tato problematika bude detailněji probrána dále v kapitole 3.4.4.

Narušení betonu (změny struktury) na povrchu nebo uvnitř betonového prvku vzniká působením různých vlivů (vlivy povětrnosti, agresivita prostředí, vliv mimořádných teplot, statické a dynamické zatížení a jiné). Pro hodnocení narušení betonu musí být známy hodnoty rychlostí UZ v neporušeném betonu. Narušení betonu se posuzuje ze změn zjišťované fyzikálně mechanické vlastnosti betonu, která je stanovená z kalibračního vztahu mezi ní a impulsovou rychlostí UZ vlnění [21].

3.2.3 OSTATNÍ NEDESTRUKTIVNÍ METODY

Všechny následující zjednodušeně představené metody pro nedestruktivní zkoušení vlastností betonu jsou sloučeny do této kapitoly z důvodu jejich nevyužití v experimentu popsáném v praktické části. Pro stavební praxi ovšem také mají velký význam.

OBJEMOVÁ HMOTNOST ZTVRDLÉHO BETONU

Rozlišuje se objemová hmotnost ztvrdlého betonu ve stavu dodání, při nasycení vodou a po vysušení v sušárně. Stanoví se hmotnost a objem zkušebního tělesa a vypočítá se objemová hmotnost dle vztahu:

$$D = \frac{m}{V}, \quad (3)$$

- kde: D je objemová hmotnost zkušebního tělesa [kg/m^3],
- m je hmotnost zkušebního tělesa [kg],
- V je objem zkušebního tělesa [m^3] [22].

REZONANČNÍ METODA

Rezonanční metoda (dle [23]) se zakládá na měření některé z vlastních frekvencí kmitání zkušebního tělesa. Ze stanovené vlastní frekvence kmitání zkušebního tělesa se určují některé fyzikálně mechanické vlastnosti betonu, a to:

dynamický modul pružnosti betonu v tlaku a v tahu, dynamický modul pružnosti betonu ve smyku, dynamické Poissonovo číslo betonu, jiné [23].

Zkušební tělesa mají zpravidla tvar hranolů nebo válců. Jejich délka by měla být nejméně dvojnásobkem rozměru delší strany základny, případně dvojnásobkem průměru základny [23].

Zkušební postup: zkušební těleso se uloží na podklad, který neomezuje pohyb vzorku při kmitání a který má vlastní kmitočet mimo rozsah vlastních kmitočtů zkušebního vzorku. Ke zkušebnímu tělesu se přiloží sondy zkušebního přístroje v místech vhodných pro vznik požadovaného kmitání a v místech předpokládaných maximálních amplitud kmitání, které může být: podélné (longitudální) kmitání, příčné (ohybové) kmitání, krouživé (torzní) kmitání. Po přiložení sond se zkušební těleso uvede do požadovaného kmitání postupnou změnou kmitočtu budícího oscilátoru v oblasti předpokládané rezonance. Sleduje se amplituda kmitání zkušebního tělesa a při dosažení maximální amplitudy dochází k rezonanci, kdy zjistíme vlastní frekvenci kmitání zkušebního tělesa – jedná se o měření kontinuální metodou [23]. Druhou (v současnosti používanější) možností je metoda impulsová, při které je těleso rozkmitáno mechanickým impulsem a pomocí osciloskopu a softwaru fungujícím na principu rychlé Fourierovy transformace je určena hodnota vlastního kmitočtu – je vidět tzv. peak ve frekvenčním spektru.

ELEKTROMAGNETICKÉ METODY

Patří sem např. magnetická indukční metoda, kterou zjišťujeme polohu, průměr nebo krytí kovových prutů v železobetonových konstrukcích. U konstrukcí, u nichž se nedochovala projektová dokumentace, je třeba zjistit profily, množství a rozmístění ocelové výztuže. Používají se elektromagnetické indikátory výztuže, založené na využití feromagnetického jevu nebo vířivých proudů, které způsobují změnu charakteristik magnetického pole sondy při jejím přiblížení k prutům výztuže. Jejich předností je rychlost a jednoduchost kontroly vyztužení, nevýhodou je řada omezení vyplývající z možností přístrojů, a jež jsou dána fyzikálními principy této metody. Magnetické indikátory lze úspěšně použít pro:

- zjištění, zda se jedná o beton prostý nebo vyztužený (hloubkový dosah přístrojů se pohybuje od 60 mm do 200 mm),
- stanovení přesné polohy výztuže,
- stanovení průměru výztužné vložky,
- stanovení krytí výztužné vložky [24].

Indikátory výztuže mají svá omezení, jejich pomocí nelze:

- nalézt druhou vrstvu výztuže ve stejném směru,
- rozpoznat vložky probíhající příliš blízko sebe,
- nalézt výztuž nacházející se mimo dosah přístroje,
- zjistit míru koroze a stav výztuže [24].

ELEKTRICKÉ METODY

Mezi elektrické metody patří metody odporové a kapacitní [24].

Odporové metody se používají především k měření velmi malých přetvoření. Měřený odpor velmi tenkých drátků z konstantanu v odporovém tenzometru přilepeném na konstrukci se mění se změnou délky drátků. Další možností je měření teplot Pt články nebo diodami, kdy změna teploty vyvolá změnu odporu měřicí soustavy [24].

Kapacitní metody měření vlhkosti stavebních materiálů využívají poznatku, že voda v kapilárně porézním prostředí výrazně ovlivňuje permitivitu tohoto prostředí. Tvoří-li toto prostředí dielektrikum kondenzátoru, bude se se změnou vlhkosti prostředí měnit i kapacita kondenzátoru. Měřicí kondenzátor je tvořen dvojicí elektrod ležících v ploše na spodní straně přístroje [24].

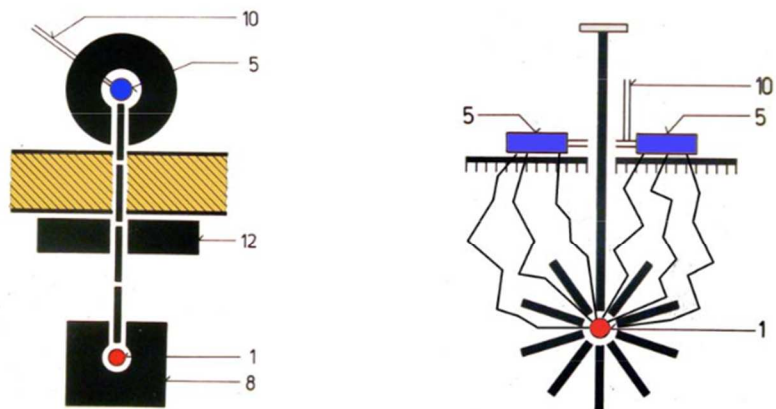
RADIOMETRICKÉ METODY

Radiometrické měření umožňuje stanovit okamžitou hodnotu objemové hmotnosti a vlhkosti stavebních materiálů bez jeho porušení [24].

Radiometrie objemové hmotnosti je založena na principu průchodu a zeslabení záření gama a na principu rozptylu záření gama v měřeném materiálu. Jako zdroje záření gama se nejčastěji používá cesium Cs 137 nebo kobalt Co

60. Detektory záření jsou buď Geiger–Müllerovy počítače, nebo scintilační detektory, které jsou spojeny s vyhodnocovací jednotkou [24].

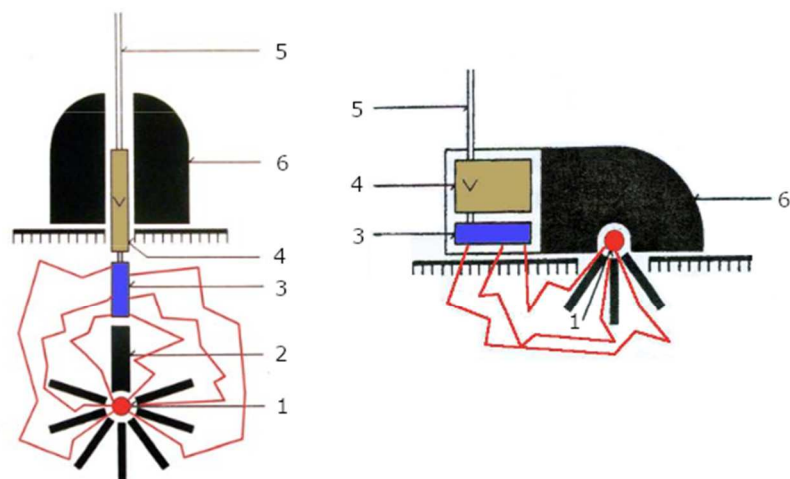
Při použití metody průchodu a zeslabení záření gama je zdroj záření a detektor umístěn na protilehlých stranách prověřované konstrukce nebo vzorku (viz Obr. 9). Výsledkem měření je průměrná objemová hmotnost materiálu mezi zdrojem záření a detektorem. Touto metodou se dosahuje velmi přesných výsledků měření [24].



(1 – gamazářič, 5 – detektor, 10 – výstup k vyhodnocovací jednotce, 8, 12 – kolimátor zářiče)

Obr. 9: Uspořádání radiometrických jednotek pro metodu průchodu a zeslabení záření gama: vlevo schéma radiometrické soupravy pro měření v úzkém (kolimovaném) svazku, vpravo schéma radiometrické soupravy vpichovací [24]

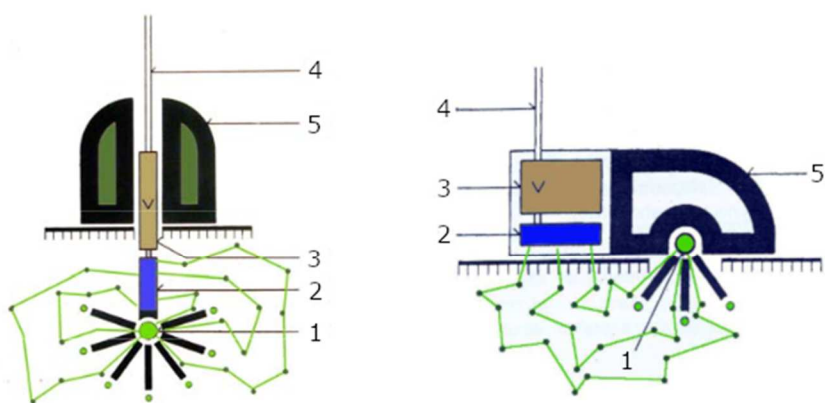
Při použití metody rozptylu záření gama je mezi zdrojem záření a detektorem stínící vrstva z těžkého materiálu (z olova, nebo ochuzeného uranu), která brání přímému průchodu záření ze zářiče do detektoru (viz Obr. 10). Detektor zaznamenává pouze záření, které bylo v materiálu rozptýleno [24].



(1 - gamazářič, 2 - stínění mezi zářičem a detektorem, 3 - detektor, 4 - předzesilovač, 5 - výstup k vyhodnocovací jednotce, 6 - přepravní kryt gamazářiče)

Obr. 10: Uspořádání radiometrických jednotek pro metodu rozptýlu záření gama: vlevo schéma radiometrické soupravy hloubkové, vpravo schéma radiometrické soupravy povrchové [24]

Radiometrické měření objemové vlhkosti je založeno na principu moderace rychlých neutronů. Využívá se reakce záření alfa s některými terčovými materiály, při které jsou emitovány rychlé neutrony. Nejčastěji používaným terčovým materiálem je berylium. Jako zdroj záření alfa se běžně používá americium Am 241. Čím je materiál vlhčí, tím menší objem ke zpomalení neutronů postačuje. Detektory pomalých neutronů jsou připojeny na vyhodnocovací jednotku, která výsledky měření zpracovává (viz Obr. 11) [24].

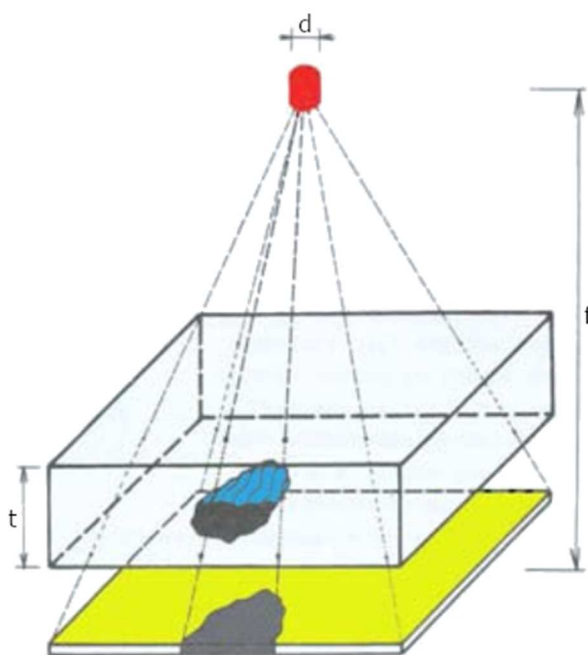


(1 - neutronový zářič, 2 - detektor pomalých neutronů, 3 - předzesilovač, 4 -výstup k vyhodnocovací jednotce, 5 - přepravní kryt neutronového zářiče)

Obr. 11: Uspořádání radiometrických jednotek pro měření objemové vlhkosti: vlevo schéma radiometrické soupravy hloubkové, vpravo schéma radiometrické soupravy povrchové [24]

RADIOGRAFICKÉ METODY

Radiografie se ve stavebnictví používá všude tam, kde je nutno stanovit vnitřní strukturu konstrukcí a materiálu bez porušení. U železobetonových konstrukcí se jedná především o stanovení průběhu a množství ocelové výztuže ve vybraných průřezech konstrukce. U konstrukcí z předpjatého betonu jde o stanovení průběhu, množství a kvality zainjektování předpínací výztuže. Radiografické metody využívají ke zkoušení materiálu ionizujícího záření (záření rentgenové nebo záření gama). Prošlé záření je většinou registrováno na radiografický film. Defektoskopická kontrola prozařováním je principiálně zobrazovací technika, založená na principu centrální projekce, při níž zdroj záření je totožný se středem prozařování (viz Obr. 12). Nejčastěji se jako zdroj záření používá gamazářič Co 60 [24].



Obr. 12: Centrální projekce při defektoskopické radiografii [24]

Radiografické metody jsou ovšem velmi nákladné, neboť jejich použití na konstrukci vyžaduje mnoho povolení a bezpečnostních opatření. Z praxe tedy jejich použití téměř vymizelo.

TENZOMETRICKÉ METODY

Slouží k měření velmi malých změn délek. Tato měření jsou založena na různých fyzikálních principech (mechanických, optických, odporových, indukčnostních, kapacitních, strunových, bezdotykových). Tenzometry

mechanické a tenzometry strunové jsou vhodné pro dlouhodobá měření. Tenzometry odporové jsou vhodné pro krátkodobá měření [24].

TRVANLIVOSTNÍ METODY

Mezi tyto metody patří zkoušky, které vypovídají o struktuře zkoušených staviv podrobených vlivům okolního prostředí. Tyto zkoušky bývají zpravidla urychlené, koncentrace působících škodlivých látek bývá několikanásobně vyšší než v běžném prostředí. Značný problém je objektivní zhodnocení takto urychlených zkoušek [24].

Metody stanovení propustnosti struktury staviva působením kapalin a plynů patří mezi trvanlivostní metody s vysokou vypovídací hodnotou. Výsledky vodo- a plyno-propustnosti popisují aktuální stav struktury zkoušeného materiálu a lze z nich odvodit, zda pórový systém obsahuje vodu, vodní páry nebo je suchý [24]. Torrent permeability tester (TPT) je přístroj vytvářející vakuum v betonu a měří průtok vzduchu z povrchové vrstvy betonu. Měření se zastaví při vyrovnání tlaku mezi vnitřní a vnější komorou vakuové pumpy. Vypočte se hodnota součinitele propustnosti pro vzduch k_T [10^{-16} m²]. Germann water permeation test (GWT) je přístroj pracující na principu průtoku tlakové vody strukturou povrchové vrstvy betonu. Z doby průtoku vody danou plochou, ze zvoleného tlaku vody a objemu ztvrdlého cementového tmele k celkovému objemu betonu se vypočítá součinitel propustnosti betonu. Initial surface absorption test (ISAT) je permeační metoda, která využívá jako měřicí médium destilovanou vodu, dobře postihující počáteční nasákavost povrchu. Měří se množství vody nasáklé kapilárními silami od kontaktu vody a suchého povrchu betonu [25].

Zkouška nasákavosti je ukazatelem otevřené pórovitosti staviva. Především u betonu je to jedna z velmi důležitých trvanlivostních zkoušek. Zkouška vzlínivosti vody strukturou betonu vypovídá o jeho pórovitosti a usnadní pochopit transport vody strukturou betonu. Sorbčními vlastnostmi betonu jsou jeho navlhavost a vysychavost. Základní zkouška navlhavosti se provádí na vysušeném betonu a zkouška vysychavosti na betonu nasyceném vodou. Zkouška probíhá obvykle po dobu 180 dnů, kdy se v určených intervalech zjišťují přírůstky nebo úbytky hmotnosti zkušebních těles [24].

3.3 DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ BETONU

Destruktivními (též DT) metodami zjišťujeme požadované vlastnosti betonu přímo. Oproti nedestruktivním metodám, kdy se stejné vlastnosti snažíme zjistit nepřímo přes jiné vlastnosti, jsou tedy destruktivní metody mnohem přesnější. Nicméně mají řadu nevýhod (např. viditelně porušují konstrukci, nelze je vícekrát opakovat na stejném zkušebním místě, jsou pracnější a časově náročnější atd.). I přes jasně patrnou snahu nahradit co nejvíce destruktivních metod zkouškami nedestruktivními, se jejich použití v blízké budoucnosti jednoznačně nelze vyhnout.

3.3.1 LABORATORNÍ

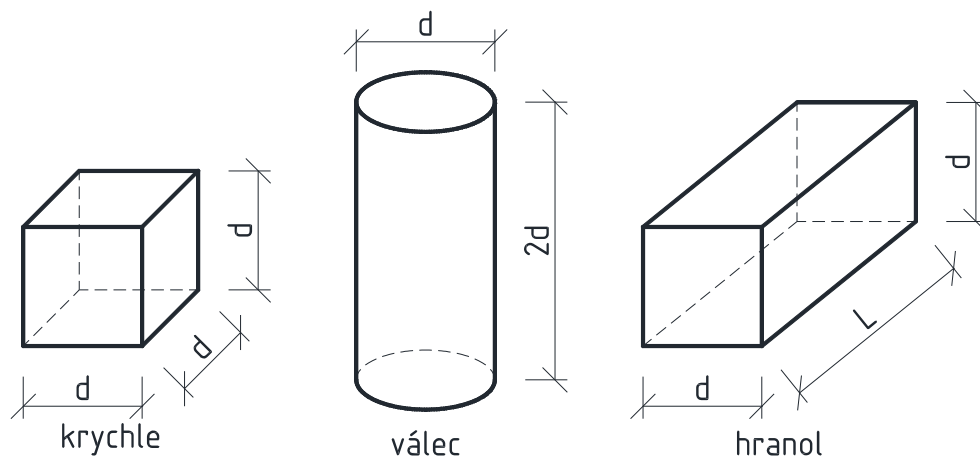
Praktická část diplomové práce je věnována zjišťování pevnosti v tlaku betonu, proto i následující kapitola teoretické části se primárně zabývá touto problematikou.

POŽADAVKY NA ZKUŠEBNÍ TĚLESA

Pro každý tvar zkušebního tělesa (krychle, válec a hranol) se volí jmenovitý rozměr d tak, aby byl nejméně třiapůlkrát větší než velikost maximálního zrna kameniva v betonu [26].

Pokud zkušební tělesa nemají v záznamu o zhotovení uvedeno, že byla vyrobena v kalibrovaných formách, musí být změřena pro kontrolu shody [26].

Krychle má mít jmenovitý rozměr d 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm nebo 300 mm (viz Obr. 13). Zvolený rozměr se může lišit od jmenovitého v rozsahu ± 10 %. Tolerance rozměrů ploch, které byly ve formě, je 1,0 % od zvoleného rozměru. Tolerance rozměrů horní plochy, urovnané hladítkem a dolní plochy zkušebního tělesa od zvoleného rozměru je 1,5 % [26].



Obr. 13: Tvary zkušebních těles [26]

Válec má mít jmenovitý rozměr d 100 mm, 113 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm nebo 300 mm (viz Obr. 13). Zvolený rozměr se může lišit od jmenovitého rozměru v rozsahu $\pm 10\%$. Tolerance od zvoleného průměru d je 1,0 %. Tolerance výšky $2d$ je 5 %. Pro zkušební tělesa použita pro zkoušky pevnosti v příčném tahu je tolerance přímosti povrchové přímky válce 0,2 mm [26].

Hranoly mají mít jmenovité rozměry d 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm nebo 300 mm (viz Obr. 13). Zvolené rozměry se nemohou lišit od jmenovitých rozměrů. Tolerance přímosti povrchů stran, které budou ve styku s válečky při zkoušce pevnosti v tahu ohybem, je 0,2 mm. Pro zkušební tělesa, která budou použita pro zkoušky pevnosti v příčném tahu, je tolerance přímosti zatěžovaného povrchu 0,2 mm [26].

POŽADAVKY NA FORMY

Formy musí být vodotěsné a nenasákavé. Kromě kalibrovaných forem mohou být formy zhotovené z jakéhokoliv materiálu vhodného pro zhotovení betonových zkušebních těles. Kalibrované formy musí být zhotoveny z oceli nebo litiny. Jestliže jsou formy zhotoveny z jiných materiálů, musí být k dispozici výsledky jejich ověření při dlouhodobém používání. Všechny části kalibrovaných forem musí být dostatečně tuhé, aby nedocházelo k jejich deformaci při sestavování a používání [26].

Kalibrované formy pro zkušební tělesa musí mít toleranci od zvoleného rozměru d sestavené formy maximálně 0,5 %. Požadavky na formy jsou takové,

aby tělesa vyrobená v těchto formách splňovala požadavky na ně kladené. V normě [26] jsou uvedeny tolerance rovinnosti vnitřních povrchů a tolerance kolmosti stěn.

VÝROBA A OŠETŘOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Před plněním forem se mají vnitřní stěny formy natřít tenkou vrstvou separačního prostředku, aby se zabránilo přilnutí betonu k formě. V závislosti na konzistenci betonu a způsobu zhutňování zkušební tělesa se musí zhutňovat v jedné nebo více vrstvách betonu, aby se dosáhlo náležitého zhutnění. Beton se musí zhutnit ihned po vložení do formy. Odstranění přebytečného betonu a urovnání povrchu se provede opatrně ocelovou zednickou lžící nebo hladítkem. Zkušební tělesa se musí zřetelně a nesmazatelně označit, aniž by se těleso poškodilo [27].

Zkušební tělesa se ponechají ve formě nejméně po dobu 16 hodin, ale ne déle než 3 dny, přičemž je nutno zabránit otřesům, vibracím a vysoušení. Po vyjmutí z formy se zkušební tělesa ošetřují až do doby těsně před zkoušením ve vodě o teplotě $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ nebo v místnosti o teplotě $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ a relativní vlhkosti $\geq 95\%$. Při všech etapách přepravy je nutno zabránit ztrátě vlhkosti a odchylkám od požadované teploty [27].

PEVNOST V TLAKU ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Zkušební tělesa jsou zatěžována až do porušení ve zkušebním lisu (viz Obr. 14). Maximální zatížení při rozdrčení tělesa se zaznamená a vypočte se pevnost betonu v tlaku [28].

Zkušební těleso musí být krychle, válec nebo vývrt, vyhovující požadavkům uvedeným výše. Jestliže rozměry zkušební tělesa nevyhovují dovoleným odchylkám pro jmenovitý rozměr uvedeným výše, mohou být zkoušena podle postupu, který je uveden v příloze B normy ČSN EN 12390-3 [28].

Bezprostředně před samotnou zkouškou se otřou dotykové plochy tlačných desek lisu a odstraní se všechny zbytky písku nebo jiného uvolněného materiálu z povrchu zkušební tělesa na plochách, které budou v dotyku s tlačnými deskami. Mezi těleso a tlačné desky zkušební lisu se nesmí použít žádná

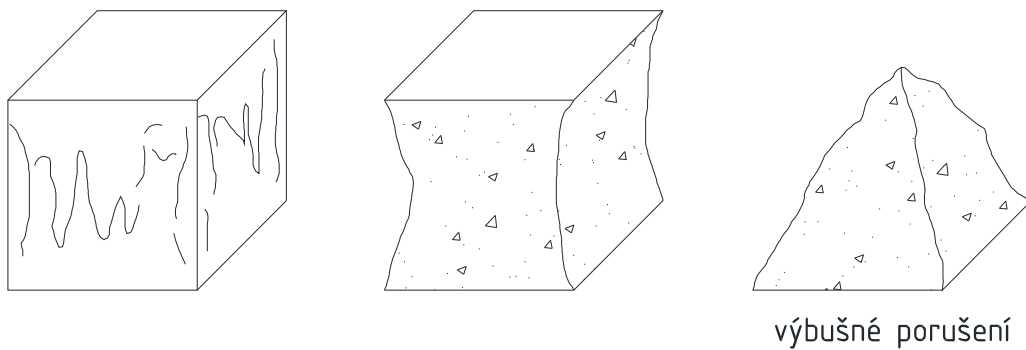
podložka, kromě přídatných desek nebo středících bloků. Z povrchu těles se otře voda před jejich vložením do zkušebního lisu. Krychle se osadí tak, aby směr zatěžování byl kolmý na směr ukládání betonu. Těleso se umístí na střed spodní tlačné desky s přesností 1 % určené velikosti krychle nebo průměru zkušebních válců [28].



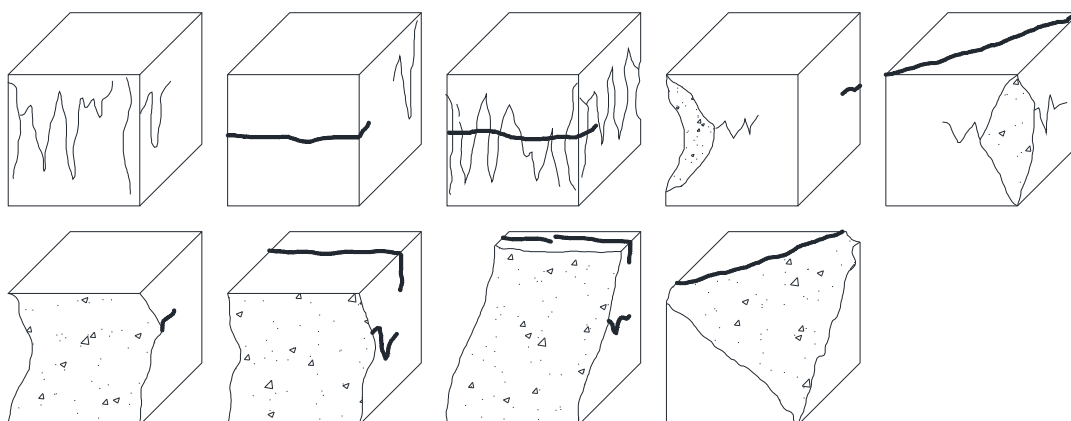
Obr. 14: Zkouška pevnosti v tlaku betonu – vlevo vkládání zkušebního tělesa do zkušebního lisu, vpravo detail porušení zkušebního tělesa

Nastaví se konstantní rychlost zatěžování od $0,6 \pm 0,2$ MPa/s. Po nastavení počátečního zatížení, které není větší než přibližně 30 % zatížení při porušení, se zatěžuje plynule a zatížení se nepřetržitě zvyšuje až do porušení. Zaznamená se dosažené maximální zatížení v kN [28].

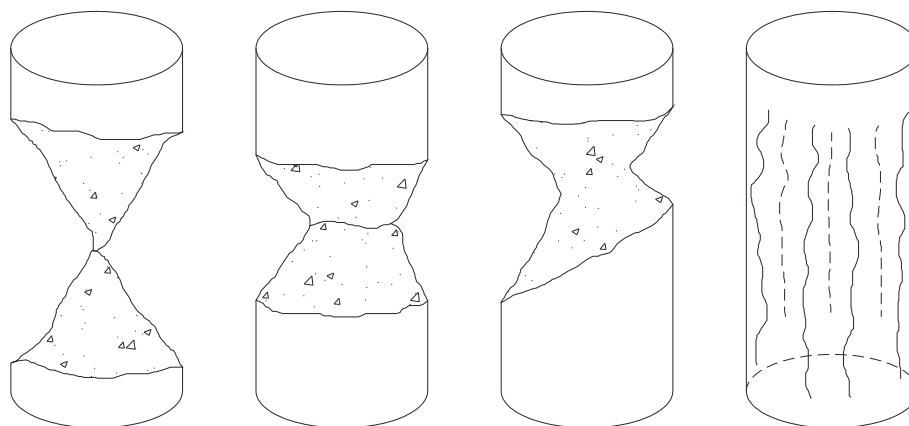
Je nutné posoudit způsob porušení zkušebních těles. Příklady nevyhovujících a vyhovujících způsobů porušení budou uvedeny v následujících obrázcích (viz Obr. 15 až Obr. 18). Pokud je způsob porušení nevyhovující, musí se zaznamenat [28].



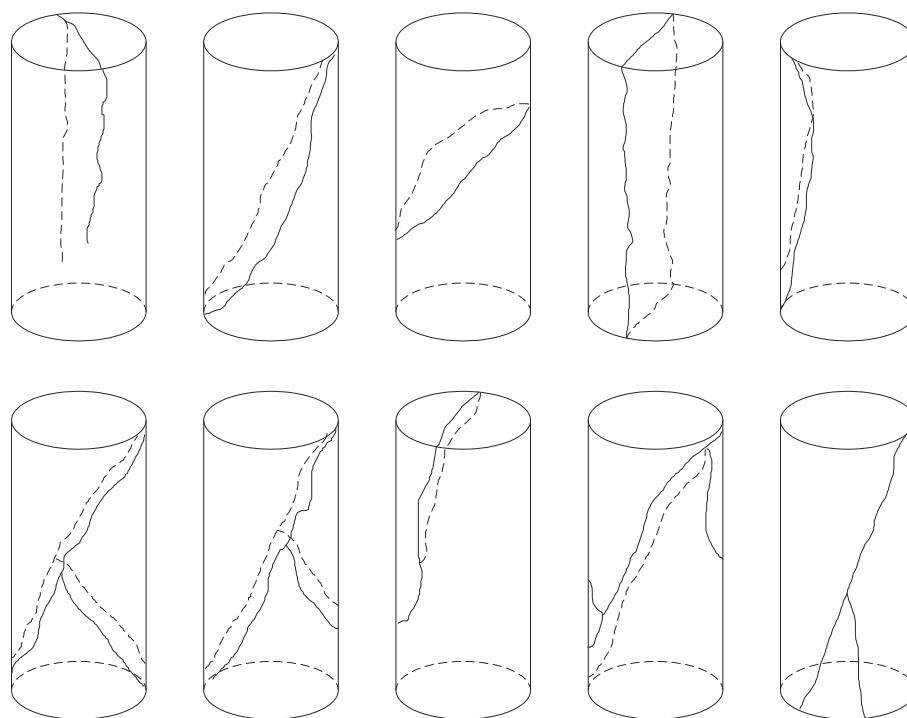
Obr. 15: Vyhovující způsoby porušení zkušebních krychlí [28]



Obr. 16: Některé nevyhovující způsoby porušení zkušebních krychlí [28]



Obr. 17: Vyhovující způsoby porušení zkušebních válců [28]



Obr. 18: Některé nevyhovující způsoby porušení zkušebních válců [28]

Pevnost v tlaku je dána vztahem:

$$f_c = \frac{F}{A_c}, \quad (4)$$

kde: f_c je pevnost v tlaku [MPa],

F je maximální zatížení při porušení [N],

A_c je průřezová plocha zkušebního tělesa [mm²] [28].

Pokud je to potřeba, musí se plochy zkušebních těles vystavené zatížení vhodně upravit. Mezi používané způsoby patří broušení, koncování maltou s hlinitanovým cementem, koncování sirnou maltou a koncování metodou pískového boxu [28].

Norma ČSN EN 12390-4 [29] stanovuje požadavky na zkušební lisy pro provedení zkoušky pevnosti v tlaku betonu. Například požaduje, aby tlačné desky a pomocné desky byly zhotoveny z materiálu, který se při provozu lisu nebude trvale deformovat. Zkušební lis musí být vybaven indikátorem síly, ze kterého je umožněno odečítat maximální síly po dokončení zkoušky. Indikátor síly se musí kalibrovat tak, aby vyhověl požadavkům uvedeným v normě [29]. Dále musí být zkušební lis vybaven regulačním systémem, který umožňuje stejnoměrný nárůst síly bez rázu. K zajištění správné polohy zkušebního tělesa musí být spodní

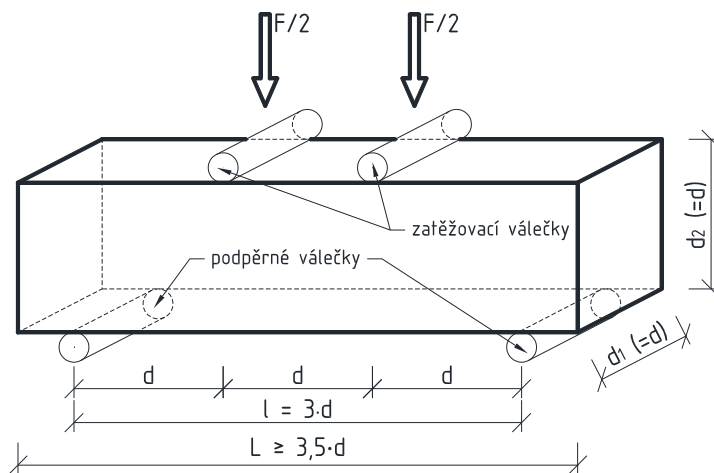
tlačná deska opatřena prostředky pro vystředění zkušebních těles (středící linky, vytyčovací kruhy atd.) [29].

OSTATNÍ LABORATORNÍ ZKOUŠKY

Pevnost v tahu ohybem se zkouší na hranolových zkušebních tělesech. Ohybový moment se do tělesa od zatížení přenáší prostřednictvím horních zatěžovacích a spodních podpěrných válečků. Horní zatěžovací válečky mohou být dva, pak hovoříme o tzv. čtyřbodovém ohybu (viz Obr. 19). Pevnost v tahu ohybem je pak dána vztahem:

$$f_{cf} = \frac{F \cdot l}{d_1 \cdot d_2^2}, \quad (5)$$

kde: f_{cf} je pevnost v tahu ohybem [MPa],
 F je maximální zatížení při porušení [N],
 l je vzdálenost mezi opěrnými válečky [mm],
 d_1, d_2 jsou rozměry příčného řezu tělesa [mm] [30].



Obr. 19: Zkouška pevnosti v tahu ohybem (tzv. čtyřbodový ohyb) [30]

Nebo může být přítomen pouze jeden horní zatěžovací váleček uprostřed vzdálenosti mezi opěrnými válečky, pak hovoříme o tzv. třibodovém ohybu. Pevnost v tahu ohybem je pak dána vztahem:

$$f_{cf} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot d_1 \cdot d_2^2}, \quad (6)$$

kde: f_{cf} je pevnost v tahu ohybem [MPa],
 F je maximální zatížení při porušení [N],
 l je vzdálenost mezi opěrnými válečky [mm],
 d_1, d_2 jsou rozměry příčného řezu tělesa [mm] [30].

Pevnost v příčném tahu na válcových tělesech se zjišťuje vystavením tělesa tlaku v úzkém pruhu po jeho délce. Výsledná kolmá tahová síla způsobí porušení tělesa tahem. Pevnost v příčném tahu je dána vztahem:

$$f_{ct} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot L \cdot d} , \quad (7)$$

kde: f_{ct} je pevnost v příčném tahu [MPa],
 F je maximální zatížení při porušení [N],
 L je délka dotykové přímky tělesa [mm],
 d je zvolený příčný rozměr tělesa [mm] [31].

Pro zkoušku statického modulu pružnosti v tlaku betonu se jako referenční zkušební těleso používá válec o průměru 150 mm a výšce 300 mm. K určení modulu pružnosti musíme vyvodit změnu napětí a pro tuto změnu určit příslušnou hodnotu poměrné deformace. Statický modul je pak sečnový, který je stanoven mezi tzv. dolním a horním napětím. Základní napětí je 0,5 MPa a horní napětí odpovídá hodnotě přibližně jedné třetiny pevnosti v tlaku betonu. Statický modul pružnosti v tlaku se vypočítá jako:

$$E_c = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} , \quad (8)$$

kde: E_c je statický modul pružnosti v tlaku [MPa],
 $\Delta \sigma$ je rozdíl v napětí [MPa],
 $\Delta \varepsilon$ je rozdíl v poměrném přetvoření [-] [32].

Zkoušky mrazuvzdornosti v podstatě spočívají ve střídání teplot pod bodem mrazu (-20 °C), době setrvání v této teplotě, vyjmutí zkušebního tělesa a vložení do vody (+20 °C). Tyto zkoušky bývají předepsány především u vodostavebných betonů a u betonů či jiných staviv, které přijdou do styku s venkovním prostředím [24].

Při zkoušce odolnosti betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek se zjišťuje odolnost proti tomuto působení za cyklického střídání kladných a záporných teplot. Vyhodnocuje se měřením odpadu betonu na jednotku plochy a povrch zkušebního tělesa se hodnotí vizuálně. Udává se počet cyklů [24].

Zkouška průsaku tlakovou vodou popisuje míru vodotěsnosti struktury zkoušeného betonu. Na povrch krychle působí voda tlakem 500 ± 50 kPa po dobu

72 ± 2 hodin. Po ukončení zkoušky se krychle poruší a změří se hloubka průsaku vody [24].

3.3.2 IN-SITU

V případě destruktivních zkoušek prováděných v terénu („in-situ“) na existujících konstrukcích je spíše vhodné používat termín semidestruktivní zkoušky (tedy částečně destruktivní), neboť se za účelem zjištění hledaných vlastností poruší vždy jen malá část konstrukce, tak aby nedošlo k ohrožení jejího dalšího fungování.

JÁDROVÉ VÝVRTY

Podstatou zkoušky je získání vývrtů jádrovým vrtákem, jejich následné pečlivé vyšetření, upravení a zkoušení dle požadovaného normového postupu [33].

Před odběrem vývrtů je nutno vzít v úvahu všechny konstrukční důsledky vyplývající z jejich odebrání. Vývrty by se měly odebírat přednostně z míst, která nejsou v blízkosti spár nebo hran betonových dílců a z míst, kde je málo výztuže nebo nejlépe žádná výztuž. Vývrty se většinou vyvrtávají kolmo k povrchu (viz Obr. 20), tak aby nedošlo k jejich poškození. V průběhu vrtání je nutno vrták udržovat v určené poloze, k čemuž dobře slouží ukotvený stojan jádrové vrtačky. Při určování délky vývrtu je nutno vzít v úvahu průměr vývrtu, možné způsoby úpravy, zda se bude provádět srovnání s krychelnou nebo válcovou pevností při zkoušce pevnosti v tlaku. Ihned po skončení vrtání se musí každý vývrt jasně a nesmazatelně označit. Je třeba zaznamenat místo a orientaci vývrtu na prvku, ze kterého byl vývrt odebrán. Každé zkušební těleso získané z vývrtu musí být jednoznačně označeno, aby bylo možné identifikovat jeho umístění a orientaci v původním vývrtu. Vývrty pro stanovení pevnosti v tlaku nemohou obsahovat žádnou betonářskou výztuž ve směru podélné osy a v její blízkosti. Průměr a umístění příčné výztuže se zaznamená [33].



Obr. 20: Odběr jádrového vývrtnu

Po vizuálním vyšetření vývrtnů je nutné změřit:

- průměr vývrtnu dvojím vzájemně kolmým měřením v polovině a čtvrtinách délky vývrtnu,
- délku vývrtnu,
- průměr výztuže a její polohu [33].

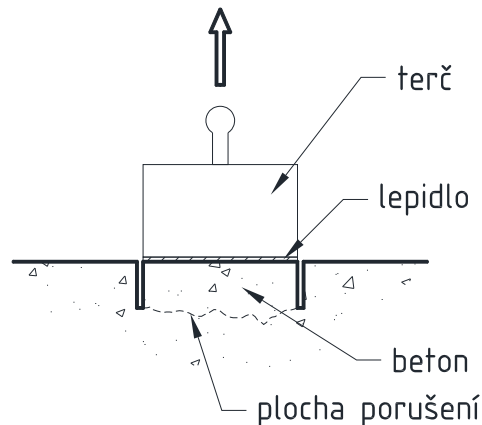
Úprava vývrtnů pro zkoušky pevnosti v tlaku se provede podle přílohy A v normě ČSN EN 12390-3 [33]. Doporučený poměr délky vývrtnu k průměru je 2,0, jestliže se má pevnost porovnávat s válcovou pevností, nebo 1,0, jestliže se má pevnost porovnávat s krychelnou pevností [33].

Dle [33] se zkouška pevnosti v tlaku betonu provádí dle ČSN EN 12390-3 [28].

ODTRHOVÉ ZKOUŠKY

Odrhové zkoušky slouží ke stanovení tahové pevnosti povrchových vrstev betonu. Jádrovým vrtákem se navrtá beton do požadované hloubky. Na povrch betonu na naznačený vývrt se kvalitním (např. epoxidovým) lepidlem nalepí

upravený terč (viz Obr. 21). Terč se uchytlí do trhacího přístroje a po zatvrdnutí lepidla se provede zkouška v osovému tahu [24].



Obr. 21: Odtrhová zkouška betonu [24]

3.4 ZÁVISLOST NDT PARAMETRŮ A PEVNOSTI V TLAKU

Nedestruktivními metodami (NDT) zjišťujeme mnoho různých parametrů. Ovšem nejdůležitější úlohou je jejich převedení na námi požadovanou sledovanou vlastnost materiálu. Pro diplomovou práci je stěžejním parametrem pevnost v tlaku betonu. Proto i následující kapitola se bude zabývat pouze možnostmi, jak z vybraných NDT parametrů vypočítat pevnost v tlaku betonu.

3.4.1 KALIBRAČNÍ VZTAHY

Termín „kalibrační vztah“ zde není použit zcela korektně. Kalibrační vztah může být použit např. při kalibraci nějakého zařízení (posuvného měřítka, zkušebního lisu, váhy, ...), ale ne při odhadu jedné vlastnosti (pevnosti) ze zkoušek jiné vlastnosti (např. tvrdosti). Správně by bylo např. použití termínu „regresní závislost“ nebo „regresní model“. Ovšem protože se termín „kalibrační vztah“ v popsaném kontextu běžně používá, bude i dále v textu používán.

Kalibrační vztah vyjadřuje závislost mezi nedestruktivně sledovaným parametrem a pevností v tlaku betonu. Obvykle se vyjadřuje v grafu kalibrační křivkou. Rozlišuje se:

- obecný kalibrační vztah, který je uveden v příslušné normě pro danou zkušební metodu,

- směrný kalibrační vztah, který je vypracován ze zkoušek na nejméně 100 zkušebních tělesech pro betony obvykle používané pro sledovanou vlastnost a zvolenou technologii,
- určující kalibrační vztah, který slouží pro stanovení upřesněných hodnot pevnosti v tlaku betonu určitého druhu. Určující kalibrační vztah může být úzký pro rozsah pevností v rámci jedné třídy betonu, nebo široký pro rozsah pevností dvou a více tříd betonů zhotovených stejnou technologií výroby ze stejných složek [2].

Upřesnění obecného nebo směrného kalibračního vztahu je možné provést vynásobením hodnoty pevnosti v tlaku určené z kalibračního vztahu součinitelem α . Součinitel α lze vypočítat ze vztahu:

$$\alpha = \frac{R_b}{R_{be}}, \quad (9)$$

kde: R_b je pevnost v tlaku betonu stanovená destruktivně ve zkušebním lise,

R_{be} je pevnost v tlaku betonu stanovená na témže zkušebním tělese nedestruktivní metodou [2].

3.4.2 PEVNOST V TLAKU BETONU DLE ČSN EN 13791

V normě [34] jsou k dispozici uvedeny dva postupy vyhodnocení pevnosti v tlaku betonu na vývrtech z konstrukce. Postup A se použije, pokud je k dispozici minimálně 15 vývrtů. Postup B se použije, když je k dispozici 3 až 14 vývrtů. Norma požaduje pro zatřídění betonu do některé z pevnostních tříd, aby poměr charakteristické pevnosti betonu v konstrukci k charakteristické pevnosti betonu normových těles (zhotovených v laboratoři) byl roven hodnotě pouze 0,85. Tedy aby bylo možné zatřídit beton (v konstrukci) do pevnostní třídy např. C 35/45, válcová pevnost v tlaku zkušebních těles zhotovených z vývrtů musí být minimálně 30 MPa (vs. 35 MPa), nebo 38 MPa (vs. 45 MPa) v případě posuzování krychelné pevnosti v tlaku [34].

POSTUP A

Charakteristická pevnost v tlaku betonu je nižší z následujících dvou hodnot:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k_2 \cdot s , \quad (10)$$

$$f_{ck,is} = f_{is,nejmenší} + 4 , \quad (11)$$

- kde: $f_{ck,is}$ je pevnost v tlaku betonu v konstrukci [MPa],
 $f_{m(n),is}$ je střední hodnota n výsledků pevnosti v tlaku betonu v konstrukci [MPa],
 $f_{is,nejmenší}$ je nejmenší výsledek pevnosti v tlaku betonu v konstrukci [MPa],
 k_2 je koeficient uvedený v národních předpisech, nebo se uvažuje 1,48 [-],
 s je směrodatná odchylka výsledků zkoušek, nebo 2,0 MPa, uvažuje se větší hodnota [MPa] [34].

POSTUP B

Charakteristická pevnost v tlaku betonu je nižší z následujících dvou hodnot:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k , \quad (12)$$

$$f_{ck,is} = f_{is,nejmenší} + 4 , \quad (13)$$

- kde: k je krajní mez závislá na n výsledků zkoušek [-], hodnoty k jsou uvedeny v normě [34] v tabulce 2.

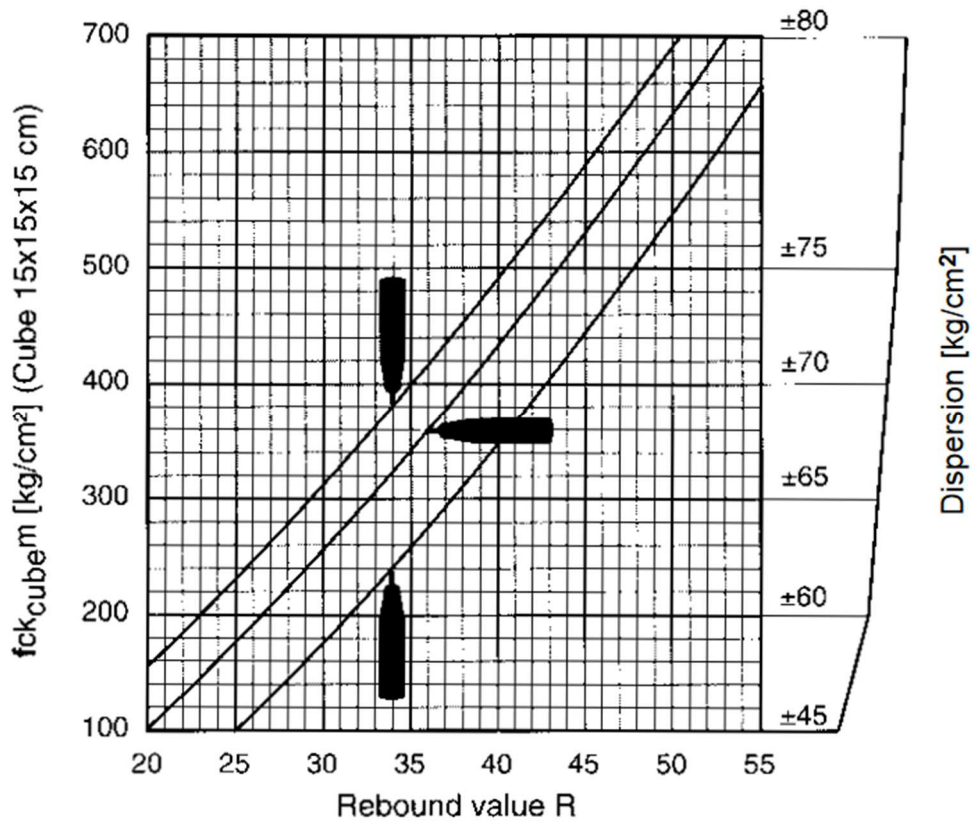
3.4.3 PEVNOST V TLAKU BETONU URČENÁ TVRDOMĚREM

PŘEVODNÍ KŘIVKY VÝROBCE

Výrobci odrazových tvrdoměrů přiřkládali ke svým produktům také převodní vztahy, většinou v podobě převodní křivky, pro převod mezi naměřenými hodnotami a pevností betonu v tlaku. V dnešní době už výrobci žádné převodní vztahy k přístrojům nepřikládají, neboť nelze vytvořit jediný obecný vztah pro všechny typy betonů. Tyto vztahy byly výrobci empiricky stanovené na základě nespočtu měření. V praktické části diplomové práce jsou použity tvrdoměry Original Schmidt N a SilverSchmidt N švýcarského výrobce Proceq SA, budou uvedeny převodní křivky pouze pro tyto dva typy přístrojů.

