

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE, MECHANIZACE A ŘÍZENÍ STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF TECHNOLOGY, MECHANIZATION AND CONSTRUCTION MANAGEMENT



## HODNOCENÍ KVALITY PROVEDENÍ RUČNĚ STŘÍKANÉHO BETONU

EVALUATING THE QUALITY OF IMPLEMENTATION OF  
THE HAND SHOTCRETE

DISERTAČNÍ PRÁCE  
DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Ing. et Ing. LUKÁŠ KOPECKÝ

BRNO 2016

VEDOUcí PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. KAREL DOČKAL CSc.

BRNO 2016

### **Bibliografická citace VŠKP**

Ing. et Ing. Lukáš Kopecký, Hodnocení kvality provedení ručně stříkaného betonu, 2016.80 s. 72s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie mechanizace a řízení staveb. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Karel Dočkal, CSc.

**Abstrakt :**

V současné době moderního stavitelství je kladen důraz na rychlost a ekonomiku provedených stavebních prací, proto je potřeba se zabývat ověřováním kvality provedených konstrukcí. Disertační práce je zaměřena na problematiku hodnocení kvality provedení stříkaného betonu bez urychlujících přísad aplikovaných suchou cestou nástřiku při ručním provedení nástřiku na staveništi.

Kvalita stříkaného betonu byla v rámci práce posuzována na základě normovaných jak nedestruktivních, tak destruktivních zkušebních metod na odebraných zkušebních tělesech. Kvalita stříkaného betonu byla posuzována z hlediska pevnosti stříkaného betonu v tlaku, objemové hmotnosti a homogenity posuzované na základě rychlosti šíření ultrazvuku vzorkem. Pro destruktivní metodu zkoušení byly provedeny jádrové vývrty, které byly podrobeny zkoušce v dostředném tlaku na hydraulickém lise, jako nedestruktivní metoda byla použita ultrazvuková průchodová metoda založená na rychlosti šíření ultrazvukového impulzu zkušebním tělesem.

Na základě výsledků experimentálních zkoušek a jejich vzájemných korelací byla navržena modifikace obecného vztahu používaného pro predikci pevnosti stříkaného betonu v námi zkoušené pevnostní třídě, což vede k potenciálnímu snížení počtu jádrových vývrťů na reálné konstrukci a tedy snížení ekonomických nákladů na provedení.

**Abstract:**

Currently, the high speed and low price are required for construction works in the modern architecture. Therefore, it is necessary to deal with verifying the quality of the constructions. Dissertation thesis is focused on evaluating the quality of the execution of sprayed concrete without accelerating additives applied by spraying by a dry way manually-sprayed.

The quality of shotcrete was judged on the basis of standardized both non-destructive and destructive methods using sprayed samples. The quality of shotcrete was assessed in terms of strength of sprayed concrete in pressure, density and homogeneity judged on the basis of the velocity of sound samples.

The destructive method was carried out on the core samples which were pressured on the hydraulic press, as the non-destructive method was used ultrasonic passageway method based on the propagation velocity of the ultrasonic pulse.

On the basis of our results and their mutual correlations, it has been proposed the modifications of the general equal used for predicting the strength of the sprayed concrete tested by our strength class, which leads to a potential reduction in the number of cores on the real structure, and therefore reduce the price of implementation of qualitative tests and increase effectiveness of carrying out tests on the construction place.

**Klíčová slova:**

Stříkaný beton, kvalita betonu, homogenita, pevnost v tlaku, rychlost šíření ultrazvukového impulsu

**Keywords:**

Shotcrete, concrete quality, quality, homogeneity, compressive strength, velocity of spreading ultrasound impuls

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma *Hodnocení kvality provedení ručně stříkaného betonu* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 26.2.2016

.....

Ing. et Ing. Lukáš Kopecký

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval kolektivu Ústavu technologie, mechanizace a řízení staveb a Ústavu stavebního zkušebnictví za podporu při zpracování této disertační práce. Zvláštní dík pak patří Ing. Jaromíru Láníkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které mi poskytoval v průběhu provádění experimentálních zkoušek. V neposlední řadě pak děkuji své rodině za podporu a trpělivost.

## **OBSAH**

<b>1. ÚVOD</b> .....	3
<b>2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE</b> .....	4
<b>TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	6
<b>3. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY</b> .....	6
3.1 Výrobní proces.....	6
3.1.1 Suchý způsob nástřiku betonu .....	6
3.1.2 Mokrý způsob nástřiku betonu .....	7
3.1.3 Porovnání jednotlivých způsobů provádění nástřiku .....	8
3.2 Technologie nástřiku .....	9
3.3 Stříkané betony ve stavební praxi .....	10
3.4 Současné trendy .....	10
3.5 Rozdělení stříkaných betonů.....	11
<b>NÁVRH SMĚSI</b> .....	13
<b>4. ZKOUŠKY STŘÍKANÉHO BETONU</b> .....	20
<b>5. POPIS METODIKY ZKOUŠENÍ</b> .....	24
5.1 Stanovení množství záměsové vody .....	24
5.2 Visuální kontrola.....	24
5.3 Stanovení objemové hmotnosti.....	25
5.4 Ultrazvuková impulzová metoda průchodová .....	26
5.5 Stejnorodost .....	27
5.6 Kontrola zhutnění betonu pomocí ultrazvuku .....	28
5.7 Pevnost betonu v tlaku .....	29
5.8 Dynamický modul pružnosti v tahu a tlaku .....	30
<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....	31
<b>6. POUŽITÉ SUROVINY</b> .....	31
6.1 Cement.....	32
6.2 Kamenivo.....	33
6.3 Popílek.....	34
6.4 Voda .....	34
<b>7. VÝROBA A ODOBĚR VZORKŮ</b> .....	35
7.1 Výroba formy pro odběr vzorků .....	35
7.2 Realizace nástřiku a příprava vzorku .....	36

7.2.1	Odběr vzorků .....	36
7.2.2	Skladování .....	37
7.3	Výroba zkušebních těles .....	38
7.4	Úprava zkušebních těles .....	40
<b>8.</b>	<b>ZKOUŠKY BETONU</b> .....	<b>42</b>
8.1	Visuální kontrola.....	42
8.2	Objemová hmotnost .....	45
8.3	Měření rychlosti ultrazvukového impulsu.....	47
8.4	Pevnost betonu v tlaku .....	49
8.4.1	Pevnost betonu v tlaku .....	49
8.4.2	Informativní pevnost betonu v tlaku z rychlosti šíření ultrazvuku .....	51
8.5	Stejnorodost .....	57
8.6	Zkouška zhutnění pomocí ultrazvuku .....	58
8.7	Dynamický modul pružnosti v tahu a tlaku .....	60
8.8	Měření obsahu vody .....	62
<b>9.</b>	<b>ZÁVĚRY PRÁCE A JEJÍ PŘÍNOST PRO DALŠÍ ROZVOJ VĚDY</b> .....	<b>64</b>
9.1	Hlavní výsledky disertační práce .....	64
9.2	Hlavní výsledky disertační práce jsou uvedeny v následujících bodech: .....	66
9.3	Možnosti dalšího rozvoje vědy .....	68
	<b>POUŽITÉ NORMY</b> .....	<b>73</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>75</b>
	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>76</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>77</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ</b> .....	<b>78</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>79</b>



## 1. ÚVOD

„Všem částem stavebního díla škodí nejvíce lidská nedbalost a nedostatek péče.“

Leon Battista Alberti

Právě díky lidské zvědavosti a snaze vylepšit kvalitu života dochází s pomocí starých i moderních technologií k vývoji moderních materiálů a jejich aplikací. Beton patří k tradičně využívaným stavebním materiálům, jejichž vlastnosti a možnosti využití se neustále rozvíjejí. V současné době se ve stavebnictví začínají stále více používat stříkané betony, též nazývané „Gunité“, „Sprayed Concrete“, „Shotcrete“ nebo „torkrety“. Aplikace stříkaného betonu nahrazuje v mnohých případech komplikované použití bednění pro formování složitějších stavebních konstrukcí. Současný rozvoj používání stříkaných betonů se však děje především díky velkému rozmachu silničního a podzemního stavitelství.

V případě stříkaného betonu se jedná o technologii, při které je beton veden tlakem přes trysku a stříkán na povrch konstrukce, kde vytváří hutnou homogenní vrstvu nástřiku. Pro stříkaný beton je typické užití drobnější frakce kameniva, většinou 0-8 mm, kvůli možnosti čerpatelnosti tryskou, a urychlující přísady, která se přidává do čerstvého betonu v ústí nanášecího zařízení. Aplikaci stříkaného betonu lze rozdělit podle způsobu přidání vody do směsi na technologii nanášení suchou a mokrou cestou. Při volbě nástřikové metody záleží na oblasti použití a požadavcích na beton.

Problematikou stříkaného betonu se zabývá evropská norma ČSN EN 14488 a americká norma ASTM C1436. Návrh receptury, její příprava a nutnost použití strojního zařízení pro nástřik je poměrně nákladný proces. Je zde tedy snaha o vytvoření pevnostních zkoušek či algoritmu, které by dokázaly predikovat pevnost stříkaného betonu u reálných vzorků přímo na stavbě a tím se ušetřily značné finanční zdroje při dodatečném testování stříkaného betonu pomocí vývrtů.

Tato disertační práce se soustředí na popis pevnosti reálných vzorků stříkaných betonů odebraných přímo na stavbě, snaží se nalézt souvislosti mezi typem směsi, obsahem vody ve vzorcích a jejich pevnostmi.

## 2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Téma předkládané disertační práce bylo motivováno snahou o ověření kvality provedení stříkaných betonů bez urychlovače aplikovaných suchou cestou nástřiku na reálných konstrukcích, kdy nástřik byl prováděn manuálně.

Velký důraz na kontrolu kvality konstrukcí ze stříkaného betonu je kladen zejména u velkých podzemních staveb, kde jsou na stříkaný beton kladeny vysoké kvalitativní nároky. Ověření kvality stříkaných betonů v rámci pozemního stavitelství, kde je stříkaný beton používán především u menších konstrukcí, u kterých není kvalita jejich provedení důsledně kontrolována, neboť se jedná zejména o konstrukce, které primárně neplní statickou funkci (např. nástřik pilotové stěny, sanace svahu), není věnováno tolik pozornosti. Specifickou oblastí stříkaných betonů je stříkaný beton bez použití urychlujících přísad, který stojí do současné doby mimo hlavní oblast výzkumu kvality stříkaných betonů.

Předložená disertační práce si proto klade za cíl ověřit kvalitu provedení těchto specifických stříkaných betonů aplikovaných manuálně.

Pro potřebu ověření kvality budou vybrány vhodné metody testování, odebrána vhodná zkušební tělesa, budou vyhodnoceny výsledky provedených zkoušek a na základě výsledků série laboratorních zkoušek budou navrženy aplikace do praxe.