Pro přístroj Original Schmidt uváděl výrobce v návodu k použití několik převodních křivek pro stanovení pevnosti v tlaku betonu. Pro příklad jsou uvedeny v následujícím obrázku 22 převodní křivky mezi hodnotou odrazu R a

průměrnou krychelnou pevností v tlaku betonu $f_{ck,cube,m}$ v závislosti na poloze přístroje typu N. Vztahy byly vypracovány pro betony ve stáří 14 až 56 dnů [35].



Obr. 22: Převodní křivka mezi hodnotou odrazu a krychelnou pevností v tlaku betonu pro přístroj Original Schmidt N [35]

Pro přístroj SilverSchmidt N jsou uvedeny v dokumentu [36] dva vztahy pro výsledky zkoušek. Vztah (14) má 50% spolehlivost, tedy 50 % výsledků podhodnocuje skutečnou pevnost v tlaku betonu:

$$f_c = 1,8943 \cdot e^{0,064 \cdot Q}, \quad (14)$$

kde: f_c je pevnost betonu v tlaku [MPa],

Q je koeficient vrácené energie [-],

a vztah je platný pro hodnoty Q od 20 do 62 [-] [36][37].

Vztah (15) má 90% spolehlivost, tedy 90 % výsledků podhodnocuje skutečnou pevnost v tlaku betonu:

$$f_c = 2,77 \cdot e^{0,048 \cdot Q}, \quad (15)$$

kde: f_c je pevnost betonu v tlaku [MPa],

Q je koeficient vrácené energie [-],

a vztah je platný pro hodnoty Q od 22 do 75 [-] [36][37].

aritmetického průměru všech měření na témže zkušebním místě o více než 20 %. Pevnosti, které vybočují, se vyloučí a ze zbývajících platných měření se vypočte nový průměr. Výsledná pevnost v tlaku se vypočte jako aritmetický průměr ze všech platných měření na jednom zkušebním místě [6].

VYHODNOCENÍ DLE ČSN EN 12504-2

Na každém zkušebním místě se provede nejméně devět platných čtení. Výsledkem zkoušky na daném zkušebním místě je střední hodnota ze všech čtení, při jejichž případné úpravě se bere v úvahu směr působení tvrdoměru podle pokynu výrobce, a vyjádří se jako celé číslo. Pokud se více než 20 % všech čtení liší od střední hodnoty o více než 30 %, celá sada čtení musí být vyřazena [5].

VYHODNOCENÍ DLE ČSN EN 13791

Norma [34] uvádí dva vztahy tvořící dohromady základní křivku pro převod hodnoty tvrdosti zjištěné odrazovým tvrdoměrem na hodnotu pevnosti v tlaku betonu:

$$f_R = 1,25 \cdot R - 23 , \quad (22)$$

$$f_R = 1,73 \cdot R - 34,5 , \quad (23)$$

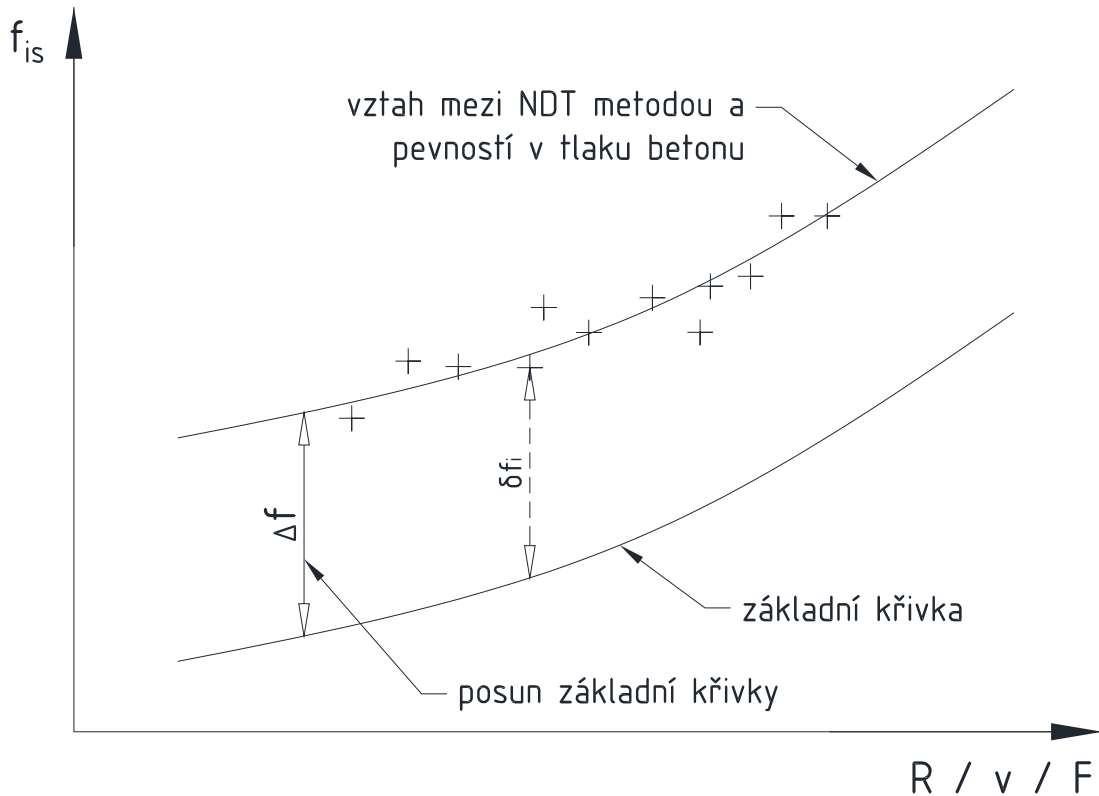
kde: f_R je hodnota pevnosti v tlaku betonu v konstrukci [MPa],

R je hodnota tvrdosti zjištěná odrazovým tvrdoměrem [-] [34].

Vztah (22) je určen pro hodnoty tvrdosti v intervalu $20 \leq R \leq 24$ a vztah (23) je určen pro hodnoty tvrdosti v intervalu $24 \leq R \leq 50$ [34].

Základní křivka značně podhodnocuje skutečnou pevnost v tlaku betonu. Zařazení betonu do příslušné pevnostní třídy jen na základě výsledků nedestruktivních zkoušek je tedy nepřesné. Norma [34] proto uvádí postup pro stanovení vztahu mezi nepřímým zkoušením a pevností betonu v tlaku v konstrukci. Vybere se nejméně 9 zkušebních míst, na kterých se aplikuje NDT metoda, a následně se z každého zkušebního místa odebere a vyzkouší jádrový vývrt. Pro každé zkušební místo se stanoví rozdíl mezi zjištěnou hodnotou na vývrtu a hodnotou uvedenou na základní křivce NDT metody. Vypočte se hodnota, o kterou by se měla základní křivka posunout. A základní křivka se posune (v grafu), aby se získal vztah mezi nepřímou zkouškou (NDT) a pevností

betonu v tlaku v konstrukci pro konkrétní vyšetřovaný beton [34]. Schéma posunu základní křivky je znázorněno v obrázku 23.



- f_{is} je pevnost v tlaku betonu v konstrukci [MPa],
- δf_i je rozdíl mezi jednotlivými pevnostmi vývrtu a hodnotou pevnosti podle základního vztahu [MPa],
- R je tvrdost betonu zjištěná odrazovým tvrdoměrem [-],
- v je rychlost šíření UZ impulsu betonem [km/s],
- F je síla potřebná na vytržení [N].

Obr. 23: Schéma posunu základní křivky NDT metod dle ČSN EN 13791 [34]

3.4.4 PEVNOST V TLAKU BETONU URČENÁ ULTRAZVUKEM

DLE ČSN 73 1371

Informativní pevnost betonu v tlaku je možné stanovit z impulsové rychlosti podélného UZ vlnění při použití kalibračního vztahu (úzký nebo široký určující kalibrační vztah; obecný nebo směrný kalibrační vztah upřesněný součinitelem α) [21]. V normě [21] je uveden jeden z možných směrných kalibračních vztahů pro výpočet pevnosti v tlaku:

$$f_{be} = 9,9 \cdot v_{L3}^2 - 56 \cdot v_{L3} + 87,8 , \quad (24)$$

kde: f_{be} je pevnost betonu v tlaku [MPa],
 v_{L3} je impulsová rychlost v trojrozměrném prostředí [$\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$] [19].

Je nutné mít na paměti, že pomocí UZ metody lze stanovit pouze informativní hodnotu pevnosti betonu v tlaku. Vztah (24) je proto třeba brát s rezervou, neboť byl vytvořen pro betony vyráběné před více než třiceti lety, zkoušené ve stáří přibližně 14 až 56 dnů. Pro moderní betony již není přesný, hodnoty pevnosti v tlaku jsou ve skutečnosti výrazně vyšší [19].

DLE ČSN EN 13791

Norma [34] uvádí základní křivku pro převod rychlosti šíření UZ impulsu na hodnotu pevnosti v tlaku betonu:

$$f_v = 62,5 \cdot v - 497,5 \cdot v + 990 , \quad (25)$$

kde: f_v je hodnota pevnosti v tlaku betonu v konstrukci [MPa],
 v je rychlost šíření UZ impulsu v intervalu 4 až 4,8 [km/s] [34].

Stejně jako v případě vyhodnocení tvrdoměrné odrazové metody dle normy [34], i pro zkoušku rychlosti šíření UZ impulsu betonem platí, že hodnoty pevnosti v tlaku betonu získané pouze NDT metodou značně podhodnocují skutečnou pevnost v tlaku. Platí tedy stejný postup posunutí základní křivky, který je naznačen pro vyhodnocení tvrdoměrné zkoušky dle normy [34] (viz předchozí Obr. 23).

3.4.5 KOMBINACE ULTRAZVUKOVÉ METODY A TVRDOMĚRU

Dle přílohy C normy ČSN 73 2011 [38] lze získat hodnoty krychelné pevnosti betonu zkušebních míst kombinací ultrazvukové impulsové metody a Schmidtova tvrdoměru N.

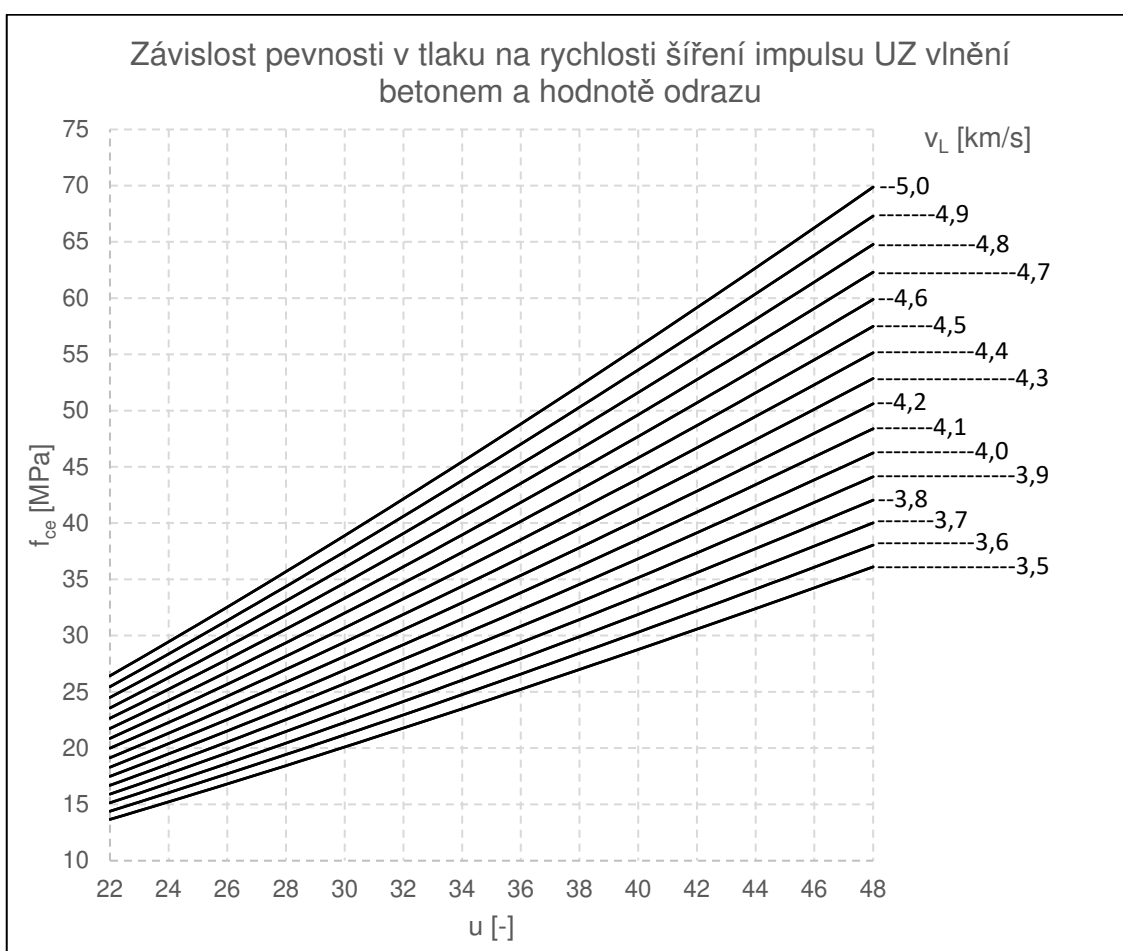
Beton se zkouší na místech upravených dle požadavků kladených na zkušební místa pro ultrazvukovou impulsovou metodu, a zároveň i pro metodu Schmidtových tvrdoměru [38].

Norma [38] uvádí vztah pro vyhodnocení krychelné pevnosti v tlaku betonu při zkoušení Schmidtovým tvrdoměrem ve vodorovné poloze a zároveň při přímém prozvučování ultrazvukem:

$$f_{ce} = 0,0286 \cdot v_L^{1,85} \cdot u^{1,246} , \quad (26)$$

kde: f_{ce} je krychelná pevnost v tlaku betonu [MPa],
 v_L je rychlost šíření impulsů UZ vln v trojrozměrném prostředí [km/s],
 u je hodnota odrazu Schmidtova tvrdoměru [-] [38].

Uvedený vztah (26) je v normě vyjádřen i graficky, kdy pro pevně dané hodnoty rychlosti šíření impulsů UZ vlnění jsou v grafu vyneseny křivky (viz graf 2). Naměřenou hodnotu odrazu poté stačí vynést na příslušnou křivku odpovídající dané rychlosti šíření impulsu UZ vlnění betonem a na svislé ose odečíst hodnotu pevnosti v tlaku [38].



Graf 2: Grafické vyjádření vztahu (26) [38].

4. PRAKTICKÁ ČÁST

Experiment popsaný následovně měl za úkol simulovat zkoušení betonu v konstrukci nedestruktivními metodami za účelem určení pevnosti v tlaku betonu. Na zjištěných datech byla provedena analýza závislosti nedestruktivně zjištěných parametrů a pevnosti v tlaku.

4.1 EXPERIMENT

Na betonových blocích se přímou ultrazvukovou impulsní metodou zjišťovala doba průchodu UZ vlnění a z ní se dle vztahu (1) vypočítala rychlost šíření impulsů betonem. Byl použit přístroj Pundit PL-200 švýcarské firmy Proceq SA.

Betonové bloky byly zbroušením připraveny pro zkoušku Schmidtovými tvrdoměry. Zjišťovaly se hodnoty odrazu a hodnoty koeficientu vrácené energie. Byly použity přístroje Original Schmidt N a SilverSchmidt N švýcarské firmy Proceq SA.

Jádrovým vrtákem byly z betonových bloků odebrány jádrové vývrty. Z vývrťů se řezáním zhotovila zkušební tělesa, na kterých byla provedena zkouška pevnosti v tlaku betonu a vyhodnocena dle vztahu (4).

Jednotlivé kroky experimentu jsou detailněji popsány v následujících kapitolách.

4.1.1 BETONOVÉ BLOKY

Betonové bloky použité v experimentu byly kvádry o rozměrech 300 × 300 × 150 mm. Bloky nebyly zhotoveny speciálně pro účely diplomové práce, ale jednalo se o nevyužitá tělesa z předchozích experimentů prováděných v rámci řešení projektu GAČR č. 13-18870S. Bloky byly postupně zhotovovány v období od května 2013 do března 2015. Bloky použité v experimentu, který popisuje tato diplomová práce, byly skladovány v suchu a v uzavřených prostorách. Celkem bylo využito 32 kusů bloků rozdělených do jedenácti skupin.

Bloky byly zhotoveny shodným technologickým postupem. Beton bloků byl zhotoven ze shodných surovin. Lišilo se množství přidaného cementu. Betony se

dále lišily přidáním (nebo nepřidáním) plastifikační a provzdušňovací přísady a také jejím případným množstvím. Receptury jednotlivých skupin betonů jsou uvedeny v následujících tabulkách 1 až 3, jedná se o skutečné navážky materiálu. Betony označené jako R, 0/1, 0/2 a 0/3 neobsahovaly žádné přísady a lišily se množstvím cementu. Betony označené jako 1/1, 1/2, 1/3, 2/2 a 2/3 obsahovaly plastifikační přísadu a lišily se v jejím množství a v množství použitého cementu. Betony označené jako 1/1, 1/2 a 1/3 obsahovaly 0,25 % plastifikační přísady vzhledem k hmotnosti cementu a betony označené jako 2/2 a 2/3 obsahovaly 0,5 % plastifikační přísady vzhledem k hmotnosti cementu. Betony označené jako P2/2 a P2/3 obsahovaly navíc, kromě plastifikátoru, také provzdušňovací přísadu a mezi sebou se opět lišily množstvím cementu.

Tabulka 1: Složení betonů bez přísad

MATERIÁL (naváženo)		OZNAČENÍ BETONU			
		R	0/1	0/2	0/3
Cement CEM I 42,5 R (Mokrý)		248	308	357	392
Písek 0-4 mm (Bratčice)		953	925	889	826
Kamenivo 4-8 mm (Olbramovice)		173	182	174	195
Kamenivo 8-16 mm (Olbramovice)		675	696	693	669
Voda	záměsová	187	189	188	195
	v kamenivu	14	14	13	13
	celková	201	203	201	208
Sika ViscoCrete 4035 (plastifikátor)		0	0	0	0
Sika LPS A 94 (provzdušnění)		0	0	0	0
Vodní součinitel		0,75	0,61	0,53	0,50

Tabulka 2: Složení betonů s plastifikační přísadou

MATERIÁL (naváženo)		OZNAČENÍ BETONU				
		1/1	1/2	1/3	2/2	2/3
Cement CEM I 42,5 R (Mokrý)		295	349	394	338	386
Písek 0-4 mm (Bratčice)		927	897	846	905	854
Kamenivo 4-8 mm (Olbramovice)		185	185	192	183	207
Kamenivo 8-16 mm (Olbramovice)		689	693	684	667	671
Voda	záměsová	163	162	170	163	168
	v kamenivu	14	13	13	13	13
	celková	177	175	183	176	181
Sika ViscoCrete 4035 (plastifikátor)		0,71	0,91	0,95	1,77	2,01
Sika LPS A 94 (provzdušnění)		0	0	0	0	0
Vodní součinitel		0,55	0,46	0,43	0,48	0,44

K provedení experimentu byly k dispozici 3 bloky od každého druhu (označení) betonu, kromě bloků zhotovených z betonu označeného jako P2/3, kdy byly dostupné pouze 2 bloky.

Tabulka 3: Složení betonů s plastifikační i provzdušňovací přísadou

MATERIÁL (naváženo)	OZNAČENÍ BETONU		
	P2/2	P2/3	
Cement CEM I 42,5 R (Mokrá)	335	393	
Písek 0-4 mm (Bratčice)	850	816	
Kamenivo 4-8 mm (Olbramovice)	312	183	
Kamenivo 8-16 mm (Olbramovice)	526	694	
Voda	záměsová	151	158
	v kamenivu	13	13
	celková	164	171
Sika ViscoCrete 4035 (plastifikátor)	1,70	2,05	
Sika LPS A 94 (provzdušnění)	0,76	0,71	
Vodní součinitel	0,45	0,40	

Každý blok byl jednoznačně označen římskou číslicí (I až III) přidanou za označení betonu. Každému bloku bylo navíc přiděleno identifikační arabské číslo (1 až 32), kvůli zjednodušení popisů v pozdějších fázích experimentu. Každý blok byl také rozdělen na čtyři různé oblasti zkoušení označené velkými písmeny (A až D), toto se týkalo zkoušek Schmidtovými tvrdoměry, zhotovení jádrových vývrtů a zkoušek pevnosti v tlaku. Příklad značení jednotlivých betonových bloků je uveden v následující tabulce.

Tabulka 4: Příklad značení bloků

OZNAČENÍ BETONU	ŘÍMSKÉ ČÍSLOVÁNÍ	IDENTIFIKAČNÍ ČÍSLO BLOKU	ZKUŠEBNÍ MÍSTO
2/3	I	25	A
			B
			C
			D
	II	26	A
			B
			C
			D
	III	27	A
			B
			C
			D

4.1.2 ULTRAZVUKOVÁ IMPULSOVÁ METODA

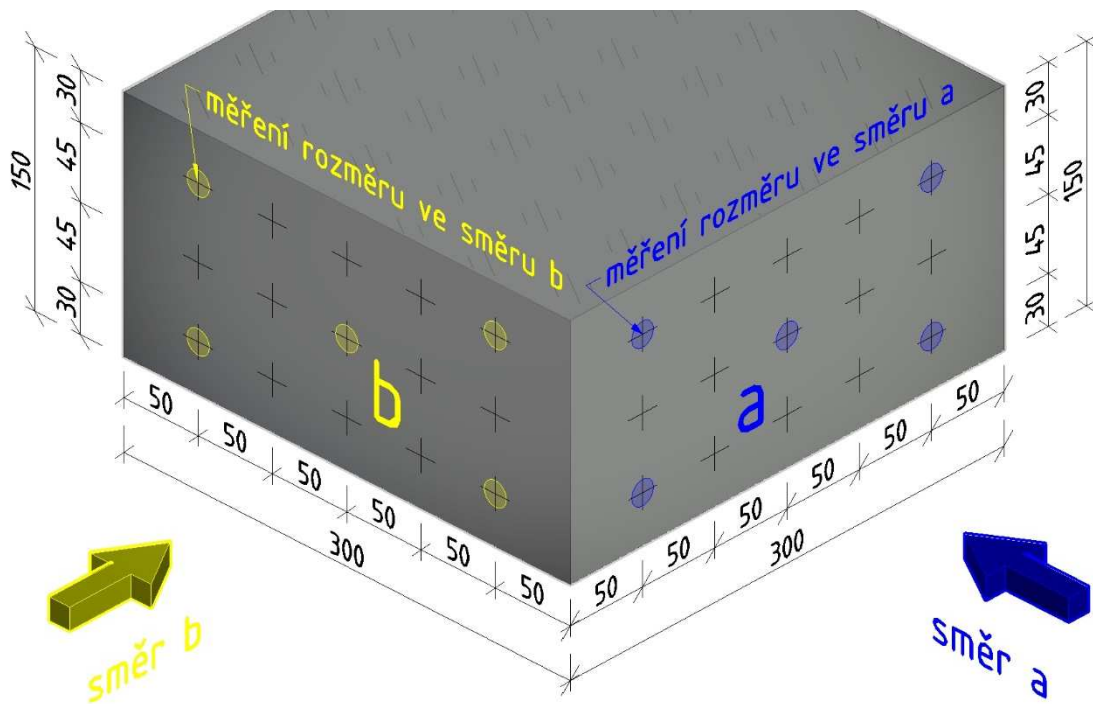
Před samotným prozvučováním bloků ultrazvukem bylo nutné přesně změřit jejich rozměry (viz Obr. 25). Zajímavé pro zkoušku byly pouze půdorysné rozměry bloků, tedy přibližně 300 × 300 mm. Oba rozměry každého bloku byly změřeny posuvným měřítkem celkem 5krát na místech definovaných dále popsaným bodovým rastrem (viz Obr. 24). Hodnoty byly odečítány s přesností na setiny

milimetru (viz přílohu 1). Pro vyhodnocení rychlosti šíření UZ vlnění blokem se použil průměr těchto 5 měření.

Tabulka 5: Půdorysné průměrné rozměry bloků

Id. č. bloku	Beton	Blok	Průměrný rozměr ve směru:		Id. č. bloku	Beton	Blok	Průměrný rozměr ve směru:	
			a [mm]	b [mm]				a [mm]	b [mm]
1	R	I	300,28	299,83	19	1/3	I	301,68	300,18
2		II	300,01	299,53	20		II	301,33	300,69
3		III	299,49	299,67	21		III	301,55	300,37
4	0/1	I	300,66	300,06	22	2/2	I	300,17	301,44
5		II	300,52	299,96	23		II	301,40	300,80
6		III	299,76	300,13	24		III	301,70	300,32
7	0/2	I	301,17	300,07	25	2/3	I	301,28	300,20
8		II	301,14	300,01	26		II	302,16	300,53
9		III	300,81	300,02	27		III	300,22	301,78
10	0/3	I	301,27	299,80	28	P2/2	I	300,60	301,37
11		II	299,97	300,82	29		II	301,52	301,06
12		III	300,04	301,31	30		III	301,62	301,12
13	1/1	I	301,51	299,78	31	P2/3	I	300,65	301,16
14		II	301,15	299,96	32		II	301,37	300,53
15		III	301,66	300,13					
16	1/2	I	301,37	300,26					
17		II	301,63	300,26					
18		III	301,59	300,24					

Na všech čtyřech bočních stranách bloku (každá strana měla rozměry přibližně 300 × 150 mm) byl vyhotoven rastr 15 bodů. Body byly ve 3 řadách nad sebou a v každé řadě se nacházelo 5 bodů. Rozměry rastru byly 50 × 45 mm (viz Obr. 24).



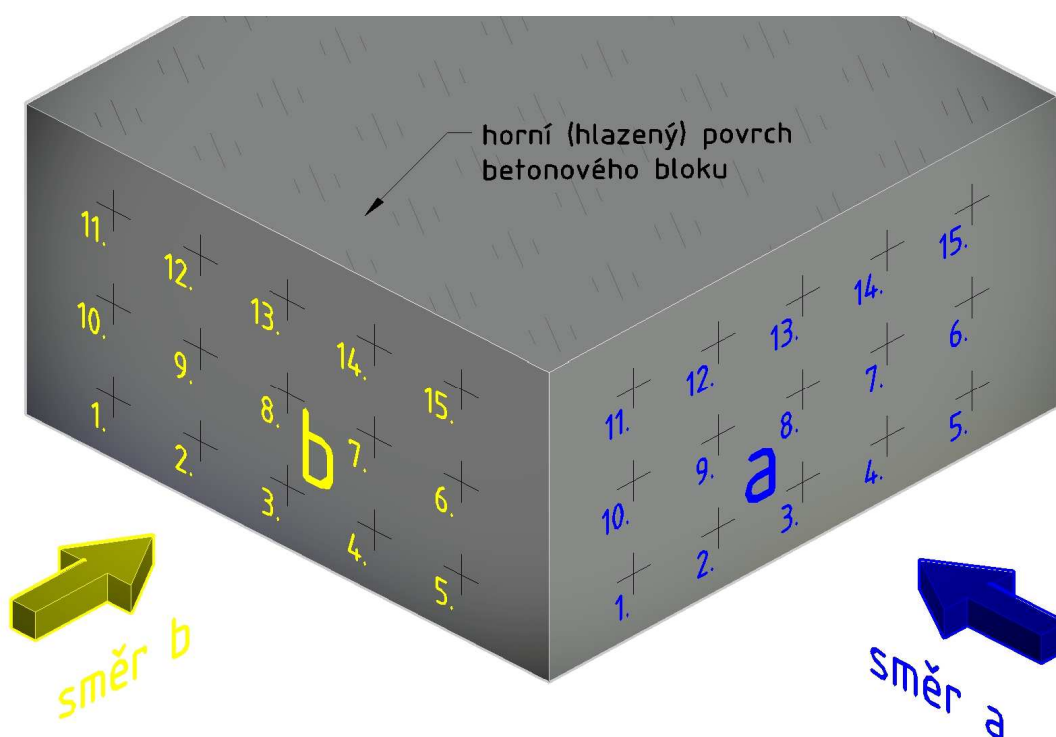
Obr. 24: Rastr 15 bodů na bočních stranách bloku s vyznačením míst měření daného rozměru bloku



Obr. 25: Měření rozměrů bloků posuvným měřítkem pro zkoušení ultrazvukem

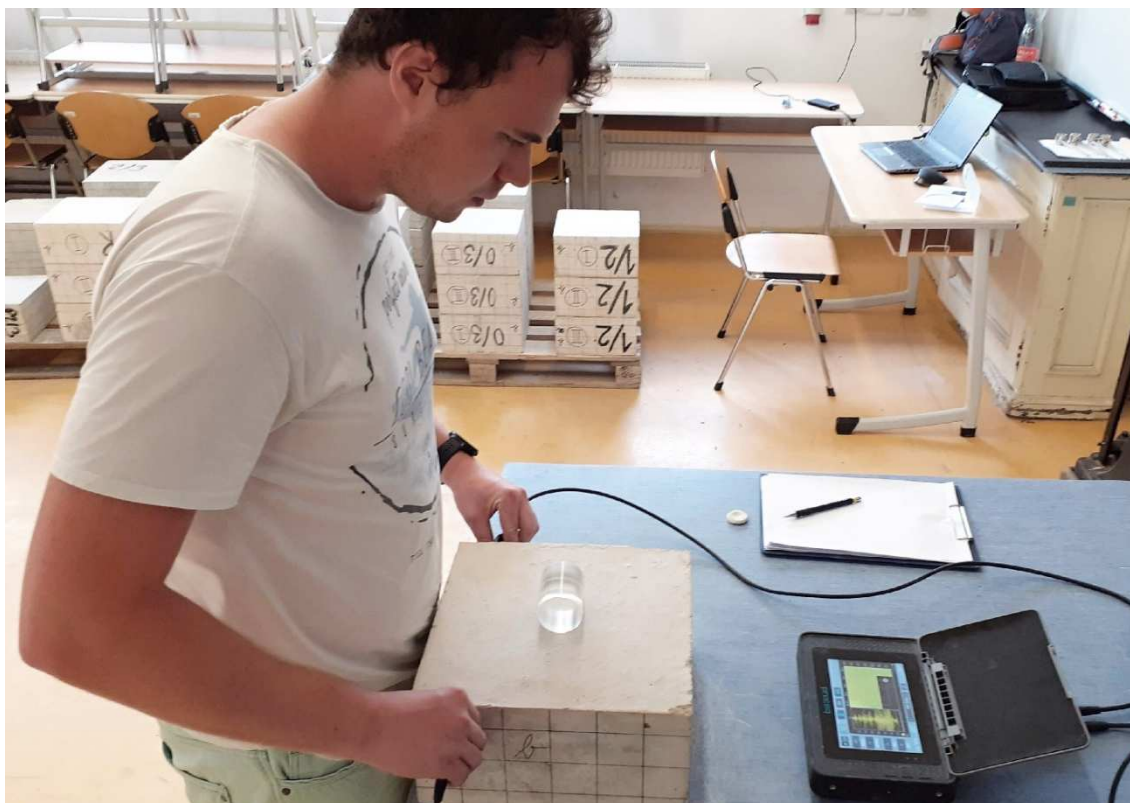
Samotné měření doby průchodu UZ vlnění betonovým blokem bylo prováděno přístrojem Pundit PL-200 od firmy Proceq SA (viz Obr. 27). Sonda pracovala na frekvenci 150 kHz a jako akustický vazebný prostředek byla použita plastelína. Způsob prozvučování byl přímý, tedy budič a snímač byly umístěny naproti sobě (na protilehlých stranách bloku). Vyšetření „mrtvého času“ probíhalo

průběžnou kalibrací přístroje pomocí etalonu s časovou charakteristikou 25,4 μ s. Každý blok byl prozvučován v obou půdorysných rozměrech, označených jako *směr a* a *směr b*. V každém směru (*a* či *b*) bylo odečteno 15 hodnot doby průchodu UZ vlnění, tyto hodnoty byl odečítány v bodech naznačených rastrem, který byl popsán výše. Během jednoho cyklu měření bylo tedy na každém bloku odečteno 30 hodnot doby průchodu UZ vlnění. Pořadí prozvučování v jednotlivých bodech rastru bylo zachováno shodné pro všechny bloky a je naznačené na obrázku 26.



Obr. 26: Pořadí prozvučování bloků v jednotlivých směrech

V jednom cyklu měření bylo na 32 blocích zjištěno celkem 960 hodnot doby průchodu UZ vlnění. Během práce v laboratoři byly provedeny 3 cykly měření, a to postupně ve dnech 27. 6., 1. 7. a 9. 7. 2019. Vyhodnotit tedy bylo potřeba celkem 2880 hodnot doby průchodu impulsu betonovým blokem (viz přílohu 1).



Obr. 27: Měření doby průchodu impulsů UZ vlnění betonovým blokem pomocí přístroje Pundit PL-200

Z naměřených dob průchodu UZ impulsu se vyhodnocovala rychlost šíření impulsů podélných vln v betonu dle vztahu (1). V tabulce 6 jsou uvedeny průměrné hodnoty rychlosti šíření UZ impulsů. (Pozn.: každá průměrná hodnota je vlastně průměrem z 90 dílčích hodnot, protože na jednom bloku bylo postupně 3krát zjištěno 15 hodnot pro *směr a* a 3krát 15 hodnot pro *směr b*.) V tabulce jsou také uvedeny hodnoty výběrové směrodatné odchylky a variačního koeficientu.

Z uvedených variačních koeficientů měření (viz tabulku 6), kdy žádný nepřekročil hodnotu 3 %, je patrné, že betony všech zkoumaných bloků byly víceméně rovnoměrné.

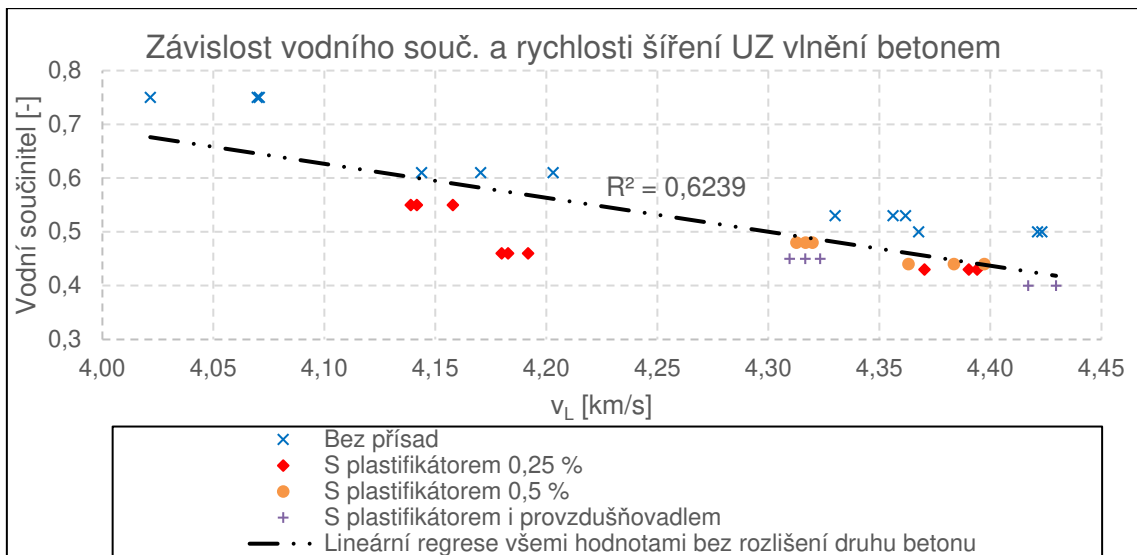
Variační koeficient byl vyhodnocován i pro každý měřený bod zvlášť, tedy byly použity 3 hodnoty měření doby průchodu impulsů UZ vlnění betonovým blokem. Tyto dílčí variační koeficienty se v nejhorsích případech pohybovaly kolem hodnoty 1,3 %, tedy byla potvrzena výborná opakovatelnost měření.

Tabulka 6: Rychlost šíření impulsů UZ vlnění betonovými bloky

Id. č. bloku	Beton	Blok	Rychlost šíření UZ vln	Směrodatná odchylka	Variační koeficient
			v_L [km/s]	s [km/s]	v [%]
1	R	I	4,07	0,10	2,38
2		II	4,07	0,08	1,96
3		III	4,02	0,09	2,36
4	0/1	I	4,17	0,04	1,04
5		II	4,14	0,06	1,41
6		III	4,20	0,06	1,40
7	0/2	I	4,36	0,06	1,40
8		II	4,33	0,09	2,07
9		III	4,36	0,05	1,15
10	0/3	I	4,42	0,03	0,67
11		II	4,42	0,03	0,69
12		III	4,37	0,05	1,24
13	1/1	I	4,16	0,05	1,32
14		II	4,14	0,08	1,82
15		III	4,14	0,05	1,09
16	1/2	I	4,18	0,05	1,23
17		II	4,18	0,06	1,37
18		III	4,19	0,05	1,29
19	1/3	I	4,39	0,05	1,13
20		II	4,39	0,04	0,97
21		III	4,37	0,04	0,88
22	2/2	I	4,31	0,04	0,91
23		II	4,32	0,04	0,94
24		III	4,32	0,04	1,00
25	2/3	I	4,38	0,03	0,79
26		II	4,36	0,03	0,75
27		III	4,40	0,04	0,95
28	P2/2	I	4,32	0,06	1,33
29		II	4,32	0,07	1,63
30		III	4,31	0,06	1,31
31	P2/3	I	4,42	0,03	0,75
32		II	4,43	0,04	0,87

Závislosti pevnosti v tlaku betonu na rychlosti šíření impulsů UZ vlnění betonem se věnuje kapitola 4.2.1.

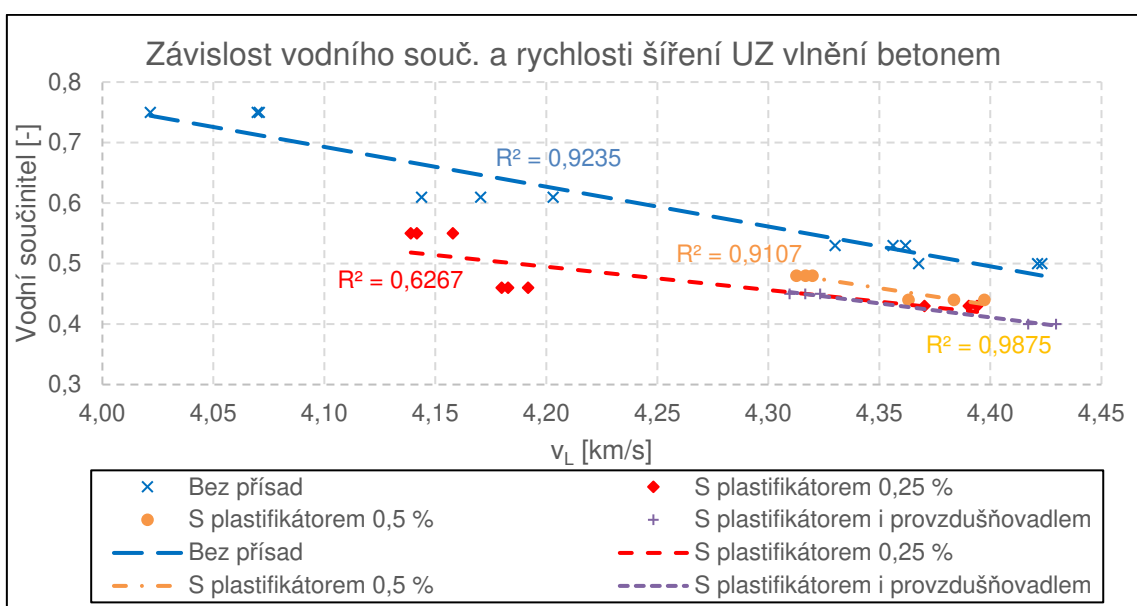
V následujícím grafu 3 jsou vyneseny hodnoty rychlosti šíření impulsů UZ vlnění betonovým blokem v závislosti na vodním součiniteli při výrobě bloků. Diskrétními body, které jsou rozlišeny dle složení betonu, je proložena regresní přímka. Přímka je proložena všemi naměřenými hodnotami na betonových blocích bez rozlišení druhu betonu.



Graf 3: Závislost rychlosti šíření UZ vlnění betonem na vodním součiniteli

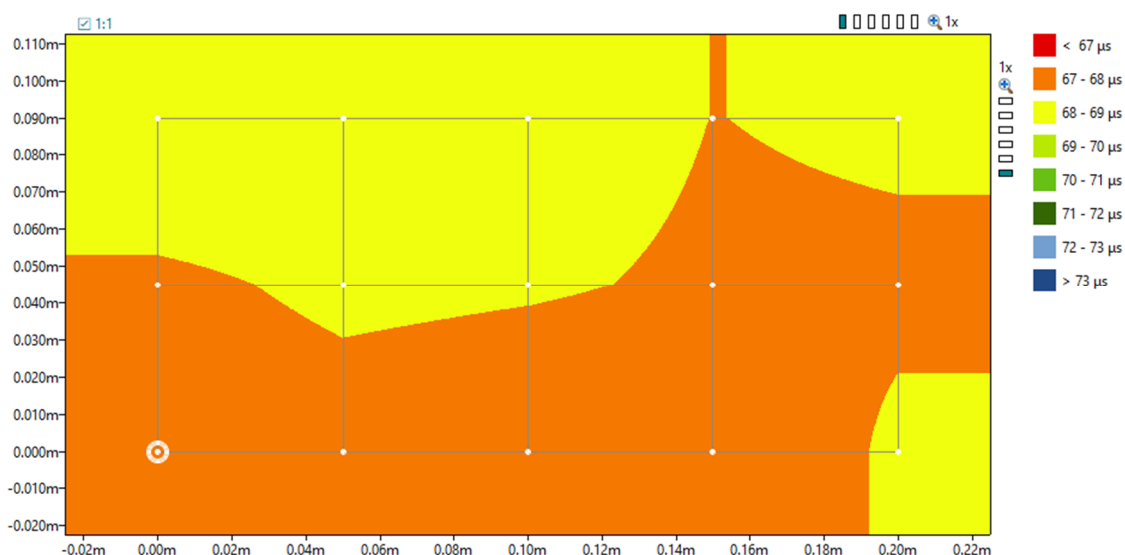
Hodnota koeficientu determinace R^2 je pouze 62,4 % (viz graf 3), proto budou zkoušené betony dále rozděleny do čtyř skupin dle jejich složení.

V následujícím grafu 4 jsou vyneseny hodnoty rychlosti šíření impulsů UZ vlnění betonovým blokem v závislosti na vodním součiniteli při výrobě bloků. Diskrétními body v grafu jsou proloženy regresní přímky. Přímky jsou proloženy zvláště hodnotami naměřenými na betonech bez přísad, na betonech s plastifikační přísadou (rozlišuje se 0,25 % a 0,5 % z hmotnosti cementu) a na betonech s plastifikační i provzdušňovací přísadou. Pro každou regresní přímku je uveden koeficient determinace.

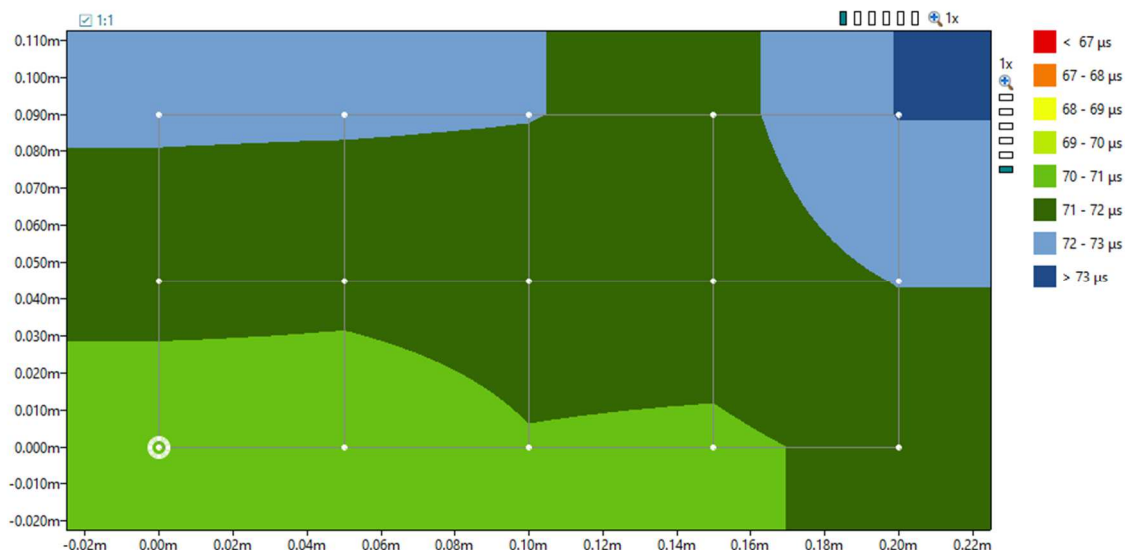


Graf 4: Závislost rychlosti šíření UZ vlnění betonem na vodním součiniteli

Všechny zatím uvedené naměřené hodnoty byly stanoveny pomocí základní funkce přístroje Pundit-PL200, kdy bylo třeba měřit dobu průchodu v každém bodě zvlášť a důležité bylo zachovávat přesný a jednoznačný popis uložených dat, aby následné ruční přepisování hodnot pro jejich vyhodnocení proběhlo bez potíží. Přístroj ovšem disponuje i pokročilejší funkcí plošného skenování. Pro tuto funkci je nezbytný přesný bodový rastr na konstrukci, tak jako v našem případě. Po spuštění měření je nutné podle instrukcí přístroje proměřit opět každý bod rastru zvlášť, ovšem software přístroje (nebo i dodávaný software pro PC) automaticky vyhodnotí naměřená data do podoby plošného grafu, který je velmi názorný pro posouzení rovnoměrnosti betonu. Na vybraných betonových blocích bylo zhotoveno několik plošných skenů (viz Obr. 28 a Obr. 29).



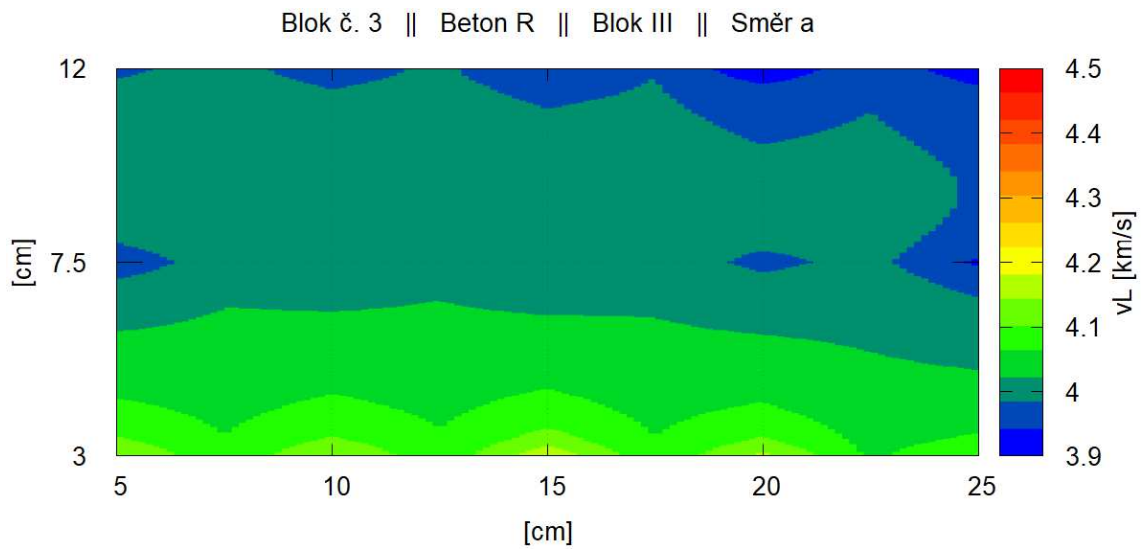
Obr. 28: Plošný graf bloku č. 31 (P2/3 – I) ve směru b vyhotovený přístrojem Pundit: rovnoměrný a kvalitní beton



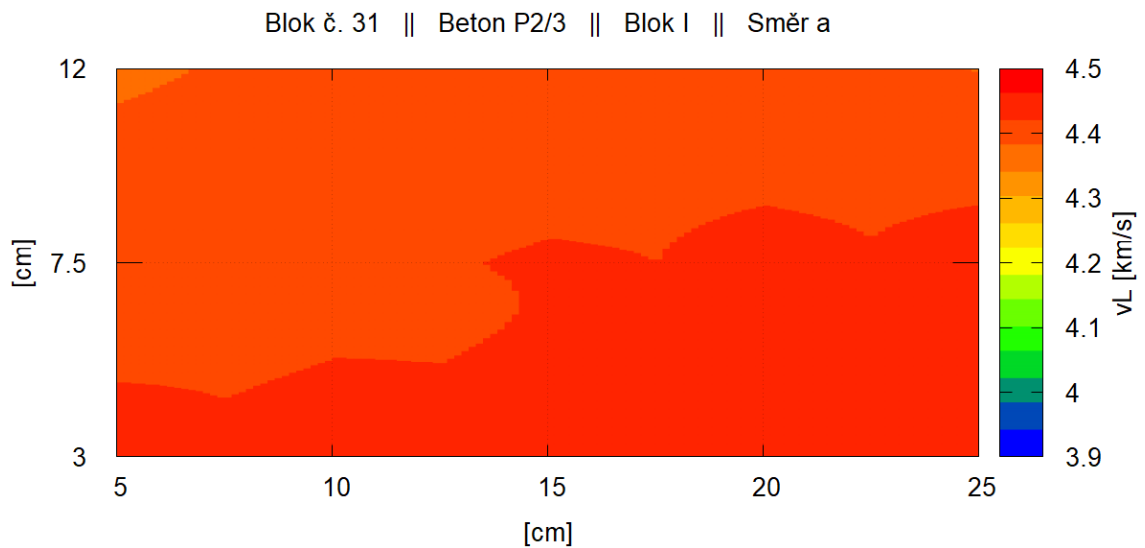
Obr. 29: Plošný graf bloku č. 4 (0/1 – I) ve směru b vyhotovený přístrojem Pundit: oproti bloku č. 31 se jedná o blok s horší rovnoměrností betonu

Pro oba výše uvedené obrázky bylo zvoleno shodné rozpětí stupnice doby průchodu impulsů UZ vlnění betonovým blokem [μs]. Horní obrázek představuje záznam měření jedné strany bloku (ve směru b) z betonu označeného P2/3. Naměřené doby průchodu se pohybují v úzkém rozmezí 67 až 69 μs . Naproti tomu spodní obrázek představuje záznam měření jedné strany bloku (ve směru b) z betonu označeného 0/1 a naměřené doby průchodu se zde pohybují v o něco širším rozmezí 70 až 73 μs (včetně), což jednak poukazuje na kvalitativně o něco málo horší beton než v horním případě, ale hlavně větší rozptyl hodnot doby průchodu impulsů UZ vlnění odpovídá i horší rovnoměrnosti betonu.

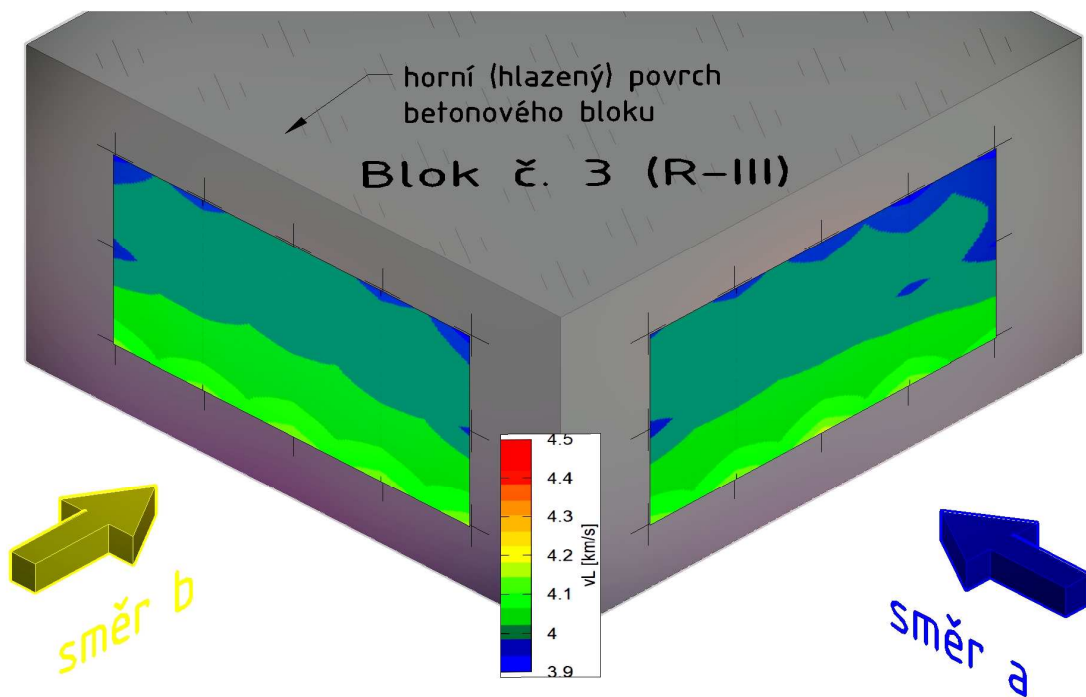
Další plošné grafy byly vyhotoveny v programu Gnuplot z jednotlivě naměřených dat. Ke zhotovení grafů byly použity vypočtené hodnoty rychlosti šíření UZ vlnění v_L . Všem grafům byla nastavena shodná grafická stupnice pro v_L , což v menší míře ztěžuje vyhodnocení rovnoměrnosti betonu, nicméně betonové bloky jsou tak mezi sebou snadno a názorně porovnatelné (viz následující grafy 5 a 6 a Obr. 30).



Graf 5: Plošný graf rychlosti šíření UZ vlnění betonem – dobře patrná mírná nerovnoměrnost (vrstevnatost) betonu bloku č. 3



Graf 6: Plošný graf rychlosti šíření UZ vlnění betonem – blok č. 31 se řadil mezi bloky z nejkvalitnějšího betonu



Obr. 30: Přiložení plošných grafů na virtuální betonový blok – byly využity plošné grafy zhotovené pro blok č. 3 z betonu označeného jako R

Plošné grafy byly vyhotoveny pro všechny betonové bloky a jsou uvedeny v příloze 1.

4.1.3 METODA SCHMIDTOVÝCH ODRAZOVÝCH TVRDOMĚŘŮ

Bylo rozhodnuto, že se betonové bloky budou odrazovými tvrdoměry zkoušet na dvou protilehlých stranách, kdy se každá rozdělila na poloviny, čímž vznikly na jednom bloku celkem čtyři zkušební místa (A, B, C a D). Na místech A a B, ležících na jedné straně, byla zkouška prováděna přístrojem Original Schmidt typu N. Na místech C a D, ležících na protilehlé straně, byla zkouška prováděna přístrojem SilverSchmidt typu N. Oba přístroje pocházely z výroby firmy Proceq SA.

Zkušební místa bylo nutné upravit požadovaným způsobem. Dvě protilehlé strany bloků tedy byly vybroušeny úhlovou bruskou s diamantovým brusným kotoučem na patrnou makrostrukturu betonu (viz Obr. 31).



Obr. 31: Broušení betonových bloků pro tvrdoměrné zkoušení

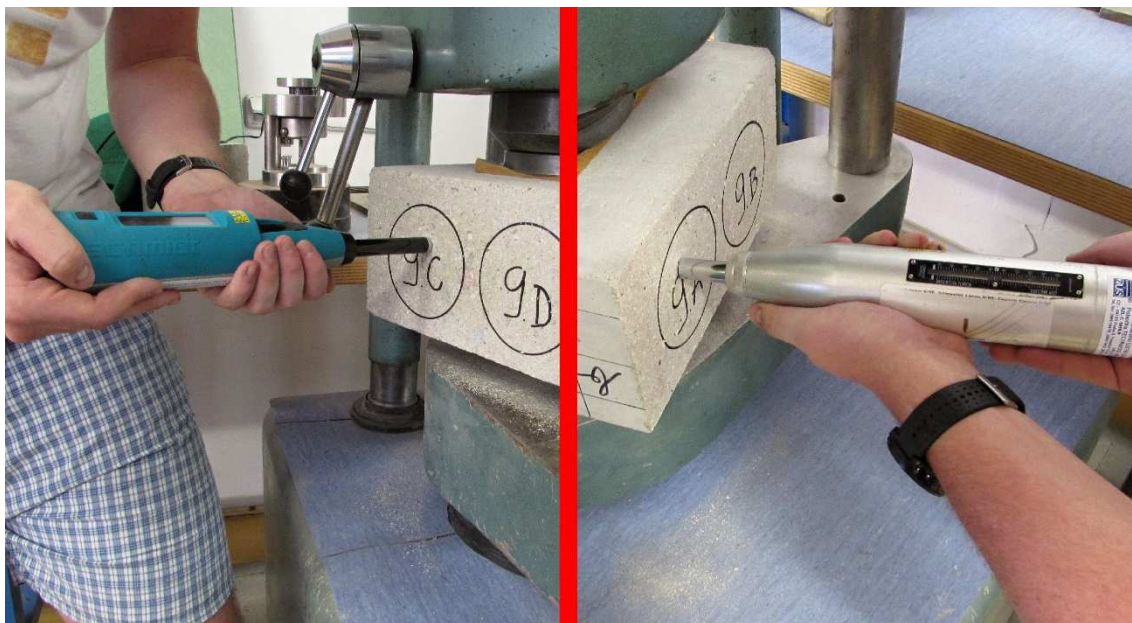
Ihned po obroušení a očištění od prachu byl na každou stranu na několik míst aplikován roztok fenolftaleinu (viz Obr. 32). Fialové zbarvení indikovalo úspěšné obroušení zkarbonatované vrstvy, která by mohla ovlivnit výsledky tvrdoměrné zkoušky.



Obr. 32: Aplikace roztoku fenolftaleinu na obroušenou stranu betonového bloku

Připravený betonový blok k tvrdoměrnému zkoušení byl řádně vycentrován a vodorovně upnut do zkušebního lisu tlakovou silou 50 kN, tak aby byly přístupné obě obroušené strany (viz Obr. 33). Před samotným tvrdoměrným měřením byly oba Schmidty tvrdoměry aktivovány několika údery do betonové podlahy a byla zkontrolována hodnota odrazu (koeficientu vrácené energie) na kalibrační kovadlině.

Na každém zkušebním místě bylo odečteno 10 hodnot odrazu (v případě přístroje Original Schmidt), případně 10 hodnot koeficientu vrácené energie (v případě přístroje SilverSchmidt). Z odečtených hodnot byla vypočtena střední hodnota v podobě aritmetického průměru. Jelikož není dle normy ČSN 73 1373 [6] možné vyhodnotit počet platných měření pro SilverSchmidt N (každé hodnotě Q by musela být přiřazena hodnota pevnosti v tlaku, ovšem žádný vztah pro tento převod norma neobsahuje), byl počet platných měření určen pro oba tvrdoměry podle normy ČSN EN 12504-2 [5]. Bylo zjištěno, že žádná naměřená hodnota se od průměru neliší o více než 30 %, výsledkem je tedy skutečnost, že na každém zkušebním místě bylo odečteno právě 10 platných měření.



Obr. 33: Vlevo tvrdoměrné zkoušení přístrojem SilverSchmidt, vpravo tvrdoměrné zkoušení přístrojem Original Schmidt

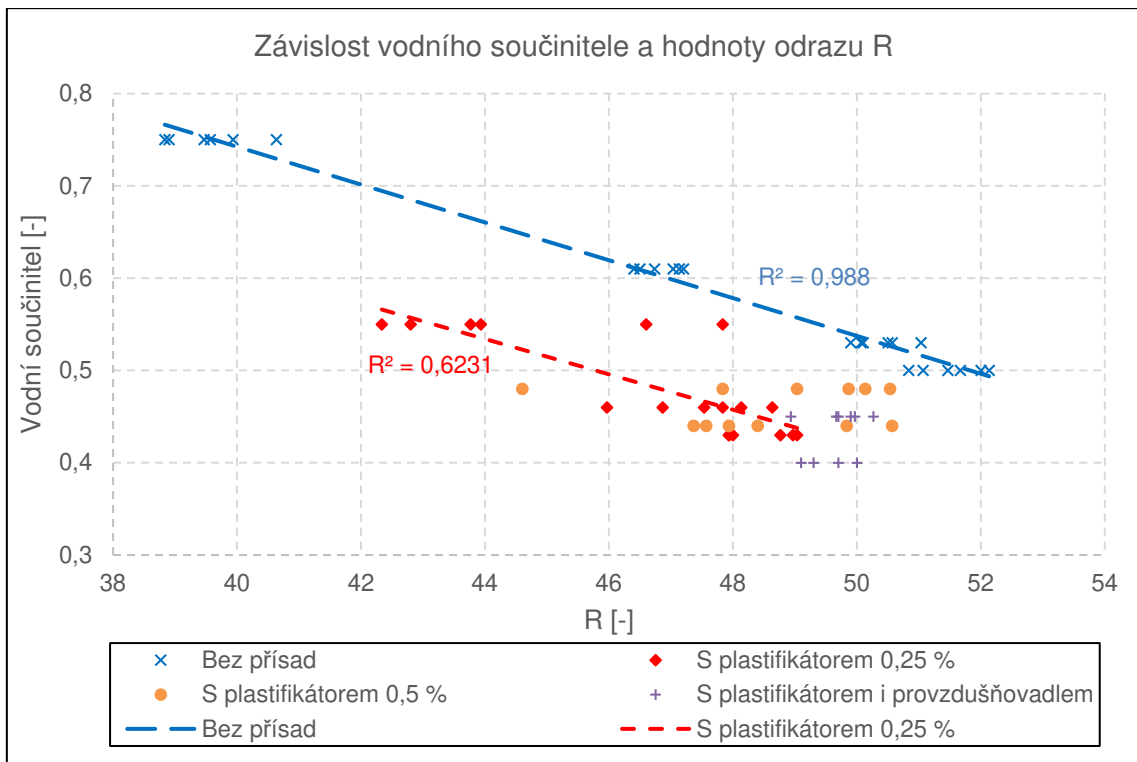
Obdobně jako v případě ultrazvukové metody, i tvrdoměrná zkouška byla 3krát opakována a to postupně ve dnech 10. 7., 11. 7. a 19. 7. 2019. Na každém zkušebním místě tedy bylo odečteno 30 platných hodnot (120 hodnot na jednom

betonovém bloku). Celkově bylo odečteno 3840 platných hodnot (viz přílohy 2 a 3).

V tabulce 7 jsou uvedeny průměrné hodnoty odrazu / koeficientu vrácené energie na jednotlivých zkušebních místech, tedy průměry z 30 platných hodnot.

Tabulka 7: Průměrné hodnoty odrazu / koeficientu vrácené energie

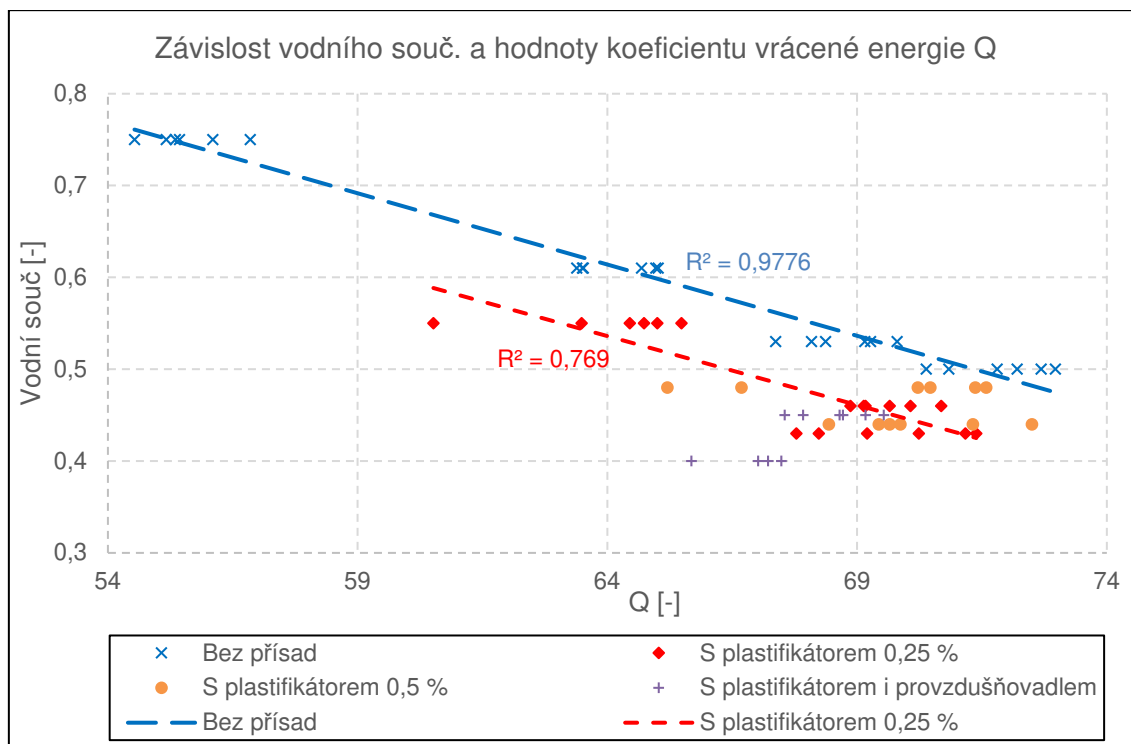
Id. č. bloku	Beton	Blok	Hodnota odrazu R [-]		Koeficient vrácené energie Q [-]	
			místo A	místo B	místo C	místo D
1	R	I	38,9	38,8	54,5	55,4
2		II	39,5	39,6	55,2	56,1
3		III	39,9	40,6	56,9	55,4
4	0/1	I	46,5	47,0	64,7	65,0
5		II	46,7	47,2	63,5	63,5
6		III	46,4	47,1	65,0	63,4
7	0/2	I	49,9	50,1	69,3	69,8
8		II	51,0	50,5	67,4	68,1
9		III	50,1	50,6	68,4	69,2
10	0/3	I	50,8	51,5	73,0	72,7
11		II	51,1	52,0	72,2	71,8
12		III	51,7	52,1	70,4	70,8
13	1/1	I	47,8	46,6	65,0	60,5
14		II	43,8	43,9	63,5	64,5
15		III	42,3	42,8	64,7	65,5
16	1/2	I	47,5	46,9	69,7	70,7
17		II	46,0	48,1	69,2	70,1
18		III	47,8	48,6	68,9	69,1
19	1/3	I	47,9	48,0	70,2	69,2
20		II	47,9	49,0	71,2	71,4
21		III	48,8	49,0	67,8	68,2
22	2/2	I	50,5	49,9	71,6	71,4
23		II	44,6	47,8	66,7	65,2
24		III	49,0	50,1	70,2	70,5
25	2/3	I	47,9	48,4	69,9	69,4
26		II	47,4	47,6	68,4	69,7
27		III	50,6	49,8	72,5	71,3
28	P2/2	I	48,9	50,0	67,9	68,7
29		II	49,7	50,3	67,6	69,2
30		III	49,7	49,9	68,7	69,5
31	P2/3	I	49,3	49,1	67,0	67,2
32		II	49,7	50,0	65,7	67,5



Graf 7: Závislost hodnoty odrazu R na vodním součiniteli

V předchozím grafu 7 jsou vyneseny průměrné hodnoty odrazu R získané pomocí přístroje Original Schmidt N na betonech bez přísad a dále na betonech obsahujících 0,25 % (z navážky cementu) plastifikační přísady. Těmito hodnotami jsou proloženy příslušné regresní přímky. Pro betony obsahující 0,5 % plastifikační přísady a pro betony obsahující plastifikační i provzdušňovací přísadu nebylo možné z dostupných dat vypočítat vypočítat závislost mezi vodním součinitelem a hodnotou odrazu R . Proto jsou v grafu průměrné hodnoty odrazu pouze vyneseny, ale není jimi proložena žádná regresní křivka.

V následujícím grafu 8 jsou vyneseny průměrné hodnoty koeficientu vrácené energie Q získané pomocí přístroje SilverSchmidt N. I zde, jako v předchozím případě, se podařilo regresní přímku proložit pouze hodnotami získanými na blocích zhotovených z betonů bez přísad / s obsahem 0,25 % plastifikační přísady. Průměrné hodnoty získané na blocích z betonů obsahujících 0,5 % plastifikační přísady a z betonů obsahujících plastifikační i provzdušňovací přísadu jsou v grafu uvedeny, ale není jimi proložena žádná regresní křivka.



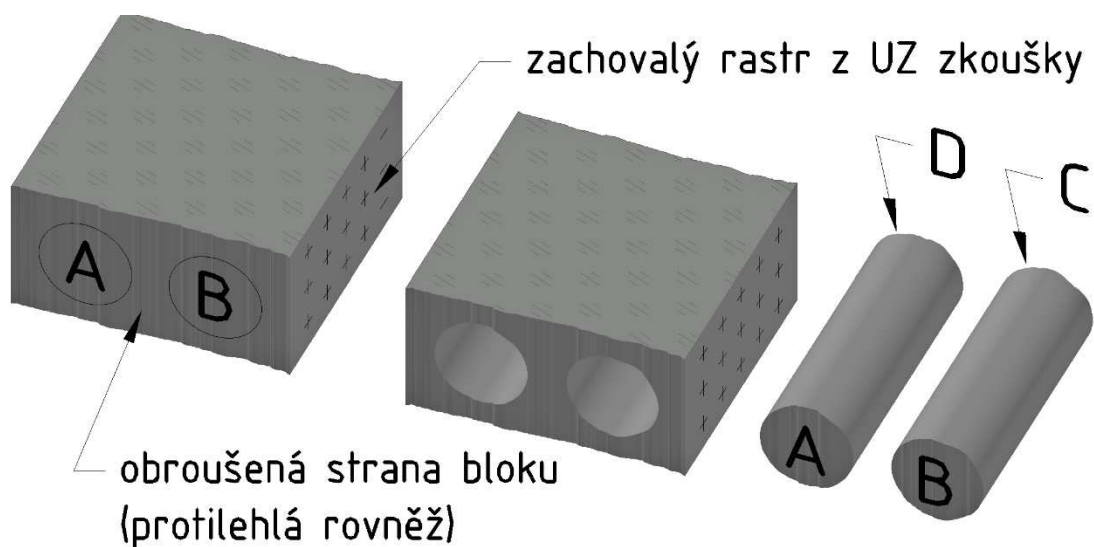
Graf 8: Závislost hodnoty koeficientu vrácené energie Q na vodním součiniteli

Betony s 0,5% obsahem plastifikační přísady a betony obsahující plastifikační i provzdušňovací přísadu vykazují poměrně vysoké hodnoty pevnosti v tlaku. Ovšem hodnoty pevností se pohybují v úzkém intervalu, proto není možné pro dané druhy betonu nalézt korektní závislosti mezi hodnotami tvrdoměrného měření a vodním součinitelem (resp. pevností v tlaku). Pro nalezení těchto závislostí by bylo zapotřebí mít k dispozici větší a pevnostně rozmanitější obor vzorků.

4.1.4 JÁDROVÉ VÝVRTY

Dalším krokem experimentu bylo odebrání jádrových vývrtů z již nedestruktivně odzkoušených betonových bloků.

Jádrové vývrty průměru přibližně 100 mm a délky přibližně 300 mm byly odebírány, tak aby tělesa z nich následně vytvořená odpovídala místům tvrdoměrného zkoušení (viz Obr. 34). Z každého bloku byly odebrány dva jádrové vývrty. Celkově tedy bylo odebráno 64 jádrových vývrtů.



Obr. 34: Schéma odběru jádrových vývrtů

Při odběru jádrových vývrtů (viz Obr. 35) byly vystředány dva různé jádrové vrtáky, jejichž vnitřní průměr se lišil přibližně o 3,5 mm. Část vývrtů tedy měla průměr přibližně 100 mm a druhá část vývrtů měla průměr přibližně 103,5 mm. Tuto skutečnost bylo nutné brát v úvahu později při rozřezávání vývrtů na zkušební tělesa.



Obr. 35: Práce s jádrovou vrtačkou

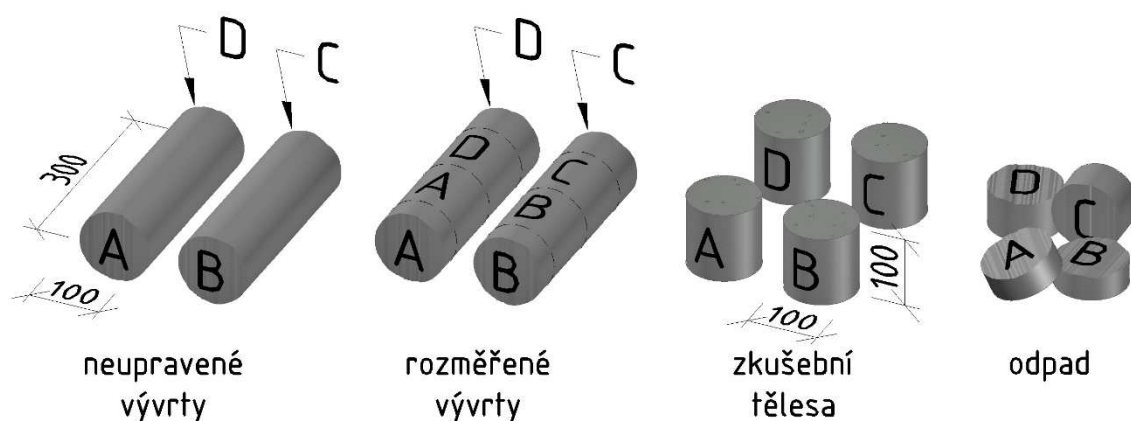
4.1.5 ZKUŠEBNÍ TĚLESA

Z vývrtů bylo potřeba vytvořit zkušební tělesa pro zkoušku pevnosti betonu v tlaku (podrcení těles ve zkušebním lisu).

Z každého jádrového vývrtu vznikla dvě zkušební tělesa. Z jednoho původního betonového bloku tedy byla získána čtyři zkušební tělesa označená jako A, B, C a D. Např. zkušební těleso A tedy odpovídalo polohou přibližně zkušebnímu místu A použitému při tvrdoměrném zkoušení. Celkem bylo vytvořeno 128 zkušebních těles.

Důležité bylo, aby se poměr (λ) výšky k průměru výsledného zkušebního tělesa co nejvíce blížil hodnotě 1,0. Ovšem nebylo žádoucí, aby tento poměr klesl právě pod hodnotu 1,0. Jak již bylo zmíněno výše, ne všechny jádrové vývrty měly shodný průměr. Proto i výška zkušebních těles musela být různá. Výška zkušebních těles se volila o cca 1 až 2 mm větší, než byl jejich průměr.

Řezání bylo provedeno na okružní pile s diamantovým kotoučem a vodním chlazením řezaného vzorku (viz Obr. 37). Každý jádrový vývrt byl nejdříve zakrácen o cca 30 mm, čímž bylo docíleno potřebného zarovnání. Následně byla odříznuta dvě zkušební tělesa, každé přibližně 102 mm (106 mm) vysoké (viz Obr. 36).



Obr. 36: Idealizované schéma postupu rozřezání jádrových vývrtů na zkušební tělesa



Obr. 37: Jádrové vývrty byly rozřezány na okružní pile

Plochy zkušebních těles (válců) vystavené následnému zatížení bylo třeba zabrousit do roviny. Broušení bylo provedeno korundovým práškem. Rovinnost ploch byla zjišťována pomocí ocelových spárových měrek (viz Obr. 38).



Obr. 38: Zjišťování rovinnosti pomocí ocelových spárových měrek

Byla zjištěna hmotnost zkušebních těles. Hmotnost byla odečtena z digitální váhy s přesností na desetiny gramu.

Dále byl čtyřikrát změřen průměr každého zkušební tělesa posuvným měřítkem s přesností na setiny milimetru (viz přílohu 4). Dvě na sebe kolmá měření byla provedena u jedné podstavy zkušební tělesa a další dvě na sebe kolmá měření byla provedena u druhé podstavy.

Posuvným měřítkem byla také čtyřikrát změřena výška každého zkušební tělesa (viz přílohu 4). Měření probíhalo po obvodu válce ve čtyřech na sebe kolmých měřeních.

V příloze 5 lze nalézt tabulku, kde jsou uvedeny hmotnosti, průměrné rozměry, poměr výšky k průměru a objemová hmotnost zkušebních těles.

4.1.6 ZKOUŠKA PEVNOSTI VE ZKUŠEBNÍM LISU

Připravená zkušební tělesa byla podrobena zkoušce stanovení pevnosti betonu v tlaku. Postupně byla vkládána do zkušební lisu, kde byla zatěžována konstantní rychlostí 0,6 MPa/s až do porušení. Způsob porušení všech zkušebních těles byl vyhovující a žádnou ze zjištěných hodnot pevnosti v tlaku nebylo třeba vyřadit (viz Obr. 39).



Obr. 39: Zkušební těleso 32.B (zleva): neporušené v lisu, porušené v lisu, odstranění volných částí – tvar „přesýpacích hodin“

Maximální naměřená síla byla použita pro výpočet pevnosti v tlaku f_c dle vztahu (4). Zkušební tělesa měla jiné rozměry, než jsou rozměry základních normových těles, a správný postup vyhodnocení zkoušky by tedy spočíval v přepočítání hodnot f_c na válcovou (resp. krychelnou) pevnost v tlaku betonu dle postupu uvedeném v normě ČSN EN 12390-3 [28]. Nicméně rozptýl hodnot poměru výšky k průměru zkušebních těles byl zanedbatelné 2 %, a

když přihlídneme k potřebám diplomové práce, kdy není nutné pracovat s hodnotami válcové nebo krychelné pevnosti v tlaku, pak pro následné vyhodnocování výsledků se spokojíme jen s hodnotami f_c určenými dle vztahu (4). Dle normy ČSN EN 13791 [34] je možné výsledky pevnosti v tlaku získané na vývrtnu průměru 100 mm a délky 100 mm považovat za krychlenou pevnost v tlaku. Hodnoty f_c se tedy hodnotám krychelné pevnosti v tlaku velmi blíží.

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty pevnosti v tlaku betonu f_c zjištěných na jednotlivých zkušebních válcích.

Tabulka 8: Pevnost v tlaku betonu zkušebních těles

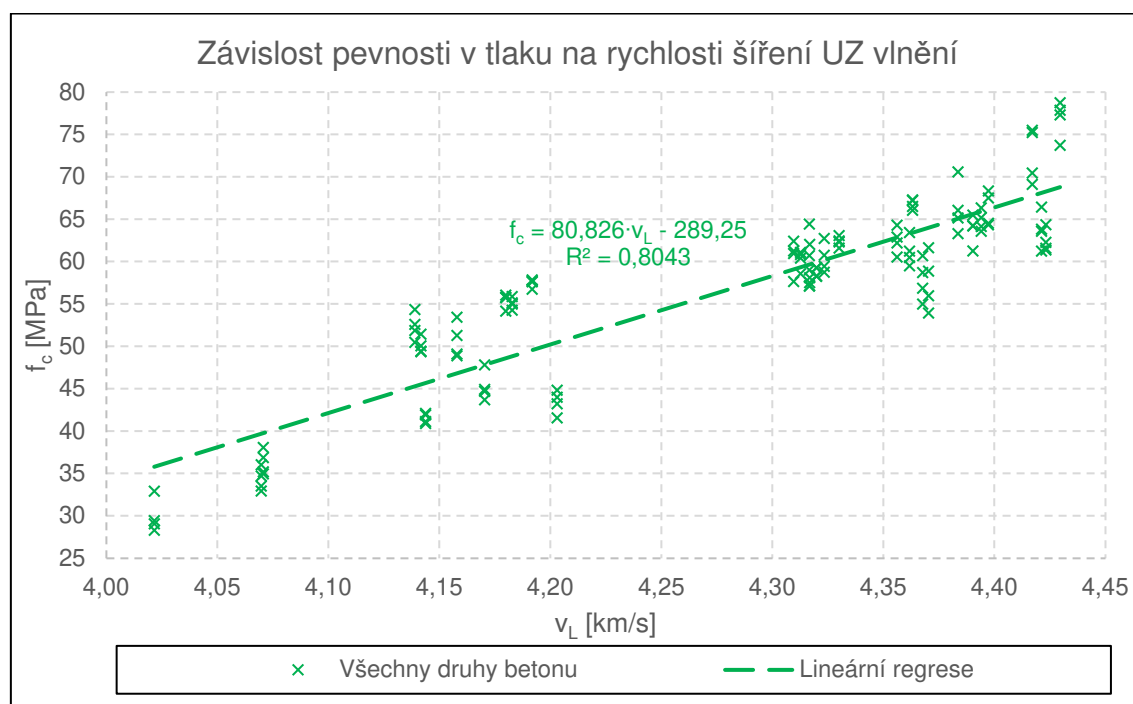
Id. č.	Těleso	Pevnost	Id. č.	Těleso	Pevnost	Id. č.	Těleso	Pevnost	Id. č.	Těleso	Pevnost
		f_c [MPa]			f_c [MPa]			f_c [MPa]			f_c [MPa]
1	A	34,9	9	A	62,9	17	A	54,3	25	A	63,3
	B	36,9		B	64,3		B	55,9		B	70,6
	C	38,1		C	62,2		C	55,1		C	66,0
	D	35,2		D	60,5		D	55,0		D	65,1
2	A	36,0	10	A	62,3	18	A	56,7	26	A	66,5
	B	34,7		B	61,4		B	57,7		B	67,2
	C	33,5		C	61,6		C	57,6		C	66,0
	D	32,9		D	64,4		D	57,8		D	67,3
3	A	32,9	11	A	63,8	19	A	64,2	27	A	67,5
	B	29,1		B	66,4		B	65,5		B	68,3
	C	28,3		C	63,6		C	64,2		C	64,3
	D	29,4		D	61,2		D	61,2		D	64,5
4	A	44,7	12	A	58,7	20	A	66,3	28	A	57,1
	B	43,7		B	55,0		B	63,6		B	64,4
	C	47,8		C	60,7		C	65,2		C	60,7
	D	44,9		D	56,8		D	64,1		D	59,0
5	A	41,9	13	A	53,4	21	A	58,9	29	A	58,7
	B	42,1		B	49,1		B	56,0		B	62,7
	C	41,1		C	48,9		C	53,9		C	60,7
	D	40,9		D	51,3		D	61,6		D	59,4
6	A	41,6	14	A	50,5	22	A	61,1	30	A	57,6
	B	43,2		B	51,9		B	58,6		B	62,4
	C	44,8		C	54,3		C	60,4		C	61,2
	D	44,0		D	52,6		D	60,8		D	60,9
7	A	61,2	15	A	49,4	23	A	58,1	31	A	75,5
	B	63,4		B	49,4		B	57,5		B	75,2
	C	59,5		C	50,0		C	57,1		C	69,1
	D	60,5		D	51,4		D	62,0		D	70,4
8	A	61,6	16	A	56,0	24	A	58,2	32	A	78,7
	B	63,1		B	54,2		B	59,3		B	77,3
	C	62,3		C	55,7		C	59,2		C	73,7
	D	62,4		D	55,8		D	58,3		D	77,8

4.2 VÝSLEDKY EXPERIMENTU A JEJICH DISKUZE

4.2.1 ZÁVISLOT PEVNOSTI V TLAKU NA RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ

BEZ ROZLIŠENÍ DRUHU BETONU

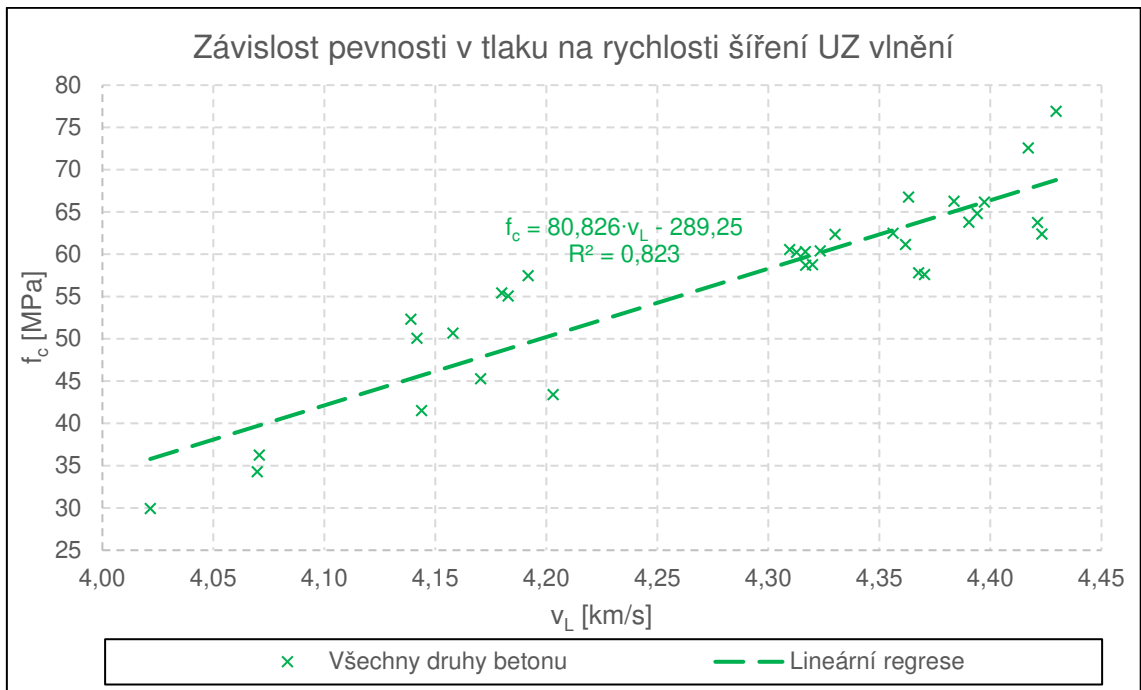
Do následujícího grafu 9 jsou vyneseny všechny hodnoty zjištěné pevnosti v tlaku betonu odpovídající hodnotě změřené rychlosti šíření UZ vlnění betonem. Všemi body grafu byla proložena regresní přímka.



Graf 9: Závislost pevnosti v tlaku na rychlosti šíření UZ vlnění pro betony bez rozlišení druhu

V předchozím grafu 9 je uvedena rovnice regresní přímky a koeficient determinace R^2 . Z hodnoty koeficientu determinace vyplývá, nakolik je použitý regresní model (v tomto případě přímka) vhodný pro popis experimentálních dat. Hodnota R^2 vyšší než 0,90 značí vysokou míru vhodnosti použitého modelu, hodnota vyšší než 0,80 (což je i tento případ: $R^2 = 0,80$) značí dostatečnou míru vhodnosti. Pod hodnotou 0,75 je již použitý regresní model obtížně akceptovatelný pro popis experimentálních dat.

Do následujícího grafu 10 jsou vyneseny průměrné hodnoty pevnosti v tlaku betonu odpovídající hodnotě změřené rychlosti šíření UZ vlnění betonem. Všemi body grafu byla proložena regresní přímka.

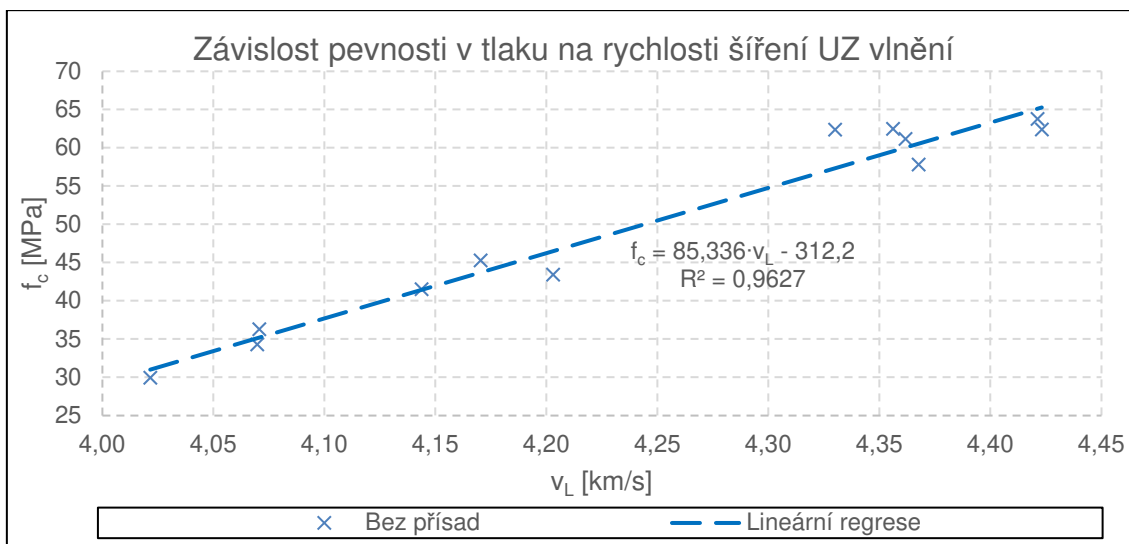


Graf 10: Závislost pevnosti v tlaku na rychlosti šíření UZ vlnění pro betony bez rozlišení druhu

V předchozím grafu 10 je uvedena rovnice regresní přímky a koeficient determinace $R^2 = 0,82$. Z hodnoty koeficientu determinace vyplývá, že vynesení průměrných hodnot pevnosti v tlaku (kdy jedné hodnotě v_L odpovídá právě jedna hodnota f_c) je vhodnější. Proto i v následujících grafech 11 až 14 jsou použity průměrné hodnoty pevnosti v tlaku pro každý betonový blok.

BETONY BEZ PŘÍRAD

V následujícím grafu 11 jsou vyneseny hodnoty pevnosti v tlaku odpovídající změřené rychlosti šíření UZ vlnění na blocích zhotovených z druhů betonu bez přísad (viz tabulku 1). Vynesenými body je proložena regresní přímka.

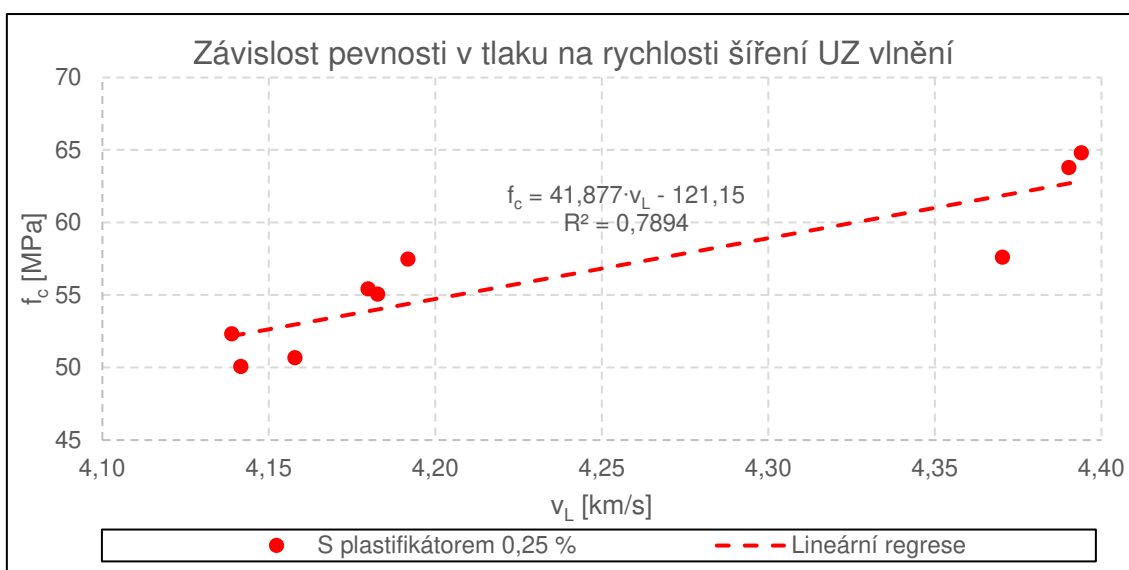


Graf 11: Závislost pevnosti v tlaku na rychlosti šíření UZ vlnění pro betony bez přísad

Pro betony bez přísad byla nalezena velmi významná závislost mezi pevností v tlaku a rychlostí šíření UZ vlnění, kdy regresní přímka vykazuje hodnotu koeficientu determinace vyšší než 0,96.

BETONY S PLASTIFIKAČNÍ PŘÍSADOU (0,25 %)

V následujícím grafu 12 jsou vyneseny hodnoty pevnosti v tlaku odpovídající změřené rychlosti šíření UZ vlnění na blocích zhotovených z druhů betonu s 0,25 % plastifikační přísady (viz tabulku 2 – betony 1/1, 1/2 a 1/3). Vynesenými body je proložena regresní přímka.

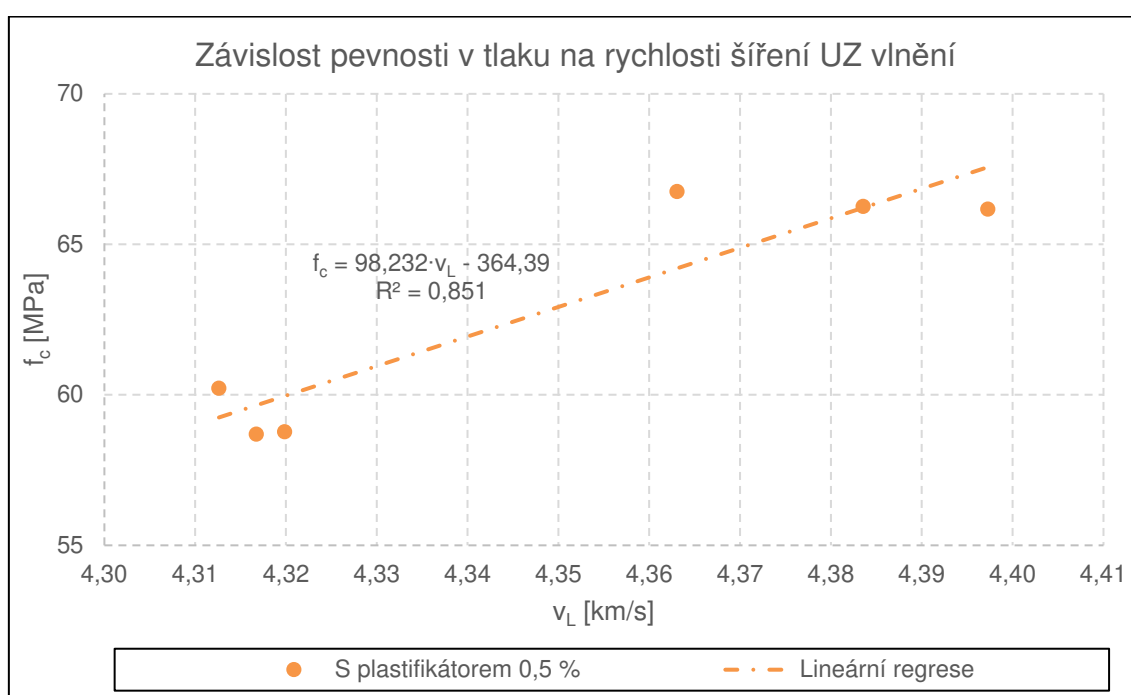


Graf 12: Závislost pevnosti v tlaku na rychlosti šíření UZ vlnění pro betony s 0,25 % plastifikační přísady

Pro betony s 0,25 % plastifikační přísady (vzhledem k navážce cementu) byla nalezena závislost mezi pevností v tlaku a rychlostí šíření UZ vlnění, ovšem regresní model vykazuje nižší míru vhodnosti ($R^2 = 0,79$), což lze přičítat absenci mezilehlých hodnot.