Disertační práce bude klasicky rozdělena na část teoretickou, kde bude popsán současný stav řešené problematiky, požadavky na návrh směsi a přehled používaných zkoušek. Experimentální část se potom bude věnovat použitým surovinám, výrobě zkušební formy, odběru zkušebních vzorků, provedení zkoušek a interpretaci výsledků měření.

Při tvorbě disertační práce, budou zvoleny dvě experimentální metody. Primárně bude zvolena nedestruktivní metoda zkoušení na základě rychlosti průchodu ultrazvukového impulsu materiálem, sekundárně bude použita destruktivní metoda určení pevnosti v tlaku zkušebního tělesa.

Pro splnění cílů bude využito především pracoviště Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně, Ústavu stavebního zkušebnictví a jeho laboratorního přístrojového vybavení. Zkušební vzorky budou odebírány do vlastní navržené formy na stavbách realizovaných firmami Sasta a.s. a Topgeo Brno, spol. s r.o.

Zvolené cíle disertační práce mají za úkol přispět k posouzení kvality stříkaného betonu bez urychlovače na základě porovnání série doposud běžně používaných

destruktivních zkoušek s především laboratorně využívanými zkouškami rychlosti průchodu ultrazvukového impulzu vzorkem. Na základě výsledků obou testů bude ověřena platnost obecného vztahu pro výpočet informativní pevnosti v tlaku běžně používaným pro hutné betony s větším zrnem kameniva. Na základě výsledků zkoušek bude provedena upřesňující korekce jinak obecného vztahu přesně pro námi používanou betonovou směs.

V závěru práce bude diskutována vhodnost použitých diagnostických metod pro posouzení kvality reálné konstrukce.

## TEORETICKÁ ČÁST

### 3. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

#### 3.1 Výrobní proces

Stříkaný beton se od běžně hutněných betonů liší především způsobem aplikace na konstrukci. Běžně používáme dva postupy provádění nástřiku betonu, tzv. suchou a mokrou cestu nástřiku. U obou metod je směs v stříkacím zařízení poháněna proudem stlačeného vzduchu a následně je přes dopravní potrubí nebo hadice dopravena do stříkací trysky. Rozdíl mezi oběma metodami spočívá ve stádiu, kdy je do zařízení přidána záměsová voda.

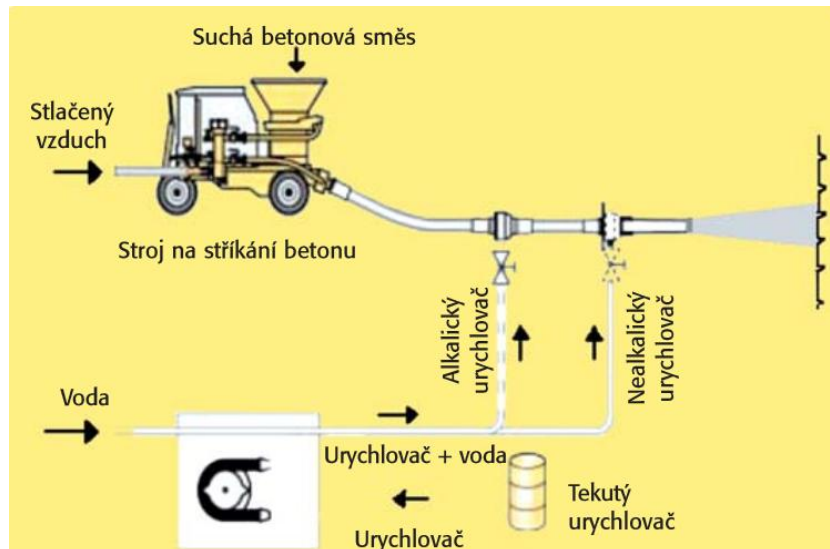
##### 3.1.1 Suchý způsob nástřiku betonu

Při této technologii je suchá betonová směs vyráběna v certifikovaných betonárnách, ale do směsi není přidávána voda.

Dodaná betonová směs pro suchý způsob stříkání se dopravuje stlačeným vzduchem hadicí (provzdušněným proudem) od stříkacího stroje k trysce, kde se teprve mísí se záměsovou vodou a nanáší se na podkladní plochu stříkáním (obrázek 1). Směs pro suchý způsob nástřiku je dávkována do proudu vzduchu zpravidla rotujícím válcem s komorami.

Stříkací stroj musí zajistit kontinuální a rovnoměrný proud stříkané betonové směsi k trysce. Nutnou podmínkou je rovněž těsnost celého stříkacího zařízení. Materiálové přívody nemají mít pokud možno mezi stříkacím strojem a tryskou žádné změny průřezu a mají být vedeny přímo nebo oblouky s velkými poloměry. Tryska s přívodem vody musí být uspořádána tak, aby bylo umožněno dobré promíchání nanášené směsi (betonová směs, voda, příp. urychlovače atd.). Voda o teplotě od 8 do 50 °C je přiváděna k trysce při tlaku vyšším než 4 bary hadicí nebo potrubím.

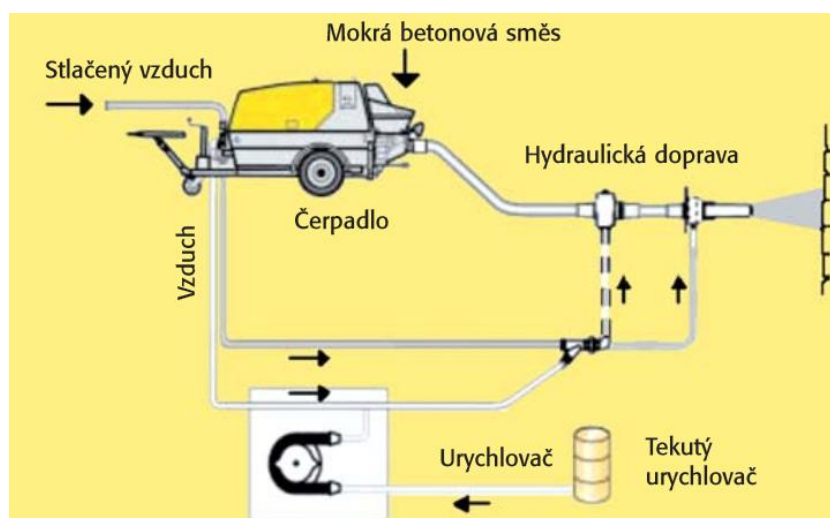
Dávkování urychlovače se nastavuje na dávkovacím čerpadle, aby bylo zabezpečeno rovnoměrné dávkování po dobu celého nástřiku. Nasávání urychlovače ze zásobníku musí být bez vzduchových bublin. Nespotřebované zbytky směsi a rozptýlené hmoty se musí průběžně odstraňovat. [1]



Obrázek 1: schéma provádění nástřiku suchou cestou [1]

### 3.1.2 Mokrá způsob nástřiku betonu

Při této technologii je betonová směs vyráběna v certifikovaných betonárnách, odtud je dopravována pomocí auto domíchávačů na stavbu. Zde je čerstvá betonová směs za pomoci čerpadla dopravována k trysce. V trysce je směs míchána se vzduchem a často také s urychlující přísadou. Betonová směs je z trysky stříkána pod tlakem přiváděného vzduchu na podklad. Mokrá způsob nástřiku se provádí buď hutným proudem s pomocí upravených čerpadel na beton se sníženou pulzací při čerpání směsi, nebo řídkým (provzdušněným) proudem (obrázek 2) ze stříkacího stroje se vzduchem jako dopravním plynem. Stříkací tryska musí být pro mokrá způsob nástřiku upravena.



Obrázek 2: schéma provádění nástřiku mokrú cestou [1]

Při práci je snaha vést všechny přívody pokud možno přímo, minimalizovat počet spojů, které musí být všechny silově přitlačené, aby nedocházelo k úniku směsi.

Dávkování urychlovacích přísad se zpravidla provádí ve formě suspenze přes bezventilová dávkovací čerpadla.

Suchá cesta nástřiku byla používána zejména v počátcích používání technologie stříkaného betonu. V současné době je tento způsob nástřiku používán zejména tam, kde je nemožné nebo ekonomicky nevýhodné využití mokrého způsobu zejména v důsledku aplikovaného množství betonu.

### **3.1.3 Porovnání jednotlivých způsobů provádění nástřiku**

Každá z výše uvedených metod nástřiku nachází své výhody i slabiny při vzájemném porovnání.

Výhody aplikace stříkaného betonu technologií suchého nástřiku jsou především:

- nižší náklady pořízení technologie
- menší prostorové nároky na stroj pro provádění nástřiku
- větší časová flexibilita, protože při technologické přestávce nehrozí zatvrdnutí směsi ve stroji

Nevýhody aplikace stříkaného betonu technologií suchého nástřiku mohou být:

- vysoká prašnost
- obtížnější kontrola dávkování záměsové vody oproti technologii mokrého nástřiku
- větší spad (až 20%)
- nižší výkon nástřiku (cca 5 m<sup>3</sup>/h)

Výhodami aplikace betonové směsi technologií mokrého nástřiku jsou:

- menší spad (max. do 20%)
- velký výkon nástřiku (až 25 m<sup>3</sup>/h)
- přesnější dávkování přísad a příměsí
- přesné řízení vodního sočitele, lepší homogenita směsi
- nízká prašnost
- lepší přilnavost k povrchu

Nevýhodami mokré technologie nástřiku betonové jsou pak:

- vyšší ekonomické nároky na pořízení a údržbu stroje
- menší mobilita stroje
- při technologické přestávce nutnost vyprázdnění a vyčištění stroje, aby nedošlo k zatvrdnutí betonové směsi
- nižší zhutňující účinek

Volbu způsobu aplikace nástřiku je nutné vždy individuálně zvážit s ohledem na objem aplikovaného stříkaného betonu, na technologické podmínky, ve kterých bude nástřik prováděna, také na dopravní vzdálenost betonové směsi.[1, 2]

### 3.2 Technologie nástřiku

Technologie nástřiku stříkaného betonu je způsob ukládání betonu stříkáním, strojním nanášením betonové vrstvy na svislé stěny nebo stropy. Touto technologií je možno vyrobit libovolný nepravidelný tvar v závislosti na tvaru podkladu. Technologii provádění popisuje norma ČSN EN 14487.

Základní pravidla pro provádění nástřiku:

- před prováděním nástřiku musí být podklad zbaven uvolněných částí
- odstranění prachu a drobných nečistot je provedeno otryskáním tlakovou vodou,
- nutností je při provádění nástřiku na nasákavý podklad provést přivlhčení samotného podkladu před provedením nástřiku,
- při provádění nástřiků za nízkých nebo vysokých teplot musí být přijata opatření k zajištění kvality stříkaného betonu,
- prvky betonářské výztuže (sítě, pruty) musí být zajištěny tak, aby byly stabilní a nevíbrovaly v průběhu provádění nástřiku,
- rozmístění výztužných prvků musí být takové, aby byl minimalizován stínový efekt,
- samotná aplikace stříkaného betonu musí být prováděna tak, aby bylo minimalizováno množství spadu,
- tryska musí při provádění nástřiku směřovat kolmo na rovinu podkladu,
- vzdálenost trysky od podkladu by měla být udržována v rozmezí 0,5m až 2m
- seřizování množství proudícího betonu tryskou se musí provádět mimo podklad,
- následující betonová vrstva smí být nástříkaná až poté, co je předchozí vrstva částečně proschlá a je schopna novou vrstvu unést.

### 3.3 Stříkané betony ve stavební praxi

Stříkané betony se v současnosti využívají zejména tam, kde jsou specifické podmínky betonování. Tyto technologie umožňují provedení řady stavebních prvků, kde je zapotřebí rychlý nástup tuhnutí a vysoké počáteční pevnosti, stísněné podmínky provádění nebo speciální metody výstavby. Stříkané betony se uplatňují nejen v podzemním stavitelství (sanace betonových konstrukcí, objekty nepravidelných tvarů, stabilizace horninových masivů a hornin, zajištění stavebních jam), nejvíce se však stříkaný beton používá v podzemním stavitelství, zejména při výstavbě tunelů, šachet a štol. Příkladem použití stříkaného betonu pozemním stavitelství je Centro Ovale Chiasso (obrázek 3), u kterého byl stříkaný beton použit na převislé betonové konstrukce. Technologie stříkaného betonu však byla použita i při stavbě tunelu Dobrovského či sanaci tunelu Sychrovského.[1]

Stříkaný beton plní nejčastěji funkci statickou u tzv. staveb trvalých, může však rovněž plnit funkci doplňkovou (např. vyrovnání povrchu záporové stěny, pilotové stěny atd.). Velmi často se v praxi stává, že u těchto typů konstrukcí ze stříkaného betonu bývá problém nedostatečná kontrola kvality provedení.



Obrázek 3: příklad použití stříkaného betonu v pozemním stavitelství [<http://whitewood.eu/our-funds/separate-mandates/CentroOvaleChiasso.aspx>]

### 3.4 Současné trendy

V současné době je preferovanou a častěji využívanou technologií nástřiku aplikace mokrou cestou. Tento způsob nástřiku je dnes využíván zejména u větších staveb především pro lepší možnost dodržování předepsaného vodního součinitele a s tím související kvalitu betonu.



Významný rozvoj zaznamenává aplikace stříkaného betonu s různými plnivými, např. vlákny nebo mikrosilikou. Vlákna částečně nahrazují výztuž, čímž snižují pracnost a urychlují výstavbu, nedokážou však zcela nahradit statické vlastnosti výztuže. Mikrosilika zlepšuje čarpatelnost betonu, přispívá k vyšší hutnosti betonu a zlepšuje pevnost betonu.

U mokrého způsobu nástřiku výrazně zlepšuje soudržnost a lepivost směsi, což umožňuje nástřik ve větších vrstvách. U suchého způsobu aplikace pak snižuje množství spadu a to až o 50%, což vede k efektivnějšímu ukládání betonu a snižování jeho množství. V České republice se však mikrosilika využívá velmi zřídka, oproti jejímu využívání ve světě. Hlavním důvodem je především její vysoká cena, která je určujícím faktorem ve výsledných nákladech.[3]

### 3.5 Rozdělení stříkaných betonů

Stříkané betony lze dělit na základě několika kritérií.

- podle funkce jakou stříkaný beton plní v konstrukci
  - konstrukční
  - zajišťující stabilitu horninového prostředí
  - zajišťující horninu a výrubu při ražbách
  - úpravy povrchů
- podle typu
  - SB I – stříkaný beton bez konstrukční (statické) úlohy, využívány např. pro zlepšení či vyrovnání povrchu podkladu, krátkodobé podepření během výstavby, při sanacích.
  - SB II – stříkaný beton s konstrukční úlohou, užívaný např. při nástřiku horniny, jako primární ostění tunelů, při hloubení stavebních jam, při ražení štol, hloubení studní.
  - SB III - stříkaný beton se zvláštní konstrukční úlohou a vlastnostmi. [1, 5]
- podle pevnostních tříd
  - SB15(C12/15)            pevnost v tlaku 15MPa
  - SB20(C16/20)            pevnost v tlaku 20MPa
  - SB25(C20/25)            pevnost v tlaku 25MPa
  - SB30(C25/30)            pevnost v tlaku 30MPa

- podle způsobu provádění nástřiku
  - provádění suchou cestou
  - provádění mokrou cestou
- podle způsobu provádění
  - strojně (obrázek 4)
  - manuálně (obrázek 5)



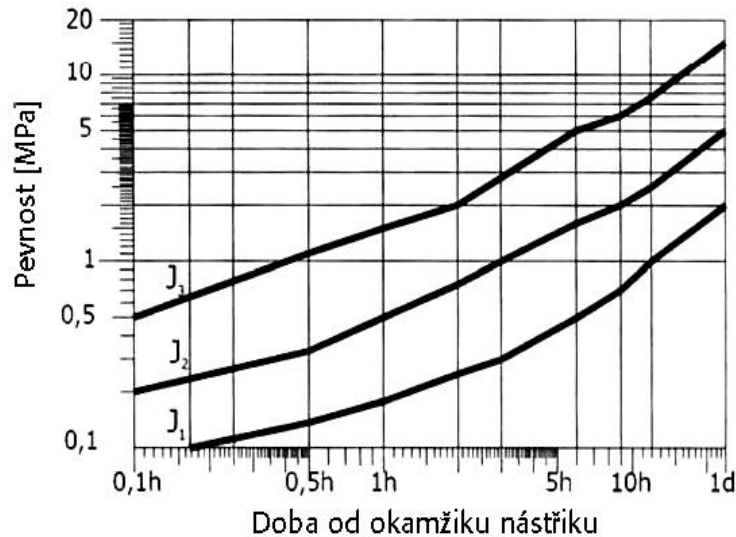
Obrázek 4: strojní provádění nástřiku



Obrázek 5: manuální provádění nástřiku

- podle nárůstu pevnosti do 24 hodin od provedení nástřiku
  - Stříkaný beton oboru J1 je používán pro nástřik v tenkých vrstvách tam, kde nejsou kladeny zvláštní statické požadavky v prvních hodinách od provedení nástřiku.
  - Stříkaný beton oboru J2 je používán tam, kde je zapotřebí pro aplikaci silných vrstev, kdy bezprostředně následuje další pracovní fáze.
  - Stříkaný beton oboru J3 je používán jen ve zvláštních případech, kde není možné použití stříkaného betonu oboru J2.

Nárůsty počátečních pevností mladého stříkaného betonu do 24 hodin po aplikaci nástřiku jsou znázorněny v grafu (obrázek 6). [1]



Obrázek 6: Obory nárůstu pevnosti mladého stříkaného betonu [1]

## NÁVRH SMĚSI

Stříkaný beton je prováděn na stavbě suchou nebo mokrou technologií nástřiku ručním nebo strojním způsobem. Pro jednotlivé technologie nástřiku jsou jiné požadavky na betonovou směs.

Návrh složení betonové směsi musí zaručit požadované vlastnosti betonu. Mezi nejdůležitější vlastnosti patří dosažení předepsaného průběhu pevnosti v tlaku bezprostředně po provedení nástřiku a po 28 dnech po nástřiku. K dalším požadovaným vlastnostem dále patří čerpatelnost a zpracovatelnost, odolnost vůči účinkům agresivních vod, přilnavost k podkladu, schopnost přenášení zatížení po vzniku trhlin, odolnost vůči chloridům.

Složení směsi na  $1\text{ m}^3$  musí specifikovat následující údaje:

- druh, třídu a množství cementu
- dru a množství kameniva s požadovanou křivkou zrnitosti, vlhkost kameniva
- druh a množství příměsí
- druh a množství přísad
- druh a obsah vláken
- vodní součinitel (u mokré směsi)
- konzistence směsi před aplikací (u mokré směsi)

Tabulka 1 a 2 prezentuje porovnání doporučeného složení betonové směsi a provedení jejich nástřiků pro  $1\text{ m}^3$  v České republice a ve světě.

**Tabulka 1: porovnání doporučeného složení směsí pro 1m<sup>3</sup> v České republice a ve světě [4]**

Místo použití	ČR*	Německo**	USA***	Švédsko ****
Cement [kg]	350-450	380	350-590	445
Vodní součinitel	0,45-0,50	0,58	0,35-0,45	0,40-0,45
D <sub>max</sub> [mm]	<10	8	9,5	9
Kamenivo [kg]		1740		
Ocelové drátky			0,4-0,9% objemu	39-150kg.m <sup>-3</sup>
* popílek až 20% hmotnosti cementu s měrným povrchem 450m <sup>2</sup> .kg <sup>-1</sup>				
** křemičité úlety, cement s měrným povrchem 430m <sup>2</sup> kg <sup>-2</sup>				
*** kamenivo do 0,4 mm 45-60%				
**** drátky o průměru 0,25-0,50mm a délka 13-38mm				

**Tabulka 2: doporučené složení směsí pro 1m<sup>3</sup> v České republice pro jednotlivé technologie nástřiku [1]**

	suchý stříkaný beton	mokrý stříkaný beton
Portlandský cement [kg]	400	430
Kamenivo 0-4 [mm]	1140	1025
Kamenivo 4-8 [mm]	560	645
Plastifikátor [kg]	-	4
Urychlující přísada	6 -8% k váze cementu	5,5-8% k váze cementu

Rozlišujeme tři směsi stříkaného betonu

- suchá směs s vysušeným kamenivem
- suchá směs s vlhkým kamenivem
- mokrá směs

#### **Suchá směs s vysušeným kamenivem**

Směs je vyráběna v certifikovaných míchacích centrech ze sušeného kameniva a rychlovazného cementu spolu s přísadami. Výsledná vlhkost směsi musí být max. do 0,2%. Směs je skladována v parotěsných obalech. Při dopravě nesmí dojít k segregaci namíchané směsi. [1]

#### **Suchá směs s vlhčeným kamenivem**

Směs je nejčastěji vyráběna v betonárně nebo v míchacích centrech umístěných na staveništi. Doba do zpracování směsi je závislá na druhu a množství pojiva a zejména na obsahu vody v kamenivu. Doba zpracovatelnosti suché směsi s vlhčeným

kamenivem je max. do 1,5h od výroby směsi. Maximální vnitřní vlhkost použitého kameniva by měla být v rozmezí 1,5 - 5% .[1]

### **Mokrý směr**

Mokrý směr je vyráběna v certifikovaných betonárnách. U této směsi jsou všechny složky směsi přesně dávkovány přímo při výrobě směsi. Lze zde tedy snadno dodržet předepsaný vodní součinitel, který je u suché směsi těžko udržitelný, neboť je ovlivněn operátorem trysky. U této směsi je pro zpracovatelnost směsi velmi důležitá teplota směsi a její konzistence. Při vyšších teplotách směsi, nad 20°C, může dojít k rychlejšímu zahájení procesu hydratace a tím k horšímu zpracování směsi. Doba zpracovatelnosti mokré směsi je opět max. do 1,5h od výroby směsi.