BETONY S PLASTIFIKAČNÍ PŘÍSADOU (0,50 %)

V následujícím grafu 13 jsou vyneseny hodnoty pevnosti v tlaku odpovídající změřené rychlosti šíření UZ vlnění na blocích zhotovených z druhů betonu s 0,5 % plastifikační přísady (viz tabulku 2 – betony 2/2 a 2/3). Vynesenými body je proložena regresní přímka.



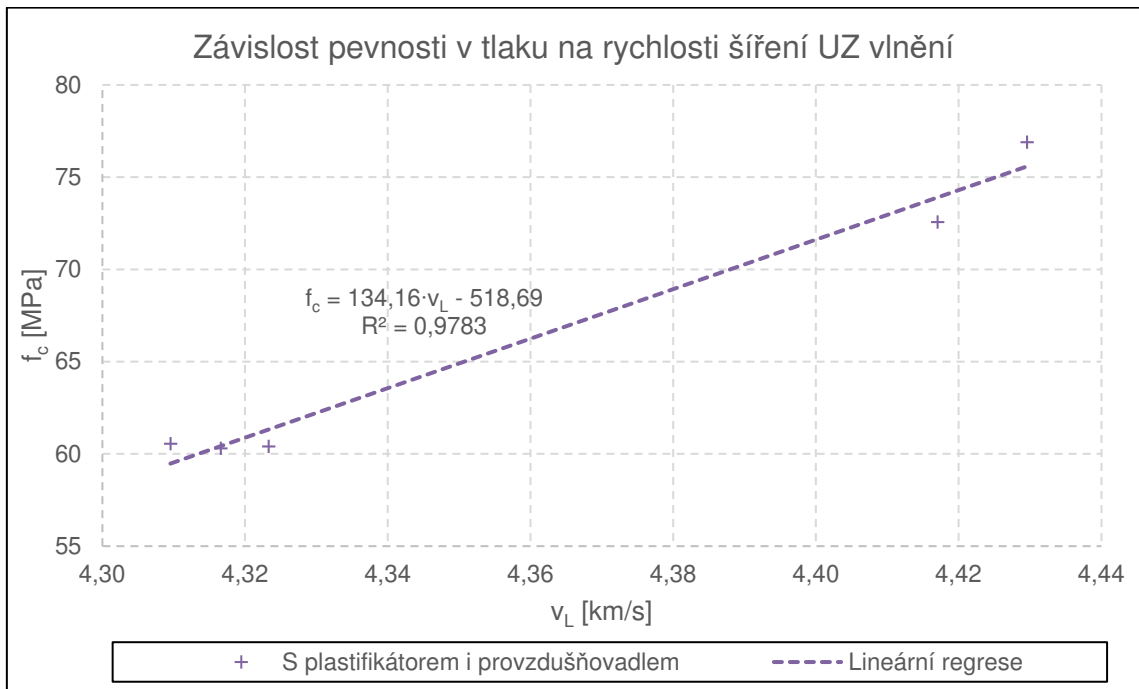
Graf 13: Závislost pevnosti v tlaku na rychlosti šíření UZ vlnění pro betony s 0,5 % plastifikační přísady

Pro betony s 0,5 % plastifikační přísady (vzhledem k navážce cementu) byla nalezena závislost mezi pevností v tlaku a rychlostí šíření UZ vlnění, regresní model vykazuje dostatečnou míru vhodnosti ($R^2 = 0,85$).

BETONY S PLASTIFIKAČNÍ I PROVZDUŠŇOVACÍ PŘÍSADOU

V následujícím grafu 14 jsou vyneseny hodnoty pevnosti v tlaku odpovídající změřené rychlosti šíření UZ vlnění na blocích zhotovených z druhů betonu

s plastifikační i provzdušňovací přísadou (viz tabulku 3). Vynesenými body je proložena regresní přímka.



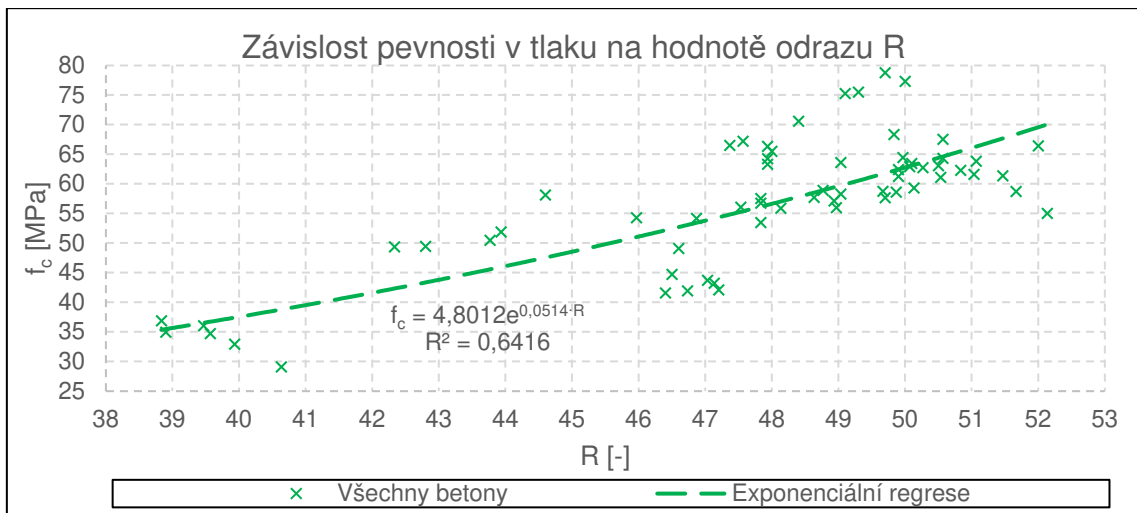
Graf 14: Závislost pevnosti v tlaku na rychlosti šíření UZ vlnění pro betony s plastifikační i provzdušňovací přísadou

Pro betony s plastifikační i provzdušňovací přísadou byla nalezena významná závislost mezi pevností v tlaku a rychlostí šíření UZ vlnění, kdy regresní model vykazuje vysokou míru vhodnosti ($R^2 = 0,98$).

4.2.2 ZÁVISLOT PEVNOSTI V TLAKU NA HODNOTĚ ODRAZU R

BEZ ROZLIŠENÍ DRUHU BETONU

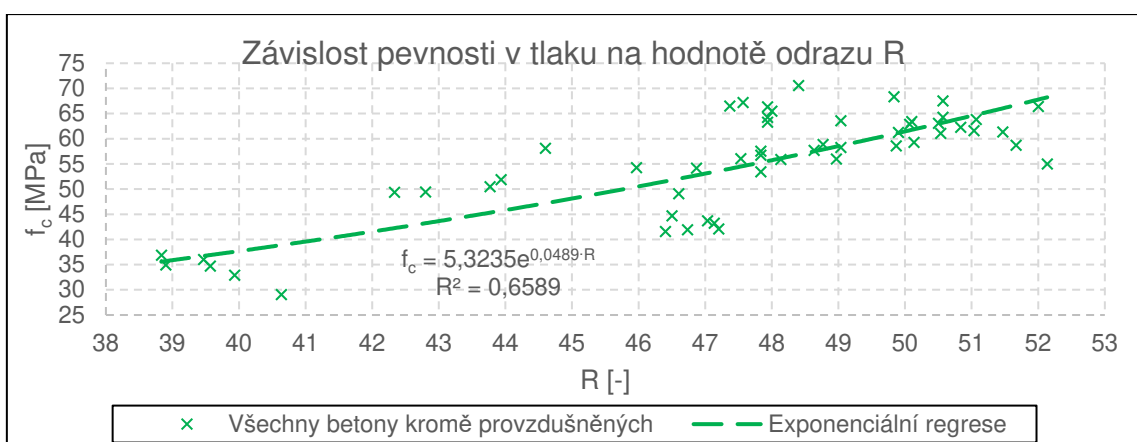
Do následujícího grafu 15 jsou vyneseny všechny hodnoty zjištěné pevnosti v tlaku betonu odpovídající hodnotě odrazu R zjištěné tvrdoměrem Original Schmidt N. Všemi body grafu je proložena regresní exponenciální křivka.



Graf 15: Závislost pevnosti v tlaku na hodnotě odrazu R pro betony bez rozlišení druhu

Pro všechny betony bez rozlišení byla nalezena závislost mezi pevností v tlaku a hodnotou odrazu R , ovšem regresní model (exponenciální křivka) vykazuje velmi nízkou míru vhodnosti ($R^2 = 0,64$). Exponenciální křivka byla zvolena jako regresní model, protože dříve dodávané kalibrační vztahy výrobcem byly také v podobě exponenciály, a protože exponenciála o něco lépe vystihuje naměřená data než např. lineární regresní model.

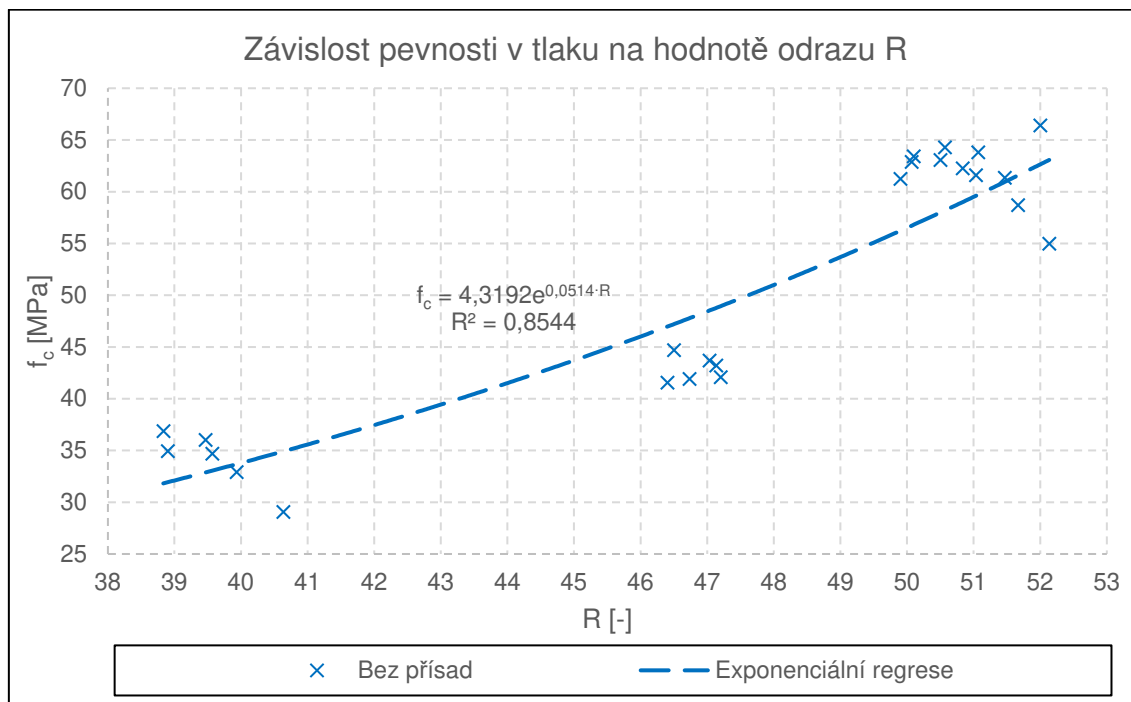
Pokud jsou ze souboru naměřených hodnot vyřazeny hodnoty příslušející betonům provzdušněným, vykazuje exponenciální regresní model nepatrně vyšší (ovšem stále velmi nízkou) míru vhodnosti ($R^2 = 0,66$). Viz graf 16. U provzdušněné matrice betonu je pravděpodobně odlišný vztah mezi pevností v tlaku a tvrdostí než u ostatních betonů.



Graf 16: Závislost pevnosti v tlaku na hodnotě odrazu R pro všechny betony kromě provzdušněných

BETONY BEZ PŘÍRAD

Do následujícího grafu 17 jsou vyneseny hodnoty pevnosti v tlaku betonu odpovídající hodnotě odrazu R zjištěné tvrdoměrem Original Schmidt N na blocích zhotovených z druhů betonu bez přísad (viz tabulku 1). Vynesenými body je proložena regresní exponenciální křivka.

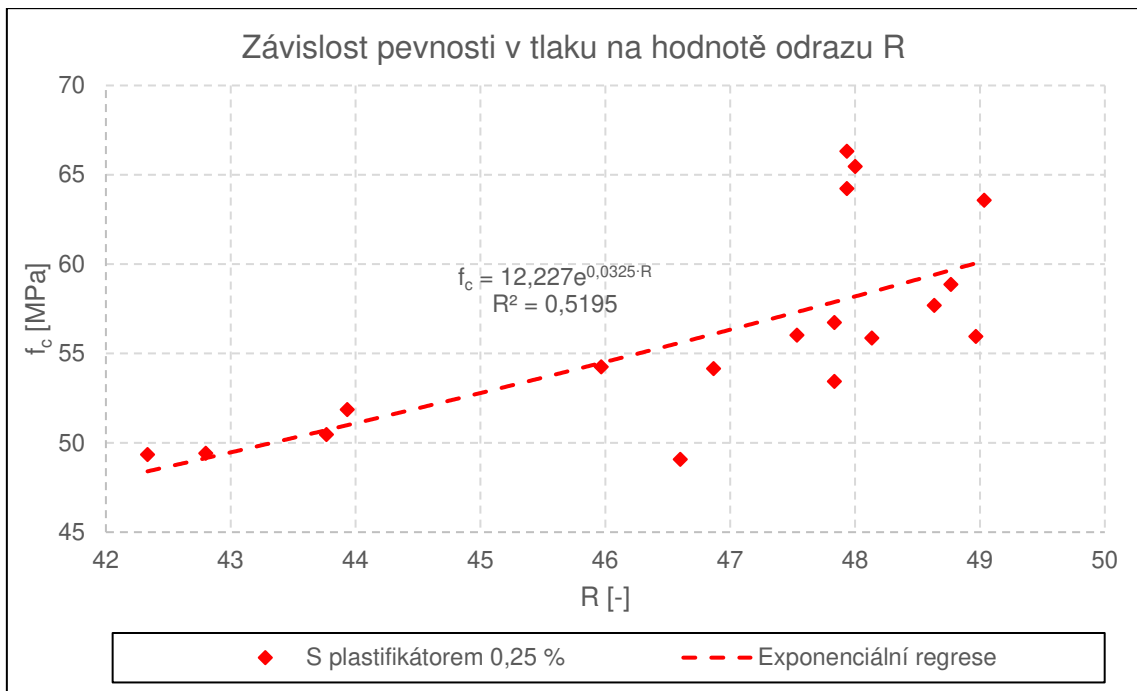


Graf 17: Závislost pevnosti v tlaku na hodnotě odrazu R pro betony bez přísad

Pro betony bez přísad byla nalezena významná závislost mezi pevností v tlaku a hodnotou odrazu R , kdy regresní model (exponenciální křivka) vykazuje dostatečnou míru vhodnosti ($R^2 = 0,85$).

BETONY S PLASTIFIKAČNÍ PŘÍSADOU (0,25 %)

Do následujícího grafu 18 byly vyneseny hodnoty zjištěné pevnosti v tlaku betonu odpovídající hodnotě odrazu R zjištěné tvrdoměrem Original Schmidt N na blocích zhotovených z druhů betonu s 0,25 % plastifikační přísady (vzhledem k navážce cementu) (viz tabulku 2 – betony 1/1, 1/2 a 1/3). Vynesenými body je proložena regresní exponenciální křivka.

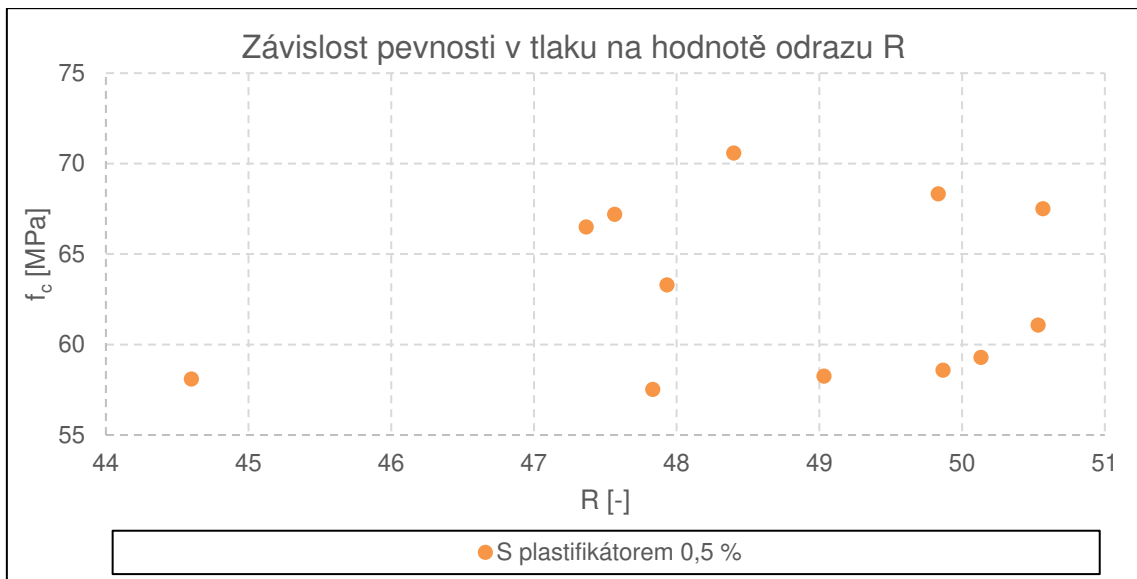


Graf 18: Závislost pevnosti v tlaku na hodnotě odrazu R pro betony s 0,25 % plastifikační přísady

Pro betony s 0,25 % plastifikační přísady (vzhledem k navážce cementu) byla nalezena závislost mezi pevností v tlaku a hodnotou odrazu R , ovšem regresní model (exponenciální křivka) vykazuje velmi nízkou míru vhodnosti ($R^2 = 0,52$). Důvodem může být nedostatek hodnot měření.

BETONY S PLASTIFIKAČNÍ PŘÍSADOU (0,50 %)

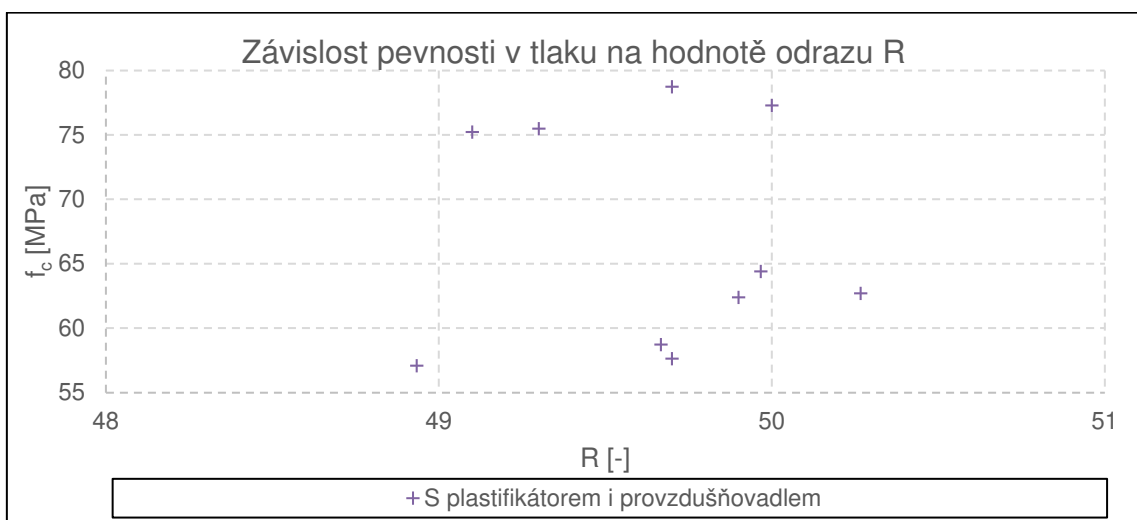
Do následujícího grafu 19 byly vyneseny hodnoty zjištěné pevnosti v tlaku betonu odpovídající hodnotě odrazu R zjištěné tvrdoměrem Original Schmidt N na blocích zhotovených z druhů betonu s 0,5 % plastifikační přísady (vzhledem k navážce cementu) (viz tabulku 2 – betony 2/2 a 2/3). Vynesenými body není proložena žádná regresní křivka, neboť nebyla nalezena vhodná závislost mezi pevností v tlaku a hodnotou odrazu R . Důvodem nenalezení závislosti je malý obor hodnot, které se navíc pohybují v úzkém intervalu (pevností i odrazů).



Graf 19: Závislost pevnosti v tlaku na hodnotě odrazu R pro betony s 0,5 % plastifikační přísady

BETONY S PLASTIFIKAČNÍ I PROVZDUŠŇOVACÍ PŘÍSAĐOU

Do následujícího grafu 20 byly vyneseny hodnoty zjištěné pevnosti v tlaku betonu odpovídající hodnotě odrazu R zjištěné tvrdoměrem Original Schmidt N na blocích zhotovených z druhů betonu s plastifikační i provzdušňovací přísadou (viz tabulku 3). Vynesenými body není proložena žádná regresní křivka, neboť nebyla nalezena vhodná závislost mezi pevností v tlaku a hodnotou odrazu R . Důvodem je opět malý obor naměřených hodnot, které se navíc pohybují v úzkém intervalu (pevností i odrazů).

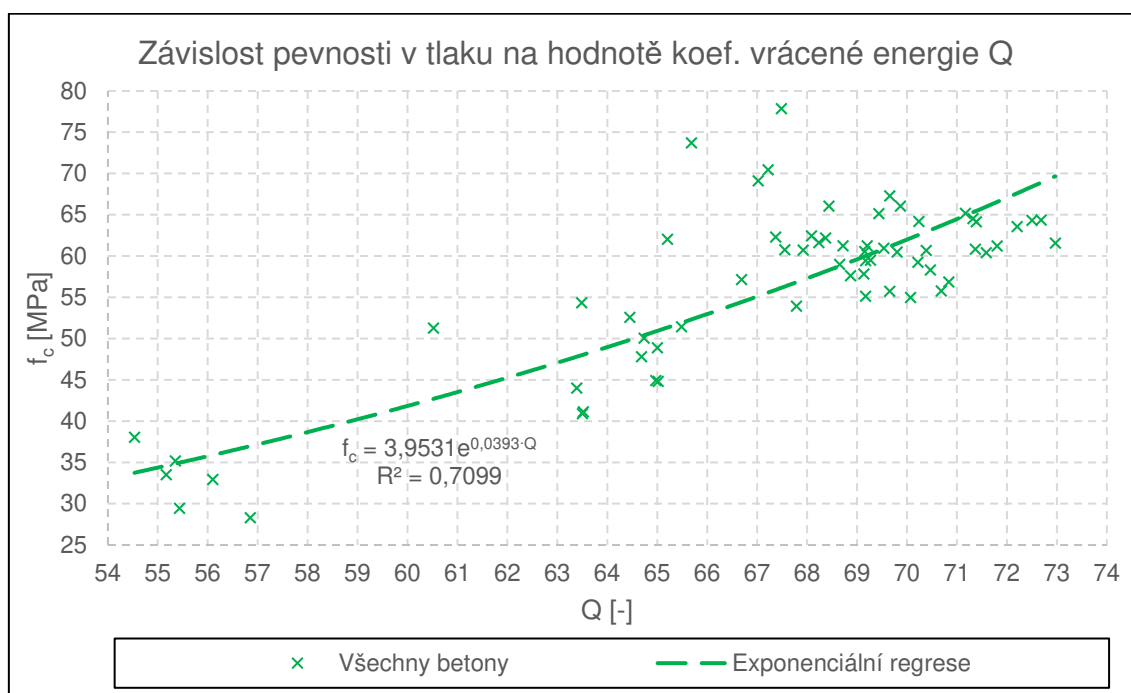


Graf 20: Závislost pevnosti v tlaku na hodnotě odrazu R pro betony s plastifikační i provzdušňovací přísadou

4.2.3 ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA HODNOTĚ KOEFICIENTU Q

BEZ ROZLIŠENÍ DRUHU BETONU

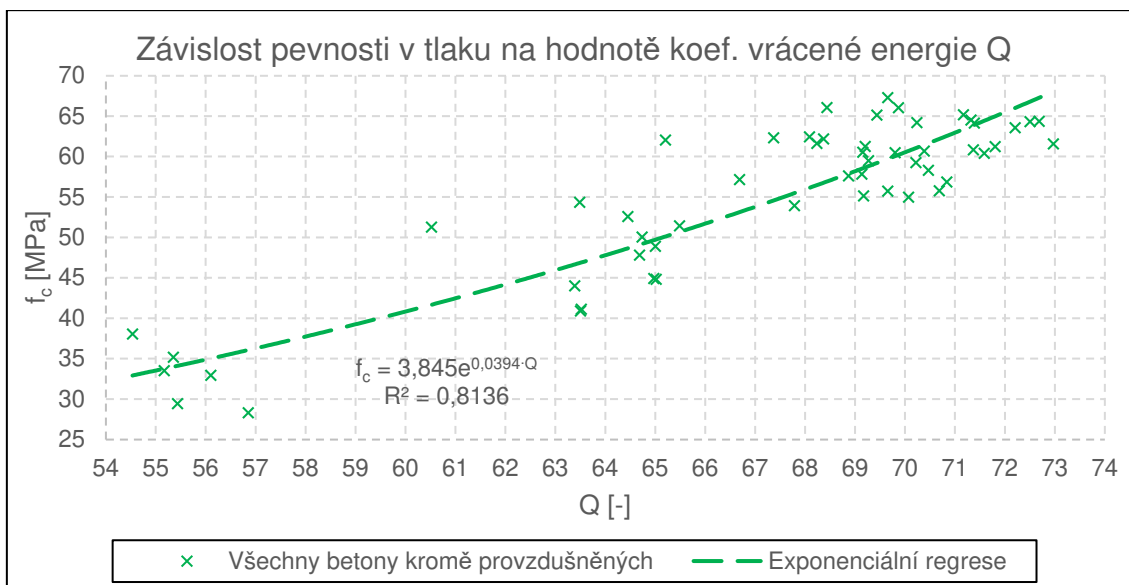
Do následujícího grafu 21 byly vyneseny všechny hodnoty pevnosti v tlaku betonu odpovídající hodnotě koeficientu vrácené energie Q zjištěné tvrdoměrem SilverSchmidt N. Všemi body grafu byla proložena regresní exponenciální křivka.



Graf 21: Závislost pevnosti v tlaku na hodnotě koeficientu vrácené energie Q pro všechny betony bez rozlišení druhu

Pro všechny betony bez rozlišení byla nalezena závislost mezi pevností v tlaku a hodnotou koeficientu vrácené energie Q , ovšem regresní model (exponenciální křivka) vykazuje nízkou míru vhodnosti ($R^2 = 0,71$).

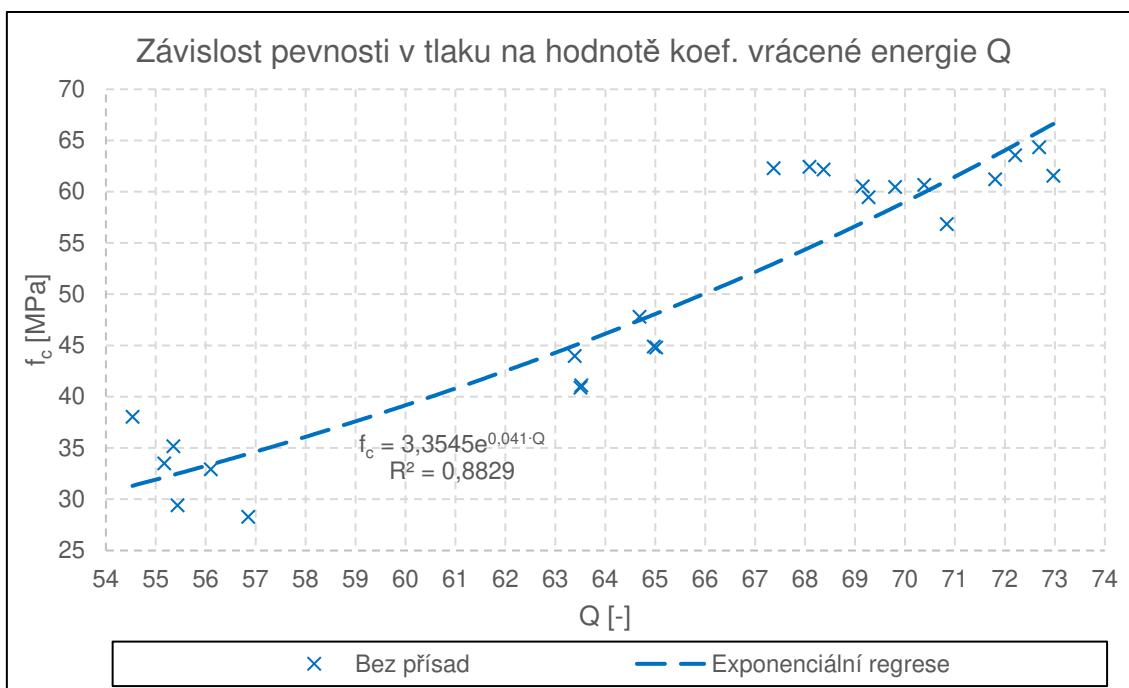
Ovšem pokud jsou ze souboru naměřených hodnot vyřazeny hodnoty příslušící betonům provzdušněným, vykazuje již exponenciální regresní model dostatečnou míru vhodnosti ($R^2 = 0,81$). Viz graf 22. U provzdušněné matrice betonu je pravděpodobně odlišný vztah mezi pevností v tlaku a tvrdostí než u ostatních betonů.



Graf 22: Závislost pevnosti v tlaku na hodnotě koeficientu vrácené energie Q pro všechny betony kromě provzdušněných

BETONY BEZ PŘÍRAD

Do následujícího grafu 23 byly vyneseny hodnoty pevnosti v tlaku betonu odpovídající hodnotě koeficientu vrácené energie Q zjištěné tvrdoměrem SilverSchmidt N na blocích zhotovených z druhů betonu bez přísad (viz tabulku 1). Vynesenými body je proložena regresní exponenciální křivka.

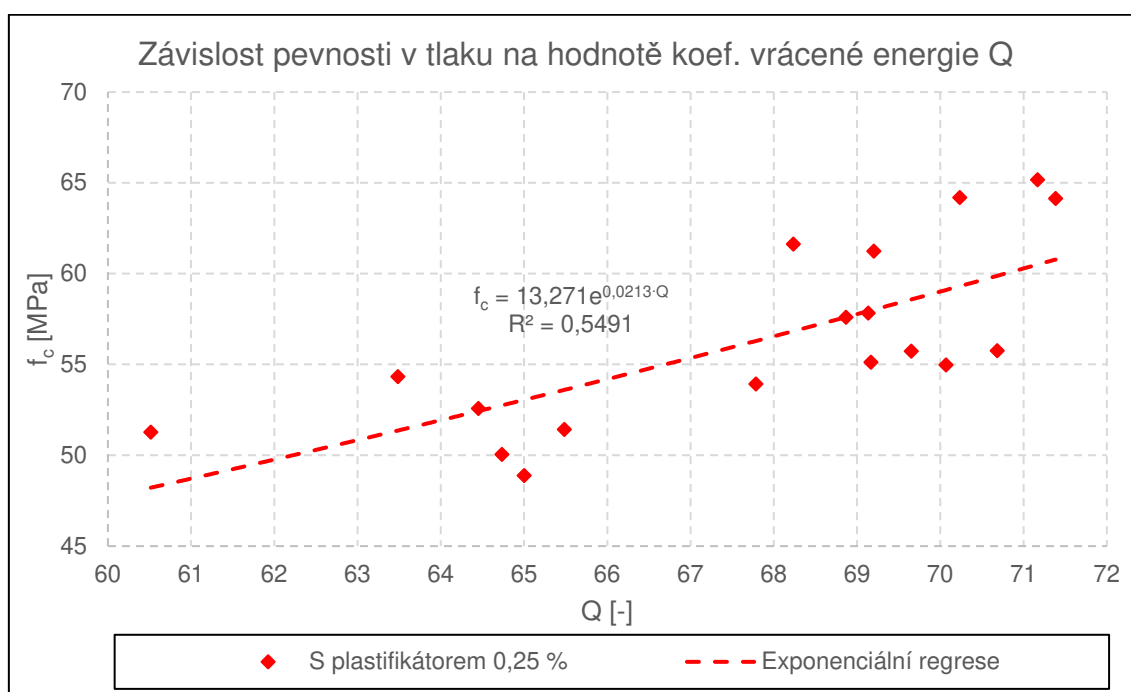


Graf 23: Závislost pevnosti v tlaku na hodnotě koeficientu vrácené energie Q pro betony bez přísad

Pro betony bez přísad byla nalezena významná závislost mezi pevností v tlaku a hodnotou koeficientu vrácené energie Q , kdy regresní model (exponenciální křivka) vykazuje dostatečnou až vysokou míru vhodnosti ($R^2 = 0,88$).

BETONY S PLASTIFIKAČNÍ PŘÍSAĐOU (0,25 %)

Do následujícího grafu 24 byly vyneseny hodnoty zjištěné pevnosti v tlaku betonu odpovídající hodnotě koeficientu vrácené energie Q zjištěné tvrdoměrem SilverSchmidt N na blocích zhotovených z druhů betonu s 0,25 % plastifikační přísady (vzhledem k navážce cementu) (viz tabulku 2 – betony 1/1, 1/2 a 1/3). Vynesenými body je proložena regresní exponenciální křivka.

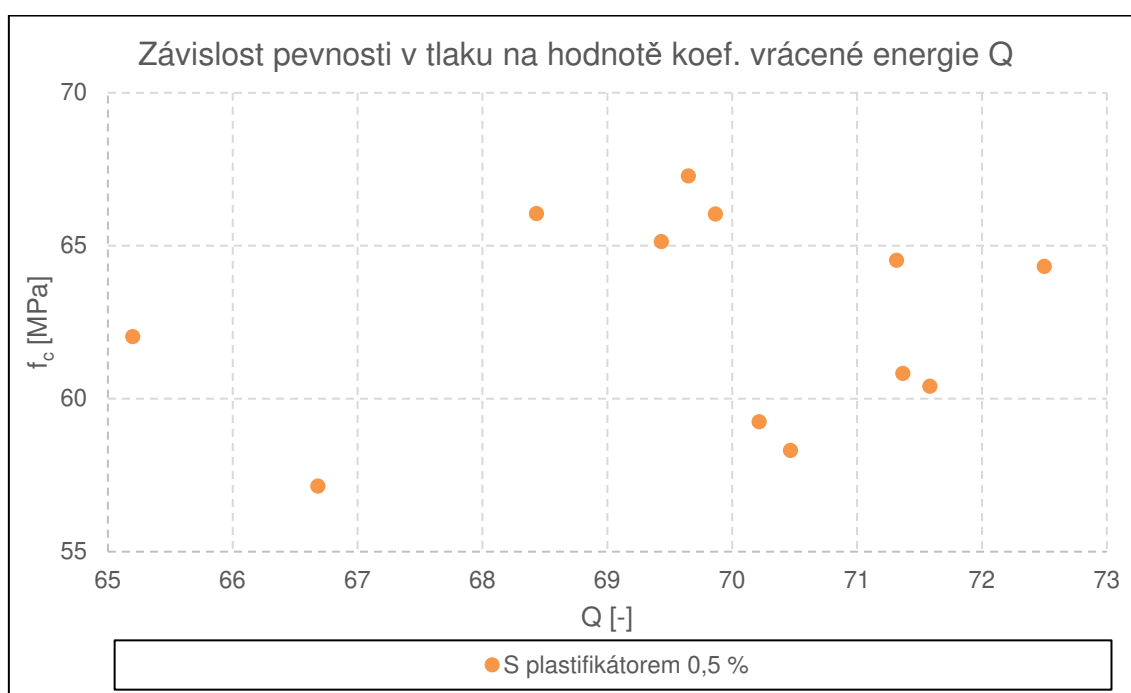


Graf 24: Závislost pevnosti v tlaku na hodnotě koeficientu vrácené energie Q pro betony s 0,25 % plastifikační přísady

Pro betony s 0,25 % plastifikační přísady (vzhledem k navážce cementu) byla nalezena závislost mezi pevností v tlaku a hodnotou koeficientu vrácené energie Q , ovšem regresní model (exponenciální křivka) vykazuje velmi nízkou míru vhodnosti ($R^2 = 0,55$). Důvodem může být nedostatek hodnot měření a úzký interval, ve kterém se hodnoty pohybují.

BETONY S PLASTIFIKAČNÍ PŘÍSAĐOU (0,50 %)

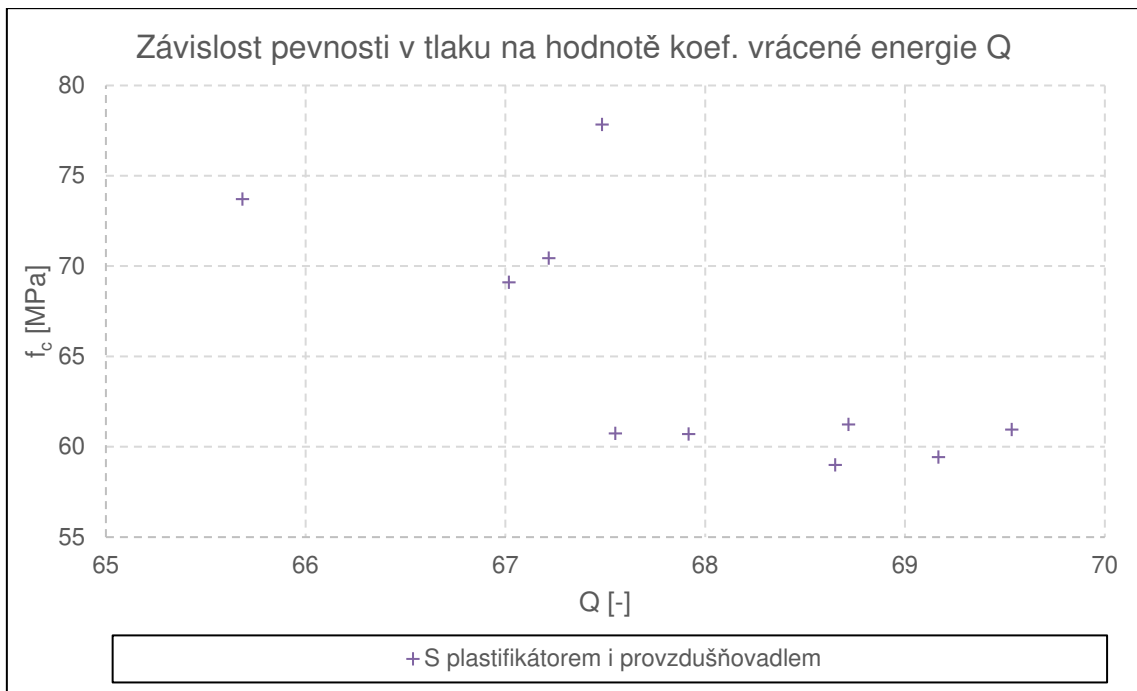
Do následujícího grafu 25 byly vyneseny hodnoty zjištěné pevnosti v tlaku betonu odpovídající hodnotě koeficientu vrácené energie Q zjištěné tvrdoměrem SilverSchmidt N na blocích zhotovených z druhů betonu s 0,5 % plastifikační přísady (vzhledem k navážce cementu) (viz tabulku 2 – betony 2/2 a 2/3). Vynesenými body není proložena žádná regresní křivka, neboť nebyla nalezena vhodná závislost mezi pevností v tlaku a hodnotou koeficientu vrácené energie Q . Důvodem nenalezení závislosti je malý obor hodnot, které se navíc pohybují v úzkém intervalu (pevností i koeficientů Q).



Graf 25: Závislost pevnosti v tlaku na hodnotě koeficientu vrácené energie Q pro betony s 0,5 % plastifikační přísady

BETONY S PLASTIFIKAČNÍ I PROVZDUŠŇOVACÍ PŘÍSAĐOU

Do následujícího grafu 26 byly vyneseny hodnoty zjištěné pevnosti v tlaku betonu odpovídající hodnotě koeficientu vrácené energie Q zjištěné tvrdoměrem SilverSchmidt N na blocích zhotovených z druhů betonu s plastifikační i provzdušňovací přísadou (viz tabulku 3). Vynesenými body není proložena žádná regresní křivka, neboť nebyla nalezena vhodná závislost mezi pevností v tlaku a hodnotou koeficientu vrácené energie Q . Důvodem nenalezení závislosti je malý obor hodnot, které se navíc pohybují v úzkém intervalu (pevností i koeficientů Q).



Graf 26: Závislost pevnosti v tlaku na hodnotě koeficientu vrácené energie Q pro betony s plastifikační i provzdušňovací přísadou

4.2.4 ZÁVISLOST TVRDOSTI NA RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ

Posledním logickým krokem vyhodnocení experimentu je upřesnění odhadu pevnosti v tlaku betonu na základě výsledků NDT metody pomocí výsledků jiné NDT metody. Byla tedy zkoumána závislost mezi hodnotou odrazu R (zjištěnou tvrdoměrem Original Schmidt N) a hodnotou rychlosti šíření impulsu UZ vlnění betonem. A dále byla zkoumána závislost mezi hodnotou koeficientu vrácené energie Q (zjištěnou tvrdoměrem SilverSchmidt N) a hodnotou rychlosti šíření impulsu UZ vlnění betonem.

Při zkoumání závislostí pro všechny betony bez rozlišení složení nebyl nalezen žádný regresní model závislosti s dostatečnou mírou vhodnosti. Hodnoty koeficientu determinace R^2 pro lineární regresní modely nabývaly hodnot 0,70 (R vs. v_L) a 0,63 (Q vs. v_L), viz přílohu 6. Vhodná závislost tedy nebyla nalezena.

Mnohem úspěšnější bylo zkoumání závislostí pouze pro betony bez přísad. Mezi hodnotami odrazu R a hodnotami rychlosti šíření impulsu UZ vlnění betonem byl nalezen lineární regresní model s až vysokou mírou vhodnosti, kdy koeficient determinace R^2 dosahoval hodnoty 0,88. A mezi hodnotami koeficientu vrácené energie Q a hodnotami rychlosti šíření impulsu UZ vlnění betonem byl

nalezen lineární regresní model s vysokou mírou vhodnosti, kdy koeficient determinace R^2 dosahoval hodnoty 0,93, viz přílohu 6. Pro betony bez přísad tedy byla nalezena vhodná závislost mezi tvrdostí betonu a rychlostí šíření UZ vlnění betonem. To ovšem znamená, že v podstatě nemá smysl upřesňovat vztah mezi pevností v tlaku a jedním NDT parametrem pomocí druhého NDT parametru.

4.2.5 KOMBINACE TVRDOMĚRNOSTI A RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ

Pro odhadnutí pevnosti v tlaku betonu v konstrukci lze použít i kombinaci více NDT metod. Tak jako je uvedeno např. v normě ČSN 73 2011 [38].

Kombinace byla provedena pro tvrdoměrnou zkoušku a UZ impulsovou metodu. Pro tvrdoměrnou zkoušku byly použity dva přístroje (Original Schmidt N a SilverSchmidt N), proto byly hledány dvě různé kombinace.

Bylo zjištěno, že kombinací tvrdoměrné metody a UZ impulsové metody lze získat vhodný převodní vztah mezi naměřenými hodnotami NDT metodami a pevností v tlaku betonu. Navíc bylo zjištěno, že i nejjednodušší vícenásobný lineárně regresní model má vysokou míru vhodnosti použití. V některých případech byl lineární regresní model i vhodnější než např. exponenciální regresní model. Lineární regresní modely byly vytvářeny pomocí funkce LINREGRESE v programu MS EXCEL.

PEVNOST V TLAKU vs. ODRAZ R + RYCHLOST ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ

Pro všechny betony bez rozlišení složení byla nalezena závislost mezi pevností v tlaku a kombinací hodnot odrazu R a hodnot rychlosti šíření UZ vlnění betonem. Závislost je popsána vztahem:

$$f_c = 78,324 \cdot v_L + 0,2087 \cdot R - 288,278 , \quad (27)$$

kde: f_c je pevnost v tlaku betonu [MPa],

v_L je rychlost šíření impulsů UZ vlnění betonem [km/s],

R je hodnota odrazu zjištěná tvrdoměrem Original Schmidt N [-].

Koeficient determinace pro tento regresní model (27) nabývá hodnoty $R^2 = 0,82$. Jedná se tedy o model s dostatečnou mírou vhodnosti. Ovšem

při porovnání s regresním modelem pro samotnou UZ metodu nepřináší žádné zlepšení.

Pro betony bez přísad byla také stanovena závislost pevnosti v tlaku na dvou NDT parametrech, přestože bylo zjištěno, že ke zlepšení míry vhodnosti pravděpodobně nedojde. Závislost je popsána vztahem:

$$f_c = 85,085 \cdot v_L + 0,0067 \cdot R - 311,257 , \quad (28)$$

kde: f_c je pevnost v tlaku betonu [MPa],

v_L je rychlost šíření impulsů UZ vlnění betonem [km/s],

R je hodnota odrazu zjištěná tvrdoměrem Original Schmidt N [-].

Koeficient determinace pro tento regresní model (28) nabývá hodnoty $R^2 = 0,95$. Jedná se tedy o model s vysokou mírou vhodnosti. Ovšem při porovnání s regresním modelem pro samotnou UZ metodu dle očekávání nepřináší žádné zlepšení.

Vztahy (27) a (28) byly vyneseny do grafů (viz přílohu 7).

Pro betony s přísadami nebyla hledána závislost mezi pevností v tlaku a kombinací výsledků tvrdoměrné a UZ impulsové metody, neboť pro tyto typy betonů nebyla nalezena vhodná závislost mezi pevností v tlaku a výsledky samotné tvrdoměrné metody (viz Graf 18, Graf 19 a Graf 20).

PEVNOST V TLAKU vs. KOEF. VRÁCENÉ ENERGIE Q + RYCHLOST ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ

Pro všechny betony bez rozlišení složení byla nalezena závislost mezi pevností v tlaku a kombinací hodnot koeficientu vrácené energie Q a hodnot rychlosti šíření UZ vlnění betonem. Závislost je popsána vztahem:

$$f_c = 58,447 \cdot v_L + 0,6616 \cdot Q - 238,079 , \quad (29)$$

kde: f_c je pevnost v tlaku betonu [MPa],

v_L je rychlost šíření impulsů UZ vlnění betonem [km/s],

Q je hodnota koeficientu vrácené energie zjištěná tvrdoměrem SilverSchmidt N [-].

Koeficient determinace pro tento regresní model (29) nabývá hodnoty $R^2 = 0,84$. Jedná se tedy o model s dostatečnou mírou vhodnosti. Ovšem

při porovnání s regresním modelem pro samotnou UZ metodu přináší jen nepatrné zlepšení.

Pro betony bez přísad je závislost popsána vztahem:

$$f_c = 89,156 \cdot v_L - 0,0899 \cdot Q - 322,753 , \quad (30)$$

kde: f_c je pevnost v tlaku betonu [MPa],

v_L je rychlost šíření impulsů UZ vlnění betonem [km/s],

Q je hodnota koeficientu vrácené energie zjištěná tvrdoměrem SilverSchmidt N [-].

Koeficient determinace pro tento regresní model (30) nabývá hodnoty $R^2 = 0,96$. Jedná se tedy o model s vysokou mírou vhodnosti. Ovšem při porovnání s regresním modelem pro samotnou UZ metodu nepřináší skoro žádné zlepšení – je tomu tedy stejně jako u v_L a R .

Vztahy (29) a (30) byly vyneseny do grafů (viz přílohu 8).

Pro betony s přísadami nebyla hledána závislost mezi pevností v tlaku a kombinací výsledků tvrdoměrné a UZ impulsové metody, neboť pro tyto typy betonů nebyla nalezena vhodná závislost mezi pevností v tlaku a výsledky samotné tvrdoměrné metody (viz Graf 24, Graf 25 a Graf 26).

5. ZÁVĚR

Všechny betony byly vyrobeny ze stejných surovin (stejně kamenivo, písek, cement, přísady – pokud byly). Jelikož se nejednalo o případ naprosto odlišných betonů, u kterých obecné vztahy závislosti selhávají, předpokládala se tedy existence určité závislosti pevnosti v tlaku betonu na NDT parametrech.