V současné době se při používání většího množství stříkaného betonu preferuje využití technologie mokré směsi. Suché směsi jsou využívány zejména při stísněných podmínkách, ve kterých je stříkaný beton aplikován a při malém objemu stříkaného betonu.[1]

## **Požadavky na jednotlivé složky směsi stříkaného betonu**

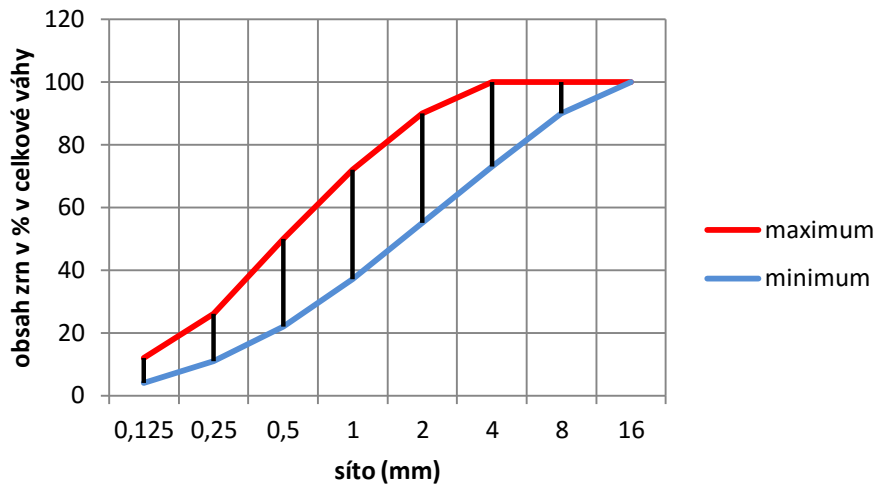
Má-li betonová směs po své aplikaci dosahovat požadovaných kvalit, je nutné věnovat pozornost rovněž složení betonové směsi a kvalitě jednotlivých složek. Jednotlivé složky betonové směsi jsou detailněji rozebrány v rámci této kapitoly.

### **Cement**

Požadavky na cement do stříkaného betonu specifikuje norma ČSN EN 14487-1 a ČSN EN 197-1. Cementy používané pro stříkané betony musí splňovat požadavek na počátek doby tuhnutí, který musí být v intervalu 1,5- 4 hodiny. Průměrná jemnost mletí pro portlandské cementy by měla být v rozmezí od 3500cm<sup>2</sup>/g do 5000cm<sup>2</sup>/g. Pevnost v tlaku zvrstlé normové cementové malty musí být po uplynutí 24 hodin více než 9MPa a po 28 dnech více než 40MPa. Nejčastěji se pro stříkané betony v České republice používá portlandský cement CEM I 42,5 R. Pro suchou technologii nástřiků je doporučované množství cementu mezi 370 - 430kg/m<sup>3</sup> a pro mokrou technologii mezi 400 - 450kg/m<sup>3</sup>.

## Kamenivo

Požadavky na kamenivo do stříkaného betonu specifikuje norma ČSN EN 12620. Nejčastěji se používá kamenivo oblé, přirozeně těžené, s maximální velikostí zrna do 8mm. Při použití většího zrna kameniva může dojít ke zvýšení spadu a ke vzniku dutin. Doporučené zastoupení jednotlivých frakcí je znázorněno v grafu na obrázku 7. [1]



Obrázek 7: tělesa doporučené pásmo zrnitosti pro stříkaný beton [1]

## Vlákna

Vlákna jsou do betonu přimíchávána pro zvýšení odolnosti betonu a snížení výskytu trhlin. Do stříkaného betonu se nejčastěji přimíchávají vlákna ocelová nebo syntetická. Ocelová vlákna jsou vyrobena z drátu taženého za studena. Syntetická vlákna jsou vyráběna z organických či anorganických polymerů. Vlákna jsou různého profilu a zakončení. Obecně není vhodné užití vláken, která vytváří v betonové směsi shluky.

## Přísady

Přísady jsou materiály, které upravují vlastnosti čerstvého nebo ztvrdlého betonu. Přidávají se během míchání do 5% k hmotnosti cementu. Přísady se přidávají ve formě prášku nebo tekutiny.

Přísady do betonu dělíme podle typů:

- plastifikační
- superplastifikační
- stabilizační
- provzdušňující

- urychlující tuhnutí cementu
- urychlující tvrdnutí cementu
- hydrofobizační
- dále mohou být přísady plynotvorné, odpěňovací, expanzní, adhezní, protikorozi a biocidní.

Přísady pro stříkaný beton upravuje norma ČSN EN 934-2. Nejvíce se u stříkaného betonu používají přísady plastifikační, které upravují konzistenci čerstvého betonu a snižují vodní součinitel, dále pak urychlovací přísady, které urychlují proces tuhnutí a tvrdnutí cementu. Dávkování přísad nesmí překročit hmotnostní podíl 5% z hmotnosti cementu.

### **Příměsi**

Příměsi jsou většinou práškové látky s velkým měrným povrchem a velikostí části menší než 0,125mm. Přidávají se do betonu za účelem zlepšení některých vlastností nebo dosažení speciálních vlastností betonu. U stříkaných betonů se jedná zejména o zlepšení zpracovatelnosti, snížení vývinu prachu, nižší spad, vyšší pevnost a hutnost.

Příměsi dělíme na dva typy :

- Typ I.– Pasivní (inertní) - přidávají se do směsi pro dosažení hutnější struktury betonu nebo pro zlepšení zpracovatelnosti čerstvého betonu. Mezi tyto příměsi patří barevné pigmenty, kamenná moučka a jiné.
- Typ II. – Aktivní (pucolány nebo latentně hydraulické látky) - podílejí se na vývinu pevnosti cementového tmele. Mezi tyto příměsi patří např. mikrosilika, popílek, struska a jiné.[4]

### **Urychlující přísady**

Urychlující přísady rozdělujeme na urychlující přísady tuhnutí (zkracují dobu přechodu čerstvého betonu z plastického do tuhého stavu) a na urychlovače tvrdnutí (urychlují vývoj počátečních pevností betonu). Urychlovač tuhnutí nesmí způsobit pokles pevnosti v tlaku za 28 dní pod 80% pevnosti referenčního betonu a po 90 dnech musí být tato pevnost stejná jako po 28 dnech u referenčního betonu. Urychlovače tvrdnutí se posuzují podle pevnosti v tlaku a požaduje se minimální 120% pevnost referenčního betonu za 24 hodin a nejméně 90% pevnost, kterou referenční beton dosáhne za 28 dní.

Urychlovač tuhnutí se používá vždy s odzkoušeným cementem a eventuelně v kombinaci s další přísadou. Přednostně se používá stříkaný beton s tekutými nealkalickými urychlovači tuhnutí a tvrdnutí. Jejich použití oproti alkalickým urychlujícím přísadám poskytuje výhody pracovní hygienické, ekologické i technologické. Nevyvolává podstatné snížení konečné pevnosti stříkaného betonu, neboť vykazuje hutnější skladbu betonu s omezenější možností výluhů při působení vody na stříkaný beton. Urychlující přísady musí být sladěny (ověření snášenlivosti) před zahájením prací s používaným cementem, z hlediska náběhu i konečné pevnosti a případně dalších vlastností pokud jsou požadovány. K tomu se použijí laboratorní zkušební metody. Laboratorní zkoušky udávají směrné hodnoty pro výsledky na staveništi, ale nemohou obsáhnout veškeré staveništní vlivy a proto nemohou nahradit průkazní zkoušky se zjištěním vlastností stříkaného betonu s konečným vybavením staveniště. Pro nevyzkoušenou recepturu s urychlovačem tuhnutí se proto musí provést akreditovaná zkouška přímo na stavbě. Zkušebna musí být způsobilá i po stránce personální, tj. vyhodnocování výsledků a shody musí provádět pracovník se zkušenostmi se SB. Průkazní zkoušky musí stanovit optimální i maximální přípustné dávkování urychlovače při jeho aplikaci.[1, 4, 5]

Urychlující přísady jsou přidávány v tekuté nebo práškové formě. Práškové urychlující přísady se nejčastěji přidávají do směsi v průběhu míchání směsi, zatímco tekuté urychlující přísady se do směsi přidávají v trysce, zde je velký důraz kladen na rovnoměrné přidávání urychlující přísady.

Tabulka 3 uvádí seznam požadavků na nealkalické urychlovače, které jsou pravděpodobně nejběžněji používány. Tabulka 4 pak uvádí obvyklé dávkování tekutých alkalických urychlovačů.

**Tabulka 3: Požadavky na nealkalické urychlovače [6]**

hodnota pH	2 až 8
ekvivalent $\text{Na}_2\text{O}$	menší než 1% cementu
obsah sulfátů jako $\text{SO}_3$	menší než 4,5% včetně obsahu v cementu
pokles pevnosti po 28 dnech	menší než 10 %

**Tabulka 4: Požadavky na tekuté alkalické urychlovače [6]**

	obvyklé dávkování v % k hmotnosti cementu	maximální dávkování v % k hmotnosti cementu	maximální přípustný pokles pevnosti po 28 dnech v %
tekutý urychlovač tuhnutí	5 až 7	8	30



### **Nulový beton**

Termínem nulový beton se označuje beton vyrobený technologií nástřiku bez urychlujících přísad. Při realizaci nástřiků nebyl požadavek na rychlý nárůst počátečních pevností. Beton nebyl bezprostředně po nástřiku vystaven zatížení. Mezi jednotlivými vrstvami nástřiku byl delší časový interval. Tento typ betonu byl dále využit v rámci experimentální části, protože výsledky zkoumání vlivu obsahu vody na pevnost betonu není zatížena vlivem jakéhokoli typu přísad.

## 4. ZKOUŠKY STŘÍKANÉHO BETONU

Jedním z nejdůležitějších parametrů stříkaného betonu je vývoj jeho počátečních pevností bezprostředně po provedení nástřiku, tzv. pevnosti mladého stříkaného betonu. Tato pevnost je důležitá zejména z hlediska bezpečnosti prací, kdy je možné provádět další vrstvu nástřiku, tak i z hlediska ekonomického (rychlost provádění prací). V současné době se běžně používá několik standardizovaných metod měření pevnosti mladého stříkaného betonu. Každá z metod má své výhody i nevýhody. Výsledky jednotlivých metod se dalšími výzkumy zpřesňují. Kalibrace přístrojů pro měření pevnosti vychází z měrné pevnosti v tlaku, výsledky jsou zařídovány do již dříve změřených oborů (J1-J3 a to dle nárůstu počátečních pevností).