Z výsledků plyne, že UZ metoda je vhodnější pro betony použité v diplomové práci. Pro všechny betony dohromady byl totiž nalezen regresní model s hodnotou koeficientu determinace R^2 větší než 0,8, což je možné akceptovat jako dostatečnou míru závislosti. Pro betony bez přísad jsou výsledky nejjednoznačnější, protože R^2 nabývá hodnoty větší než 0,96. U dalších skupin betonů (s 0,25 % plastifikační přísady, s 0,5 % plastifikační přísady, s plastifikační i provzdušňovací přísadou) jsou hodnoty R^2 také dostačující, protože nejnižší nabývá hodnoty 0,79 pro betony s 0,25 % plastifikační přísady.

Tvrdoměry vykazují nižší vypovídací schopnost. Pro všechny betony bez rozlišení složení nabývá R^2 regresních modelů hodnot 0,64 (pro tvrdoměr Original Schmidt N) a 0,70 (pro tvrdoměr SilverSchmidt N). Jediné betony, na kterých oba tvrdoměry fungují velmi dobře, jsou betony bez přísad ($R^2 = 0,85$ pro Original Schmidt N a $R^2 = 0,88$ pro SilverSchmidt N). V případě zkoušení betonů s jakoukoli přísadou (plastifikační přísada v množství 0,25 % nebo 0,5 %, plastifikační i provzdušňovací přísada) se nejeví tvrdoměrná metoda jako vhodná pro vyhotovení „určujícího“ regresního modelu.

Pro kombinace tvrdoměrné a ultrazvukové metody byly vyhotoveny regresní modely, i když se předpokládalo, že nepovedou k výraznému zvýšení míry vhodnosti. Pro všechny betony bez rozlišení jejich složení byly nalezeny vícenásobné lineární regresní modely, jejichž koeficient determinace nabýval hodnot $R^2 = 0,82$ (UZ + Original Schmidt N) a $R^2 = 0,84$ (UZ + SilverSchmidt N). Oproti regresnímu modelu pro samotnou UZ metodu nepřináší žádné zlepšení. Pro betony bez přísad byly nalezeny regresní modely také nalezeny a jejich koeficient determinace nabýval skvělých hodnot $R^2 = 0,95$ (UZ + Original Schmidt N) a $R^2 = 0,96$ (UZ + SilverSchmidt N). Pro betony bez přísad ovšem nemělo velký smysl hledat regresní model pro kombinaci obou metod, neboť bylo

zjištěno, že obě NDT metody jsou na sobě ve velké míře závislé. Pro betony s přísadami také nemělo smysl hledat žádné regresní modely pro kombinaci obou metod, zde ovšem proto, že bylo zjištěno, že samotná tvrdoměrná metoda na betonech s přísadami (použitých v této diplomové práci) nefunguje. Ani jedna z kombinací metod nepřinesla výrazné navýšení hodnot koeficientu determinace oproti regresním modelům při použití samostatné UZ metody. Závěrem lze tedy konstatovat, že kombinace NDT metod nemá pro použité betony smysl – stačí pouze jedna NDT metoda.

Ultrazvuková impulsová metoda je v tomto případě vhodnější z obou použitých NDT metod. Její výhodou je skutečnost, že je aplikována na beton v celém objemu betonových bloků (ultrazvukový impuls probíhá skrz vnitřní strukturu betonu), zatímco tvrdoměrná metoda testuje pouze povrch betonu. Tvrdoměrná metoda byla vyvinuta již před 70 lety, kdy byla většina betonů vyráběna bez jakýchkoliv přísad. Pro betony bez přísad funguje tvrdoměrná metoda výborně i dnes.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN EN 206+A. *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: ÚNMZ, 2018.
- [2] SCHMID, P. *Studijní opora pro komb. st. - Modul BI02 – M02 – Zkušebnictví a technologie. Stavební zkušebnictví*. Brno: CERM, 2004.
- [3] CIKRLE, P.; KOCÁB, D. Tvrdoměrné metody zkoušení betonu – část I. *Beton TKS*, 2018, roč. 18, č. 6, s. 44-47. ISSN: 1213-3116.
- [4] JUNAID, K.; SHAKIB, S.; KASHEEF, S.; AHMED, A; ANJUM, H. A Brief Review On Health Monitoring Of Structures. *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research* [online]. 2017, 2017(4), 384-387 [cit. 2019-12-21]. ISSN 2349-5162. Dostupné z: <http://www.jetir.org/papers/JETIR1711071.pdf>
- [5] ČSN EN 12504-2. *Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 2: Nedestruktivní zkoušení – Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem*. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [6] ČSN 73 1373. *Nedestruktivní zkoušení betonu – Tvrdoměrné metody zkoušení betonu*. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [7] BASU, A.; AYDIN, A. A method for normalization of Schmidt hammer rebound values. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 2004, 41, 1211–1214.
- [8] BILGIN, N.; DINCER, T.; COPUR, H. The performance prediction of impact hammers from Schmidt hammer rebound values in Istanbul metro tunnel drivages. *Tunn. Undergr. Space Technol*, 2002, 17, 237–247.
- [9] LIANG, R.; HOTA, G.; LEI, Y.; LI, Y.; STANISLAWSKI, D.; JIANG, Y. Nondestructive Evaluation of Historic Hakka Rammed Earth Structures. *Sustainability*, 2013, 5, 298–315.
- [10] VILES, H.; GOUDIE, A.; GRAB, S.; LALLEY, J. The use of the Schmidt Hammer and Equotip for rock hardness assessment in geomorphology and heritage science. *Earth Surf. Process. Landforms*, 2011, 36, 320–333.
- [11] BUI, Q.B. Assessing the Rebound Hammer Test for Rammed Earth Material. *Sustainability*, 2017, 9, 1904.
- [12] MOHAMMED, B.S.; AZMI, N.J.; ABDULLAHI, M. Evaluation of rubbercrete based on ultrasonic pulse velocity and rebound hammer tests. *Constr. Build. Mater.*, 2011, 25, 1388–1397.
- [13] KOCÁB, D.; MISÁK, P.; CIKRLE, P. Characteristic Curve and Its Use in Determining the Compressive Strength of Concrete by the Rebound Hammer Test. *Materials*, 2019, roč. 12, č. 17, s. 1-17. ISSN: 1996-1944.
- [14] Schmidt Family Sales Flyer. *Proceq* [online]. 2017 [cit. 2019-12-21]. Dostupné z: https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/Schmidt%20Family_Sales%20Flyer_English_high.pdf
- [15] Schmidt rebound hammers for concrete strength and rock testing. *Proceq* [online]. [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <https://www.proceq.com/compare/schmidt-hammers/>
- [16] CIKRLE, P.; KOCÁB, D.; ČERVENKA, J. Tvrdoměrné metody zkoušení betonu – část II. *Beton TKS*, 2019, roč. 19, č. 2, s. 14-18. ISSN: 1213-3116.

- [17] LÁNÍK, J.; KOMÁRKOVÁ, T. Ultrazvuk jako možný nástroj inspekce ocelových prvků stavebních konstrukcí. *TZB-info*, 2018, roč. 20, č. 16, s. 1-6. ISSN: 1801-4399.
- [18] Pundit ultrasonic pulse velocity and pulse echo tomography. *Proceq* [online]. [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <https://www.proceq.com/compare/pundit-ultrasonic-pulse-velocity-and-pulse-echo-testing/>
- [19] CIKRLE, P.; KOCÁB, D.; POSPÍCHAL, O. Zkoušení betonu ultrazvukovou impulsovou metodou. *Beton TKS*, 2013, roč. 13, č. 3, s. 74-79. ISSN: 1213-3116.
- [20] ČSN EN 12504-4. *Zkoušení betonu – Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu*. Praha: ÚNMZ, 2005.
- [21] ČSN 73 1371. *Nedestruktivní zkoušení betonu – Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu*. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [22] ČSN EN 12390-7. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu*. Praha: ÚNMZ, 2009.
- [23] ČSN 73 1372. *Nedestruktivní zkoušení betonu – Rezonanční metoda zkoušení betonu*. Praha: ÚNMZ, 2012.
- [24] HOBST, L.; ADÁMEK, J.; CIKRLE, P.; SCHMID, P. *Diagnostika stavebních konstrukcí - Přednášky*. Brno: FAST VUT v Brně, 2005. s. 1-124.
- [25] REITERMAN, P.; KADLECOVÁ, Z.; KOLÁŘ, K.; KEPPERT, M.; ADÁMEK, J.; HOLČAPEK, O. Zohlednění trvanlivosti při hodnocení kvality povrchové vrstvy betonu. *Beton TKS*, 2012, roč. 12, č. 3, s. 62–67. ISSN: 1213-3116.
- [26] ČSN EN 12390-1. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy*. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [27] ČSN EN 12390-2. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti*. Praha: ÚNMZ, 2009.
- [28] ČSN EN 12390-3. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Praha: ÚNMZ, 2009.
- [29] ČSN EN 12390-4. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 4: Pevnost v tlaku – Požadavky na zkušební lisy*. Praha: ÚNMZ, 2001.
- [30] ČSN EN 12390-5. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles*. Praha: ÚNMZ, 2009.
- [31] ČSN EN 12390-6. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 6: Pevnost v příčném tahu zkušebních těles*. Praha: ÚNMZ, 2010.
- [32] VÍTEK, J. L.; KOLÍSKO, J.; COUFAL, R.; HUŇKA, P.; ŠTEVULA, M. *Modul pružnosti betonu*. Praha: Česká betonářská společnost ČSSI, 2016. Technická pravidla ČBS. ISBN 978-80-906097-5-4.
- [33] ČSN EN 12504-1. *Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 1: Vývrty – Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku*. Praha: ÚNMZ, 2009.
- [34] ČSN EN 13791. *Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích*. Praha: ÚNMZ, 2007.
- [35] Original Schmidt Operating Instructions. *Proceq* [online]. 2017 [cit. 2019-12-23]. Dostupné z: https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/Orginal_Schmidt_Operating%20Instructions_Multilingual_high.pdf

- [36] Silver Schmidt Hammer. *PCTE* [online]. [cit. 2019-12-24]. Dostupné z <https://www.pcte.com.au/schmidt-hammer>
- [37] KOCÁB, D.; CIKRLE, P.; MISÁK, P. Tvrdoměrné metody zkoušení betonu – část III. *Beton TKS*, 2019, roč. 19, č. 5, s. 42-47. ISSN: 1213-3116.
- [38] ČSN 73 2011. *Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí*. Praha: ÚNMZ, 2012.

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1: REVOLVER SYSTÉMU NAGANT PRO ZKOUŠENÍ BETONU [3]	14
OBR. 2: ZKOUŠKA ŠPIČÁKEM DLE MAŠKA (NAHOŘE) A DLE CIGÁNKA (DOLE) [3]	15
OBR. 3: SCHÉMA PŘÍSTROJE ORIGINAL SCHMIDT VYRÁBĚNÉHO JIŽ OD ROKU 1965 [4]	15
OBR. 4: PŘÍSTROJE ORIGINAL SCHMIDT (NAHOŘE) A SILVERSCHMIDT (DOLE) FIRMY PROCEQ SA [14]	17
OBR. 5: OBROUŠENÁ PLOCHA PRO TVRDOMĚRNÉ ZKOUŠENÍ. NA DVĚ MÍSTA V PLOŠE BYL KÁPNUT FENLFTALEINOVÝ ROZTOK – FIALOVÉ ZBARVENÍ ZNAČÍ ÚSPĚŠNÉ ODSTRANĚNÍ ZKARBONATOVANÉ VRSTVY	18
OBR. 6: PŘÍSTROJ PUNDIT PL-200 PULSE ECHO OD FIRMY PROCEQ SA [18].....	19
OBR. 7: MOŽNÉ ZPŮSOBY UMÍSTĚNÍ SOND NA ZKUŠEBNÍM TĚLESE [20]	20
OBR. 8: PRÁCE S PŘÍSTROJEM PUNDIT PL-200 OD FIRMY PROCEQ SA	21
OBR. 9: USPOŘÁDÁNÍ RADIOMETRICKÝCH JEDNOTEK PRO METODU PRŮCHODU A ZESLABENÍ ZÁŘENÍ GAMA: VLEVO SCHÉMA RADIOMETRICKÉ SOUPRAVY PRO MĚŘENÍ V ÚZKÉM (KOLIMOVANÉM) SVAZKU, VPRAVO SCHÉMA RADIOMETRICKÉ SOUPRAVY VPICHOVACÍ [24]	25
OBR. 10: USPOŘÁDÁNÍ RADIOMETRICKÝCH JEDNOTEK PRO METODU ROZPTYLU ZÁŘENÍ GAMA: VLEVO SCHÉMA RADIOMETRICKÉ SOUPRAVY HLOUBKOVÉ, VPRAVO SCHÉMA RADIOMETRICKÉ SOUPRAVY POVRCHOVÉ [24].....	26
OBR. 11: USPOŘÁDÁNÍ RADIOMETRICKÝCH JEDNOTEK PRO MĚŘENÍ OBJEMOVÉ VLHKOSTI: VLEVO SCHÉMA RADIOMETRICKÉ SOUPRAVY HLOUBKOVÉ, VPRAVO SCHÉMA RADIOMETRICKÉ SOUPRAVY POVRCHOVÉ [24].....	26
OBR. 12: CENTRÁLNÍ PROJEKCE PŘI DEFEKTOSKOPIKÉ RADIOGRAFII [24]	27
OBR. 13: TVARY ZKUŠEBNÍCH TĚLES [26]	30
OBR. 14: ZKOUŠKA PEVNOSTI V TLAKU BETONU – VLEVO VKLÁDÁNÍ ZKUŠEBNÍHO TĚLESA DO ZKUŠEBNÍHO LISU, VPRAVO DETAIL PORUŠENÍ ZKUŠEBNÍHO TĚLESA.....	32
OBR. 15: VYHOVUJÍCÍ ZPŮSOBY PORUŠENÍ ZKUŠEBNÍCH KRYCHLÍ [28].....	33
OBR. 16: NĚKTERÉ NEVYHOVUJÍCÍ ZPŮSOBY PORUŠENÍ ZKUŠEBNÍCH KRYCHLÍ [28]	33
OBR. 17: VYHOVUJÍCÍ ZPŮSOBY PORUŠENÍ ZKUŠEBNÍCH VÁLCŮ [28].....	33
OBR. 18: NĚKTERÉ NEVYHOVUJÍCÍ ZPŮSOBY PORUŠENÍ ZKUŠEBNÍCH VÁLCŮ [28]	34
OBR. 19: ZKOUŠKA PEVNOSTI V TAHU OHYBEM (TZV. ČTYŘBODOVÝ OHYB) [30]	35
OBR. 20: ODBĚR JÁDROVÉHO VÝVRTU	38
OBR. 21: ODTRHOVÁ ZKOUŠKA BETONU [24]	39
OBR. 22: PŘEVODNÍ KŘIVKA MEZI HODNOTOU ODRAZU A KRYCHELNOU PEVNOSTÍ V TLAKU BETONU PRO PŘÍSTROJ ORIGINAL SCHMIDT N [35].....	42
OBR. 23: SCHÉMA POSUNU ZÁKLADNÍ KŘIVKY NDT METOD DLE ČSN EN 13791 [34]	45
OBR. 24: RASTR 15 BODŮ NA BOČNÍCH STRANÁCH BLOKU S VYZNAČENÍM MÍST MĚŘENÍ DANÉHO ROZMĚRU BLOKU.....	52
OBR. 25: MĚŘENÍ ROZMĚRŮ BLOKŮ POSUVNÝM MĚŘÍTKEM PRO ZKOUŠENÍ ULTRAZVUKEM.....	52
OBR. 26: POŘADÍ PROZVUČOVÁNÍ BLOKŮ V JEDNOTLIVÝCH SMĚRECH.....	53

OBR. 27: MĚŘENÍ DOBY PRŮCHODU IMPULSŮ UZ VLNĚNÍ BETONOVÝM BLOKEM POMOCÍ PŘÍSTROJE PUNDIT PL-200.....	54
OBR. 28: PLOŠNÝ GRAF BLOKU Č. 31 (P2/3 – I) VE SMĚRU B VYHOTOVENÝ PŘÍSTROJEM PUNDIT: ROVNOMĚRNÝ A KVALITNÍ BETON.....	57
OBR. 29: PLOŠNÝ GRAF BLOKU Č. 4 (0/1 – I) VE SMĚRU B VYHOTOVENÝ PŘÍSTROJEM PUNDIT: OPROTI BLOKU Č. 31 SE JEDNÁ O BLOK S HORŠÍ ROVNOMĚRNOSTÍ BETONU.....	58
OBR. 30: PŘILOŽENÍ PLOŠNÝCH GRAFŮ NA VIRTUÁLNÍ BETONOVÝ BLOK – BYLY VYUŽITY PLOŠNÉ GRAFY ZHOTOVENÉ PRO BLOK Č. 3 Z BETONU OZNAČENÉHO JAKO R.....	60
OBR. 31: BROUŠENÍ BETONOVÝCH BLOKŮ PRO TVRDOMĚRNÉ ZKOUŠENÍ.....	61
OBR. 32: APLIKACE ROZTOKU FENOLFTALEINU NA OBROUŠENOU STRANU BETONOVÉHO BLOKU.....	61
OBR. 33: VLEVO TVRDOMĚRNÉ ZKOUŠENÍ PŘÍSTROJEM SILVERSCHMIDT, VPRAVO TVRDOMĚRNÉ ZKOUŠENÍ PŘÍSTROJEM ORIGINAL SCHMIDT.....	62
OBR. 34: SCHÉMA ODBĚRU JÁDROVÝCH VÝVRTŮ.....	66
OBR. 35: PRÁCE S JÁDROVOU VRTAČKOU.....	66
OBR. 36: IDEALIZOVANÉ SCHÉMA POSTUPU ROZŘEZÁNÍ JÁDROVÝCH VÝVRTŮ NA ZKUŠEBNÍ TĚLESA.....	67
OBR. 37: JÁDROVÉ VÝVRTY BYLY ROZŘEZÁNY NA OKRUŽNÍ PILE.....	68
OBR. 38: ZJIŠŤOVÁNÍ ROVINNOSTI POMOCÍ OCELOVÝCH SPÁROVÝCH MĚREK.....	68
OBR. 39: ZKUŠEBNÍ TĚLESO 32.B (ZLEVA): NEPORUŠENÉ V LISU, PORUŠENÉ V LISU, ODSTRANĚNÍ VOLNÝCH ČÁSTÍ – TVAR „PŘESÝPACÍCH HODIN“.....	69

SEZNAM GRAFŮ

GRAF 1: POROVNÁNÍ PŘEVODNÍCH KŘIVEK PŘÍSTROJE SILVERSCHMIDT N [36][37]	43
GRAF 2: GRAFICKÉ VYJÁDŘENÍ VZTAHU (26) [38].	47
GRAF 3: ZÁVISLOST RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ BETONEM NA VODNÍM SOUČINITELI	56
GRAF 4: ZÁVISLOST RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ BETONEM NA VODNÍM SOUČINITELI	56
GRAF 5: PLOŠNÝ GRAF RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ BETONEM – DOBŘE PATRNÁ MÍRNÁ NEROVNOMĚRNOST (VRSTEVNATOST) BETONU BLOKU Č. 3	59
GRAF 6: PLOŠNÝ GRAF RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ BETONEM – BLOK Č. 31 SE ŘADIL MEZI BLOKY Z NEJKVALITNĚJŠÍHO BETONU.....	59
GRAF 7: ZÁVISLOST HODNOTY ODRAZU R NA VODNÍM SOUČINITELI	64
GRAF 8: ZÁVISLOST HODNOTY KOEFICIENTU VRÁCENÉ ENERGIE Q NA VODNÍM SOUČINITELI.....	65
GRAF 9: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ PRO BETONY BEZ ROZLIŠENÍ DRUHU	71
GRAF 10: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ PRO BETONY BEZ ROZLIŠENÍ DRUHU	72
GRAF 11: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ PRO BETONY BEZ PŘÍRAD .	73
GRAF 12: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ PRO BETONY S 0,25 % PLASTIFIKAČNÍ PŘÍRADY	73
GRAF 13: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ PRO BETONY S 0,5 % PLASTIFIKAČNÍ PŘÍRADY	74
GRAF 14: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ PRO BETONY S PLASTIFIKAČNÍ I PROVZDUŠŇOVACÍ PŘÍRADOU	75
GRAF 15: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA HODNOTĚ ODRAZU R PRO BETONY BEZ ROZLIŠENÍ DRUHU	76
GRAF 16: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA HODNOTĚ ODRAZU R PRO VŠECHNY BETONY KROMĚ PROVZDUŠŇENÝCH.....	76
GRAF 17: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA HODNOTĚ ODRAZU R PRO BETONY BEZ PŘÍRAD.....	77
GRAF 18: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA HODNOTĚ ODRAZU R PRO BETONY S 0,25 % PLASTIFIKAČNÍ PŘÍRADY.....	78
GRAF 19: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA HODNOTĚ ODRAZU R PRO BETONY S 0,5 % PLASTIFIKAČNÍ PŘÍRADY.....	79
GRAF 20: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA HODNOTĚ ODRAZU R PRO BETONY S PLASTIFIKAČNÍ I PROVZDUŠŇOVACÍ PŘÍRADOU	79
GRAF 21: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA HODNOTĚ KOEFICIENTU VRÁCENÉ ENERGIE Q PRO VŠECHNY BETONY BEZ ROZLIŠENÍ DRUHU	80
GRAF 22: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA HODNOTĚ KOEFICIENTU VRÁCENÉ ENERGIE Q PRO VŠECHNY BETONY KROMĚ PROVZDUŠŇENÝCH.....	81

GRAF 23: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA HODNOTĚ KOEFICIENTU VRÁCENÉ ENERGIE Q PRO BETONY BEZ PŘÍRAD.....	81
GRAF 24: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA HODNOTĚ KOEFICIENTU VRÁCENÉ ENERGIE Q PRO BETONY S 0,25 % PLASTIFIKAČNÍ PŘÍRADY	82
GRAF 25: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA HODNOTĚ KOEFICIENTU VRÁCENÉ ENERGIE Q PRO BETONY S 0,5 % PLASTIFIKAČNÍ PŘÍRADY	83
GRAF 26: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA HODNOTĚ KOEFICIENTU VRÁCENÉ ENERGIE Q PRO BETONY S PLASTIFIKAČNÍ I PROVZDUŠŇOVACÍ PŘÍRADOU	84

SEZNAM TABULEK

TABULKA 1: SLOŽENÍ BETONŮ BEZ PŘÍRAD 49	49
TABULKA 2: SLOŽENÍ BETONŮ S PLASTIFIKAČNÍ PŘÍSADOU 49	49
TABULKA 3: SLOŽENÍ BETONŮ S PLASTIFIKAČNÍ I PROVZDUŠŇOVACÍ PŘÍSADOU 50	50
TABULKA 4: PŘÍKLAD ZNAČENÍ BLOKŮ..... 50	50
TABULKA 5: PŮDORYSNÉ PRŮMĚRNÉ ROZMĚRY BLOKŮ 51	51
TABULKA 6: RYCHLOST ŠÍŘENÍ IMPULSŮ UZ VLNĚNÍ BETONOVÝMI BLOKY..... 55	55
TABULKA 7: PRŮMĚRNÉ HODNOTY ODRAZU / KOEFICIENTU VRÁCENÉ ENERGIE 63	63
TABULKA 8: PEVNOST V TLAKU BETONU ZKUŠEBNÍCH TĚLES..... 70	70

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$\Delta\varepsilon$	- ROZDÍL V POMĚRNÉM PŘETVOŘENÍ
$\Delta\sigma$	- ROZDÍL V NAPĚTÍ
A_c	- PRŮŘEZOVÁ PLOCHA ZKUŠEBNÍHO TĚLESA
Am	- AMERICIUM
Co	- KOBALT
Cs	- CESIUM
D	- OBJEMOVÁ HMOTNOST ZKUŠEBNÍHO TĚLESA
d	- PRŮMĚR / JMENOVITÝ ROZMĚR TĚLESA
d_1, d_2	- ROZMĚRY PŘÍČNÉHO ŘEZU TĚLESA
DT	- DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ
E_c	- STATICKÝ MODUL PRUŽNOSTI V TLAKU
E_{cu}	- DYNAMICKÝ MODUL PRUŽNOSTI V TLAKU A TAHU
F	- MAXIMÁLNÍ ZATÍŽENÍ PŘI PORUŠENÍ
f_{be}	- PEVNOST V TLAKU BETONU S NEZARUČENOU PŘESNOSTÍ
f_c	- PEVNOST V TLAKU
f_{cf}	- PEVNOST V TAHU OHYBEM
$f_{ck,cube,m}$	- PRŮMĚRNÁ KRYCHELNÁ PEVNOST V TLAKU BETONU
$f_{ck,is}$	- CHARAKTERISTICKÁ PEVNOST V TLAKU BETONU V KONSTRUKCI
f_{ct}	- PEVNOST V PŘÍČNÉM TAHU
$f_{is,nejmenší}$	- NEJMENŠÍ VÝSLEDEK PEVNOSTI V TLAKU BETONU V KONSTRUKCI
$f_{m(n),is}$	- STŘEDNÍ HODNOTA N VÝSLEDKŮ PEVNOSTI V TLAKU BETONU V KONSTRUKCI
$f_{R/v/F}$	- HODNOTA PEVNOSTI V TLAKU BETONU V KONSTRUKCI
GWT	- GERMANN WATER PERMEATION TEST
ISAT	- INITIAL SURFACE ABSORPTION TEST
k	- SOUČINITEL ROZMĚRNOSTI PROSTŘEDÍ
k	- KRAJNÍ MEZ ZÁVISLÁ NA N VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK
k_2	- KOEFICIENT UVEDENÝ V NÁRODNÍCH PŘEDPÍSECH, NEBO SE UVAŽUJE 1,48
k_T	- SOUČINITEL PROPUSTNOSTI PRO VZDUCH
L	- DÉLKA MĚŘICÍ ZÁKLADNY

I	- VZDÁLENOST MEZI OPĚRNÝMI VÁLEČKY
L	- DÉLKA DOTYKOVÉ PŘÍMKY TĚLESA
m	- HMOTNOST ZKUŠEBNÍHO TĚLESA
NDT	- NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ
Pt	- PLATINA
Q	- KOEFICIENT VRÁCENÉ ENERGIE
R	- HODNOTA ODRAZU ZJIŠTĚNÁ ODRAZOVÝM TVRDOMĚREM
R ²	- KOEFICIENT DETERMINACE
R _b	- VLASTNOST BETONU STANOVENÁ PŘÍMO
R _{be}	- VLASTNOST BETONU STANOVENÁ NEPŘÍMO
s	- SMĚRODATNÁ ODCHYLKA
T	- ČAS PRŮCHODU IMPULSU MĚŘICÍ ZÁKLADNOU
TPT	- TORRENT PERMEABILITY TESTER
u	- HODNOTA ODRAZU SCHMIDTOVA TVRDOMĚRU
UZ	- ULTRAZVUK
V	- OBJEM
v _L	- RYCHLOST ŠÍŘENÍ IMPULSŮ UZ VLNĚNÍ
v _{L3}	- UZ IMPULSOVÁ RYCHLOST V TROJROZMĚRNÉM PROSTŘEDÍ
α	- SOUČINITEL UPŘESNĚNÍ
α	- VELIKOST ODRAZU (DLE ČSN EN 73 1373)
v	- VARIČNÍ KOEFICIENT
ρ	- OBJEMOVÁ HMOTNOST

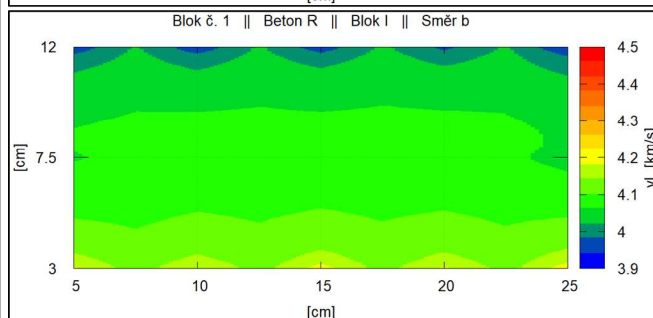
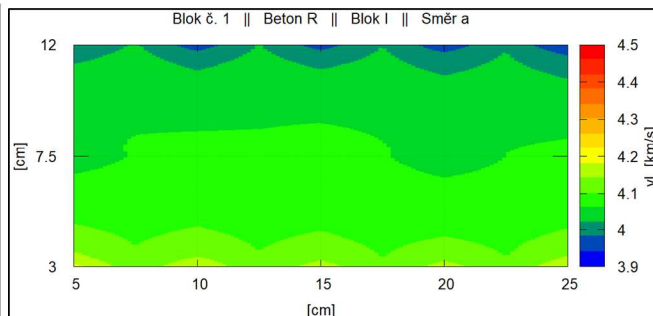
SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1: PRO KAŽDÝ BETONOVÝ BLOK: NAMĚŘENÉ HODNOTY ROZMĚRŮ A HMOTNOSTI, NAMĚŘENÉ HODNOTY DOBY PRŮCHODU UZ VLNĚNÍ BLOKEM, POVRCHOVÉ GRAFY RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ UZ VLNĚNÍ BLOKEM VE SMĚRU A A VE SMĚRU B	101
PŘÍLOHA 2: NAMĚŘENÉ HODNOTY ODRAZU R PŘÍSTROJEM ORIGINAL SCHMIDT N.....	112
PŘÍLOHA 3: NAMĚŘENÉ HODNOTY KOEFICIENTU VRÁCENÉ ENERGIE Q PŘÍSTROJEM SILVERSCHMIDT N	114
PŘÍLOHA 4: NAMĚŘENÉ HODNOTY PRŮMĚRU A VÝŠKY ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	117
PŘÍLOHA 5: HMOTNOST, PRŮMĚRNÉ ROZMĚRY A OBJEMOVÁ HMOTNOST ZKUŠEBNÍCH TĚLES	119
PŘÍLOHA 6: GRAFY ZÁVISLOSTI TVRDOSTI NA RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ IMPULSU UZ VLNĚNÍ BETONEM.....	120
PŘÍLOHA 7: GRAFY ZÁVISLOSTI PEVNOSTI V TLAKU NA KOMBINACI VÝSLEDKŮ TVRDOMĚRNÉ (R) A UZ IMPULSOVÉ METODY.....	122
PŘÍLOHA 8: GRAFY ZÁVISLOSTI PEVNOSTI V TLAKU NA KOMBINACI VÝSLEDKŮ TVRDOMĚRNÉ (Q) A UZ IMPULSOVÉ METODY.....	123
PŘÍLOHA 9: FOTODOKUMENTACE EXPERIMENTU POPSANÉHO V PRAKTICKÉ ČÁSTI	124

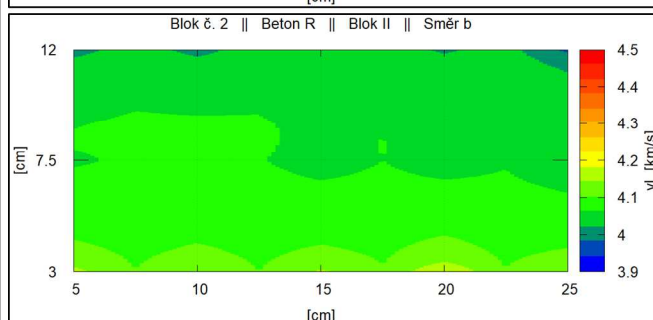
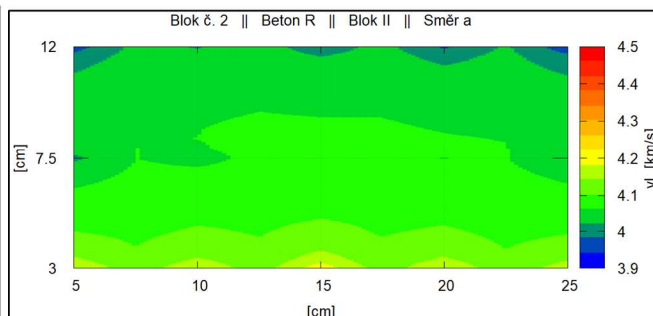
PŘÍLOHY

Příloha 1: Pro každý betonový blok: naměřené hodnoty rozměrů a hmotnosti, naměřené hodnoty doby průchodu UZ vlnění blokem, povrchové grafy rychlosti šíření UZ vlnění blokem ve směru *a* a ve směru *b*

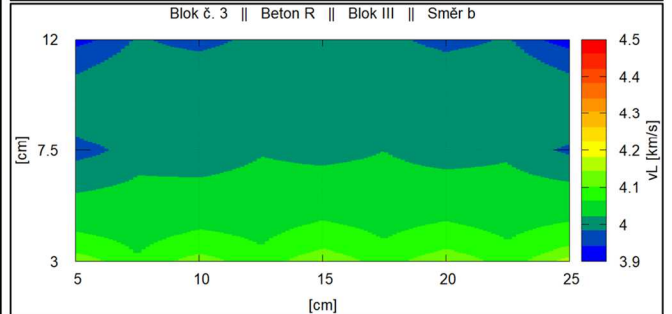
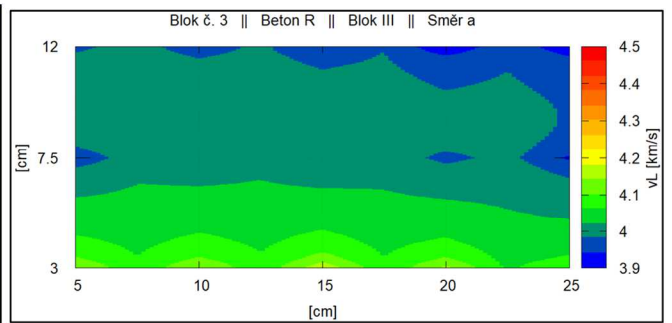
Id. č.:	1		Bod	T [μs] ve směru <i>a</i> dne:			T [μs] ve směru <i>b</i> dne:		
	Beton:	R		27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Blok:	I		1	71,8	71,5	71,4	71,8	71,6	71,2
Hmotnost [kg]			2	72,1	71,7	71,7	72,5	71,2	71,3
	29,633		3	72,3	72,1	72,0	71,7	71,1	71,1
Rozměr ve směru:			4	72,2	72,4	71,9	71,6	71,2	71,8
	a [mm]	b [mm]	5	72,0	72,1	71,3	71,4	71,0	71,2
	299,86	299,75	6	73,8	74,1	73,6	74,2	74,4	74,0
	300,42	299,92	7	74,0	74,9	74,1	73,8	73,4	72,8
	300,31	299,80	8	73,5	73,7	73,2	73,5	73,6	73,2
	300,63	299,84	9	74,0	74,0	73,5	73,5	73,5	72,7
	300,20	299,82	10	74,4	74,8	73,8	74,0	74,2	73,5
			11	75,7	75,8	74,6	76,1	76,5	74,8
			12	76,0	76,2	75,3	76,4	76,0	75,1
			13	75,8	76,2	75,3	75,8	75,8	75,6
			14	75,7	76,7	75,4	75,3	75,9	75,3
			15	75,9	76,6	76,1	75,9	76,0	76,1



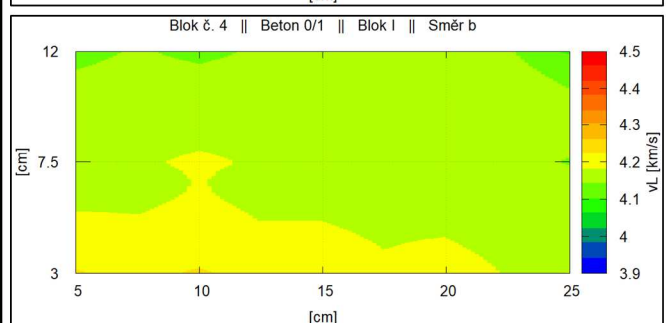
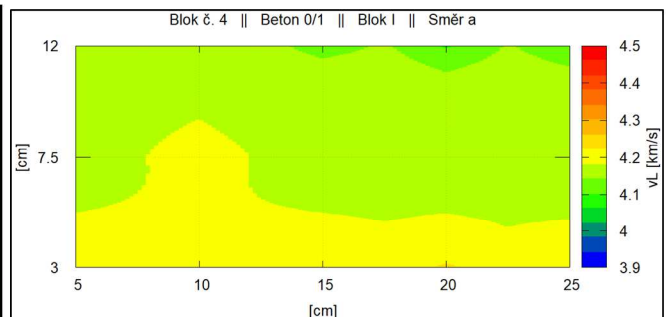
Id. č.:	2		Bod	T [μs] ve směru <i>a</i> dne:			T [μs] ve směru <i>b</i> dne:		
	Beton:	R		27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Blok:	II		1	72,2	71,6	71,3	72,5	72,0	71,7
Hmotnost [kg]			2	72,3	71,6	71,5	72,2	72,8	71,8
	29,909		3	71,2	71,2	71,3	72,7	71,9	72,0
Rozměr ve směru:			4	72,4	71,6	71,2	71,6	71,6	71,4
	a [mm]	b [mm]	5	71,9	72,2	71,9	72,4	72,5	71,9
	300,02	299,60	6	74,3	74,5	74,4	74,5	74,4	74,3
	300,04	299,48	7	74,1	74,0	73,6	74,2	74,3	74,1
	299,85	299,51	8	74,0	74,3	73,3	74,4	74,2	74,1
	300,20	299,46	9	74,3	74,2	73,7	73,6	73,9	73,2
	299,95	299,59	10	74,7	75,0	74,5	74,2	74,1	73,3
			11	75,9	76,2	75,0	74,4	75,6	74,4
			12	74,7	75,1	74,2	74,7	75,3	74,3
			13	74,7	75,7	74,8	74,3	74,5	74,1
			14	75,9	75,5	75,0	74,4	74,9	74,5
			15	75,6	76,3	75,6	75,0	75,7	75,4



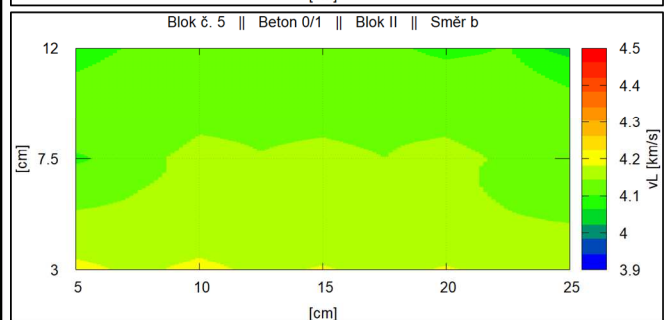
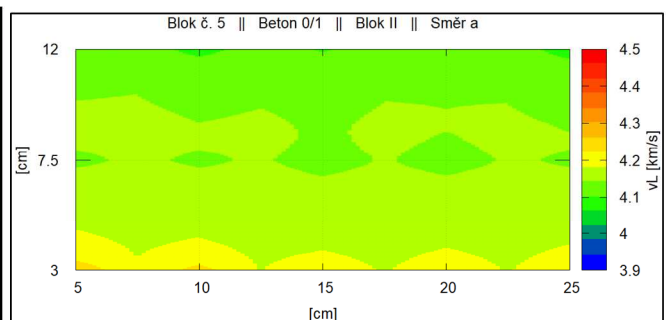
Id. č.:	3	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	R							
Blok:	III	1	72,5	72,3	71,8	73,1	72,4	71,8
Hmotnost [kg]		2	72,5	72,1	71,9	72,8	72,7	72,2
	29,951	3	71,8	71,6	71,6	72,2	72,0	72,3
Rozměr ve směru:		4	72,2	72,2	71,8	72,0	72,5	72,1
a [mm]	b [mm]	5	73,0	73,4	73,2	72,0	72,2	71,6
		6	75,9	76,5	75,9	75,5	75,8	75,1
		7	75,8	75,4	75,1	74,9	75,4	74,6
		8	75,7	75,1	74,8	75,1	75,0	74,5
		9	74,9	75,1	75,2	75,5	75,4	74,5
		10	76,3	75,7	75,3	76,5	75,9	75,1
		11	75,8	75,4	74,9	76,7	76,9	75,8
		12	76,2	75,7	74,9	75,9	75,8	75,4
		13	75,3	76,9	75,6	75,2	75,0	74,9
		14	76,1	77,3	76,4	76,2	75,9	75,1
		15	76,1	77,4	76,0	76,5	77,4	76,1



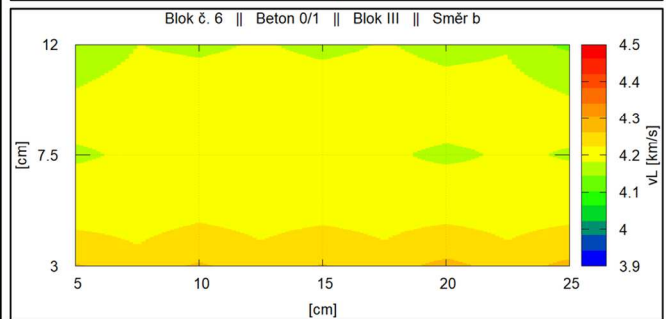
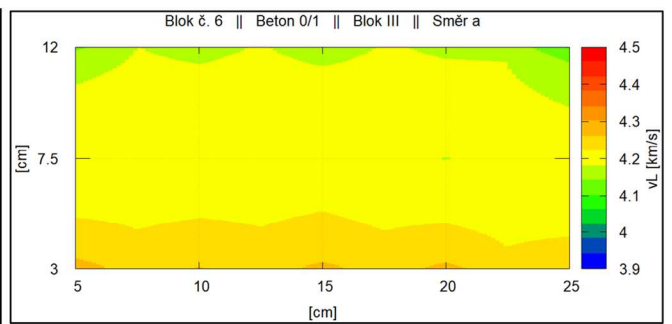
Id. č.:	4	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	0/1							
Blok:	I	1	71,6	71,6	71,1	71,2	71,1	70,5
Hmotnost [kg]		2	71,3	71,2	71,3	71,0	71,1	70,5
	30,605	3	71,6	71,4	71,1	71,3	71,6	71,1
Rozměr ve směru:		4	71,3	70,9	71,0	71,2	71,7	71,3
a [mm]	b [mm]	5	71,7	71,1	71,0	71,6	71,9	71,8
		6	72,6	72,3	72,0	72,5	72,9	72,2
		7	72,6	72,2	71,9	71,8	72,1	71,6
		8	72,2	72,5	71,9	71,7	72,2	71,6
		9	71,4	71,7	71,5	71,4	71,7	71,8
		10	72,4	72,7	71,9	72,0	72,4	71,7
		11	72,3	73,1	72,0	73,0	73,1	72,7
		12	72,0	72,2	71,7	72,8	73,1	72,6
		13	73,1	73,1	72,8	72,3	72,7	72,3
		14	73,3	73,7	73,2	72,3	72,7	72,0
		15	73,3	73,4	72,6	73,1	73,5	73,2



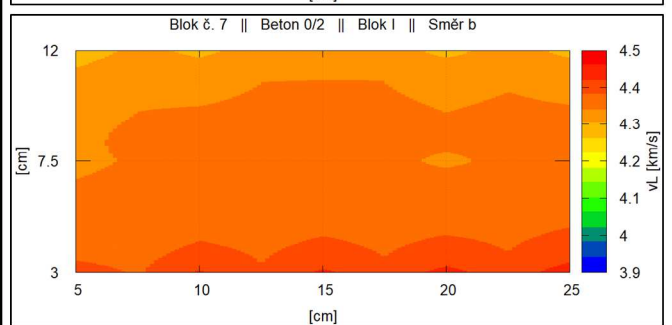
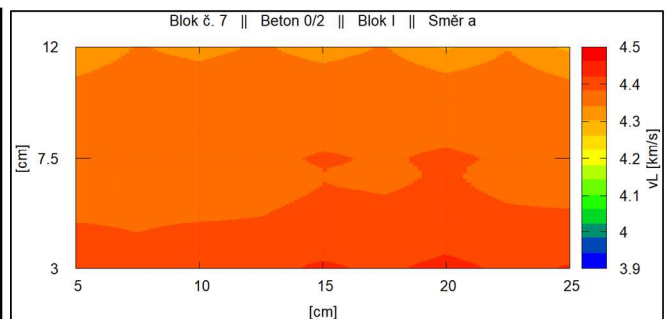
Id. č.:	5	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	0/1							
Blok:	II	1	71,5	70,7	69,7	71,4	71,6	70,9
Hmotnost [kg]		2	71,0	70,9	70,8	71,5	71,4	71,0
	30,174	3	71,4	71,4	71,3	71,7	71,7	71,4
Rozměr ve směru:		4	71,4	71,4	71,0	71,8	71,7	71,3
a [mm]	b [mm]	5	71,0	71,3	71,2	71,9	71,8	71,7
		6	72,7	72,9	72,4	73,1	73,4	72,7
		7	72,9	73,1	72,6	72,1	72,4	71,9
		8	72,9	73,1	72,6	72,3	72,7	72,0
		9	72,6	72,7	72,8	72,4	72,7	71,8
		10	72,8	72,9	72,5	73,7	73,6	72,7
		11	73,1	73,2	73,0	73,7	74,4	73,5
		12	73,6	73,8	73,4	72,8	73,3	72,5
		13	73,3	73,6	73,2	72,9	73,5	72,6
		14	72,9	72,8	72,6	73,4	73,9	73,2
		15	73,6	73,9	73,6	74,2	75,0	74,0



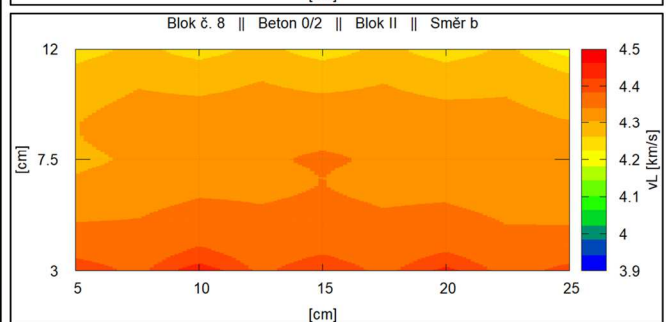
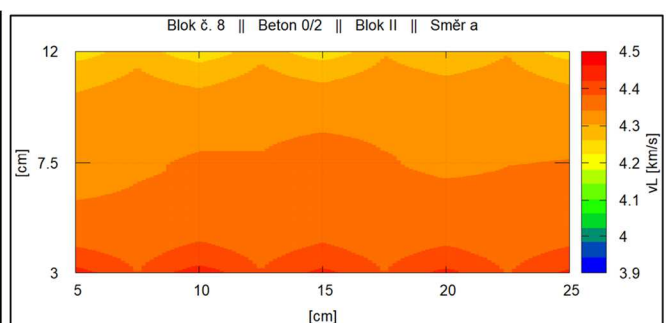
Id. č.:	6	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	0/1	1	70,0	70,0	69,5	70,6	70,5	69,8
Blok:	III	2	70,4	70,5	69,9	70,5	70,8	69,5
Hmotnost [kg]		3	70,1	70,1	69,9	70,5	70,6	69,9
	30,446	4	70,2	70,2	69,7	70,4	70,1	69,6
Rozměr ve směru:		5	70,6	70,5	70,2	70,3	70,6	69,4
a [mm]	b [mm]	6	71,9	71,9	71,1	72,0	72,1	71,6
		7	71,9	71,9	71,4	72,2	72,3	71,8
		8	71,1	71,4	70,9	71,9	71,7	71,3
		9	71,4	71,4	71,1	71,6	71,8	71,3
		10	71,8	72,1	71,2	71,9	72,2	71,9
		11	72,7	72,9	72,0	72,9	72,8	71,9
		12	72,2	72,3	71,5	71,9	72,3	71,7
		13	72,4	72,2	71,8	72,3	72,0	71,8
		14	71,6	72,3	71,6	72,1	72,3	71,8
		15	73,1	73,5	72,9	72,7	73,0	72,5