Zkoušky dělíme na:

- destruktivní
- nedestruktivní

Zkoušky mladého stříkaného betonu:

- měření pevnosti metodou penetrační jehly
- měření pevnosti metodou zarážení hřebů
- měření pevnosti na přenosném hydraulickém lisu (používá se mimo EU)
- ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu
- měření pevnosti Schmidtovým tvrdoměrem

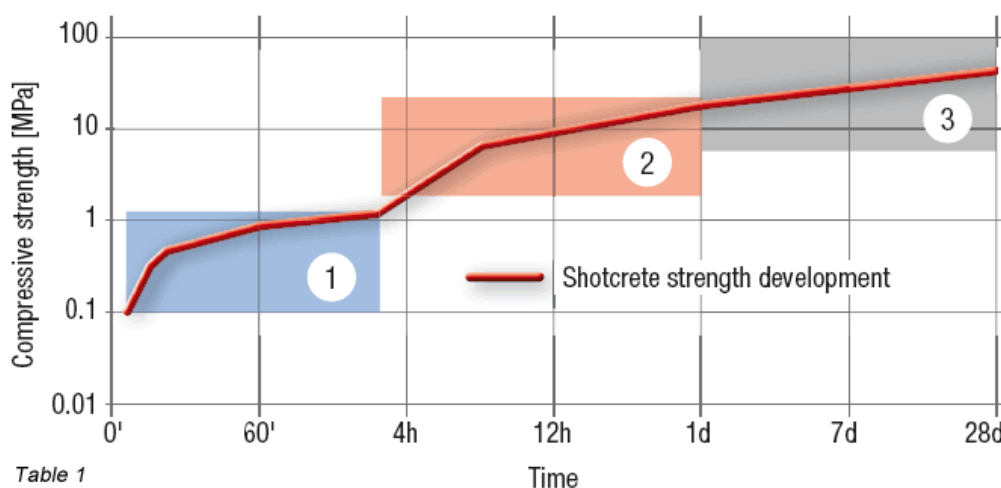
Měření pevnosti ztvrdlého stříkaného beton

- Pull – Out – Test (používá se mimo EU)
- ASTM Round Panel Test (používá se mimo EU)
- Měření na jádrových vývrtech

Tabulka 4 prezentuje možné zkoušky betonu na základě jeho stáří a pevnosti dle normy ČSN EN 14488 – 2. Obrázek 8 ukazuje grafické rozdělení metod využívaných pro měření pevnosti.

**Tabulka 5: Rozdělení metod podle ČSN EN 14488 – 2**

Třída pevností [Mpa]	Stáří betonu	Metoda
0-1	do 3hod.	Penetrační jehlou
1-8	3až 24 hod	Zarážení hřebu (bílé náboje)
8-16		Zarážení hřebu (zelené a žluté náboje)
5-100	1 až 28dní	Zkoušení pevnosti na jádrových vývrtech



**Obrázek 8: Grafické znázornění rozdělení metod pro měření pevnosti**  
 [Dr. Lindlar, B., CPE Jahn, M. Method Statement Strength Measurement of Shotcrete [online]. 2. verze, 2010-03-10 [cit. 2012-09-10] Dostupné z <[http://www.sika.com/content/dam/Corporate/Microsite\\_Shotcrete/pdf/Method%20Statement%20Shotcrete%20Testing%20.pdf](http://www.sika.com/content/dam/Corporate/Microsite_Shotcrete/pdf/Method%20Statement%20Shotcrete%20Testing%20.pdf)>]

**Tabulka 6: Přehled norem pro měření pevnosti v tlaku stříkaného betonu [7]**

Zkouška	Norma
Metoda penetrační jehly, Penetration Test	ČSN EN 14488 – 2, ASTM C 803
Metoda zarážení hřebů	ČSN EN 14488 – 2
Metoda zatěžování trámů v přenosném hydraulickém lisu	ASTM C1140
Metoda Schmidtových tvrdoměrů, Schmidt Rebound Hammer	ČSN 73 1373, ASTM C 805
Pull – Out - Test	ASTM C 900
Metoda měření rychlosti UZ impulzů	ČSN EN 73 1373, ASTM 597

Nejdůležitější parametrem sledovaným na stříkaném betonu je vývoj pevností v prvních hodinách po nástřiku, tzv. pevnost mladého stříkaného betonu. Je důležitá jak po prováděcí stránce, tj. bezpečnost prací pod horninovým masivem, čas nástřiku další vrstvy atd., tak po stránce ekonomické (rychlost postupu prací).

Bylo zavedeno hned několik metod měření pevnosti mladého stříkaného betonu. Každá má své výhody i nevýhody, každá se snaží své výsledky dalšími výzkumy dále zpřesňovat. Kalibrace přístrojů pro měření pevnosti vychází z měřené pevnosti v tlaku a zařídí je beton podle jeho již dříve zmíněných oborů (J1, J2, J3).[5]

## ZKOUŠKY ZTVRDLÉHO STŘÍKANÉHO BETONU

Zkoušky ztvrdlého stříkaného betonu jsou prováděny standardizovanými postupy podle norem řady ČSN EN 14488 na jádrových vývrtech.

### **Pevnost v tlaku**

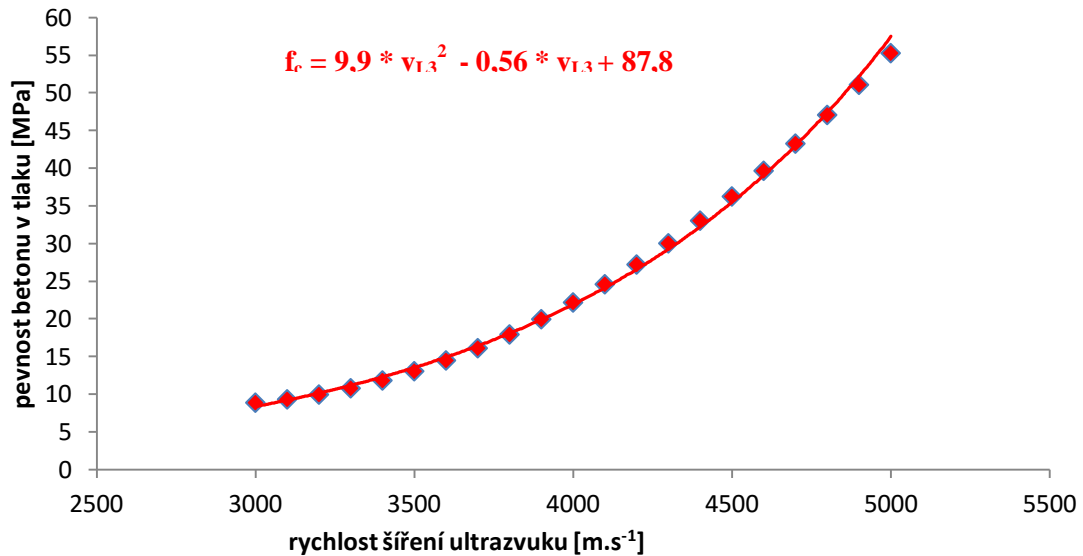
Pevnost v tlaku je prováděna podle normy ČSN EN 12390 - 3 na zkušebních tělesech tvaru krychle nebo válce. Třídy betonu se rozdělují dle charakteristických pevností dosažených na krychelných a válcových vzorcích (SB 16/20).

Pro prosté betony bez urychlovače je stanoven poměr mezi charakteristickými hodnotami získanými z měření na krychlových vzorcích (krychle o hraně 150mm) a válcových vzorcích (průměr x výška 150mm x 300mm). Vzájemný přepočítání mezi pevnostmi krychlových vzorků ( $f_{c,cube}$ ) a válcových vzorků ( $f_{c,cyl}$ ) uvádí vztah  $f_{c,cube} = 0,8 \cdot f_{c,cyl}$ . Tento poměr zahrnuje skutečnost, že zkušební tělesa mají odlišný poměr výšky k podstavě a je zde tedy patrný vliv tření ocelových desek při zkoušení zatěžování v zatěžovacím lisu. Poměr mezi krychlovou a válcovou pevností by se zmenšoval, snižoval by se poměr výšky válce k jeho podstavě.

Obecně platí, je-li výška válce  $h$  rovna průměru podstavy  $d$  je třeba jeho pevnost vynásobit korelačním faktorem 0,8 tak, aby byla odpovídající hodnota pevnosti na válci, který má poměr výška  $h$  k průměru podstavy  $d$  roven 2. Z toho plyne, je-li zkušební těleso válec o poměru  $h/d = 1$ , měla by být zjištěná hodnota pevnosti v tlaku stejná jako na standardní krychli.

Beton je heterogenní stavební kompozit. Je vyráběn v různých podmínkách při použití složek, které mají proměnné vlastnosti. Díky tomu se mohou měnit materiálové charakteristiky a to zejména pevnost v tlaku. Při měření pevností v tlaku dochází k rozptylu zjištěných hodnot. Rozlišujeme průměrné pevnosti ( $f_{cm}$ ) a charakteristické pevnosti ( $f_{ck}$ ). Charakteristická pevnost je pevnost pro kterou platí, že s 95% pravděpodobností bude naměřená hodnota během zkoušky pevnosti ( $f_c$ ) vyšší než  $f_{ck}$ . Charakteristická pevnost se proto používá pro navrhování konstrukcí. Tato pevnost je ještě dále upravována pomocí součinitele spolehlivosti na návrhovou pevnost ( $f_{cd}$ ).[5]

Informativní pevnost betonu v tlaku na základě rychlosti šíření ultrazvuku je uvedena na grafu 1 společně s rovnicí pro  $f_c$  na základě měření rychlosti šíření ultrazvuku vzorkem.



Graf 1: závislost pevnosti v tlaku na rychlosti šíření ultrazvuku podle obecného vztahu

Vztah mezi rychlostí šíření ultrazvuku a pevností v tlaku může být odlišný podle konkrétního složení betonové směsi. Obecný kalibrační vztah není zcela vhodný pro beton neznámé receptury, resp. receptury pouze s jemnou frakcí kameniva. Pro konkrétní recepturu je vhodnější sestavení nového kalibračního vztahu mezi rychlostí šíření ultrazvuku a pevností betonu ověřenou pomocí destruktivních zkoušek a vypočtení objemové hmotnosti betonu. Vztah znázorněný na grafu 1 je pro standardní hutné betony od pevnosti 10MPa až 60MPa, rozsah využití to vztahu je pro rychlosti šíření ultrazvuku od 3000m.s<sup>-1</sup> do 5000m.s<sup>-1</sup> pro vyšší pevnosti je tento vztah nepřesný.

Stanoví informativní pevnosti v tlaku pomocí této metody je velmi rychlé a snadno a aplikovatelné v in situ. Nevýhodou této metody je ovlivnění výsledků vysokou teplotou materiálu nebo jeho vlhkostí. [8]

## 5. POPIS METODIKY ZKOUŠENÍ

### 5.1 Stanovení množství záměsové vody

Pro ověření množství záměsové vody ve stříkaném betonu bylo provedeno měření při provádění nástřiku suchou cestou. Měření množství záměsové vody bylo měřeno pomocí běžného vodoměru značky Embra IBRF/20 o třídě přesnosti B osazeného na přívodním vodovodním potrubí k trysce stříkacího stroje.

Před začátkem provádění nástřiku byl odečten stav na vodoměru. Po ukončení nástřiku byl proveden odečet konečného stavu vodoměru. Z konečného a počátečního stavu vodoměru bylo stanoveno množství záměsové vody, které bylo použito pro známou hmotnost nastříkané suché betonové směsi. Soustava pro měření množství záměsové vody je zobrazena na obrázku 9.



Obrázek 9: provádění měření množství záměsové vody

### 5.2 Visuální kontrola

Visuální kontrola jednotlivých zkušebních těles byla prováděna dle normy ČSN EN 13018. Zkušební tělesa byla podrobena přímé vizuální kontrole, při které není žádná překážka mezi okem pozorovatele a kontrolovaným předmětem.

Kontrola byla prováděna pozorováním zkušebního tělesa ze vzdálenosti 400mm. Těleso bylo osvětleno stolní lamou při intenzitě osvětlení 600 lx. Nejprve byly kontroly podrobeny podstavby zkušebních těles, následně válcové povrchy těles. Jako referenční těleso bylo zkušebně těleso „A1-1“, tento vzorek nevykazoval žádné vizuální defekty (kaverny, jednotlivé viditelné vrstvy nástřiku). Jednotlivá zkušební tělesa byla porovnávána s referenčním tělesem, byl vyhodnocován počet defektů, jejich umístění a místo odvrtní ze zkušební desky. Tyto defekty by totiž mohly mít vliv na výsledky destruktivních (pevnosti v dostředném tlaku) i nedestruktivních (rychlosti šíření ultrazvukového impulsu) zkoušek.

### 5.3 Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost zkušebních těles byla zjištěna postupem popsáním v normě ČSN EN 12 390-7, Zkoušení ztvrdlého betonu - Část7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu.

Pro zjištění objemové hmotnosti zkušební tělesa je zapotřebí stanovit následující hmotnosti:

$m_r$	hmotnost zkušební tělesa v laboratoři
$m_o$	hmotnost vysušeného zkušební tělesa
$m_w$	hmotnost zkušební vzorku ve vodě
$m_a$	hmotnost zkušební vzorku nasáknutého vodou

Při měření je nejprve stanovena hmotnost  $m_r$ , dále je vzorek vysušen v sušárně tak, aby se hmotnost vysušeného tělesa mezi jednotlivými měřeními nelišila více jak o 0,2%, a je zjištěna hmotnost vysušeného tělesa  $m_o$ . Vysušené těleso je zavěšeno do třmenů na váhu a ponořeno do vody tak, aby se nedotýkalo stěn nádoby s vodou. Těleso je ve vodní lázni umístěno tak dlouho, než se jednotlivé hodnoty měření hmotnosti vzorku ponořeného ve vodě liší méně než o 0,2%. Pak je určena hmotnost ponořeného tělesa  $m_w$ . Zkušební těleso je poté vyjmuto z vodní lázně, jeho povrch je otřen vlhkým hadrem a je stanovena hmotnost tělesa s obsahem vody  $m_a$ .

Ze zjištěných hmotností je vypočítán objem zkušební tělesa dle vzorce:

$$V = \frac{m_a - m_w}{\rho_w}$$

$\rho_w$  je tabelovaná objemová hmotnost vody. Objemová hmotnost ( $D(\rho)$ ) je stanovena na základě zjištěného objemu zkušební tělesa a hmotnosti zkušební tělesa v laboratoři ( $m_r$ ).

$$D(\rho) = \frac{m_r}{V}$$

## 5.4 Ultrazvuková impulzová metoda průchodová

Ultrazvuk je akustické vlnění s frekvencí 20 kHz. Ultrazvuk je ve stavebnictví využíván jako jedna z metod nedestruktivního zkoušení materiálu a to především díky schopnosti procházet silnými vrstvami materiálu. Při ultrazvukovém zkoušení materiálu zjišťujeme rychlost šíření ultrazvuku materiálem. Rychlost průchodu je pro jednotlivé materiály odlišná a mění se s vlastnostmi materiálu. Rychlost průchodu ultrazvukové vlny je stanovena na základě změřeného času průchodu ultrazvukového impulsu materiálem o známém rozměru. Metodu měření ultrazvukových vln betonem popisuje norma ČSN EN 12504-4. Podstatou metody je opakované vysílání ultrazvukových impulsů do zkoušeného materiálu. Impulz podélných vibrací je vyvoláván elektroakustickým budičem (vysílačem), který je osazen na ploše zkoušeného betonu, průchodem impulsu betonem po známé dráze je impuls přeměněn na elektromagnetický signál, který je přijímán přijímačem a pomocí elektronicky časovaného okruhu je měřen čas průchodu impulsu  $t$  po známé dráze  $L$ . Při této metodě se používají sondy s kmitočtem mezi 20kHz – 150kHz. Volba sond je závislá na délce měřící základny.

Impulzovou rychlost šíření ultrazvukového vlnění vypočítáme ze vztahu:

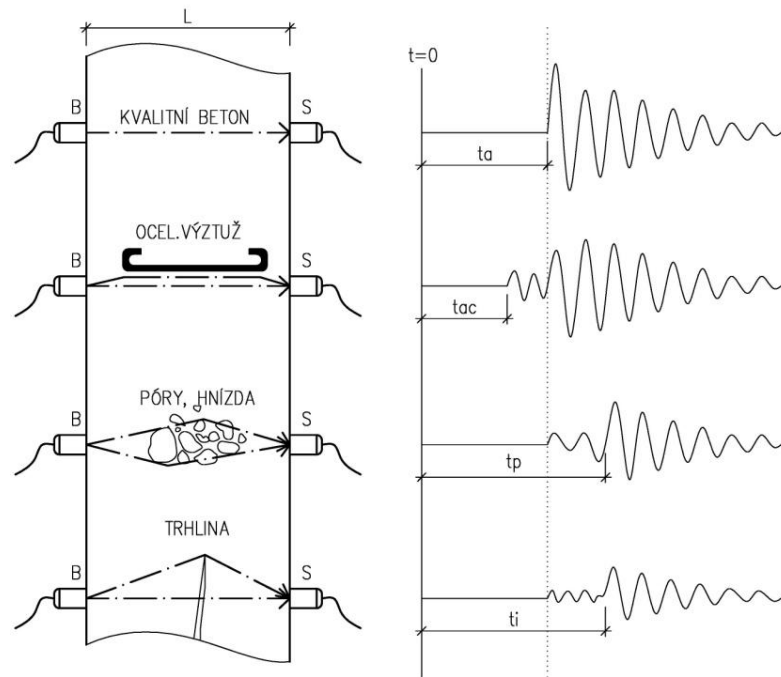
$$v_{uz} = \frac{L}{T} [m \cdot s^{-1}]$$

kde  $L$  – délka měřící základny [mm]

$T$  – čas, který uplyne při průběhu impulsu měřící základnou [ $\mu$ s]

Na základě známé rychlosti šíření ultrazvuku je možné stanovit podle obecných kalibračních vztahů fyzikálně-mechanické vlastnosti materiálu jako objemová hmotnost, dynamický modul pružnosti, stejnorodost, změny struktury atd. Vztah mezi šířením ultrazvukového impulsu a pevností v tlaku se může lišit v závislosti na složení betonu. Není-li známo složení betonu, je odhad pevnosti betonu pouze na základě šíření ultrazvuku nevěrohodný. Při zvyšování pevnosti betonu klesá citlivost této metody měření. Nevýhodou této metody je především výrazné ovlivnění výsledků měření vlhkostí nebo vysokou teplotou. Na obrázku 10 je ukázáno šíření ultrazvukové vlny vzorkem a vliv různých trhlin a výztuží, hnízd a jiných nehomogenit. Lze zde sledovat tvar ultrazvukové vlny, která je závislá na typu nehomogenity.[9,10]





Obrázek 10: vliv kvality betonu na rychlost šíření a tvar impulzu UZ vlnění [10]

## 5.5 Stejnorodost

Stejnорodost betonu je možné stanovit u konstrukcí, které jsou přístupny z obou stran, použitím ultrazvukové metody.

V rámci experimentální části byla porovnávána stejnорodost zkušebních desek, ze kterých byla provedena pomocí jádrových vývrtů zkušební tělesa. Zkušební tělesa měla tvar válce o rozměrech  $d=100\text{mm}$ ,  $h=100\text{mm}$ .

Na zkušebních tělesech byla pomocí ultrazvukového přístroje TICO firmy Proceq, změřena rychlost šíření ultrazvukového signálu. Tyto rychlosti byly vykresleny v grafu pomocí isovel. Z jejich průběhu jsme posuzovali stejnорodost betonu ve zkušebních deskách.

Stejnорodost jsme vyjádřili matematicky pomocí variačního koeficientu impulzové rychlosti šíření ultrazvukového vlnění  $V_x$  v % dle vzorce:

$$V_x = \frac{S}{m_x} * 100$$

kde  $S$  – výběrová směrodatná odchylka souboru hodnot

$m_x$  – aritmetický průměr rychlosti šíření impulzu ultrazvukového vlnění [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

Směrodatnou odchylku vypočítáme dle vzorce:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

kde  $x_i$  – impulzová rychlosti šíření kluzu ultrazvukového vlnění [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

$\bar{x}$  – aritmetický průměr [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

$n$  – počet měření

Vyhodnocení stejnorodosti bylo provedeno dle normy ČSN 73 2011 na základě informativní tabulky (tabulka 7), která udává hodnoty variačního součinitele podle pevnosti v tlaku pro určité třídy betonu, současně tabulka udává pro stejné třídy betonu i hodnoty variačního součinitele pro rychlost šíření ultrazvukového vlnění.

**Tabulka 7: vyhodnocování stejnorodosti betonu na základě variačního koeficientu (%) jednotlivých veličin**

Třída betonu	Variační součinitel pevnosti v tlaku $V_x$ [%]	Variační součinitel pro rychlost šíření ultrazvukového vlnění $V_x$ [%]	Variační součinitel pro objemovou hmotnost $V_x$ [%]
SB12/15	16	4	2,5
SB16/20	16	4	2,5
SB25/30	14	3,5	2,5
SB30/37 – SB50/60	12	3	2,5

## 5.6 Kontrola zhutnění betonu pomocí ultrazvuku

Kontrola zhutnění betonu byla provedena podle metodiky popsané v „NDT zkoušení ve stavebnictví – příručce kurzu CŽV„. Při provádění stříkaného betonu na stavbě mohou nastat problémy při jeho zhutnění. Jedním ze způsobů kontroly již zatvrdlého betonu je porovnání rychlostí šíření ultrazvukového vlnění v různých průřezích prvku. Šíření ultrazvuku může být ovlivněno umístěním jádrového vývrtu ve zkušební desce.