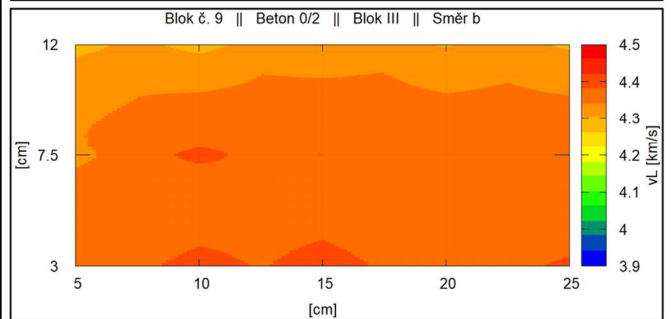
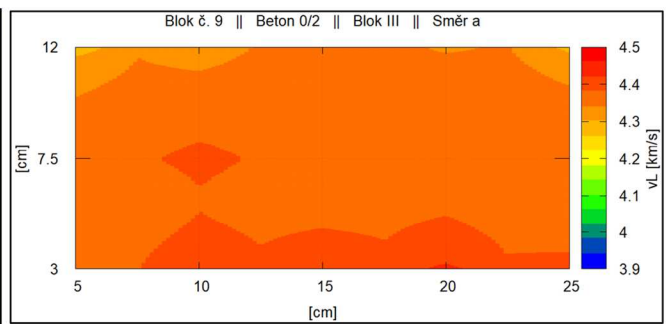
Id. č.:	7	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	0/2	1	68,4	68,0	67,8	68,8	68,5	67,5
Blok:	I	2	67,9	68,4	68,1	68,1	67,8	67,4
Hmotnost [kg]		3	68,1	67,9	67,5	68,1	67,6	67,4
	31,092	4	68,2	67,3	67,2	68,2	67,4	67,1
Rozměr ve směru:		5	67,8	68,0	68,2	67,5	67,4	67,2
a [mm]	b [mm]	6	69,1	68,9	69,0	69,2	69,0	68,8
		7	68,5	68,6	68,7	69,5	69,2	69,1
		8	68,8	68,6	68,6	69,2	68,9	68,8
		9	69,4	69,2	69,3	69,0	68,8	68,7
		10	69,4	69,1	69,1	70,1	69,2	68,8
		11	70,1	69,9	70,0	70,7	70,6	69,9
		12	69,7	69,7	69,5	70,2	70,1	69,8
		13	69,8	69,8	69,7	69,6	69,3	69,1
		14	70,2	70,1	70,1	70,3	70,2	69,7
		15	70,3	70,2	70,1	69,9	70,0	70,2



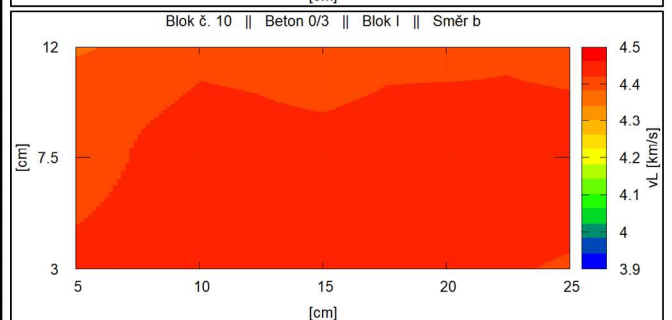
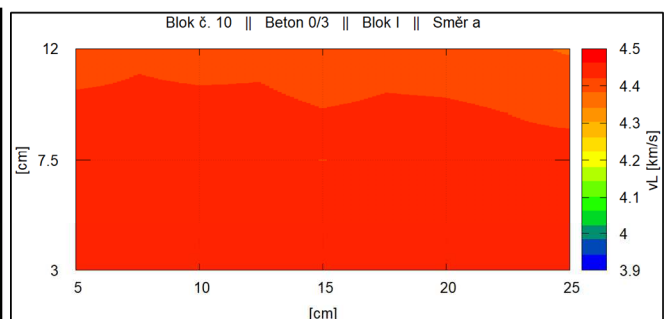
Id. č.:	8	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	0/2	1	68,1	67,8	67,4	68,3	68,1	67,4
Blok:	II	2	67,6	67,7	67,5	67,6	67,3	66,9
Hmotnost [kg]		3	67,9	67,9	67,7	67,9	68,0	67,6
	30,749	4	67,8	68,0	67,7	67,6	67,4	67,7
Rozměr ve směru:		5	67,8	68,0	67,9	68,4	68,0	68,2
a [mm]	b [mm]	6	69,3	69,3	69,5	69,9	69,7	69,5
		7	69,5	69,6	69,5	69,4	69,0	69,4
		8	68,9	68,9	68,5	68,8	69,0	68,9
		9	69,8	69,2	68,9	69,3	69,5	69,1
		10	70,2	69,9	69,9	70,3	70,4	69,8
		11	71,4	71,3	70,9	71,6	70,8	70,6
		12	71,5	71,4	71,3	71,2	70,9	70,7
		13	71,4	71,4	71,1	70,8	71,3	70,9
		14	70,8	70,7	70,6	70,9	71,2	71,0
		15	70,6	71,1	71,8	71,5	71,6	71,7



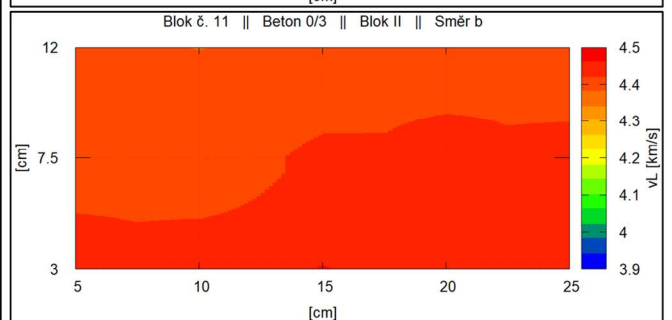
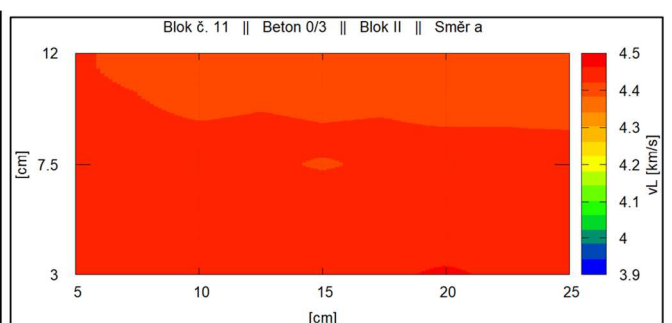
Id. č.:	9	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	0/2	1	69,0	69,0	68,2	69,1	68,8	68,5
Blok:	III	2	68,2	68,2	67,7	68,3	68,0	67,9
Hmotnost [kg]	30,972	3	68,3	68,2	68,1	68,1	67,9	67,7
Rozměr ve směru:		4	68,0	67,8	67,6	68,8	68,7	68,5
a [mm]	b [mm]	5	68,7	68,6	68,2	68,5	68,3	68,1
300,33	300,13	6	69,4	69,0	68,8	68,9	68,7	68,4
301,06	300,06	7	69,0	68,9	68,4	68,9	68,9	68,5
300,32	300,16	8	69,2	69,0	68,8	68,6	68,6	68,2
301,26	299,85	9	68,6	68,3	67,9	68,6	68,0	67,9
301,09	299,88	10	69,6	69,1	68,7	69,4	69,3	69,0
		11	70,8	70,5	69,8	70,6	70,4	69,6
		12	70,1	70,1	69,5	70,4	70,3	69,8
		13	69,3	69,4	68,8	69,7	69,5	69,5
		14	69,5	69,7	69,0	70,0	70,0	69,5
		15	70,1	70,5	69,8	70,0	70,2	69,6



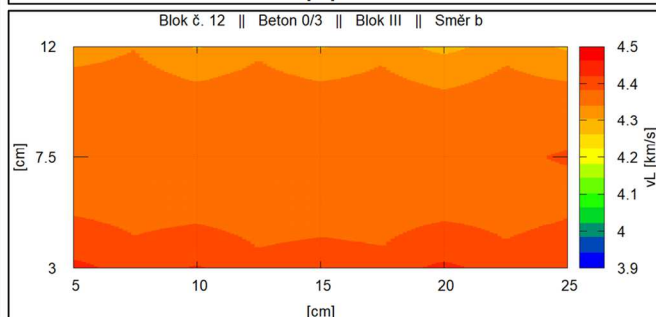
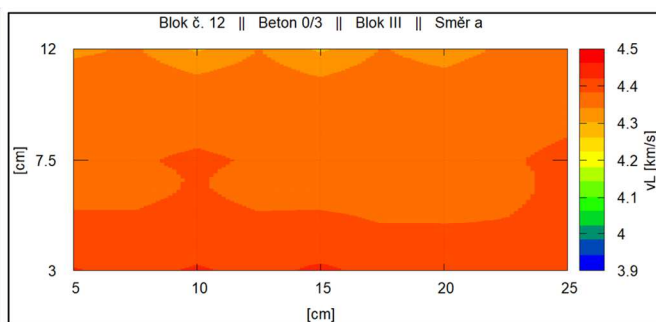
Id. č.:	10	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	0/3	1	67,7	68,0	67,6	67,9	67,8	67,6
Blok:	I	2	67,8	67,8	67,6	67,6	67,5	67,5
Hmotnost [kg]	31,191	3	67,5	67,7	67,5	67,5	67,5	67,3
Rozměr ve směru:		4	67,5	68,1	67,6	67,3	67,6	67,7
a [mm]	b [mm]	5	67,8	68,4	67,8	67,7	68,2	67,9
301,05	299,79	6	67,7	68,4	67,9	67,2	67,6	67,6
301,52	299,82	7	67,7	68,3	68,0	67,0	67,5	67,4
300,20	299,82	8	67,9	68,3	68,3	67,6	68,0	67,8
301,85	299,74	9	67,6	68,0	67,7	67,7	67,6	67,2
301,72	299,82	10	67,6	68,1	67,3	68,1	68,0	67,8
		11	68,2	69,2	68,4	68,2	69,2	68,7
		12	68,3	68,6	68,4	67,4	68,1	68,0
		13	68,8	68,8	68,1	68,0	68,6	68,1
		14	67,8	68,5	68,7	67,7	68,4	68,1
		15	68,9	69,1	68,9	67,5	68,2	68,6



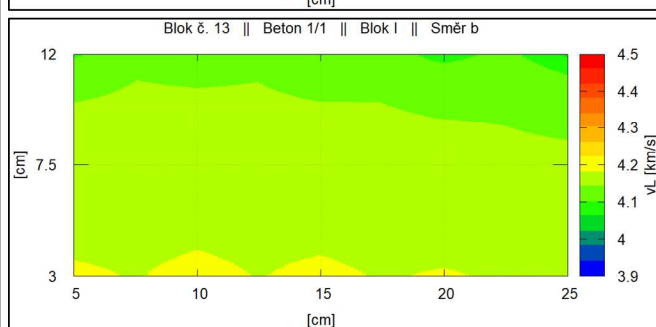
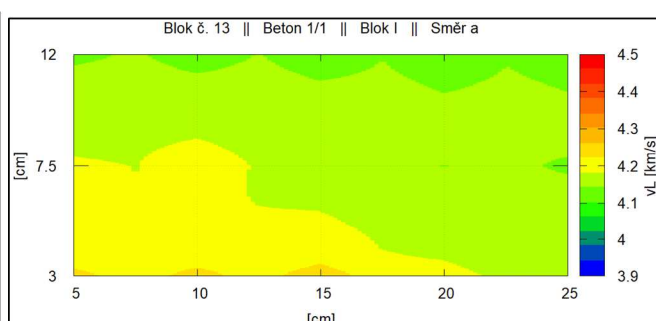
Id. č.:	11	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	0/3	1	67,4	67,4	67,3	67,5	67,9	67,8
Blok:	II	2	67,2	67,4	67,4	67,7	67,8	67,8
Hmotnost [kg]	31,11	3	67,2	67,2	67,3	67,1	67,5	67,4
Rozměr ve směru:		4	66,8	67,0	67,0	67,6	67,9	67,7
a [mm]	b [mm]	5	67,5	67,9	67,8	67,7	68,1	68,2
299,92	300,70	6	67,5	67,7	67,9	67,7	67,9	68,2
299,96	300,95	7	67,6	68,0	67,8	67,5	67,9	67,9
300,05	300,76	8	67,8	68,1	67,8	67,8	68,2	67,9
300,13	300,76	9	67,5	68,0	67,9	68,2	68,5	68,5
299,80	300,92	10	67,6	68,2	67,8	67,9	68,3	68,3
		11	67,7	68,0	67,8	68,5	68,7	68,8
		12	67,9	68,6	68,6	68,7	68,8	68,7
		13	67,8	68,4	68,3	68,3	68,7	68,5
		14	68,0	68,9	68,5	68,0	68,7	68,6
		15	68,0	68,7	68,8	67,8	68,4	68,7



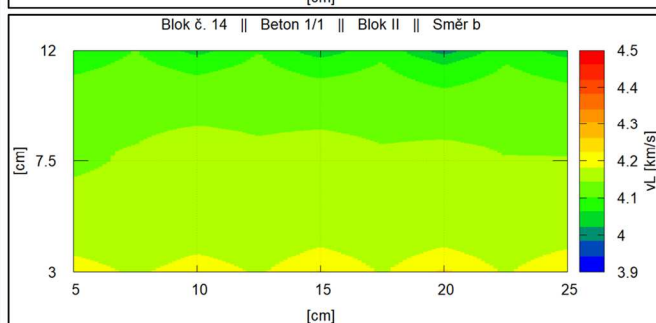
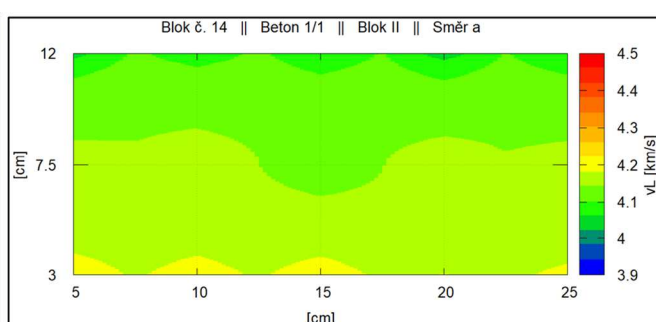
Id. č.:	12	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	0/3	1	68,4	67,5	67,4	68,2	67,6	67,5
Blok:	III	2	68,0	67,6	67,4	68,8	67,6	67,7
Hmotnost [kg]		3	67,6	67,4	67,7	68,5	68,5	68,5
	30,955	4	68,0	68,1	68,3	68,0	67,7	67,8
Rozměr ve směru:		5	67,8	67,7	68,2	68,3	68,3	68,1
a [mm]	b [mm]	6	68,2	68,2	68,3	68,7	68,6	68,6
300,03	300,69	7	68,5	68,7	69,2	69,1	69,2	69,2
300,05	301,49	8	68,8	68,8	68,7	68,7	68,9	68,9
300,03	300,98	9	68,2	68,3	68,4	68,9	69,3	69,2
299,95	301,59	10	68,6	68,9	68,9	69,4	69,2	69,1
300,14	301,79	11	69,5	69,3	69,1	70,0	69,9	69,3
		12	69,9	69,7	70,0	70,6	70,0	69,8
		13	69,9	69,9	69,9	70,6	70,2	69,6
		14	69,2	69,9	69,6	70,0	70,5	70,7
		15	68,6	69,2	69,3	70,0	70,3	70,3



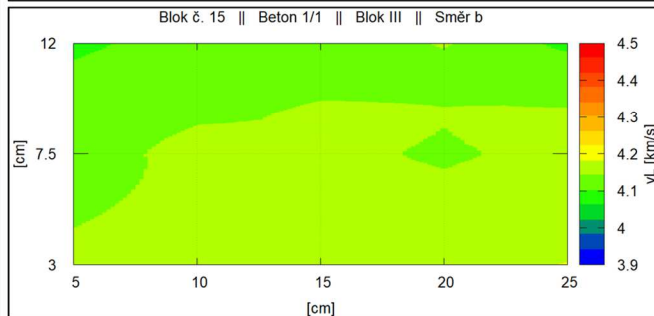
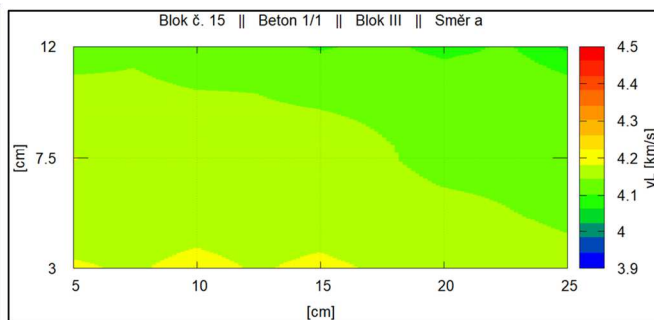
Id. č.:	13	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	1/1	1	71,3	71,1	71,1	71,4	71,6	71,2
Blok:	I	2	70,9	71,2	71,2	70,9	71,5	70,9
Hmotnost [kg]		3	70,6	70,9	70,8	70,8	71,4	71,3
	31,173	4	71,8	72,2	71,8	71,3	71,9	71,3
Rozměr ve směru:		5	72,1	72,3	72,2	71,2	72,5	71,4
a [mm]	b [mm]	6	73,3	72,8	72,8	71,5	73,2	72,2
301,74	299,82	7	72,9	72,7	72,9	71,6	72,9	71,8
301,58	299,81	8	72,5	72,2	72,2	71,4	73,1	71,5
302,24	299,85	9	71,5	71,6	71,5	71,7	72,1	71,8
301,04	299,68	10	72,0	72,2	72,0	72,2	72,1	71,9
300,97	299,74	11	73,2	73,2	72,9	73,1	73,6	73,0
		12	73,6	73,3	73,4	72,6	73,6	72,3
		13	73,3	73,8	73,5	73,0	73,4	73,0
		14	73,4	73,8	73,5	73,2	74,2	73,0
		15	73,1	73,4	73,3	73,6	74,6	73,7



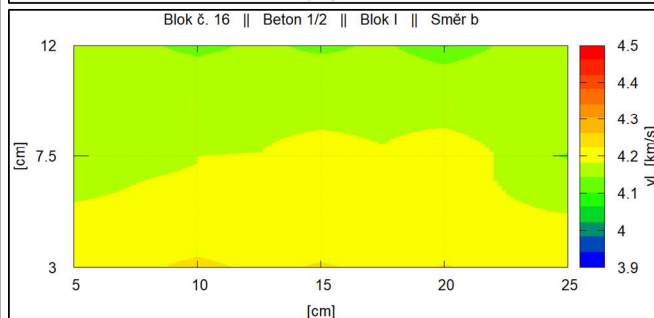
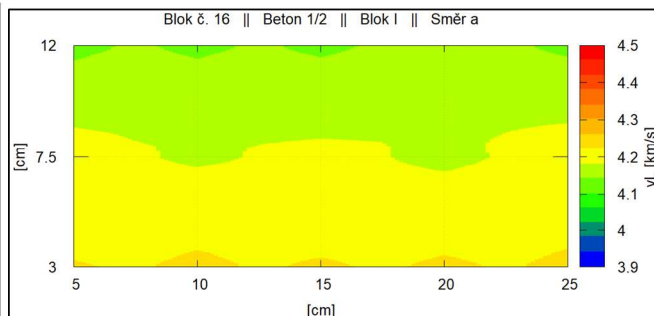
Id. č.:	14	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	1/1	1	71,6	71,5	70,9	71,4	71,2	71,1
Blok:	II	2	71,7	71,6	71,0	71,2	71,5	71,0
Hmotnost [kg]		3	71,1	71,7	71,0	70,9	71,0	70,9
	30,676	4	71,9	72,4	71,7	70,8	71,2	70,6
Rozměr ve směru:		5	71,8	71,8	71,4	71,2	71,1	70,6
a [mm]	b [mm]	6	72,6	72,7	72,2	72,3	72,8	72,2
301,57	300,12	7	72,1	72,6	71,8	71,8	72,8	71,8
301,35	299,91	8	73,4	73,7	72,7	71,8	72,2	71,7
301,20	299,62	9	72,3	72,6	71,7	71,8	72,0	71,5
300,58	299,91	10	72,7	72,7	72,2	72,5	72,9	72,3
301,03	300,25	11	74,9	74,7	73,7	73,7	74,5	73,6
		12	74,2	74,0	73,5	74,2	74,5	73,7
		13	74,2	74,5	73,7	74,2	74,7	74,1
		14	74,3	75,1	74,3	74,5	75,8	74,6
		15	73,8	74,9	73,8	73,8	75,2	73,8



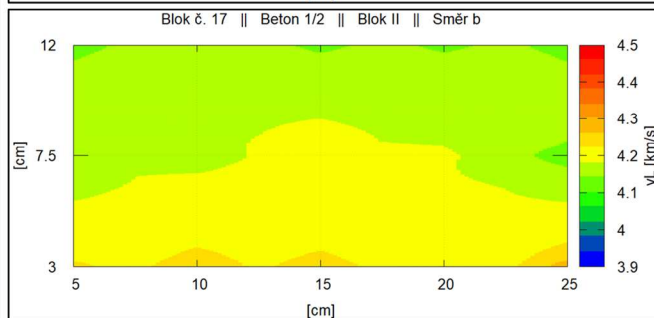
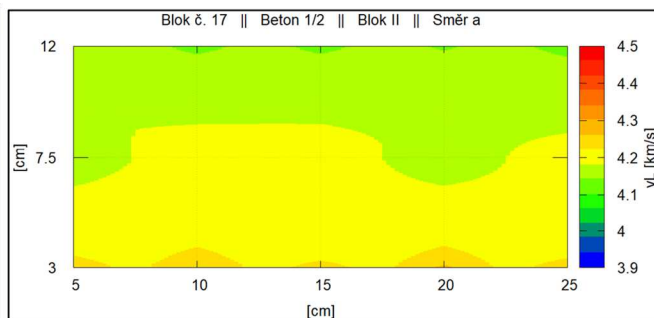
Id. č.:	15	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	1/1	1	72,1	72,1	71,8	72,8	72,3	72,1
Blok:	III	2	71,4	71,9	71,4	71,8	72,2	71,8
Hmotnost [kg]		3	71,4	72,2	71,3	72,2	72,3	72,3
	31,02	4	72,0	72,7	71,8	72,0	72,0	71,8
Rozměr ve směru:		5	72,6	73,0	72,5	72,0	71,8	71,3
a [mm]	b [mm]	6	73,1	73,7	73,0	72,1	72,3	71,6
		7	72,8	73,6	72,7	72,4	73,2	72,3
		8	72,4	72,8	72,2	72,0	72,5	71,7
		9	72,6	72,8	72,3	72,3	72,6	72,0
		10	72,3	72,2	71,8	72,5	73,1	72,3
		11	73,2	73,6	72,8	73,8	74,1	73,3
		12	73,6	73,5	72,9	73,0	73,5	72,9
		13	73,3	74,3	73,5	73,0	73,1	72,5
		14	73,3	74,9	73,8	72,3	73,0	72,1
		15	74,1	75,5	73,8	73,3	74,1	73,2



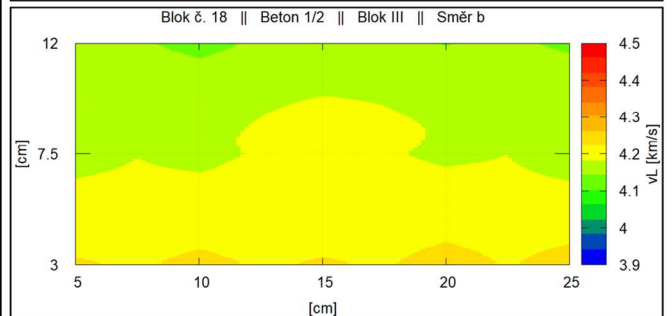
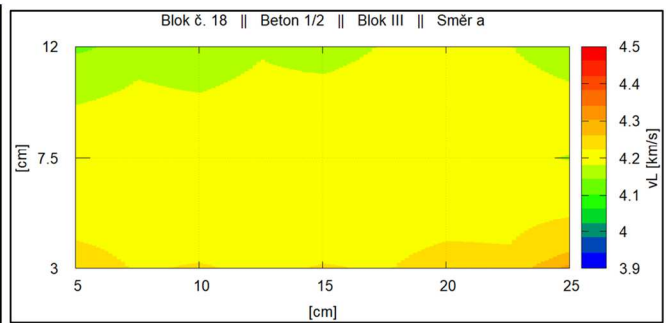
Id. č.:	16	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	1/2	1	71,9	71,0	70,8	71,4	71,1	71,1
Blok:	I	2	71,3	70,6	70,5	70,8	70,9	70,4
Hmotnost [kg]		3	71,1	71,2	71,0	71,2	70,9	70,8
	31,453	4	71,1	71,1	70,9	71,5	70,8	70,8
Rozměr ve směru:		5	70,8	70,8	71,0	71,2	71,4	70,9
a [mm]	b [mm]	6	71,9	71,8	71,9	72,8	72,6	72,4
		7	72,4	72,3	72,0	71,8	71,3	70,9
		8	72,5	72,2	71,4	71,7	71,6	71,4
		9	72,3	72,1	72,1	72,1	71,8	71,6
		10	72,1	71,8	71,6	72,8	72,0	72,0
		11	73,7	73,3	72,9	72,6	72,2	72,2
		12	73,4	73,3	73,0	73,1	73,0	72,6
		13	73,2	73,5	73,0	72,7	73,0	72,7
		14	73,0	72,8	72,6	73,0	73,9	72,9
		15	73,2	73,5	72,9	72,2	73,1	72,1



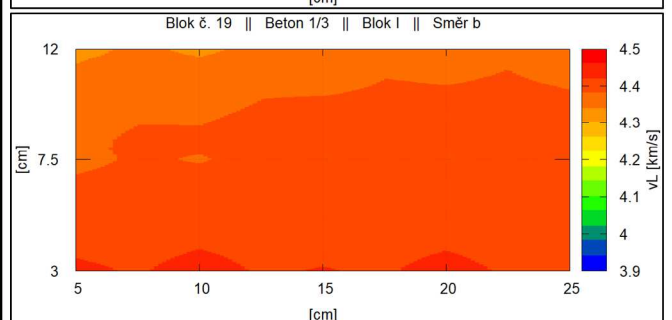
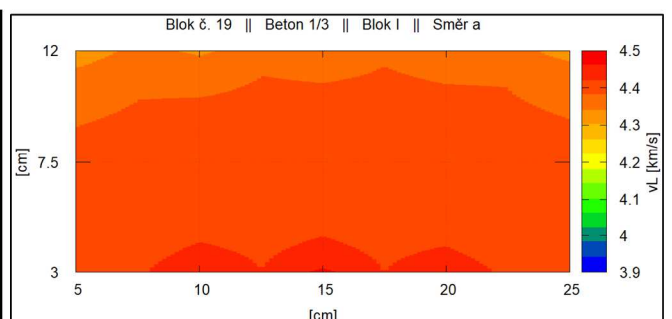
Id. č.:	17	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	1/2	1	71,7	71,0	70,7	71,2	71,1	70,6
Blok:	II	2	71,2	70,7	70,4	70,7	70,4	70,1
Hmotnost [kg]		3	71,6	71,3	71,0	70,7	70,7	70,4
	31,11	4	70,6	70,7	70,5	71,6	71,3	71,0
Rozměr ve směru:		5	71,3	71,5	70,8	69,9	70,0	70,0
a [mm]	b [mm]	6	71,9	72,2	72,0	73,0	73,1	73,2
		7	72,6	73,0	72,5	71,9	72,0	71,4
		8	72,0	72,1	71,7	71,9	71,4	71,0
		9	72,0	72,3	71,8	73,1	71,8	71,2
		10	72,8	72,6	72,5	72,7	72,6	72,0
		11	72,4	72,5	72,3	73,1	73,2	72,6
		12	73,2	73,4	72,9	72,1	72,6	72,0
		13	73,3	73,6	72,5	72,7	73,2	72,5
		14	72,9	73,3	72,7	72,8	73,0	72,4
		15	73,2	73,5	73,0	72,8	73,6	72,4



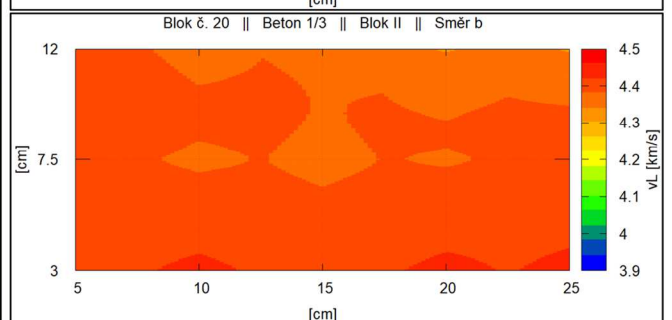
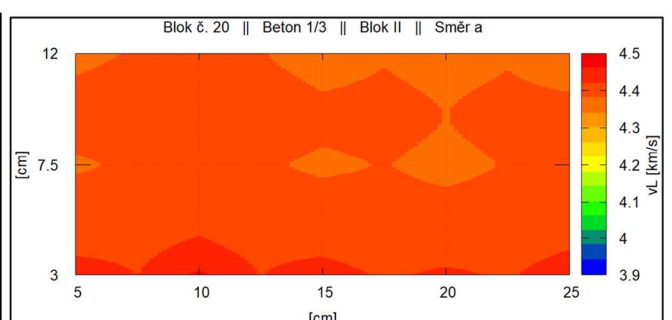
Id. č.:	18	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	1/2	1	70,9	70,8	70,4	71,3	70,9	70,6
Blok:	III	2	71,9	71,2	71,0	70,9	70,6	70,3
Hmotnost [kg]		3	71,5	71,4	71,3	71,1	71,0	70,8
	31,586	4	71,1	70,9	71,0	70,4	70,4	70,3
Rozměr ve směru:		5	70,0	69,7	69,8	70,4	70,7	70,3
a [mm]	b [mm]	6	71,7	72,5	72,4	72,0	72,4	72,4
300,77	299,96	7	72,0	72,2	72,1	71,7	72,6	71,7
301,80	300,35	8	71,8	71,8	71,4	71,5	71,2	71,1
301,09	300,11	9	72,2	72,1	72,1	72,7	71,9	71,5
302,30	300,40	10	72,8	71,8	71,7	72,4	72,1	71,7
302,01	300,38	11	73,8	72,9	72,7	72,8	72,5	72,2
		12	73,7	72,4	72,2	73,3	73,3	72,8
		13	72,5	72,8	72,5	72,0	72,6	72,2
		14	71,9	72,2	71,5	72,5	73,0	72,2
		15	72,6	73,1	72,8	72,7	73,2	72,6



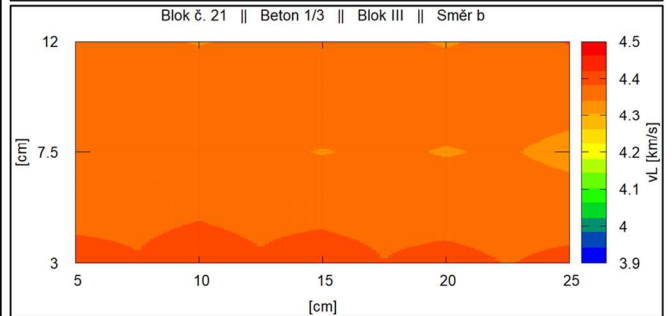
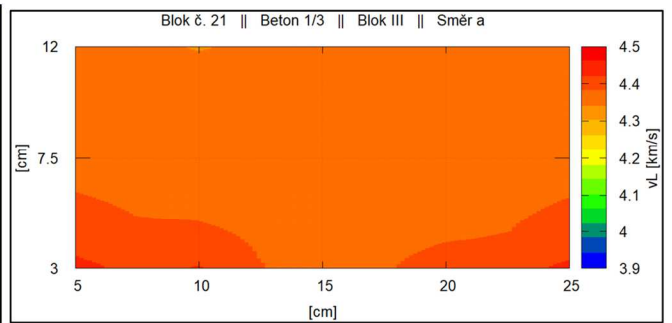
Id. č.:	19	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	1/3	1	68,4	68,3	68,0	68,0	67,5	67,3
Blok:	I	2	67,3	67,9	67,6	67,6	67,1	67,1
Hmotnost [kg]		3	67,8	67,3	67,2	68,0	67,7	67,8
	31,541	4	67,8	67,6	67,6	67,5	67,3	67,3
Rozměr ve směru:		5	68,4	68,4	68,7	67,8	68,1	68,0
a [mm]	b [mm]	6	68,8	68,5	68,8	68,3	68,4	68,5
302,39	300,35	7	68,4	68,8	68,6	68,4	68,4	68,6
301,90	300,33	8	68,2	68,5	68,8	68,0	67,9	68,0
302,24	300,38	9	68,1	68,4	68,5	68,4	68,7	68,6
300,76	299,93	10	68,7	68,9	68,7	68,6	68,7	68,7
301,11	299,90	11	70,6	69,9	70,1	69,5	69,7	69,7
		12	69,6	69,6	69,8	69,3	69,4	69,6
		13	69,2	69,0	69,6	69,3	69,0	69,2
		14	69,0	69,1	69,5	68,9	68,9	68,6
		15	69,6	69,7	70,5	69,1	68,6	68,9



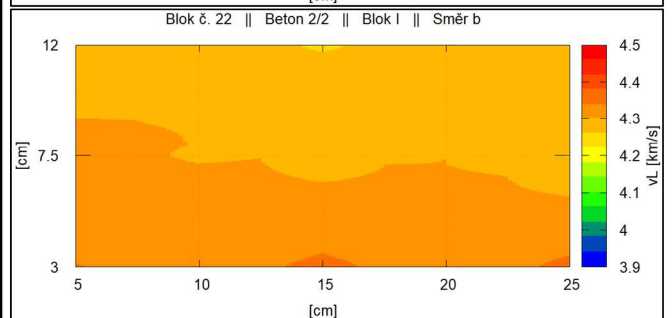
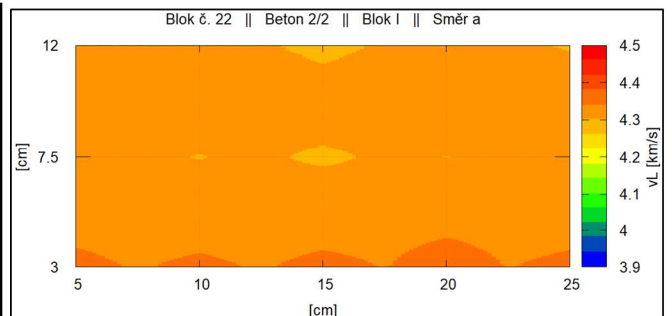
Id. č.:	20	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	1/3	1	67,9	67,9	67,7	68,8	67,9	68,2
Blok:	II	2	67,5	67,4	67,2	67,7	67,3	67,4
Hmotnost [kg]		3	68,0	67,9	67,4	68,5	69,1	68,2
	31,182	4	68,2	68,0	67,8	67,7	67,2	67,4
Rozměr ve směru:		5	67,8	67,5	67,5	67,6	67,5	67,3
a [mm]	b [mm]	6	68,7	68,7	68,6	68,6	68,2	68,6
301,61	300,87	7	69,3	69,3	69,1	68,9	68,5	68,8
301,39	300,81	8	69,1	69,0	69,1	69,0	68,7	69,2
301,56	301,14	9	68,1	68,4	68,1	69,0	68,6	68,9
301,09	300,37	10	69,0	68,8	69,1	68,7	68,3	68,4
300,98	300,24	11	69,1	68,9	69,1	68,0	68,0	68,2
		12	68,8	68,6	68,9	69,1	68,7	69,1
		13	68,9	69,4	69,3	68,8	68,6	68,8
		14	69,0	69,2	69,2	69,4	69,2	69,5
		15	69,2	69,2	69,3	69,5	69,2	69,4



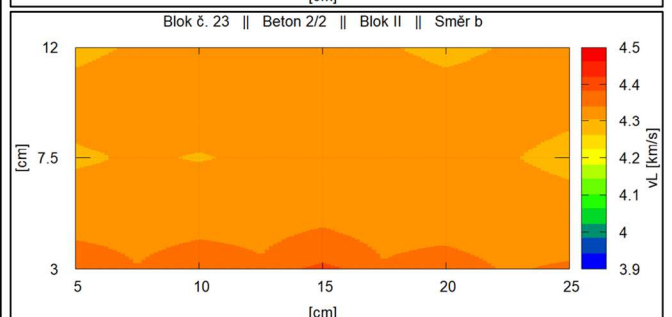
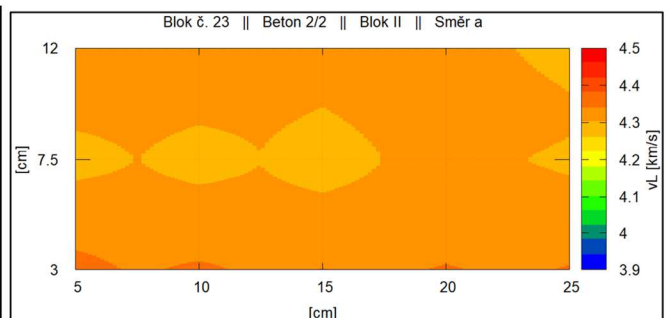
Id. č.:	21	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	1/3	1	68,0	67,5	67,7	68,2	68,3	68,4
Blok:	III	2	68,0	68,0	68,3	68,1	68,0	68,1
Hmotnost [kg]		3	69,0	68,9	69,3	68,0	68,1	67,9
	31,111	4	68,5	68,4	68,9	67,9	68,1	68,6
Rozměr ve směru:		5	68,0	67,6	68,0	67,8	68,3	68,7
a [mm]	b [mm]	6	69,0	68,7	69,2	69,2	69,8	70,4
302,02	300,61	7	69,4	69,2	69,7	69,1	69,2	69,6
301,74	300,41	8	69,5	69,1	69,8	69,3	69,0	69,5
302,03	300,47	9	69,3	69,3	69,6	68,7	68,6	68,6
301,23	300,18	10	69,2	68,8	68,9	68,9	69,0	68,9
300,75	300,18	11	69,4	69,1	69,4	68,8	68,9	69,3
		12	69,5	69,4	69,8	69,3	69,2	69,3
		13	69,1	69,6	69,6	68,9	68,7	69,1
		14	69,0	69,4	69,6	69,0	69,2	69,7
		15	68,9	69,1	69,4	68,2	68,3	69,0



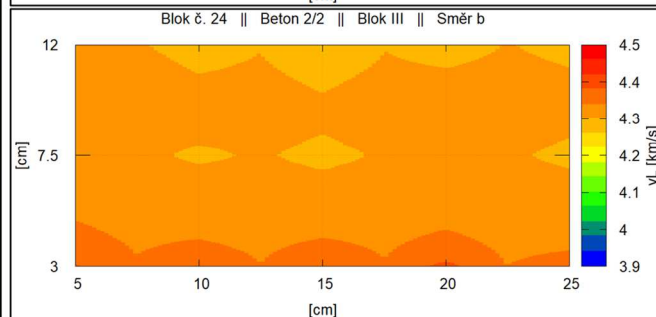
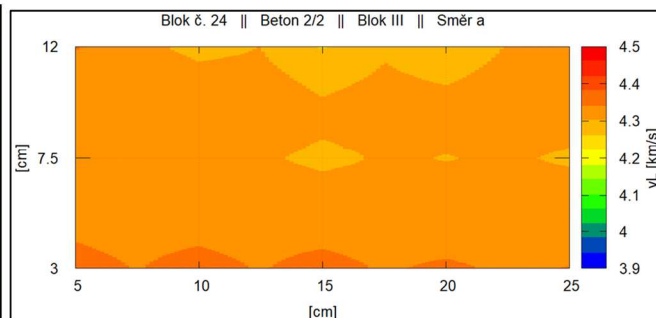
Id. č.:	22	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	2/2	1	69,2	68,9	68,5	69,7	69,2	69,2
Blok:	I	2	68,8	69,2	68,8	69,9	69,4	69,3
Hmotnost [kg]		3	68,9	69,1	68,5	69,2	68,7	68,8
	31,103	4	69,0	68,4	68,1	70,5	69,6	69,5
Rozměr ve směru:		5	68,8	69,3	68,7	69,3	69,0	68,8
a [mm]	b [mm]	6	69,2	70,0	69,7	71,0	70,9	70,5
300,01	301,18	7	70,0	69,7	69,7	70,4	70,1	69,8
300,08	301,61	8	70,1	70,1	69,9	70,7	70,4	70,1
300,17	301,40	9	69,5	70,0	70,0	70,7	70,1	69,6
300,07	300,93	10	69,7	69,3	69,7	70,5	69,8	69,8
300,51	302,07	11	69,6	69,8	69,5	70,9	70,7	70,2
		12	70,0	69,4	69,4	70,7	70,5	70,0
		13	70,0	70,2	70,1	71,2	71,0	70,8
		14	69,2	70,1	70,0	71,2	70,1	69,9
		15	69,9	70,0	69,7	70,6	70,1	69,9



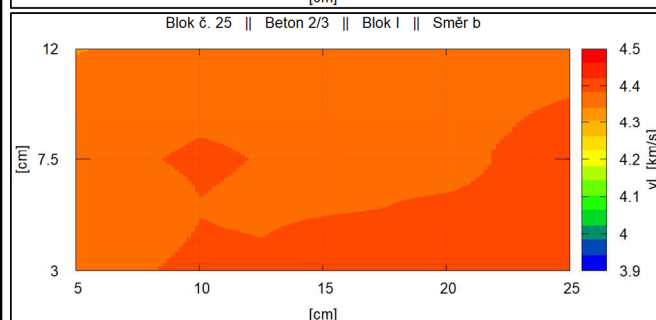
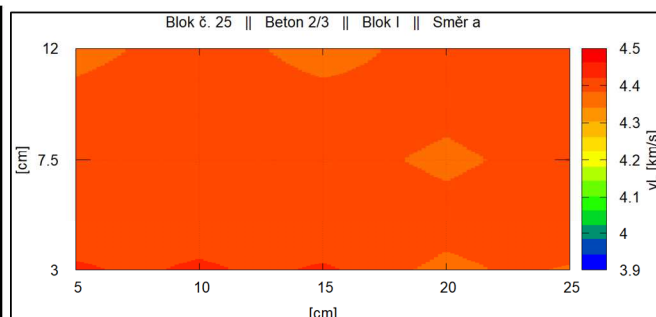
Id. č.:	23	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	2/2	1	68,7	69,3	68,7	68,9	68,7	68,5
Blok:	II	2	68,9	69,7	69,0	68,8	68,6	68,9
Hmotnost [kg]		3	69,1	69,7	69,4	68,4	68,3	68,3
	31,319	4	69,0	69,5	69,4	69,0	68,7	68,9
Rozměr ve směru:		5	69,2	69,2	69,6	69,3	69,0	69,2
a [mm]	b [mm]	6	70,1	70,3	70,4	70,5	70,4	70,5
301,54	301,01	7	69,6	70,2	70,3	70,0	70,0	69,8
301,52	300,94	8	70,6	70,6	71,0	69,8	70,0	69,7
301,68	301,25	9	70,2	70,7	70,7	70,2	70,1	69,8
301,18	300,46	10	70,0	70,9	70,5	70,2	70,3	70,1
301,10	300,32	11	69,5	70,6	69,9	70,6	70,0	70,1
		12	69,6	69,9	70,2	69,8	69,8	69,8
		13	69,7	70,0	70,6	70,0	69,7	69,8
		14	69,5	69,6	70,7	70,3	70,3	70,3
		15	69,8	70,3	71,2	69,7	69,6	69,9



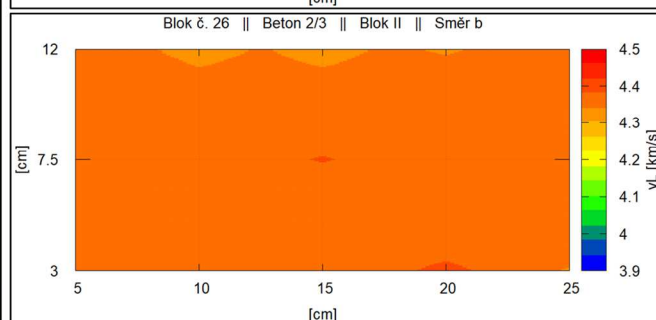
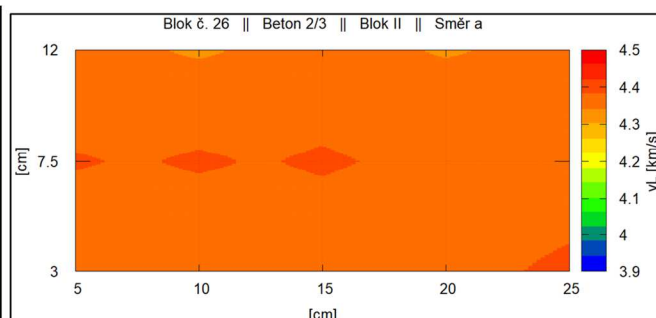
Id. č.:	24	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	2/2	1	69,4	69,2	68,9	68,8	68,3	68,3
Blok:	III	2	69,2	69,2	68,9	69,0	68,6	68,4
Hmotnost [kg]		3	69,1	69,1	68,8	68,6	68,7	68,2
	31,26	4	69,1	69,8	69,0	68,4	68,4	68,1
Rozměr ve směru:		5	69,5	69,7	69,2	69,1	68,8	68,9
a [mm]	b [mm]	6	70,7	70,1	70,1	70,1	70,4	69,8
		7	70,4	70,2	70,0	70,0	69,6	69,4
		8	70,5	70,5	70,3	70,5	70,1	70,0
		9	69,8	70,1	69,8	70,3	69,9	69,9
		10	69,9	69,5	69,9	69,6	69,3	69,0
		11	69,7	69,5	69,1	69,6	69,7	69,7
		12	70,6	70,2	70,4	70,5	70,2	70,0
		13	70,8	71,0	70,8	70,5	70,9	70,1
		14	70,5	71,1	70,3	70,3	70,3	69,8
		15	70,1	69,9	69,8	70,4	69,9	69,8



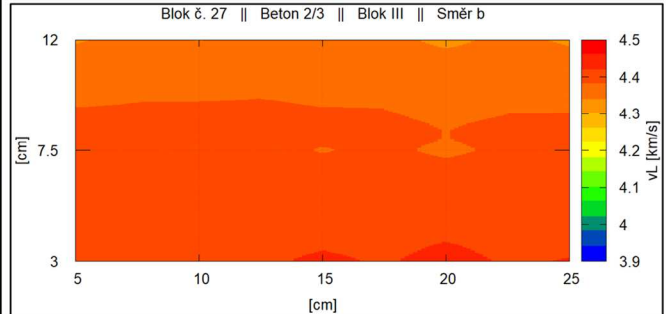
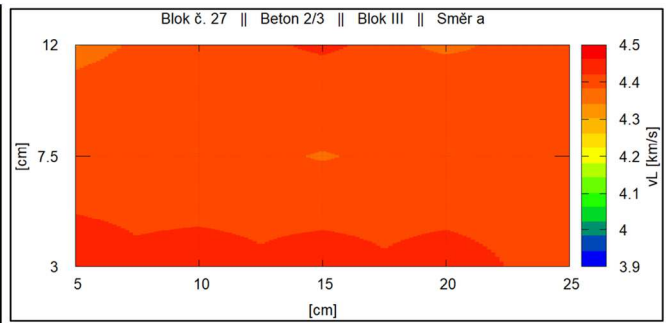
Id. č.:	25	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	2/3	1	67,9	68,2	67,8	69,0	68,9	68,5
Blok:	I	2	67,6	68,2	67,9	68,1	68,4	68,6
Hmotnost [kg]		3	68,0	68,2	67,7	68,2	68,6	68,0
	31,328	4	68,7	69,2	69,1	67,7	68,2	67,7
Rozměr ve směru:		5	68,6	68,9	69,0	67,8	69,0	68,3
a [mm]	b [mm]	6	68,0	68,5	67,8	67,4	67,8	68,3
		7	68,8	69,2	69,1	68,2	68,6	69,3
		8	68,4	68,6	68,5	68,3	69,2	68,4
		9	68,2	68,7	68,4	68,1	68,5	68,3
		10	68,4	69,0	68,8	68,8	69,4	69,1
		11	68,8	69,7	68,8	68,9	69,2	69,7
		12	68,5	69,1	68,5	68,4	69,3	68,4
		13	68,9	69,5	69,2	68,8	69,3	69,4
		14	68,8	69,2	68,3	68,8	69,3	69,4
		15	68,6	69,1	68,5	68,5	69,5	68,5