U jednotlivých jádrových vývrtů odvrtných ze stejné zkušební desky bylo provedeno měření rychlosti ultrazvukového vlnění. Následně byl vypočten rozdíl mezi nevyšší vypočtenou rychlostí a nejnižší vypočtenou rychlostí šíření ultrazvukového vlnění. [11]

Vypočtená hodnota byla zatříděna do jednotlivých intervalů  $v_L$  dle tabulky 8..

**Tabulka 8: hodnocení zhutnění stříkaného betonu na základě podélné rychlosti šíření ultrazvuku**

hodnotící interval rozdílu rychlostí šíření ultrazvuku	hodnocení zhutnění na základě rozdílu rychlosti šíření
<100m.s <sup>-1</sup>	výborné
100-200m.s <sup>-1</sup>	dobré
200-300m.s <sup>-1</sup>	dostatečné
>300m.s <sup>-1</sup>	nedostatečné

## 5.7 Pevnost betonu v tlaku

Pevnost betonu v tlaku byla stanovována dle normy ČSN EN 12390-3 na válcových vývrtech o průměru 100mm a výšce 100mm. Rozměry zkušebního tělesa byly voleny tak, aby výsledná hodnota pevnosti v tlaku na vzorcích tvaru válce byla rovna hodnotě pevnosti v tlaku na vzorcích tvaru krychle.

Výsledky zkoušky jsou významně ovlivněny třením mezi styčnými plochami zkušebního tělesa a plochami lisu. Třecí síla způsobuje nárůst pevností o cca 20%, oproti zkoušce, ve které by bylo vyloučeno tření. Válec se při klasické zkoušce poruší ve tvaru kužele. Nepůsobilo-li by tření, bylo by porušení zkušebního tělesa pouze svislými trhlinami.

Matematický vztah pro určení pevnosti v tlaku je:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

kde  $f_c$  – pevnost v tlaku [MPa]

$F$  – maximální zatížení při porušení vzorku [N]

$A_c$  – průřezová plocha zkušebního tělesa, na kterou působí zatížení v tlaku [mm<sup>2</sup>]

## 5.8 Dynamický modul pružnosti v tahu a tlaku

Stavební konstrukce, u kterých stříkaný beton neplní jen statickou funkci, ale i funkci nestatickou (úprava povrchu pilotové stěny). Tyto konstrukce mohou být jak trvalého charakteru, tak dočasného charakteru, kdy velmi často konstrukce původně navržena jako dočasná se postupně stává trvalou. V důsledku klimatických změn může u takové konstrukce docházet ke změnám ve struktuře materiálu. Tyto změny většinou nejsou pozorovatelné na povrchu konstrukce. Pro odhalení změn betonových konstrukcí mezi kamenivem a cementovým kamenem se využívá nedestruktivní zkoušení tzv. stanovení dynamického modulu pružnosti v tahu a tlaku. Změna hodnoty modulu v čase může napovědět o změnách ve struktuře konstrukce.

Dynamický modul pružnosti v tahu a tlaku stanovujeme nedestruktivními metodami - ultrazvukovou nebo rezonanční metodou. V rámci experimentální části bylo provedeno stanovení dynamického modulu pružnosti v tahu a tlaku ultrazvukovou metodou. Pro stanovení dynamického modulu pružnosti byly použity výsledky z měření průchodu ultrazvukového impulsu jednotlivými zkušebními tělesy.

Dynamický modul pružností v tahu a tlaku vypočteme dle vzorce:

$$E_{bu} = \rho * v_L^2 * \frac{1}{k^2} * 10^{-6}$$

kde  $E_{bu}$  – dynamický modul pružnosti [N.mm<sup>-2</sup>]

$\rho$  – objemová hmotnost materiálu [kg.m<sup>-3</sup>]

$v_L$  – rychlost šíření ultrazvuku [m.s<sup>-1</sup>]

$k$  – koeficient rozměrnosti prostředí

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V rámci experimentální části byly odebírány vzorky stříkaného betonu prováděného manuálním způsobem suchou cestou. Byly použité dvě receptury směsí. U první receptury A bylo odebráno 21 zkušebních desek, u receptury B bylo odebráno 13 zkušebních desek. Popis jednotlivých receptur je uveden v kapitole Použité suroviny.

Pro jednotlivé receptury byly na stavbě odebrány zkušební desky o rozměrech 500x500x150mm. Celkový objem stříkaného betonu odebraného v rámci experimentální části byl 1,3m<sup>3</sup>. Z každé odebrané zkušební desky bylo vyrobeno pomocí jádrových vývrtů 9 zkušebních těles tvaru válce o průměru 100mm a výšce 150mm. Experimentálním zkouškám bylo podrobena 306 zkušebních vzorků.

## 6. POUŽITÉ SUROVINY

V rámci experimentální části práce byly odebírány vzorky stříkaného betonu, prováděného ze suché směsi připravené v betonárně s následným přidáním vody v průběhu provádění nástřiku. Při provádění nástřiku byly použity dvě základní receptury (A a B), které se lišily množstvím záměnové vody, přidávané při provádění nástřiku operátorem trysky. Složení jednotlivých vzorků s recepturami A resp. B jsou uvedeny v tabulce 9 a tabulce 10.

**Tabulka 9: receptura A v kg na 1m<sup>3</sup> betonu**

vzorky	třída betonu	CEM I 42,5 R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
A1-A21	SB 15 (C12/15)	300	1716	* 150

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5→množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**Tabulka 10: receptura B v kg na 1m<sup>3</sup> betonu (množství záměsové vody bylo doměřeno na stavbě)**

vzorky	třída betonu	CEM II 32,5 R	kamenivo 0 – 4 mm	popílek	voda
B7	SB 15 (C12/15)	300	1703	100	270
B8	SB 15 (C12/15)	300	1703	100	226
B9	SB 15 (C12/15)	300	1703	100	317
B10	SB 15 (C12/15)	300	1703	100	307
B11	SB 15 (C12/15)	300	1703	100	242
B12	SB 15 (C12/15)	300	1703	100	371
B13	SB 15 (C12/15)	300	1703	100	306
B1-B6	SB 15 (C12/15)	300	1703	100	* 150

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5→množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

Vodní součinitel, tedy poměr cementu a obsažené vody ve vzorku u suché směsi stříkaného betonu je ovlivňován konzistencí betonové směsi v průběhu provádění nástřiku. Obvykle je vodní součinitel v intervalu od 0,35 do 0,5. Vlhkost suché směsi dodávané na stavbu byla do 0,5% hmotnosti směsi. U vzorků A1-A21 jakož i B1-B6 byl vodní součinitel stanoven výpočtem na základě doporučené hodnoty, u vzorků B7-B13 byl stanoven měřením přímo na stavbě.

## 6.1 Cement

V receptuře A byl použit cement CEM I 42,5 R od firmy Českomoravský Cement, a.s. z cementárny Mokrá. Cement je vyráběn v souladu s evropskou normou ČSN EN 197 –1 Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití.

V receptuře B byl použit cement CEM I 32,5 R rovněž od firmy Českomoravský Cement, a.s. z cementárny Mokrá. Cement je vyráběn v souladu s evropskou normou ČSN EN 197 –1 Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití.

Hodnoty deklarované výrobcem jsou uvedeny v technických listenech na stránkách výrobce <http://www.heidelbergcement.cz/>.

Tabulka 11 srovnává hodnoty pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu požadované normou a deklarované výrobcem.

**Tabulka 11: Hodnoty pevností v tlaku a v tahu za ohybu požadované normou a deklarované výrobcem.**

	Pevnostní třída	Pevnost v tlaku [MPa]			Počátek tuhnutí [min]	Pevnost v tahu za ohybu [MPa]		
		Počáteční pevnost	Normalizovaná pevnost			Počáteční pevnost	Normalizovaná pevnost	
Požadavky na cement		2 dny	7 dní	28 dnů		2 dny	7 dní	28 dnů
Dle normy ČSN EN 197-1	32.5 R	>8	-	>30	>60	-	-	-
	42.5 R	>18	-	>40	>50	-	-	-
Deklarováno výrobcem	32.5 R	18,0	30,0	48,0	201	4,0	6,0	9,0
	42.5 R	30,0	52,0	61,0	196	6,0	8,0	9,0

## 6.2 Kamenivo

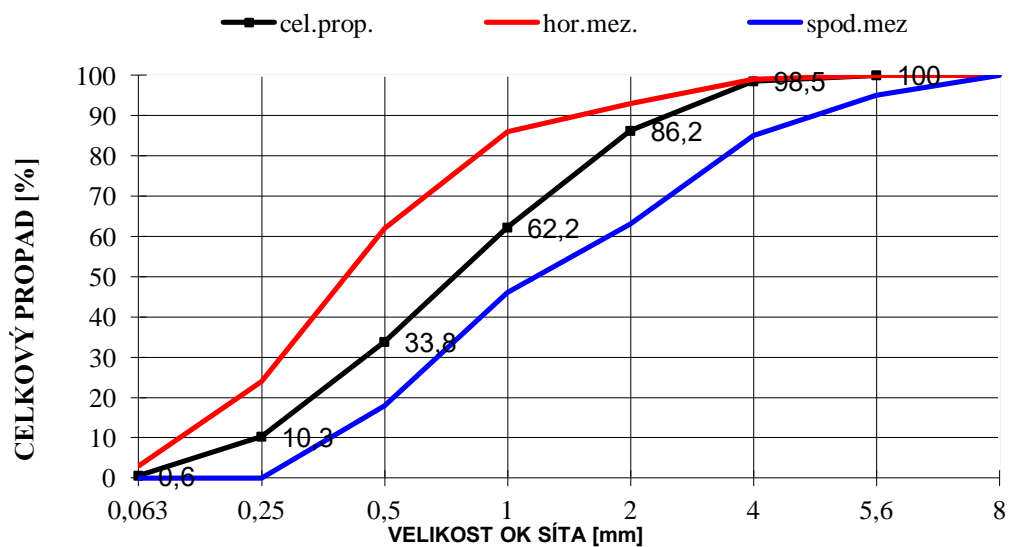
Kamenivo do betonu je vyráběno v souladu s evropskou normou ČSN EN 12 620 Kamenivo do betonu.

U kameniva byl proveden síťový rozbor dle normy ČSN EN 933-1, určena velikost zrna dle normy ČSN EN 1097-5, objemová hmotnost kameniva dle normy ČSN EN 1097-6 a tvarový index zrna kameniva dle normy ČSN EN 933-4.

Pro všechny receptury bylo použito těžené kamenivo frakce 0 - 4mm z pískovny Bratčice. Pro ověření zrnitosti kameniva byl odebrán vzorek a byl proveden jeho síťový rozbor na laboratorní třepačce. Charakteristika použitého kameniva z pískovny Bratčice zjištěna na základě zjištěného síťového rozboru je uvedena v tabulce 12 a grafu na obrázku 7.