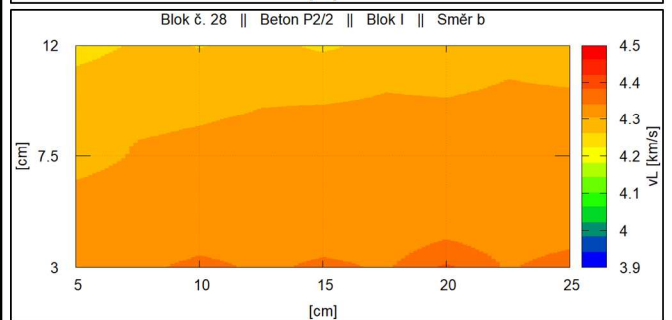
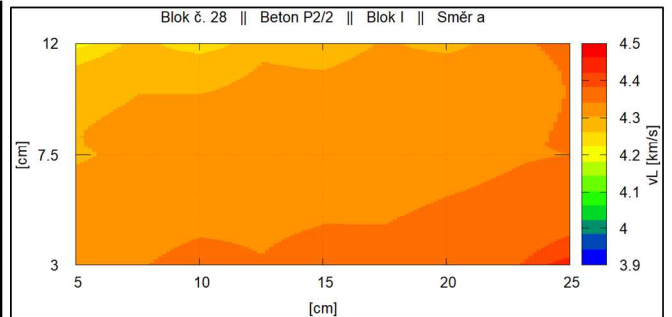
Id. č.:	26	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	2/3	1	69,0	69,1	69,4	68,8	69,0	68,3
Blok:	II	2	69,4	69,5	69,3	68,8	69,4	69,1
Hmotnost [kg]		3	69,4	69,7	69,2	68,4	69,5	68,8
	31,424	4	69,0	69,3	69,6	67,8	68,7	68,7
Rozměr ve směru:		5	68,4	68,9	68,4	68,8	69,7	69,4
a [mm]	b [mm]	6	68,9	69,4	69,4	68,2	69,4	68,5
		7	69,2	69,3	69,0	68,1	69,3	68,9
		8	68,5	69,1	68,6	68,0	69,3	68,3
		9	68,5	69,1	68,7	68,0	69,0	68,8
		10	68,9	68,8	68,9	68,1	69,1	68,6
		11	69,7	69,6	69,1	68,3	69,4	68,6
		12	69,9	70,1	69,6	68,9	70,2	69,8
		13	69,0	69,3	68,7	69,2	69,9	69,8
		14	69,4	70,5	69,5	68,8	69,8	69,4
		15	69,0	69,9	69,5	68,4	69,2	69,2



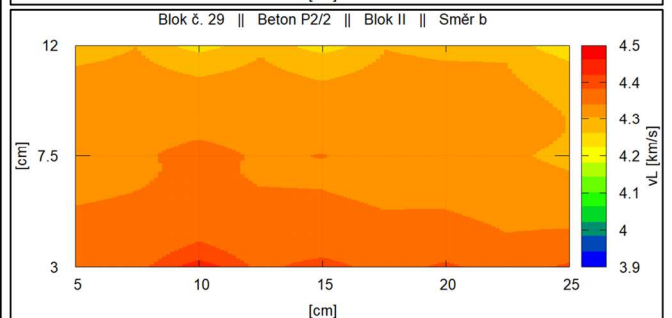
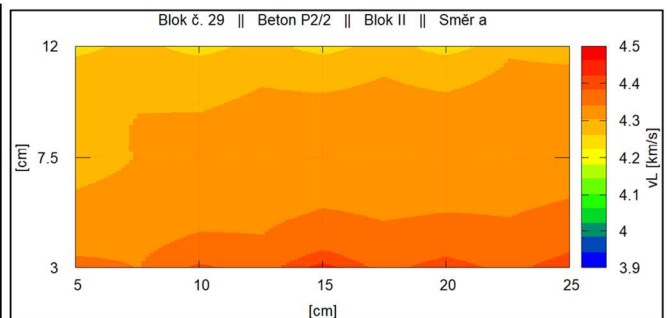
Id. č.:	27	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	2/3	1	67,4	67,2	67,1	68,2	68,1	68,4
Blok:	III	2	67,5	67,6	67,2	68,0	67,8	68,0
Hmotnost [kg]	31,663	3	67,2	67,5	67,6	67,6	67,6	67,6
Rozměr ve směru:		4	67,5	67,3	67,5	67,2	67,3	67,3
a [mm]	b [mm]	5	67,9	68,1	68,0	67,8	67,8	67,9
300,62	302,36	6	68,3	68,0	68,1	68,6	68,2	68,3
300,26	301,93	7	68,1	68,3	68,2	68,7	68,4	68,7
300,18	302,24	8	68,6	68,8	68,6	68,4	68,6	68,7
300,01	300,99	9	68,4	68,5	68,6	68,2	68,0	68,4
300,03	301,40	10	68,0	67,8	68,2	68,2	68,1	68,5
		11	69,1	69,3	69,3	69,2	69,3	69,3
		12	68,0	67,9	68,3	69,0	69,4	69,2
		13	67,6	67,7	67,8	68,8	68,7	69,2
		14	68,6	68,8	69,0	69,7	69,4	69,3
		15	68,4	68,4	68,8	69,2	69,3	69,5



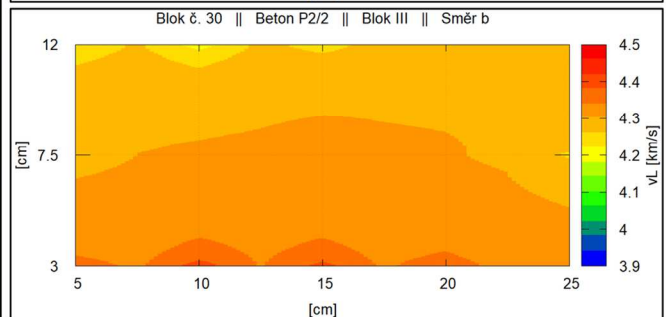
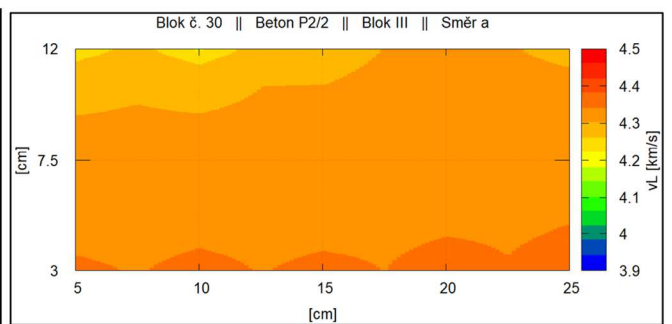
Id. č.:	28	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	P2/2	1	69,3	69,4	69,1	69,6	69,5	69,4
Blok:	I	2	69,0	68,8	68,5	69,3	69,0	68,9
Hmotnost [kg]	30,745	3	68,9	68,6	68,6	69,2	69,3	69,1
Rozměr ve směru:		4	68,7	68,7	68,5	68,5	68,7	68,6
a [mm]	b [mm]	5	67,3	67,6	67,5	69,0	69,4	68,8
300,39	300,78	6	69,2	69,2	69,4	69,8	69,7	69,9
300,48	301,39	7	69,4	69,3	69,3	70,1	70,1	69,9
300,26	301,27	8	69,6	69,5	69,6	69,6	69,7	69,7
300,82	302,04	9	69,7	69,3	69,2	70,2	70,0	70,0
301,04	301,35	10	70,6	69,6	69,8	70,3	70,2	70,1
		11	71,7	71,7	71,2	71,5	71,6	71,3
		12	71,4	71,0	70,9	70,7	70,7	71,0
		13	70,3	70,6	70,4	70,8	71,0	71,1
		14	70,2	70,3	70,0	70,3	70,7	70,9
		15	68,9	69,0	68,9	70,2	70,6	70,8



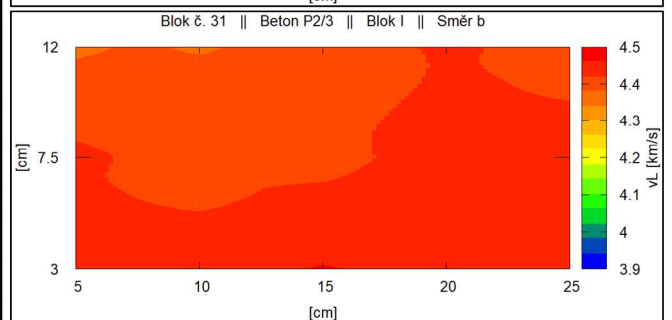
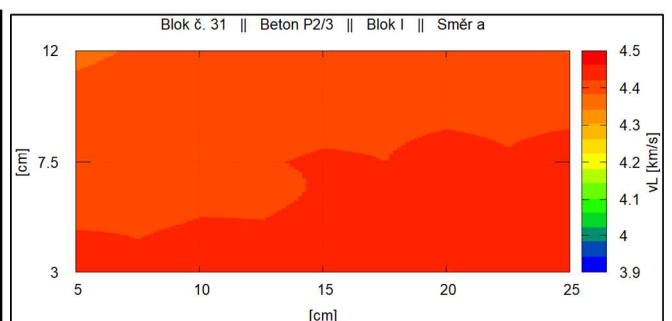
Id. č.:	29	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	P2/2	1	69,3	69,2	69,2	68,9	68,7	68,7
Blok:	II	2	68,7	68,6	68,6	67,6	67,5	67,6
Hmotnost [kg]	30,593	3	67,7	68,3	67,5	68,5	68,2	68,3
Rozměr ve směru:		4	68,3	68,3	68,4	68,5	68,6	68,5
a [mm]	b [mm]	5	68,2	68,2	68,3	68,6	68,5	68,5
301,76	301,27	6	69,8	69,4	69,5	70,4	70,6	70,2
301,57	301,17	7	69,8	69,9	69,9	69,5	69,5	69,7
301,92	301,66	8	69,8	69,8	69,5	69,5	69,1	69,4
301,20	300,70	9	70,2	70,0	70,1	69,1	69,0	69,2
301,17	300,52	10	71,0	70,9	70,4	69,7	69,6	69,6
		11	71,2	71,0	71,1	70,4	70,4	70,4
		12	71,2	71,2	71,2	71,0	71,0	71,1
		13	71,2	71,2	71,1	71,0	71,3	71,0
		14	71,4	71,1	71,2	70,3	70,2	70,1
		15	70,5	70,4	70,3	71,4	71,5	71,3



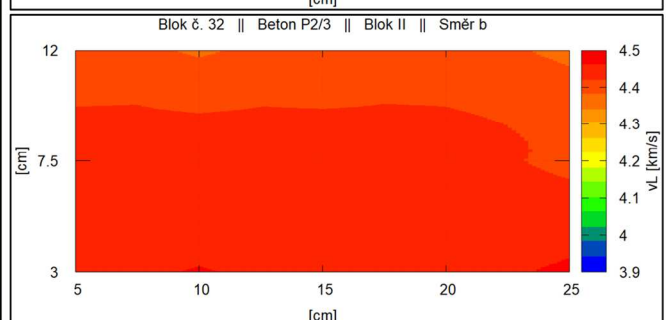
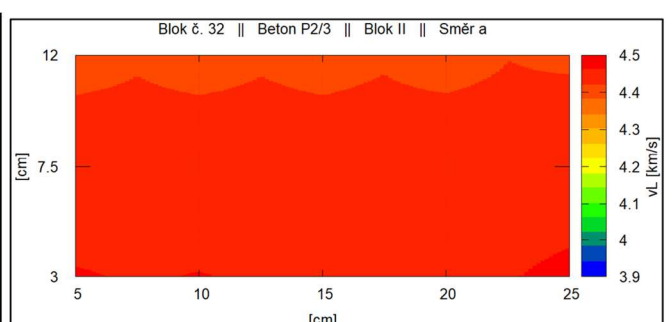
Id. č.:	30	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	P2/2	1	69,3	69,2	69,1	69,1	69,3	68,9
Blok:	III	2	69,0	69,1	68,8	68,3	68,5	68,3
Hmotnost [kg]		3	69,2	69,2	69,0	68,4	68,7	68,3
	30,581	4	69,0	68,8	68,7	68,9	68,9	69,0
Rozměr ve směru:		5	68,8	68,7	68,9	69,6	69,6	69,4
a [mm]	b [mm]	6	69,4	69,5	69,5	70,8	71,1	70,4
		7	70,1	70,0	70,0	70,0	70,2	69,8
		8	70,2	70,0	69,9	69,8	69,7	69,6
		9	69,8	70,1	69,7	70,2	70,1	69,7
		10	70,0	70,0	69,8	70,6	70,2	69,8
		11	71,2	71,5	71,1	71,6	71,5	70,8
		12	71,6	71,6	71,5	71,8	71,7	71,4
		13	70,7	70,5	70,5	71,1	71,1	70,7
		14	70,0	70,2	70,0	70,9	70,7	70,3
		15	70,5	70,7	70,2	70,6	70,6	70,3



Id. č.:	31	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	P2/3	1	67,7	67,2	67,4	67,6	67,6	67,6
Blok:	I	2	67,7	67,7	67,6	67,8	67,7	67,9
Hmotnost [kg]		3	67,6	67,8	67,5	67,5	67,2	67,4
	31,135	4	67,8	68,2	67,7	67,7	67,3	67,7
Rozměr ve směru:		5	67,7	67,8	67,9	68,0	67,9	67,9
a [mm]	b [mm]	6	67,8	67,8	67,5	68,1	67,7	68,0
		7	67,8	67,6	67,7	68,1	67,7	68,0
		8	68,1	67,8	67,9	68,5	68,1	68,3
		9	68,1	67,9	68,1	68,7	68,4	68,4
		10	68,9	68,8	68,2	68,2	68,0	67,8
		11	69,3	69,2	68,8	69,3	69,0	69,0
		12	68,6	68,7	68,5	69,2	68,7	69,0
		13	68,5	68,6	68,5	68,7	68,2	68,6
		14	68,5	68,5	68,5	68,4	67,7	68,1
		15	68,7	68,6	68,7	68,7	68,2	68,4



Id. č.:	32	Bod	T [μs] ve směru a dne:			T [μs] ve směru b dne:		
			27.6.	1.7.	9.7.	27.6.	1.7.	9.7.
Beton:	P2/3	1	67,5	67,2	67,4	67,6	67,3	67,3
Blok:	II	2	67,5	67,3	67,6	67,4	67,1	67,2
Hmotnost [kg]		3	67,9	67,6	67,9	67,3	67,4	67,5
	31,129	4	67,5	67,4	67,8	67,6	67,3	67,6
Rozměr ve směru:		5	67,2	66,9	67,0	67,1	66,8	67,0
a [mm]	b [mm]	6	67,4	67,6	67,8	68,5	68,2	67,7
		7	67,9	67,7	67,8	67,9	67,6	67,9
		8	68,1	68,0	68,0	67,8	67,4	67,7
		9	68,0	67,7	67,8	67,8	67,5	67,7
		10	68,0	67,9	67,8	67,9	67,6	67,9
		11	68,7	68,7	68,6	68,6	68,4	68,3
		12	68,6	68,7	68,8	69,0	68,9	68,6
		13	68,8	68,3	68,7	68,9	68,4	68,6
		14	68,7	68,8	68,8	68,4	67,9	68,4
		15	68,6	68,3	68,4	69,2	69,0	69,2



Příloha 2: Naměřené hodnoty odrazu *R* přístrojem Original Schmidt N

← Blok	R [-] (Original Schmidt N)						← Blok	R [-] (Original Schmidt N)						← Blok	R [-] (Original Schmidt N)					
	místo A			místo B				místo A			místo B				místo A			místo B		
	10.7.	11.7.	19.7.	10.7.	11.7.	19.7.		10.7.	11.7.	19.7.	10.7.	11.7.	19.7.		10.7.	11.7.	19.7.	10.7.	11.7.	19.7.
Id. č. 1 ♦ Beton R ♦ Blok I	40	45	37	40	39	44	Id. č. 2 ♦ Beton R ♦ Blok II	40	39	41	39	38	41	Id. č. 3 ♦ Beton R ♦ Blok III	39	41	38	44	42	42
	44	40	40	41	34	40		42	43	38	48	44	38		39	38	37	38	41	42
	39	39	39	44	41	38		41	37	38	43	41	41		40	39	41	47	38	37
	36	39	34	37	41	39		39	46	37	37	40	37		42	40	38	36	37	42
	39	37	37	38	39	34		42	38	42	40	39	35		40	38	39	44	40	38
	40	43	37	40	41	39		38	42	39	39	39	39		49	39	39	40	43	37
	38	37	38	37	38	37		38	36	35	38	40	42		38	41	42	39	43	39
	41	37	40	34	42	38		38	41	39	37	37	37		41	39	39	50	42	39
	37	42	36	38	36	39		42	37	39	45	35	40		43	36	40	39	46	41
	38	39	39	38	38	41		39	39	39	39	39	40		39	41	43	40	38	35
Id. č. 4 ♦ Beton 0/1 ♦ Blok I	47	49	41	47	47	49	Id. č. 5 ♦ Beton 0/1 ♦ Blok II	47	45	49	48	45	51	Id. č. 6 ♦ Beton 0/1 ♦ Blok III	53	51	45	47	48	44
	54	48	49	48	54	45		47	47	46	45	45	51		49	44	47	45	47	49
	44	49	42	48	54	44		45	52	49	40	46	44		46	50	42	45	50	49
	46	51	46	47	42	49		52	43	48	43	50	43		47	47	50	47	43	47
	41	43	49	45	47	49		48	54	50	48	54	45		46	44	43	48	45	48
	50	51	45	47	47	45		44	48	46	48	48	48		44	48	45	49	52	52
	44	43	47	50	47	46		44	46	48	45	53	46		48	45	48	47	48	43
	46	48	44	44	44	48		47	45	41	47	44	45		46	42	43	47	53	48
	48	47	44	53	47	41		42	53	46	48	52	48		48	48	48	44	50	49
	48	46	45	44	48	45		40	47	43	50	45	51		43	45	47	41	47	42
Id. č. 7 ♦ Beton 0/2 ♦ Blok I	49	50	54	50	49	52	Id. č. 8 ♦ Beton 0/2 ♦ Blok II	50	48	50	50	51	50	Id. č. 9 ♦ Beton 0/2 ♦ Blok III	54	48	48	54	50	52
	48	47	45	49	53	53		53	50	52	49	50	52		46	51	50	52	51	49
	50	50	49	55	50	47		49	53	51	52	53	48		50	51	51	50	51	48
	51	54	51	51	50	48		55	51	50	52	54	49		51	51	53	48	49	49
	49	53	49	50	51	49		52	50	48	50	50	50		50	50	49	54	51	49
	54	48	48	51	50	49		51	53	50	51	49	50		53	52	48	53	52	49
	52	47	48	50	48	48		52	49	56	53	53	51		47	47	49	50	52	50
	51	52	49	50	50	52		53	52	49	51	53	51		52	49	50	51	51	49
	50	50	47	50	50	50		49	51	51	50	52	47		50	51	49	50	49	53
	53	49	50	51	49	48		50	50	53	49	48	47		50	52	50	51	49	51
Id. č. 10 ♦ Beton 0/3 ♦ Blok I	55	49	53	55	54	50	Id. č. 11 ♦ Beton 0/3 ♦ Blok II	50	49	49	54	51	52	Id. č. 12 ♦ Beton 0/3 ♦ Blok III	50	49	50	48	53	55
	49	52	53	57	54	49		51	52	51	52	51	54		55	48	50	53	52	50
	54	52	51	55	54	50		52	52	51	53	53	54		51	50	54	50	53	49
	53	50	48	52	49	51		52	52	51	50	50	53		52	52	52	51	52	51
	50	54	50	53	51	52		52	53	51	51	53	54		52	52	52	53	51	51
	52	50	50	50	54	47		49	50	49	51	53	52		51	51	53	57	50	55
	49	50	49	50	51	52		50	50	53	50	51	50		52	53	51	52	56	50
	48	52	52	51	51	51		48	52	53	52	52	50		51	53	53	55	51	54
	49	51	49	53	49	50		50	53	53	53	51	53		53	50	54	51	54	50
	50	50	51	50	50	49		54	52	48	53	52	52		54	51	51	53	53	51
Id. č. 13 ♦ Beton 1/1 ♦ Blok I	51	48	48	47	46	45	Id. č. 14 ♦ Beton 1/1 ♦ Blok II	49	45	37	38	46	48	Id. č. 15 ♦ Beton 1/1 ♦ Blok III	45	39	41	44	41	38
	50	49	54	45	49	48		51	45	40	42	47	40		47	49	38	38	49	42
	51	48	49	47	46	43		45	50	41	44	40	38		42	37	35	41	47	47
	50	50	44	46	46	48		40	40	40	47	43	48		37	48	36	46	37	39
	50	52	44	50	49	45		42	46	40	44	47	40		38	40	41	44	39	37
	50	50	47	49	50	46		41	41	45	50	43	45		42	35	42	50	39	45
	46	47	43	47	49	49		44	44	41	47	43	43		47	43	39	45	42	44
	45	47	43	46	44	44		50	46	45	50	43	39		44	45	46	44	44	46
	49	47	42	47	44	39		40	49	48	42	42	46		50	48	43	39	37	41
	46	48	47	53	45	46		45	41	42	40	47	46		45	44	44	47	50	42

← Blok	R [-] (Original Schmidt N)						← Blok	R [-] (Original Schmidt N)						← Blok	R [-] (Original Schmidt N)					
	místo A			místo B				místo A			místo B				místo A			místo B		
	10.7.	11.7.	19.7.	10.7.	11.7.	19.7.		10.7.	11.7.	19.7.	10.7.	11.7.	19.7.		10.7.	11.7.	19.7.	10.7.	11.7.	19.7.
Id. č. 16 ♦ Beton 1/2 ♦ Blok I	53	45	45	47	47	47	Id. č. 17 ♦ Beton 1/2 ♦ Blok II	48	45	45	47	50	50	Id. č. 18 ♦ Beton 1/2 ♦ Blok III	48	48	46	56	46	45
	47	52	46	49	47	48		46	46	48	48	50	49		51	49	52	46	49	52
	53	50	50	50	53	52		45	48	49	47	50	47		46	49	53	48	50	48
	56	45	44	53	49	45		48	48	45	52	47	47		53	48	46	50	47	47
	53	45	50	44	45	43		48	47	43	48	46	50		45	47	42	49	51	47
	39	44	50	46	47	47		43	46	47	44	48	43		47	50	45	49	50	45
	45	45	48	43	45	45		45	44	45	52	48	47		47	49	46	49	49	46
	46	50	43	43	43	49		46	46	40	50	52	47		49	49	48	47	49	49
	46	46	49	48	44	41		50	45	44	49	48	49		46	46	46	49	49	50
	45	49	47	50	53	43		50	46	43	50	44	45		49	47	48	48	48	51
Id. č. 19 ♦ Beton 1/3 ♦ Blok I	53	47	50	53	46	49	Id. č. 20 ♦ Beton 1/3 ♦ Blok II	46	44	52	43	51	45	Id. č. 21 ♦ Beton 1/3 ♦ Blok III	56	47	49	49	50	51
	44	50	44	44	50	48		44	46	50	45	52	48		49	49	51	49	48	49
	50	47	44	48	52	51		48	48	48	54	49	43		49	48	50	46	48	49
	48	47	45	45	49	50		55	46	45	47	52	49		48	49	47	52	47	46
	44	50	46	46	48	47		46	48	53	49	48	52		46	49	47	51	50	46
	55	47	48	45	47	48		49	44	52	52	44	48		47	47	49	53	53	50
	49	48	44	50	47	46		43	48	47	50	51	53		46	49	46	54	46	49
	53	47	49	49	44	48		46	51	52	54	48	50		48	50	48	48	45	51
	46	50	46	50	46	47		46	46	45	50	51	47		54	48	55	46	50	46
	45	49	53	52	47	48		53	51	46	52	49	45		48	52	42	48	51	48
Id. č. 22 ♦ Beton 2/2 ♦ Blok I	49	56	48	48	53	48	Id. č. 23 ♦ Beton 2/2 ♦ Blok II	45	45	45	50	48	43	Id. č. 24 ♦ Beton 2/2 ♦ Blok III	49	51	52	46	49	46
	50	50	49	49	49	47		45	47	40	46	48	49		48	50	47	54	49	50
	52	55	51	54	54	49		42	46	48	52	48	47		51	50	47	47	51	52
	51	48	50	53	49	48		44	45	45	48	48	49		47	53	52	50	53	50
	53	53	50	52	55	48		45	45	45	52	49	47		50	45	51	51	51	46
	47	56	50	48	52	50		46	50	47	55	44	43		46	47	49	55	54	52
	48	47	51	52	47	47		44	43	45	47	52	50		51	45	48	51	52	50
	54	51	46	51	44	47		42	43	44	48	47	43		51	48	49	49	49	48
	50	48	48	49	56	47		44	40	45	45	47	47		50	48	49	54	48	48
	55	52	48	50	52	48		45	40	48	54	44	45		50	47	50	50	50	49
Id. č. 25 ♦ Beton 2/3 ♦ Blok I	47	43	50	47	52	46	Id. č. 26 ♦ Beton 2/3 ♦ Blok II	44	46	51	54	53	50	Id. č. 27 ♦ Beton 2/3 ♦ Blok III	50	49	50	46	49	47
	49	46	44	53	52	46		45	51	51	49	52	46		48	49	51	45	46	50
	48	54	50	47	50	47		47	50	51	48	46	48		52	51	52	50	49	49
	46	47	48	47	51	48		45	48	44	48	46	47		52	48	48	49	51	47
	47	50	45	47	47	48		45	45	46	44	47	50		52	48	51	49	47	48
	54	47	47	52	48	49		49	47	50	48	48	48		55	47	54	53	50	52
	49	46	44	44	49	47		44	51	46	47	46	48		53	50	51	50	53	52
	50	49	44	47	51	50		49	48	46	45	49	44		51	48	51	55	53	51
	48	47	50	50	48	48		46	45	49	44	47	45		54	51	50	50	53	49
	52	49	48	47	48	46		49	48	45	44	45	51		51	51	49	49	51	52
Id. č. 28 ♦ Beton P2/2 ♦ Blok I	47	49	48	48	51	41	Id. č. 29 ♦ Beton P2/2 ♦ Blok II	49	50	46	52	50	52	Id. č. 30 ♦ Beton P2/2 ♦ Blok III	46	49	52	49	47	48
	49	50	46	50	53	52		49	47	49	51	49	50		51	49	48	55	49	54
	48	51	47	47	45	45		53	53	50	49	50	48		49	51	50	51	49	49
	51	52	48	53	50	47		49	54	47	51	50	50		50	53	51	48	53	49
	49	53	50	49	52	53		50	49	50	49	51	55		48	53	49	54	49	52
	47	47	40	52	54	50		50	50	46	48	48	51		46	47	46	47	51	47
	46	46	48	51	53	48		48	49	46	50	49	48		47	48	49	50	50	50
	49	50	51	53	49	48		54	51	49	51	52	49		51	45	48	51	50	48
	50	52	52	51	53	50		53	50	53	49	51	49		52	53	56	48	47	49
	46	53	53	53	48	50		52	49	45	52	54	50		55	47	52	52	54	47

← Blok	R [-] (Original Schmidt N)						← Blok	R [-] (Original Schmidt N)					
	místo A			místo B				místo A			místo B		
	10.7.	11.7.	19.7.	10.7.	11.7.	19.7.		10.7.	11.7.	19.7.	10.7.	11.7.	19.7.
Id. č. 31 ♦ Beton P2/3 ♦ Blok I	50	49	53	49	50	52	Id. č. 32 ♦ Beton P2/3 ♦ Blok II	51	52	49	55	50	48
	49	48	48	51	48	52		53	49	49	53	50	49
	53	48	51	49	52	47		51	47	47	49	51	46
	50	52	49	51	47	47		53	48	48	50	50	50
	53	48	47	48	48	49		49	50	49	56	48	50
	47	51	46	49	48	47		48	46	51	52	51	51
	48	49	49	48	47	48		55	50	47	49	47	49
	50	48	49	50	48	52		51	48	49	46	45	51
	48	49	49	52	51	45		56	48	47	50	51	48
48	50	48	50	49	49	53	50	47	53	50	52		

Príloha 3: Naměřené hodnoty koeficientu vrácené energie Q přístrojem SilverSchmidt N

← Blok	Q [-] (SilverSchmidt N)						← Blok	Q [-] (SilverSchmidt N)						← Blok	Q [-] (SilverSchmidt N)					
	místo C			místo D				místo C			místo D				místo C			místo D		
	10.7.	11.7.	19.7.	10.7.	11.7.	19.7.		10.7.	11.7.	19.7.	10.7.	11.7.	19.7.		10.7.	11.7.	19.7.	10.7.	11.7.	19.7.
Id. č. 1 ♦ Beton R ♦ Blok I	52,5	52,0	56,0	58,0	56,0	54,0	Id. č. 2 ♦ Beton R ♦ Blok II	57,5	55,5	58,0	55,0	58,0	57,5	Id. č. 3 ♦ Beton R ♦ Blok III	57,0	58,5	52,0	55,0	54,5	54,0
	51,0	50,5	52,0	56,0	51,5	55,0		54,0	57,0	55,0	59,0	55,5	59,5		57,5	54,5	62,0	62,0	55,5	63,0
	52,0	58,0	54,5	55,5	54,5	55,0		57,5	54,5	57,5	51,5	56,0	51,5		64,0	57,0	53,0	54,0	57,5	55,5
	58,0	55,5	53,5	55,0	57,0	57,0		60,0	55,0	58,0	55,5	55,0	55,5		55,5	57,0	58,0	53,0	55,5	54,5
	60,0	55,5	58,5	57,0	52,0	57,0		55,5	60,5	52,5	57,0	60,0	61,0		58,5	54,5	53,0	54,0	56,5	55,0
	54,0	57,5	56,0	49,0	57,0	59,0		54,5	49,0	55,0	57,5	56,5	56,5		55,0	58,5	55,5	53,0	53,0	57,0
	55,0	52,5	51,0	57,0	52,5	59,0		55,0	55,5	54,0	53,0	52,5	56,5		63,5	56,5	55,5	54,0	55,5	52,0
	58,5	52,5	56,5	56,0	50,0	57,0		51,5	54,5	54,5	55,5	53,5	56,5		55,5	55,0	63,0	52,5	54,5	55,5
	54,0	54,0	56,5	57,5	56,5	52,5		56,5	51,5	51,5	56,0	57,5	53,5		61,5	55,0	53,5	59,0	56,5	55,5
52,5	53,5	52,5	56,5	57,0	53,5	51,5	55,0	57,5	57,0	56,5	57,0	55,5	55,0	55,0	55,0	52,5	58,0			
Id. č. 4 ♦ Beton 0/1 ♦ Blok I	59,0	69,0	70,0	67,0	67,5	66,5	Id. č. 5 ♦ Beton 0/1 ♦ Blok II	62,5	62,0	64,5	62,0	64,5	61,0	Id. č. 6 ♦ Beton 0/1 ♦ Blok III	71,5	58,5	67,5	65,0	71,0	66,5
	65,0	66,5	70,5	66,5	68,0	64,5		64,0	66,5	62,0	58,5	69,0	64,0		63,5	62,5	68,0	62,0	60,5	67,0
	65,5	62,5	64,0	68,0	67,5	58,5		67,0	64,0	68,5	66,5	63,5	67,0		60,5	65,5	65,5	70,5	62,0	61,5
	63,5	64,5	64,5	61,5	67,0	65,5		57,0	62,5	61,0	64,0	61,5	69,0		63,5	61,0	58,5	62,5	62,5	61,0
	63,5	67,0	63,0	65,5	62,5	66,0		65,5	62,5	60,5	69,5	64,0	60,0		66,5	63,0	65,5	68,0	60,5	66,0
	62,0	62,5	69,0	65,0	71,5	62,0		68,5	67,5	64,5	64,0	65,0	61,5		64,5	66,5	68,5	63,0	63,5	64,0
	59,5	65,0	66,0	64,5	62,0	68,5		62,0	70,0	61,0	64,0	62,5	61,5		64,0	61,0	65,0	66,0	62,0	62,5
	62,0	70,5	66,0	64,0	63,5	61,0		56,0	56,0	62,5	62,0	59,5	63,0		67,0	68,0	66,5	67,0	64,5	59,5
	64,0	60,5	63,5	59,0	67,0	67,0		65,5	64,5	64,5	59,5	66,0	64,0		62,5	65,0	68,0	59,0	56,5	57,5
66,5	64,0	61,5	66,0	63,5	62,5	59,5	70,0	63,5	62,5	64,5	61,5	65,5	73,5	64,0	68,0	57,5	64,5			
Id. č. 7 ♦ Beton 0/2 ♦ Blok I	70,5	68,5	67,5	70,0	70,5	71,5	Id. č. 8 ♦ Beton 0/2 ♦ Blok II	66,0	71,0	71,5	68,5	71,5	70,0	Id. č. 9 ♦ Beton 0/2 ♦ Blok III	64,0	71,0	70,0	64,5	67,0	68,5
	68,0	65,0	72,5	68,0	73,0	74,0		61,0	68,0	71,0	67,5	70,0	71,5		67,5	67,0	69,0	67,5	68,0	72,0
	67,0	70,0	71,5	68,5	72,5	72,0		66,5	66,5	70,0	67,5	72,0	70,0		68,0	69,5	67,0	68,5	72,5	70,0
	65,5	64,5	67,5	69,5	69,0	68,5		67,5	69,0	72,0	66,0	69,5	64,0		69,0	70,0	68,5	70,0	69,5	69,0
	79,0	70,0	70,0	70,5	68,5	68,5		66,5	66,0	68,0	66,5	68,5	66,0		67,5	71,0	65,5	69,0	72,5	67,5
	68,0	71,0	69,0	68,0	69,0	72,5		61,0	64,0	68,5	65,5	66,5	66,0		69,5	67,5	69,0	64,5	69,0	75,5
	68,0	70,0	68,5	70,5	72,5	70,0		66,0	63,0	67,5	64,5	68,5	65,5		66,0	68,0	68,0	68,5	69,5	67,0
	69,0	71,0	74,0	67,0	66,5	73,0		65,0	69,0	66,0	68,0	68,5	67,5		72,0	67,0	70,0	69,5	68,0	73,0
	62,5	71,0	74,5	69,5	67,0	67,5		67,0	68,0	72,5	68,5	67,5	69,5		69,0	67,5	65,5	66,0	68,5	68,5
66,0	67,0	71,5	67,0	69,5	70,0	66,0	68,5	68,5	69,5	69,0	69,0	73,0	67,0	67,5	69,5	69,0	72,5			

← Blok	Q [-] (SilverSchmidt N)						← Blok	Q [-] (SilverSchmidt N)						← Blok	Q [-] (SilverSchmidt N)																																																																																																																																																											
	místo C			místo D				místo C			místo D				místo C			místo D																																																																																																																																																								
	10.7.	11.7.	19.7.	10.7.	11.7.	19.7.		10.7.	11.7.	19.7.	10.7.	11.7.	19.7.		10.7.	11.7.	19.7.	10.7.	11.7.	19.7.																																																																																																																																																						
Id. č. 10 ♦ Beton 0/3 ♦ Blok I	70,0	72,5	70,5	78,0	71,0	74,0	Id. č. 11 ♦ Beton 0/3 ♦ Blok II	74,0	70,5	74,0	73,0	71,5	75,0	Id. č. 12 ♦ Beton 0/3 ♦ Blok III	66,5	71,5	71,0	68,5	73,0	73,5	75,5	71,0	76,0	70,5	71,0	73,0	70,5	71,0	71,0	77,5	71,0	72,0	74,0	71,0	76,0	74,5	75,5	70,5	70,5	73,0	73,0	68,5	73,0	73,5	71,0	68,5	72,5	71,0	73,5	67,5	71,5	73,0	78,0	75,5	68,5	74,5	72,0	70,5	72,0	74,5	72,0	69,5	69,0	72,0	70,0	70,5	70,0	73,0	77,0	72,5	74,5	77,5	70,0	71,0	70,0	73,5	71,5	75,5	72,0	70,5	70,0	74,0	73,0	66,0	70,0	69,0	68,0	70,0	71,0	71,0	72,0	77,0	73,0	76,0	68,0	77,0	69,5	70,0	69,0	70,0	78,0	71,5	69,5	75,5	69,0	71,5	77,0	70,5	72,5	72,0	70,5	72,0	71,0	72,0	71,0	69,0	70,0	66,5	74,0	66,5	69,5	68,5	73,0	72,5	72,5	69,5	75,0	70,5	69,5	72,0	69,0	77,0	72,5	68,5	66,5	72,0	65,5	71,0	73,0	66,5	72,5	77,0	74,5	74,5	74,5	71,5	69,5	71,0	69,5	68,5	73,0	70,5	67,5	74,0	70,5	71,0	70,5	73,5	77,0	73,0	76,0	71,5	71,0	73,0	67,5	70,5	70,0	68,0	68,5	73,0
	Id. č. 13 ♦ Beton 1/1 ♦ Blok I	63,0	61,5	70,5	65,0	60,5		68,0	Id. č. 14 ♦ Beton 1/1 ♦ Blok II	66,5	62,0	64,0	67,5		62,0	69,0	Id. č. 15 ♦ Beton 1/1 ♦ Blok III	60,5	62,0	63,5	65,5	66,5	65,5	71,5	62,5	71,0	60,0	58,0	59,0	67,5	67,0	65,0	67,5	65,5	68,0	65,5	63,0	67,5	57,5	59,5	66,5	57,0	66,0	64,5	64,0	67,5	66,5	63,5	61,0	65,0	68,0	65,5	63,0	67,5	64,5	64,5	55,5	56,0	55,5	70,5	62,0	59,5	63,5	67,0	59,0	62,5	65,0	63,0	66,0	66,0	64,5	59,5	61,5	59,0	64,5	59,5	58,5	60,0	63,5	66,5	64,0	66,5	59,0	62,5	66,0	63,5	69,5	65,5	62,0	62,5	61,0	63,5	60,0	63,0	54,5	57,5	60,5	68,0	65,5	67,5	65,0	63,5	68,5	66,5	67,0	63,5	66,0	64,0	64,0	66,5	63,5	67,5	64,0	73,0	67,0	64,5	67,0	56,5	55,5	63,0	66,0	68,5	67,0	66,0	65,0	59,5	60,5	69,5	59,0	65,5	69,5	63,5	65,5	63,5	60,5	57,5	69,0	67,0	63,0	66,5	52,0	66,5	59,0	60,5	63,5	66,5	59,0	68,0	60,0	63,5	65,5	63,5	60,5	57,5	69,0															
		Id. č. 16 ♦ Beton 1/2 ♦ Blok I	69,0	71,5	70,0	69,0		72,0		69,5	Id. č. 17 ♦ Beton 1/2 ♦ Blok II	69,0	70,0		69,0	70,0		69,0	72,0	Id. č. 18 ♦ Beton 1/2 ♦ Blok III	72,0	69,0	68,5	69,5	69,0	73,5	70,5	72,0	70,0	70,5	68,0	72,5	75,5	69,5	73,5	68,5	67,0	70,0	69,5	69,5	70,0	68,5	70,5	67,5	67,5	71,0	72,0	70,0	69,0	70,0	68,0	69,0	70,5	69,0	70,5	72,5	73,5	68,0	74,5	68,0	71,0	74,5	69,0	66,5	68,0	72,0	69,0	66,5	69,5	70,5	72,0	67,0	72,5	70,5	66,0	65,5	73,0	70,0	70,0	71,5	70,0	66,5	69,0	64,0	67,0	72,0	67,5	66,5	70,5	72,0	69,5	69,0	66,5	69,5	69,0	67,0	71,0	69,5	64,5	70,0	66,5	63,5	70,5	68,0	65,0	70,0	71,0	74,0	71,0	68,0	65,0	69,5	68,0	74,0	73,0	69,0	64,0	65,0	69,0	72,5	67,0	70,5	67,5	68,5	67,0	74,0	71,0	73,5	68,0	69,5	71,5	71,0	70,5	69,0	75,5	67,0	69,0	74,5	70,0	73,0	70,5	71,0	70,0	71,0	70,5	72,5	70,5	68,5	70,0	68,5	68,5	70,5	67,0	68,5	72,5	69,5	63,0	71,0	67,5	68,0	69,0	69,0	71,0	73,0	64,5	67,5	71,0	64,5	70,0	66,5
			Id. č. 19 ♦ Beton 1/3 ♦ Blok I	71,5	72,0	73,0		62,0		70,5		63,5	Id. č. 20 ♦ Beton 1/3 ♦ Blok II		70,0	71,0		73,0	69,5		73,0	72,0	Id. č. 21 ♦ Beton 1/3 ♦ Blok III	60,0	67,5	72,5	68,5	70,5	67,0	69,5	69,5	74,5	62,5	71,5	68,5	65,5	64,5	69,5	71,0	64,0	69,0	71,0	71,0	73,5	68,5	68,0	68,0	68,0	71,5	68,5	69,5	66,5	69,5	64,5	67,0	68,5	72,5	72,0	70,0	68,0	69,5	65,0	68,5	64,0	70,5	69,0	72,5	74,0	73,5	71,5	71,0	71,0	61,0	72,0	68,0	70,5	68,0	74,0	69,5	65,0	68,5	64,0	70,5	69,0	73,0	73,5	68,0	73,5	73,5	74,0	63,0	73,5	69,0	71,0	73,0	68,0	70,0	69,5	76,0	71,5	74,0	70,0	72,5	77,5	67,0	70,5	72,5	65,0	72,5	67,0	67,0	63,0	66,0	65,0	69,5	75,5	76,0	69,0	69,0	74,0	72,0	70,0	65,5	61,0	68,5	70,0	71,5	68,0	64,5	71,0	70,0	62,5	65,5	67,0	72,0	71,0	66,0	71,0	72,0	68,0	67,5	72,0	67,0	65,0	62,0	69,5	68,0	69,0	67,0	66,0	68,0	73,0	69,0	72,0	76,0	67,5	71,0	69,0	64,0	66,0	69,0									
				Id. č. 22 ♦ Beton 2/2 ♦ Blok I	71,0	65,0		70,5		73,5		72,0			72,0	Id. č. 23 ♦ Beton 2/2 ♦ Blok II		64,5	73,5		65,5	67,0		62,5	63,5	Id. č. 24 ♦ Beton 2/2 ♦ Blok III	70,0	73,5	67,5	71,0	67,5	70,0	70,5	71,5	71,0	70,5	71,5	70,5	68,0	71,0	72,0	69,0	71,0	72,5	71,5	70,5	69,5	70,5	72,0	69,0	73,0	71,5	71,5	74,5	77,0	72,0	67,5	73,0	68,5	70,5	69,5	73,5	75,5	71,0	68,5	76,0	70,0	71,0	78,0	70,5	69,5	69,0	70,5	71,0	70,5	60,5	65,5	69,0	68,5	63,0	67,0	72,0	73,5	70,0	72,0	71,5	72,0	70,5	70,5	71,5	71,5	71,0	69,5	63,0	61,0	65,5	59,5	66,0	68,5	72,0	67,5	67,5	70,0	73,0	69,5	67,0	72,0	73,0	70,5	74,0	70,5	65,0	65,5	66,0	65,5	64,0	72,0	71,0	67,0	70,0	71,0	71,0	69,5	72,5	71,0	67,5	71,0	70,5	67,5	68,5	69,0	68,0	73,0	67,0	73,0	71,5	73,0	71,0	71,5	70,0	72,0	72,5	73,5	69,5	70,0	71,0	68,0	68,0	71,0	68,5	69,5	70,0																		

← Blok	Q [-] (SilverSchmidt N)						← Blok	Q [-] (SilverSchmidt N)						← Blok	Q [-] (SilverSchmidt N)					
	místo C			místo D				místo C			místo D				místo C			místo D		
	10.7.	11.7.	19.7.	10.7.	11.7.	19.7.		10.7.	11.7.	19.7.	10.7.	11.7.	19.7.		10.7.	11.7.	19.7.	10.7.	11.7.	19.7.
Id. č. 25 ♦ Beton 2/3 ♦ Blok I	63,5	68,5	68,5	65,5	67,0	68,0	Id. č. 26 ♦ Beton 2/3 ♦ Blok II	65,0	72,5	71,0	70,5	74,0	71,0	Id. č. 27 ♦ Beton 2/3 ♦ Blok III	69,5	78,0	71,5	73,0	67,0	70,5
	66,0	69,5	69,5	69,0	69,0	69,0		70,5	62,0	70,0	71,0	72,0	66,5		65,5	68,0	70,5	73,0	72,5	72,5
	69,0	75,5	68,5	71,0	67,0	72,5		62,5	68,5	70,5	62,5	66,5	64,5		75,5	71,5	76,0	70,0	68,0	72,0
	75,0	68,5	69,5	75,0	65,0	73,0		67,5	66,0	68,5	70,0	71,0	67,5		68,0	71,0	74,0	73,0	66,5	70,0
	66,5	66,0	71,0	71,5	68,0	68,5		66,0	72,5	65,0	68,0	74,5	71,0		72,5	75,0	69,5	71,5	70,5	73,5
	70,0	69,5	70,0	69,5	71,0	69,0		72,5	68,5	69,5	71,0	66,5	71,5		73,0	75,0	73,0	73,0	66,0	70,5
	74,0	66,0	72,5	64,5	64,5	68,0		64,0	68,5	67,5	65,0	72,5	70,0		76,5	72,5	71,5	78,0	73,0	70,0
	71,5	75,0	71,0	70,0	69,5	72,0		67,5	66,5	69,0	68,0	71,5	72,5		73,0	79,0	73,0	71,0	73,5	69,5
	72,5	71,0	69,0	71,0	69,0	72,5		74,0	71,0	71,0	71,0	71,0	68,0		74,5	72,0	71,0	70,0	69,0	75,5
	69,0	71,5	68,5	73,0	72,5	68,0		68,0	70,0	67,5	67,5	70,0	73,0		73,0	72,5	69,5	73,0	73,0	71,0
Id. č. 28 ♦ Beton P2/2 ♦ Blok I	66,0	74,0	71,5	70,5	74,0	66,5	Id. č. 29 ♦ Beton P2/2 ♦ Blok II	68,0	67,5	64,5	75,5	68,0	68,0	Id. č. 30 ♦ Beton P2/2 ♦ Blok III	67,5	64,0	70,0	66,0	71,5	70,5
	67,5	69,0	64,0	71,0	66,0	68,0		63,5	70,0	67,0	67,5	74,5	73,5		67,0	65,0	65,0	68,5	71,0	75,5
	63,5	66,5	69,5	67,5	64,5	71,0		68,5	67,5	70,5	69,5	72,0	65,5		67,5	70,5	63,5	71,0	73,5	70,5
	61,0	67,5	66,0	68,0	66,5	75,5		65,0	68,5	68,0	72,5	64,5	62,0		68,0	70,0	72,0	74,0	67,0	69,5
	73,0	71,5	65,5	67,5	65,5	72,0		66,5	70,0	64,5	60,0	69,0	67,5		69,5	67,0	71,5	67,5	73,0	64,5
	69,5	66,5	74,0	64,0	71,0	71,0		64,5	68,5	68,5	64,5	71,0	66,0		66,5	66,5	66,5	71,0	70,0	68,0
	66,5	68,0	65,0	68,0	68,0	73,5		67,0	66,0	72,5	70,5	68,5	76,0		74,5	68,5	70,5	62,0	73,0	68,5
	68,5	66,5	64,5	64,0	72,0	67,0		69,0	70,5	68,0	69,5	70,0	73,5		73,0	72,5	69,0	70,5	69,5	68,0
	70,0	67,5	67,5	67,0	66,0	68,5		73,0	66,5	63,5	72,5	66,5	67,5		65,0	69,5	73,5	69,5	70,5	66,0
	70,0	65,5	72,0	66,0	70,0	69,5		64,5	67,5	67,5	69,5	74,5	65,5		66,0	67,0	75,0	69,5	68,0	68,5
Id. č. 31 ♦ Beton P2/3 ♦ Blok I	67,0	65,0	68,0	63,0	69,0	69,0	Id. č. 32 ♦ Beton P2/3 ♦ Blok II	71,0	63,5	65,5	71,5	65,5	65,5							
	65,5	68,5	71,0	75,0	70,5	62,0		65,5	63,5	65,5	72,5	66,5	68,5							
	67,0	68,0	72,0	72,5	69,5	72,0		70,0	66,5	66,0	64,5	67,5	66,5							
	65,0	67,5	72,5	66,0	67,5	72,0		60,5	66,5	67,0	65,5	71,0	66,5							
	63,5	69,5	68,0	67,0	65,0	66,5		71,5	61,0	69,0	70,5	63,0	67,0							
	71,0	69,5	66,5	68,5	63,5	66,5		70,0	64,0	67,5	68,5	68,0	69,0							
	66,5	65,5	68,0	71,5	64,5	63,0		61,5	62,5	67,5	73,0	64,5	65,0							
	65,5	68,0	65,0	66,0	65,0	65,0		66,5	61,5	65,5	67,0	67,0	66,0							
	59,5	63,5	65,0	67,5	65,0	65,0		60,0	69,0	68,0	69,5	67,0	68,0							
	66,5	66,5	66,0	67,0	64,0	68,0		62,0	66,5	66,0	67,5	67,5	65,0							

Příloha 4: Naměřené hodnoty průměru a výšky zkušebních těles

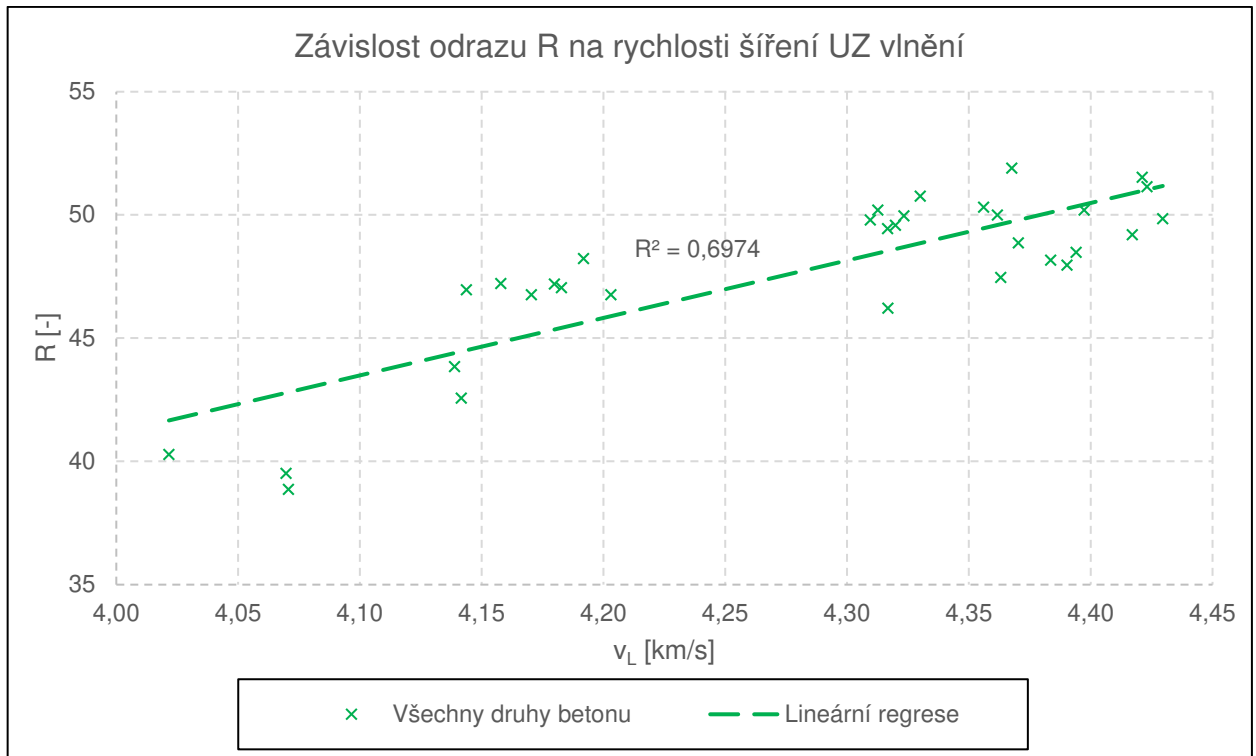
Těleso	Rozměr		Těleso	Rozměr		Těleso	Rozměr		Těleso	Rozměr		Těleso	Rozměr		Těleso	Rozměr	
	d [mm]	h [mm]		d [mm]	h [mm]		d [mm]	h [mm]		d [mm]	h [mm]		d [mm]	h [mm]		d [mm]	h [mm]
1.A	100,15	101,26	1.B	100,27	101,67	1.C	100,18	102,10	1.D	100,10	101,76	2.A	100,25	101,32	2.B	100,35	101,40
	100,19	101,60		100,20	101,63		100,27	102,13		100,14	101,65		100,57	101,51		100,45	101,32
	100,15	101,38		100,23	101,53		100,31	102,19		100,21	102,03		100,33	101,44		100,30	101,36
	100,16	101,23		100,11	101,51		100,21	102,24		100,20	101,68		100,34	101,33		100,40	101,34
2.C	100,40	101,80	2.D	100,21	101,40	3.A	103,40	105,06	3.B	103,51	105,22	3.C	103,51	105,39	3.D	103,40	104,71
	100,24	101,95		100,44	101,28		103,48	105,04		103,48	105,21		103,49	105,80		103,69	104,89
	100,34	101,84		100,23	101,27		103,46	105,47		103,44	105,16		103,44	105,81		103,45	104,87
	100,31	101,79		100,48	101,31		103,48	105,16		103,43	105,08		103,50	105,28		103,47	104,87
4.A	103,45	106,30	4.B	103,64	106,02	4.C	103,49	106,05	4.D	103,37	105,69	5.A	103,61	105,82	5.B	103,61	105,35
	103,58	105,82		103,58	106,25		103,44	106,08		103,43	105,96		103,55	105,65		103,47	105,36
	103,28	105,90		103,61	106,15		103,58	106,02		103,45	105,98		103,50	105,72		103,44	105,60
	103,23	106,19		103,48	105,89		103,48	106,17		103,52	105,77		103,43	105,66		103,52	105,67
5.C	103,51	105,52	5.D	103,50	106,26	6.A	103,55	106,32	6.B	103,60	105,83	6.C	103,61	105,65	6.D	103,54	105,98
	103,68	105,69		103,60	106,32		103,35	106,48		103,50	105,78		103,51	105,66		103,53	105,87
	103,57	106,07		103,53	106,52		103,51	106,59		103,38	105,76		103,61	106,05		103,59	105,85
	103,57	106,15		103,49	106,49		103,58	106,32		103,54	105,57		103,45	106,22		103,59	106,08
7.A	103,56	106,40	7.B	103,54	105,39	7.C	103,54	105,65	7.D	103,60	106,52	8.A	100,41	101,48	8.B	100,29	102,02
	103,49	106,32		103,50	105,28		103,58	105,38		103,46	106,53		100,20	101,65		100,19	101,95
	103,57	106,29		103,49	105,17		103,65	105,76		103,60	106,57		100,26	101,46		100,23	102,17
	103,46	106,44		103,53	105,29		103,46	106,06		103,53	106,48		100,31	101,42		100,32	102,08
8.C	100,48	101,88	8.D	100,29	101,59	9.A	103,56	105,78	9.B	103,46	106,21	9.C	103,44	105,73	9.D	103,55	106,02
	100,08	101,60		100,23	101,53		103,57	105,90		103,50	105,87		103,53	105,68		103,57	106,33
	100,38	101,58		100,15	101,63		103,55	106,01		103,50	105,65		103,46	105,62		103,52	106,35
	100,14	101,73		100,43	101,54		103,50	105,86		103,46	105,79		103,54	105,75		103,44	106,17
10.A	103,50	105,52	10.B	103,52	105,37	10.C	103,56	105,54	10.D	103,53	105,66	11.A	100,19	101,93	11.B	100,23	101,27
	103,63	105,78		103,56	105,42		103,56	105,56		103,67	105,89		100,24	101,99		100,31	101,21
	103,55	105,36		103,48	105,55		103,49	105,67		103,54	106,23		100,20	102,09		100,24	101,24
	103,53	105,28		103,57	105,80		103,63	105,61		103,45	106,28		100,23	102,16		100,22	101,47
11.C	100,24	101,63	11.D	100,18	102,39	12.A	103,44	104,80	12.B	103,47	105,50	12.C	103,48	105,73	12.D	103,46	104,73
	100,23	101,60		100,29	102,78		103,63	104,76		103,56	105,45		103,53	105,38		103,57	104,96
	100,28	101,37		100,19	102,49		103,43	104,57		103,45	105,38		103,59	105,73		103,50	104,97
	100,20	101,40		100,25	102,27		103,54	104,50		103,45	105,38		103,51	105,78		103,48	104,90
13.A	100,34	101,37	13.B	100,35	101,70	13.C	100,21	102,04	13.D	100,23	101,90	14.A	103,47	106,44	14.B	103,49	105,78
	100,33	101,28		100,25	101,82		100,23	102,12		100,47	102,04		103,39	106,27		103,42	105,83
	100,23	101,47		100,46	101,73		100,35	102,07		100,15	102,05		103,56	106,10		103,47	105,95
	100,29	101,56		100,24	101,70		100,18	101,99		100,44	101,82		103,45	106,45		103,44	105,83
14.C	103,40	105,67	14.D	103,39	105,91	15.A	99,94	101,65	15.B	99,93	101,53	15.C	99,78	102,22	15.D	99,90	101,59
	103,45	105,65		103,46	106,00		99,84	101,78		99,94	101,58		99,97	102,20		99,91	101,59
	103,41	105,82		103,38	106,01		99,95	101,57		99,89	101,44		99,89	102,51		99,91	101,70
	103,37	105,72		103,42	105,86		99,96	101,57		99,87	101,38		99,88	102,51		99,99	101,70
16.A	103,53	105,76	16.B	103,53	106,12	16.C	103,52	106,03	16.D	103,55	105,62	17.A	103,55	106,39	17.B	103,55	106,00
	103,49	106,16		103,55	106,15		103,49	106,05		103,57	105,55		103,53	106,31		103,55	105,78
	103,56	106,09		103,57	106,32		103,53	105,93		103,56	105,43		103,61	106,03		103,46	105,71
	103,41	105,68		103,39	106,12		103,56	106,07		103,48	105,54		103,56	106,03		103,55	105,81
17.C	103,46	105,90	17.D	103,53	105,86	18.A	100,33	101,89	18.B	100,18	101,56	18.C	100,30	101,28	18.D	100,13	101,83
	103,52	105,88		103,64	105,87		100,26	102,12		100,26	101,46		100,15	101,21		100,25	101,42
	103,56	105,88		103,49	105,64		100,25	101,92		100,23	101,36		100,19	101,30		100,20	101,30
	103,46	105,92		103,50	105,59		100,24	101,94		100,14	101,30		100,24	101,39		100,31	101,92

Těleso	Rozměr		Těleso	Rozměr		Těleso	Rozměr		Těleso	Rozměr		Těleso	Rozměr		Těleso	Rozměr	
	d	h		d	h		d	h		d	h		d	h		d	h
	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]		[mm]	[mm]		[mm]	[mm]		[mm]	[mm]		[mm]	[mm]
19.A	103,48	106,01	19.B	103,61	105,75	19.C	103,54	105,63	19.D	103,52	105,70	20.A	100,22	102,33	20.B	100,21	101,55
	103,45	105,95		103,58	105,62		103,53	105,40		103,56	105,82		100,20	102,18		100,36	101,52
	103,50	105,76		103,55	105,47		103,52	105,49		103,54	105,88		100,31	102,20		100,28	101,77
	103,51	105,76		103,51	105,53		103,43	105,66		103,48	105,97		100,19	102,46		100,18	101,74
20.C	100,22	101,39	20.D	100,27	101,85	21.A	103,40	106,49	21.B	103,45	104,72	21.C	103,51	105,43	21.D	103,45	105,74
	100,32	101,39		100,22	101,87		103,61	106,58		103,47	104,44		103,44	105,26		103,56	106,11
	100,31	101,17		100,24	101,90		103,40	105,90		103,55	104,62		103,46	105,14		103,48	106,11
	100,30	101,19		100,24	101,87		103,46	106,12		103,49	104,78		103,50	105,14		103,39	105,81
22.A	103,45	105,65	22.B	103,45	105,87	22.C	103,48	106,20	22.D	103,53	105,79	23.A	103,58	105,88	23.B	103,56	106,28
	103,45	105,40		103,39	106,01		103,42	106,14		103,44	105,68		103,57	105,61		103,47	106,27
	103,44	105,53		103,43	105,96		103,46	106,07		103,43	105,76		103,41	105,06		103,37	106,24
	103,45	105,43		103,35	105,92		103,31	106,02		103,39	105,93		103,59	105,19		103,56	106,41
23.C	103,54	106,34	23.D	103,37	105,39	24.A	103,51	105,75	24.B	103,53	105,70	24.C	103,57	106,13	24.D	103,51	104,98
	103,55	106,58		103,59	105,38		103,45	105,71		103,55	105,88		103,67	106,12		103,59	105,09
	103,38	106,54		103,56	105,44		103,49	105,73		103,51	106,06		103,64	105,87		103,45	105,45
	103,51	106,34		103,49	105,57		103,56	105,83		103,59	106,16		103,36	105,82		103,64	105,29
25.A	100,23	101,83	25.B	100,31	101,44	25.C	100,35	101,61	25.D	100,27	101,20	26.A	100,28	101,88	26.B	100,19	102,08
	100,30	101,71		100,23	101,53		100,29	101,52		100,37	101,14		100,30	101,85		100,38	102,08
	100,38	101,65		100,29	101,40		100,30	101,51		100,34	101,08		100,18	101,96		100,32	102,00
	100,31	101,81		100,22	101,32		100,39	101,59		100,33	101,28		100,28	102,10		100,32	101,96
26.C	100,31	102,41	26.D	100,33	101,42	27.A	100,34	100,83	27.B	100,24	102,08	27.C	100,20	102,37	27.D	100,31	102,63
	100,38	102,56		100,21	101,51		100,41	101,09		100,55	102,18		100,38	102,40		100,34	102,78
	100,28	102,44		100,35	101,56		100,37	101,05		100,26	102,13		100,38	102,38		100,40	102,89
	100,36	102,32		100,21	101,49		100,33	100,82		100,40	101,99		100,39	102,35		100,31	102,72
28.A	100,35	102,13	28.B	100,18	101,90	28.C	100,32	101,78	28.D	100,22	101,65	29.A	103,42	105,86	29.B	103,47	105,94
	100,18	101,83		100,24	101,77		100,13	101,91		100,21	101,63		103,46	105,88		103,44	105,97
	100,28	101,79		100,38	101,76		100,27	101,60		100,33	101,74		103,45	105,83		103,49	106,00
	100,17	102,07		100,19	101,78		100,17	101,67		100,27	101,66		103,36	105,81		103,51	105,98
29.C	103,44	106,11	29.D	103,40	106,10	30.A	100,13	101,86	30.B	100,16	101,93	30.C	100,15	101,64	30.D	100,26	101,72
	103,42	106,19		103,39	106,01		100,21	102,04		100,20	102,34		100,22	101,53		100,22	101,91
	103,39	106,21		103,43	105,98		100,27	101,94		100,29	102,16		100,13	101,52		100,36	101,80
	103,45	106,07		103,45	105,96		100,19	101,79		100,14	101,99		100,26	101,60		100,21	101,68
31.A	103,53	105,57	31.B	103,52	104,95	31.C	103,53	105,96	31.D	103,51	105,15	32.A	103,42	104,85	32.B	103,45	105,74
	103,51	105,45		103,53	105,24		103,57	106,14		103,54	105,09		103,42	104,84		103,45	105,83
	103,46	105,45		103,53	105,21		103,51	105,97		103,55	105,12		103,44	104,88		103,41	105,86
	103,56	105,42		103,55	104,95		103,49	105,59		103,50	105,36		103,39	104,88		103,44	105,83
32.C	103,46	105,90	32.D	103,45	106,46												
	103,40	106,13		103,38	106,60												
	103,42	106,17		103,44	106,47												
	103,44	106,05		103,38	106,34												

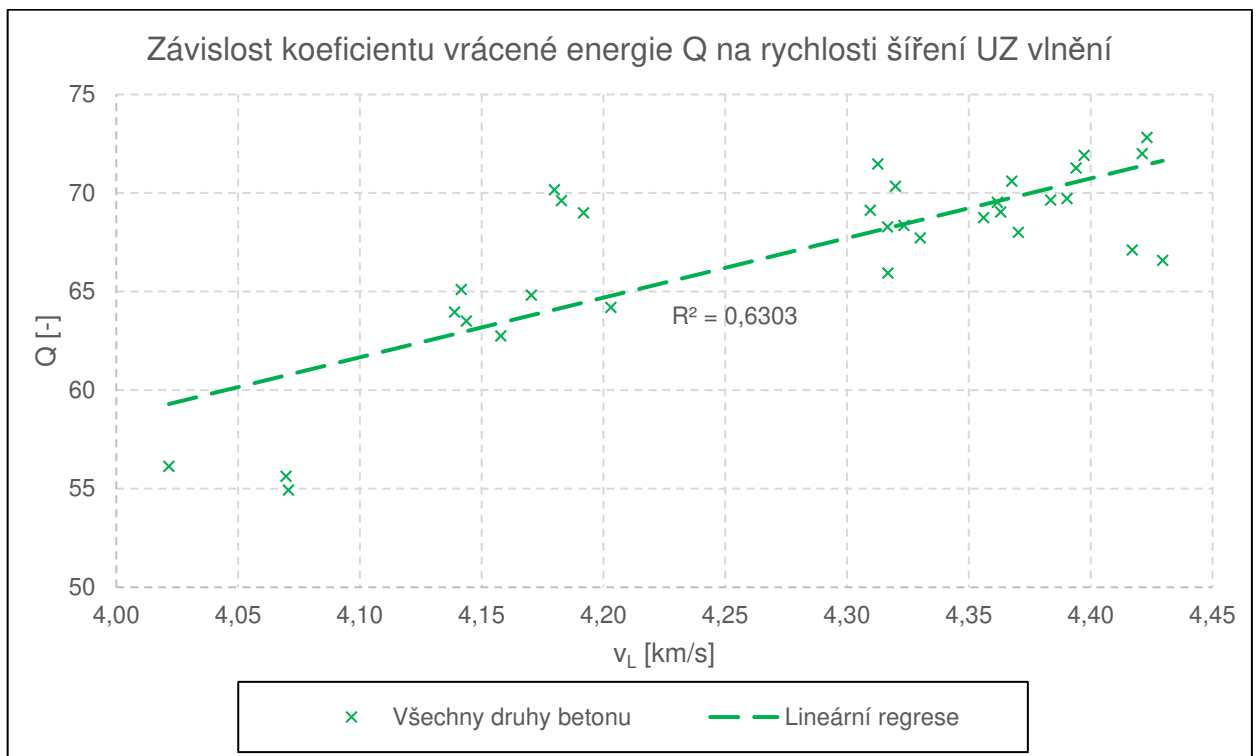
Příloha 5: Hmotnost, průměrné rozměry a objemová hmotnost zkušebních těles

Id. č.	Těleso	Hmotnost	Průměr	Výška	h/d	Obj. hm.	Id. č.	Těleso	Hmotnost	Průměr	Výška	h/d	Obj. hm.
		m [kg]	d [mm]	h [mm]	λ [-]	ρ [kg/m ³]			m [kg]	d [mm]	h [mm]	λ [-]	ρ [kg/m ³]
1	A	1,7902	100,16	101,37	1,01	2241	17	A	2,0436	103,56	106,19	1,03	2285
	B	1,7882	100,20	101,59	1,01	2232		B	2,0359	103,53	105,83	1,02	2285
	C	1,7974	100,24	102,17	1,02	2229		C	2,0327	103,50	105,90	1,02	2282
	D	1,7881	100,16	101,78	1,02	2230		D	2,0336	103,54	105,74	1,02	2284
2	A	1,7887	100,37	101,40	1,01	2229	18	A	1,8430	100,27	101,97	1,02	2289
	B	1,7903	100,38	101,36	1,01	2232		B	1,8365	100,20	101,42	1,01	2296
	C	1,7964	100,32	101,85	1,02	2231		C	1,8406	100,22	101,30	1,01	2303
	D	1,7865	100,34	101,32	1,01	2230		D	1,8359	100,22	101,62	1,01	2290
3	A	1,9884	103,46	105,18	1,02	2249	19	A	2,0274	103,49	105,87	1,02	2277
	B	1,9709	103,47	105,17	1,02	2229		B	2,0288	103,56	105,59	1,02	2281
	C	1,9825	103,49	105,57	1,02	2233		C	2,0271	103,51	105,55	1,02	2283
	D	1,9645	103,50	104,84	1,01	2227		D	2,0313	103,53	105,84	1,02	2280
4	A	2,0179	103,39	106,05	1,03	2267	20	A	1,8396	100,23	102,29	1,02	2279
	B	2,0110	103,58	106,08	1,02	2250		B	1,8299	100,26	101,65	1,01	2280
	C	2,0129	103,50	106,08	1,02	2255		C	1,8211	100,29	101,29	1,01	2276
	D	2,0075	103,44	105,85	1,02	2257		D	1,8363	100,24	101,87	1,02	2284
5	A	2,0081	103,52	105,71	1,02	2257	21	A	2,0391	103,47	106,27	1,03	2282
	B	1,9907	103,51	105,50	1,02	2242		B	2,0139	103,49	104,64	1,01	2288
	C	2,0177	103,58	105,86	1,02	2262		C	2,0222	103,48	105,24	1,02	2285
	D	2,0177	103,53	106,40	1,03	2253		D	2,0400	103,47	105,94	1,02	2290
6	A	2,0191	103,50	106,43	1,03	2255	22	A	2,0001	103,45	105,50	1,02	2256
	B	2,0034	103,51	105,74	1,02	2252		B	2,0007	103,41	105,94	1,02	2249
	C	2,0282	103,55	105,90	1,02	2275		C	2,0154	103,42	106,11	1,03	2261
	D	2,0049	103,56	105,95	1,02	2247		D	1,9981	103,45	105,79	1,02	2247
7	A	2,0566	103,52	106,36	1,03	2297	23	A	2,0050	103,54	105,44	1,02	2259
	B	2,0325	103,52	105,28	1,02	2294		B	2,0179	103,49	106,30	1,03	2257
	C	2,0445	103,56	105,71	1,02	2296		C	2,0151	103,50	106,45	1,03	2250
	D	2,0617	103,55	106,53	1,03	2298		D	2,0092	103,50	105,45	1,02	2265
8	A	1,8343	100,30	101,50	1,01	2287	24	A	2,0107	103,50	105,76	1,02	2260
	B	1,8440	100,26	102,06	1,02	2289		B	2,0145	103,55	105,95	1,02	2258
	C	1,8341	100,27	101,70	1,01	2284		C	2,0130	103,56	105,99	1,02	2255
	D	1,8367	100,28	101,57	1,01	2290		D	2,0052	103,55	105,20	1,02	2263
9	A	2,0478	103,55	105,89	1,02	2297	25	A	1,8370	100,31	101,75	1,01	2285
	B	2,0441	103,48	105,88	1,02	2296		B	1,8353	100,26	101,42	1,01	2292
	C	2,0360	103,49	105,70	1,02	2290		C	1,8323	100,33	101,56	1,01	2282
	D	2,0484	103,52	106,22	1,03	2291		D	1,8221	100,33	101,18	1,01	2278
10	A	2,0395	103,55	105,49	1,02	2296	26	A	1,8336	100,26	101,95	1,02	2278
	B	2,0296	103,53	105,54	1,02	2284		B	1,8344	100,30	102,03	1,02	2275
	C	2,0259	103,56	105,60	1,02	2278		C	1,8362	100,33	102,43	1,02	2267
	D	2,0455	103,55	106,02	1,02	2291		D	1,8257	100,28	101,50	1,01	2278
11	A	1,8429	100,22	102,04	1,02	2290	27	A	1,8181	100,36	100,95	1,01	2277
	B	1,8260	100,25	101,30	1,01	2284		B	1,8395	100,36	102,10	1,02	2278
	C	1,8288	100,24	101,50	1,01	2283		C	1,8493	100,34	102,38	1,02	2285
	D	1,8412	100,23	102,48	1,02	2277		D	1,8499	100,34	102,76	1,02	2277
12	A	2,0096	103,51	104,66	1,01	2282	28	A	1,7721	100,25	101,96	1,02	2202
	B	2,0338	103,48	105,43	1,02	2294		B	1,7748	100,25	101,80	1,02	2209
	C	2,0326	103,53	105,66	1,02	2285		C	1,7593	100,22	101,74	1,02	2192
	D	2,0179	103,50	104,89	1,01	2287		D	1,7750	100,26	101,67	1,01	2211
13	A	1,8282	100,30	101,42	1,01	2282	29	A	1,9424	103,42	105,85	1,02	2184
	B	1,8324	100,33	101,74	1,01	2278		B	1,9652	103,48	105,97	1,02	2205
	C	1,8363	100,24	102,06	1,02	2280		C	1,9782	103,43	106,15	1,03	2218
	D	1,8369	100,32	101,95	1,02	2279		D	1,9615	103,42	106,01	1,03	2203
14	A	2,0184	103,47	106,32	1,03	2258	30	A	1,7606	100,20	101,91	1,02	2191
	B	2,0255	103,46	105,85	1,02	2276		B	1,7795	100,20	102,11	1,02	2210
	C	2,0249	103,41	105,72	1,02	2281		C	1,7584	100,19	101,57	1,01	2196
	D	2,0242	103,41	105,95	1,02	2275		D	1,7722	100,26	101,78	1,02	2205
15	A	1,8171	99,92	101,64	1,02	2280	31	A	2,0158	103,52	105,47	1,02	2271
	B	1,8040	99,91	101,48	1,02	2268		B	2,0013	103,53	105,09	1,02	2262
	C	1,8076	99,88	102,36	1,02	2254		C	2,0074	103,53	105,92	1,02	2252
	D	1,8069	99,93	101,65	1,02	2267		D	2,0026	103,53	105,18	1,02	2262
16	A	2,0364	103,50	105,92	1,02	2285	32	A	2,0076	103,42	104,86	1,01	2279
	B	2,0377	103,51	106,18	1,03	2281		B	2,0182	103,44	105,82	1,02	2270
	C	2,0458	103,53	106,02	1,02	2292		C	2,0298	103,43	106,06	1,03	2278
	D	2,0209	103,54	105,54	1,02	2274		D	2,0365	103,41	106,47	1,03	2277

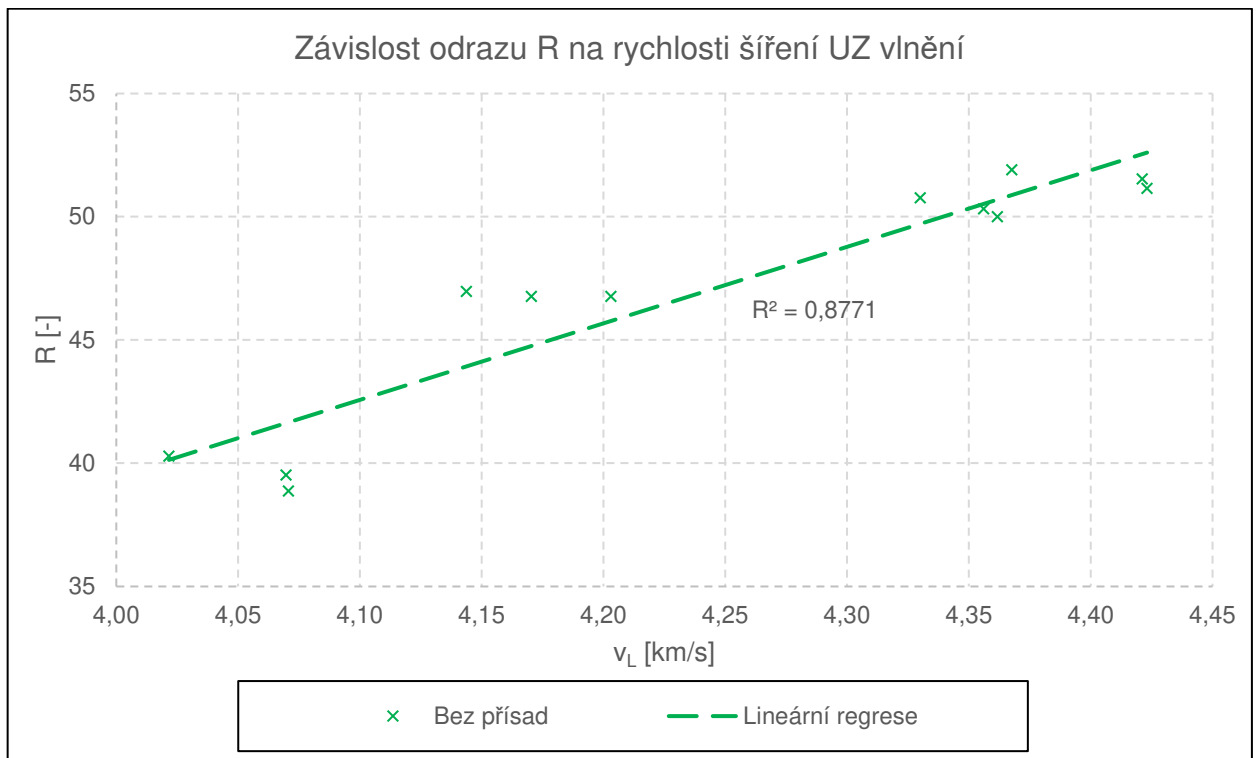
Příloha 6: Grafy závislosti tvrdosti na rychlosti šíření impulsu UZ vlnění betonem



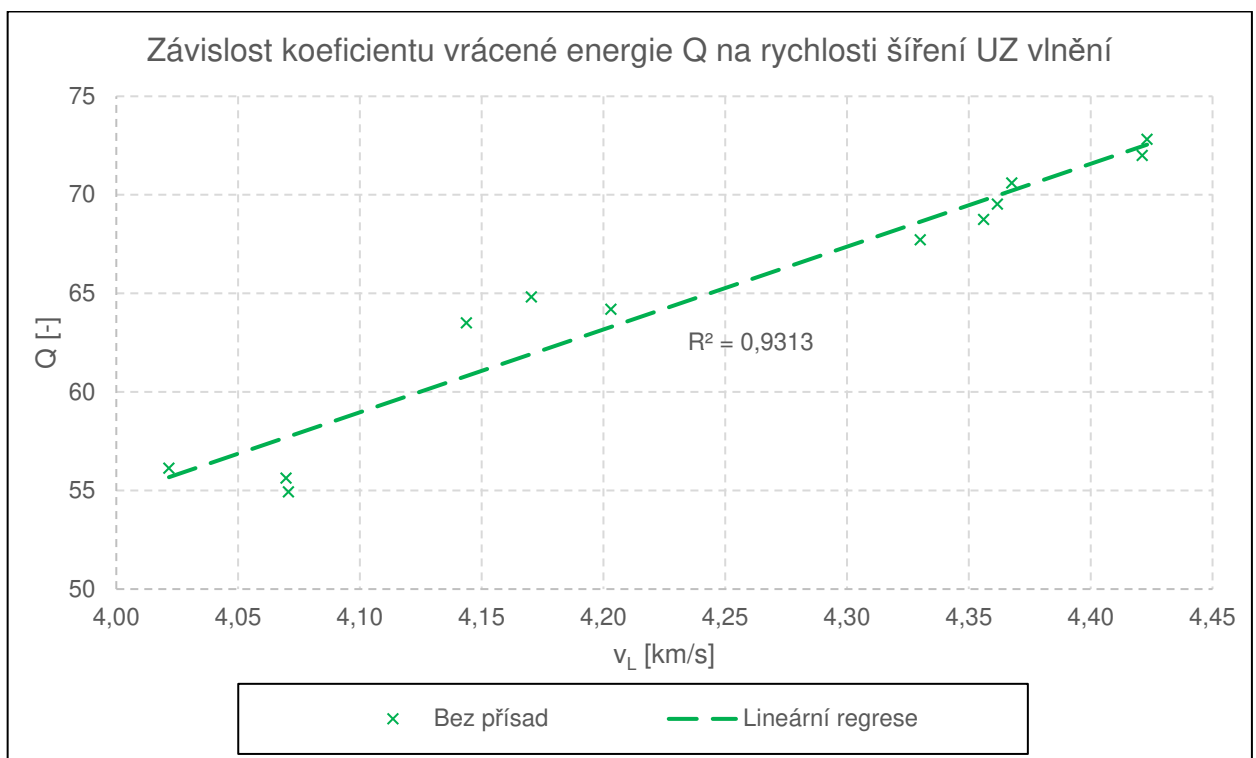
Graf P1: Závislost odrazu R na rychlosti šíření UZ vlnění pro všechny druhy betonů



Graf P2: Závislost koeficientu vrácené energie Q na rychlosti šíření UZ vlnění pro všechny druhy betonů

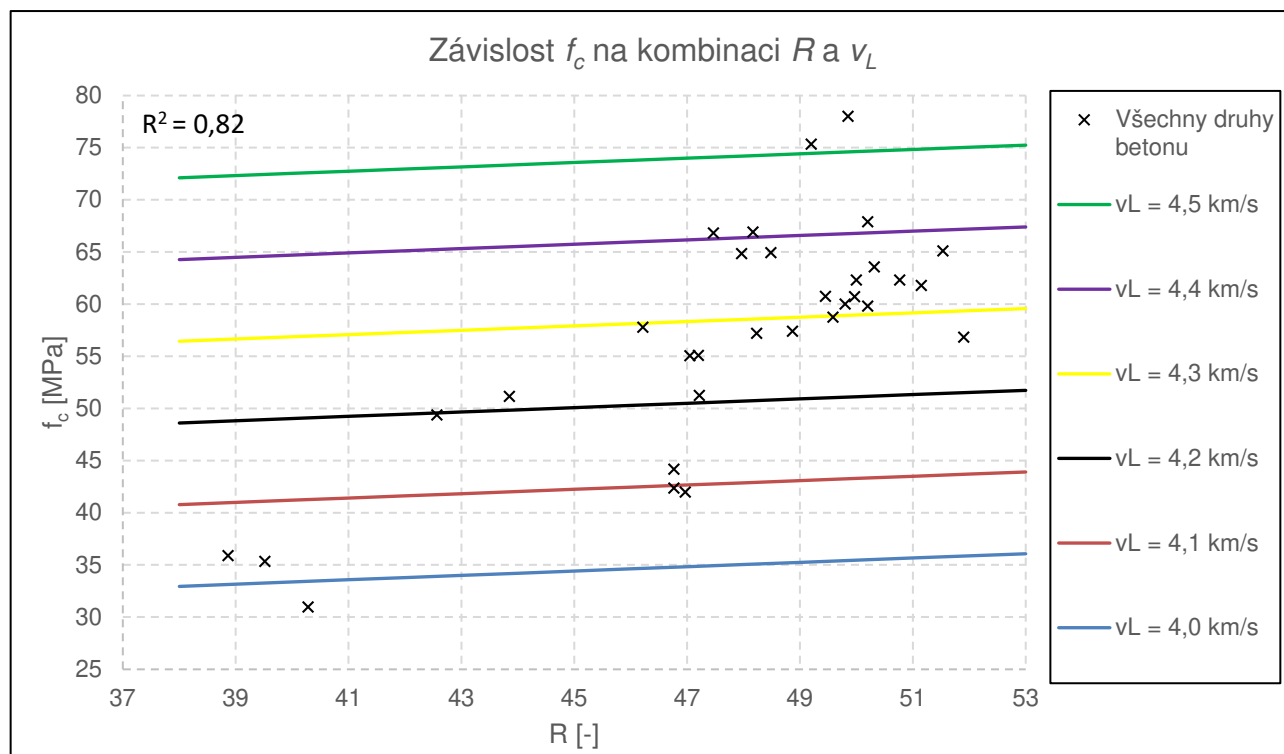


Graf P3: Závislost odrazu R na rychlosti šíření UZ vlnění pro betony bez přísad

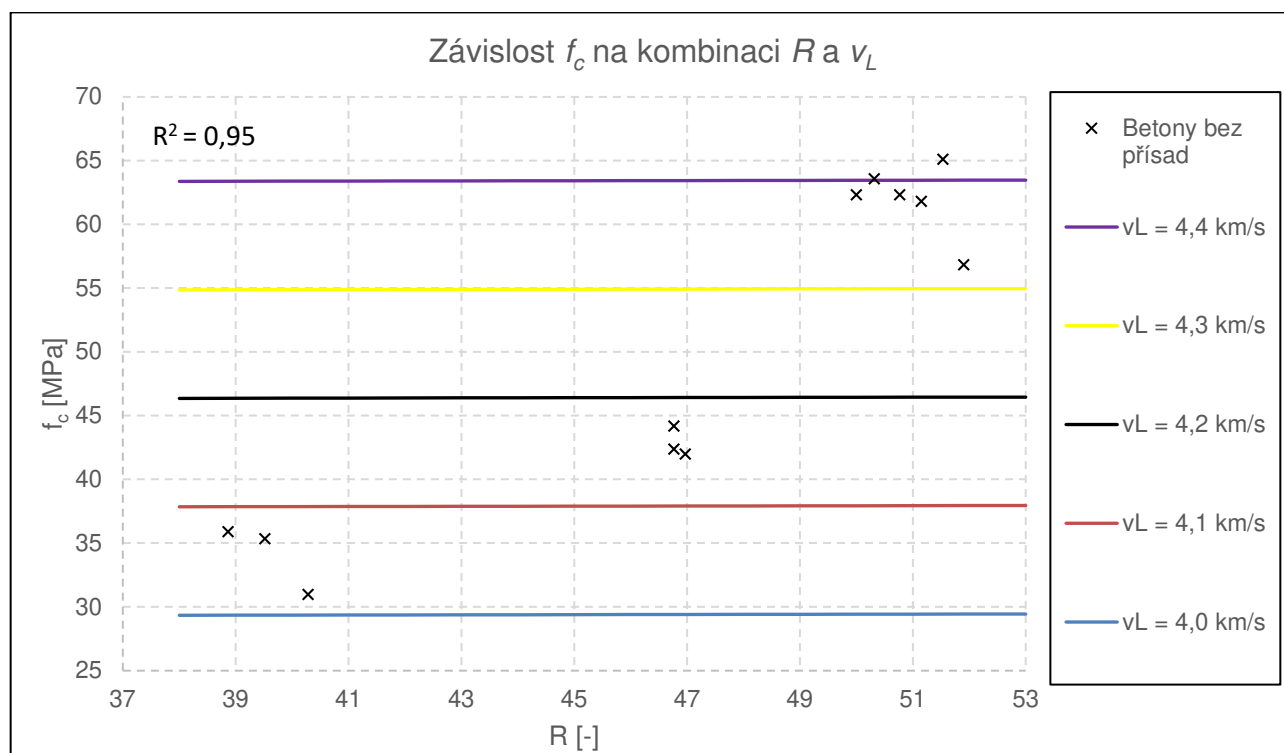


Graf P4: Závislost koeficientu vrácené energie Q na rychlosti šíření UZ vlnění pro betony bez přísad

Příloha 7: Grafy závislosti pevnosti v tlaku na kombinaci výsledků tvrdoměrné (R) a UZ impulsové metody

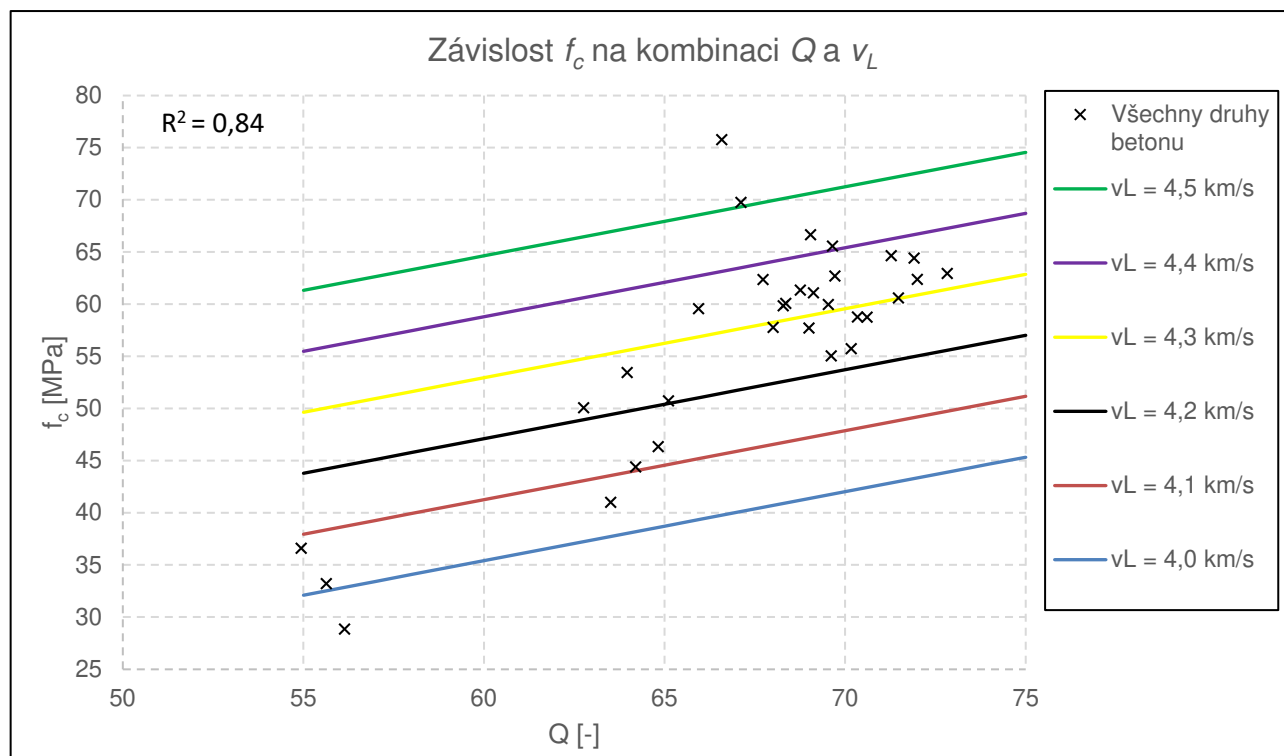


Graf P5: Závislost pevnosti v tlaku na kombinaci hodnot odrazu R a rychlosti šíření UZ vlnění pro všechny betony bez rozlišení druhu

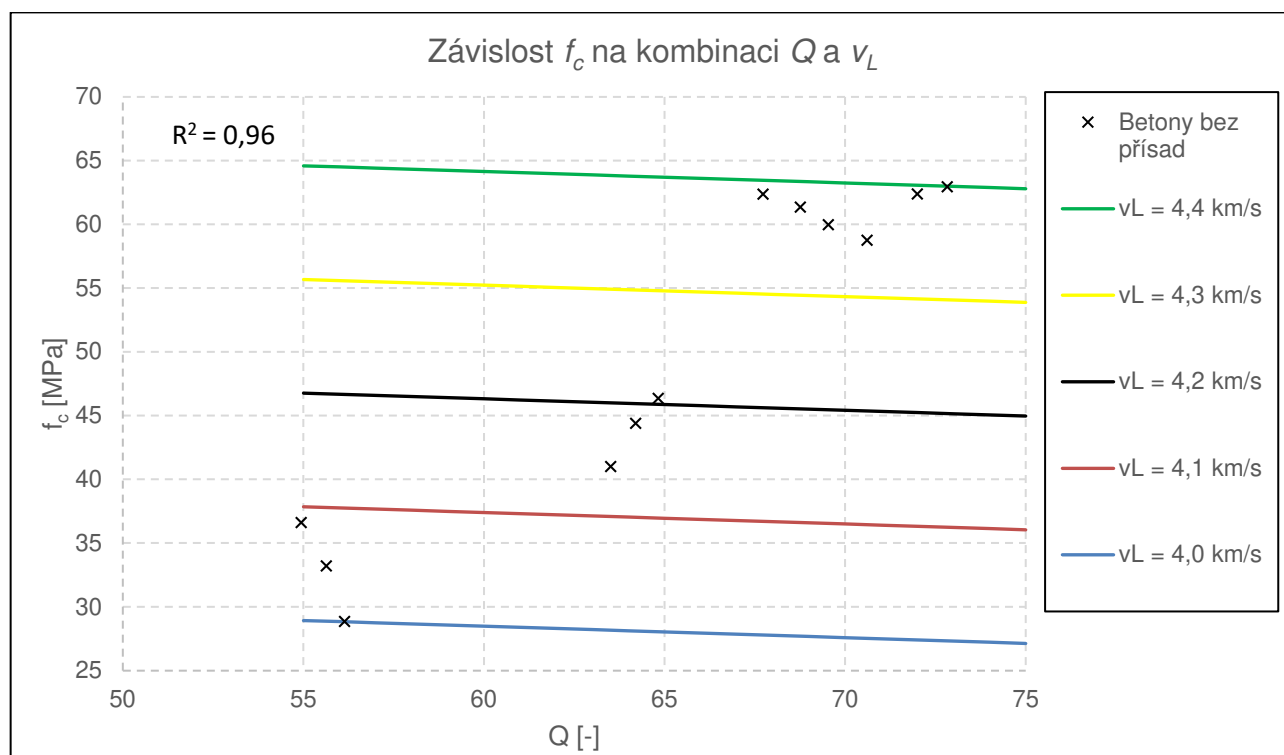


Graf P6: Závislost pevnosti v tlaku na kombinaci hodnot odrazu R a rychlosti šíření UZ vlnění pro betony bez přísad

Příloha 8: Grafy závislosti pevnosti v tlaku na kombinaci výsledků tvrdoměrné (Q) a UZ impulsové metody



Graf P7: Závislost pevnosti v tlaku na kombinaci hodnot koeficientu vrácené energie Q a rychlosti šíření UZ vlnění pro všechny betony bez rozlišení druhu



Graf P8: Závislost pevnosti v tlaku na kombinaci hodnot koeficientu vrácené energie Q a rychlosti šíření UZ vlnění pro betony bez přísad

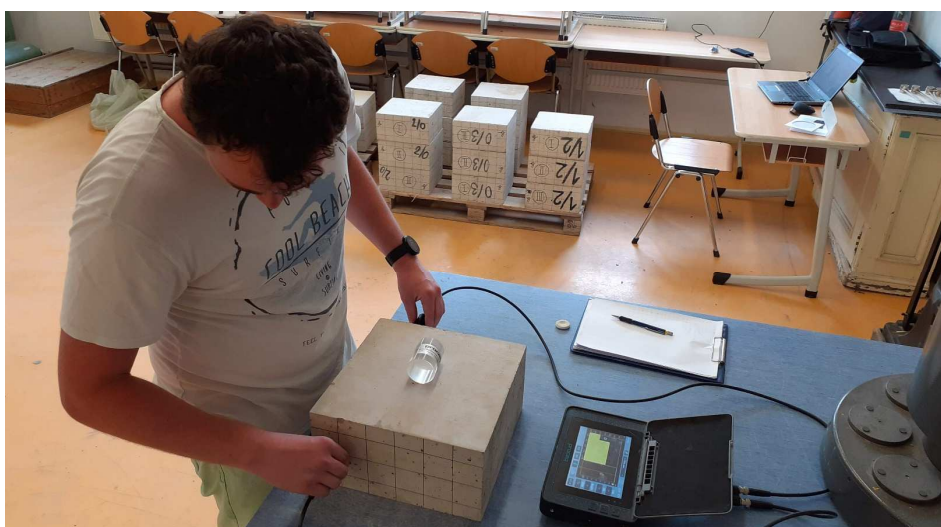
Příloha 9: Fotodokumentace experimentu popsaného v praktické části



Obr. P1: Rozkreslení rastru na každý betonový blok.



Obr. P2: Měření rozměrů betonových bloků



Obr. P3: Prozvučování betonových bloků ultrazvukovými impulsy



Obr. P4: Obroušení zkarbonatované vrstvy betonových bloků na místech budoucího tvrdoměrného zkoušení



Obr. P5: Aplikace fenolftaleinového roztoku na čerstvě obroušené a oprášené plochy



Obr. P6: Paleta s betonovými bloky připravenými pro tvrdoměrné zkoušení



Obr. P7: Řádné centrování bloku ve zkušebním lisu



Obr. P8: Tvrdoměrné zkoušení odrazovým tvrdoměrem SilverSchmidt N



Obr. P9: Tvrdoměrné zkoušení odrazovým tvrdoměrem Original Schmidt N



Obr. P10: Jádrové vrtání



Obr. P11: Odběr jádrového vývrtnu



Obr. P12: Všech 32 betonových bloků po odběru jádrových vývrtnů



Obr. P16: Centrování tělesa v lisu (vlevo) a spuštění zatěžování (vpravo)



Obr. P17: Porušené zkušební těleso v lisu