**Tabulka 12: zrnitost kameniva 0-4 mm Bratčice**

síto s otvory [mm]	0,063	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8
celkový propad [%]	0,6	10,3	33,8	62,2	86,2	98,5	100	100



**Obrázek 11: křivka zrnitosti kamenivo 0-4 mm Bratčice**

### 6.3 Popílek

V suché betonové směsi A byl použit popílek z elektrárny Opatovice. Popílek je vyráběn jako vedlejší produkt při spalování černouhelného a hnědouhelného prachu. Elektrárna je provozována společností EP Coal Trading a.s. a ročně produkuje 260 000 t popílku pro stavební účely. Je certifikovaným stavebním výrobkem a odpovídá požadavkům normy ČSN EN 450-1. Charakteristiky popílku jsou uvedeny v tabulce 13..

**Tabulka 13: Tabulka vlastností použitého popílku**

ztráta žháním	max. 5,0 % hm.
obsah chloridů (vyjádřeny jako Cl)	max. 0,10 % hm.
obsah oxidu sírového SO <sub>3</sub>	max. 3,0 % hm.
volný oxid vápenatý	max. 1,5 % hm.
aktivní oxid křemičitý	min. 25% hm.
oxid křemičitý (SiO <sub>2</sub> ), oxid uhličitý (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) a oxid železitý (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	max. 70% hm.
celkový obsah alkálií přepočteny na NA <sub>2</sub> O <sub>eq</sub>	max. 5,0% hm.
oxid hořečnatý	max. 5,0 % hm.
jemnost (zbytek na síť 0,045 mm)	max. 40% hm.
index účinnosti po 28 dnech	min. 75%
index účinnosti po 90 dnech	max. 85%
objemová stálost	max. 10mm
měrná hmotnost	± 200 kg/m <sup>3</sup>

### 6.4 Voda

Záměsová voda potřebná k hydrataci cementu a následné tvorbě tuhé struktury cementového kamene, která byla přidávána do suché betonové směsi v trysce v průběhu nástřiku byla dodávána od vodovodního řádu a odpovídala požadavkům normy ČSN EN 1008. Vodní součinitel pro suchou technologii provádění nástřiku je do 0,5. V průběhu provádění nástřiku bylo možné měřit množství vody dodávané do trysky pouze u vzorků typu B. Průměrný vodní součinitel u této směsi byl stanoven 0,97, tedy téměř dvounásobný.

V rámci experimentální části práce nebylo provedeno ověřování vlastností jednotlivých složek směsi.



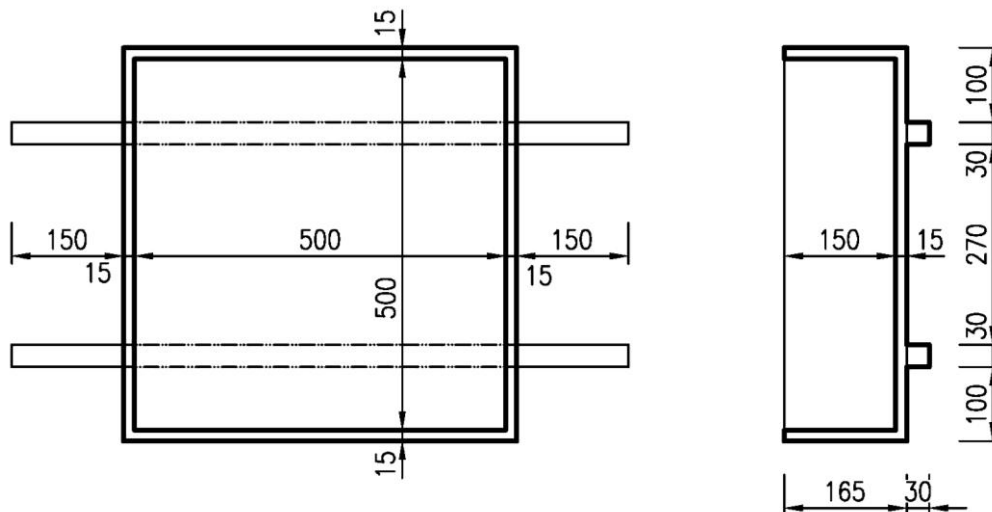
## 7. VÝROBA A ODOBĚR VZORKŮ

### 7.1 Výroba formy pro odběr vzorků

Pro odběr vzorků stříkaného betonu in situ byla zapotřebí forma odpovídající normovým požadavkům normy ČSN EN 14488-1. Pro ruční provádění nástřiku norma stanovuje minimální vnitřní rozměry formy 500x500mm s minimální hloubkou 100mm. Forma musí být tuhá a vnitřní povrch nenasákavý. Normovou formu nebylo možné zakoupit, proto bylo přistoupeno k výrobě vlastní formy.

Vnitřní výrobní rozměr vlastní formy tvaru kvádra byl zvolen 500x500mm, s hloubkou 150mm. Materiálem na výrobu formy byla zvolena vodostavební překližka síly 18mm. Aby neodcházelo k poškození povrchu zkušební desky při odformování, byla boční stěna formy opatřena panty, které umožňovaly sklopení boční stěny formy a usnadňovali odformování. Svislé stěny formy byly vyztuženy ocelovými rohovníky. Pro snadnější manipulaci s formou byla forma opatřena hranoly s funkcí madel o rozměrech 700x30x30mm. Výsledná zkušební deska po odformování byla rozměru 500x500x150mm.

Schéma formy je znázorněno na obrázku 12.



Obrázek 12: schéma formy pro odběr stříkaného betonu

## 7.2 Realizace nástřiku a příprava vzorku

Nástřik betonové směsi byl prováděn suchou cestou. Pro nástřik byla použita suchá směs s vlhčeným kamenivem typu A a B. Směs byla dopravována z betonárny a doba dopravy na místo stavby byla do 30 minut od namíchání. Směs byla zpracována do 1 hodiny od složení na stavbě. Stojní sestavu pro provádění nástřiku tvořil torkretovací stroj SSB 24 s teoretickým výkonem  $4,5\text{m}^3/\text{h}$  a kompresor Atlas Copco XAS 146 Ddo výkonu  $8,4\text{ m}^3/\text{min}$  s pracovním přetlakem  $0,7\text{ MPa}$ . Nástřik byl prováděn zezdola na horu. Vzdálenost trysky od podkladu byla do  $1,5\text{m}$ . Vodní součinitel byl upravován operátorem trysky tak, aby směs nestékala z podkladu a nebyl velký spad. Teplota při provádění nástřiku byla od  $12$  do  $24^\circ\text{C}$ . Na konstrukci ze stříkaného betonu nesvítlo v den provedení nástřiku slunce. Konstrukce po provedení nástřiku byla upravena ocelovou latí a povrch byl vyhlazen ocelovým hladítkem. Po vyhlazení povrchu nebylo provedeno ošetření konstrukce vlhčením. Obrázky 13 a 14 demonstrují průběh nástřiku a použitou techniku přímo na stavbě.



Obrázek 13: stroj pro provádění nástřiku suchou cestou

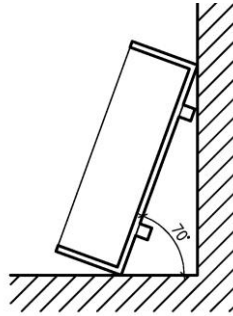


Obrázek 14: provádění nástřiku

### 7.2.1 Odběr vzorků

Odběr vzorků byl prováděn přímo na stavbě s realizací nástřiku dle kap. 7.2. do vlastní formy pro zhotovení zkušebních desek. Před nástřikem byla suchá forma opatřena odbedňovacím přípravkem Sika® Separol-33 Universal obrázek 16 a umístěna vedle místa nástřiku na stavbě ve sklonu  $70^\circ$  od vodorovné roviny, jak je znázorněno na obrázku 15. Nástřik byl prováděn totožně, jako při aplikaci betonu na reálnou konstrukci na stavbě. Operátor trysky tedy udržoval trysku v kolmém směru na rovinu

formy, vzdálenost trysky od dna formy byla v rozmezí 1,0m – 1,15m. Forma byla plněna směsí stříkaného betonu tak, aby vrstva nástřiku byla vyšší než hloubka formy cca o 5cm. Bezprostředně po provedení nástřiku byla betonová vrstva přesahující hranu formy stržena pomocí dřevěné latě opatřené separačním nátěrem shora dolů, aby povrch betonové desky byl hladký a nepřesahoval z formy obrázek 17.



**Obrázek 15: poloha formy při aplikaci nástřiku do formy**

Forma naplněná nastříkanou betonovou směsí byla ponechána 24 hodin od provedení nástřiku na stavbě ve stejné poloze, v jaké byl nástřik proveden. Dalších 7 dní byl již odformovaný vzorek ponechán ležet na podpůrných dřevěných trámečcích na staveništi, aby se vlastnosti odebraného vzorku co nejvíce blížily reálně aplikovanému betonu. Každá deska byla popsána, kde a kdy, byl nástřik proveden a odvezena do laboratoře.



**Obrázek 16: forma opatřena separačním přípravkem**



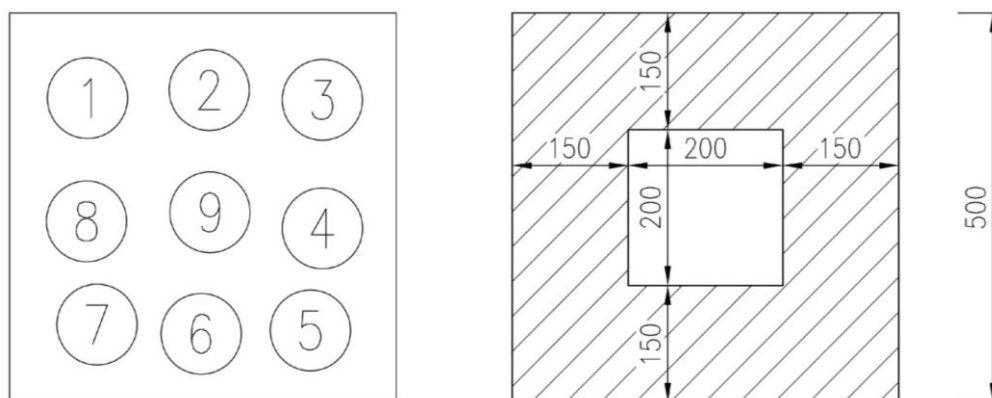
**Obrázek 17: upravená forma po provedení nástřiku**

### 7.2.2 Skladování

Odformovaná betonová deska byla po 7 dnech odvezena ze staveniště do laboratoře na Fakultě stavební, kde byla uložena po dobu 20 dní ve vodorovné poloze na dřevěných trámečcích, při teplotě cca 22 °C a vlhkosti cca 60%.

### 7.3 Výroba zkušebních těles

Ze zkušebních vzorků odebraných na staveništi do formy byla po 28 dnech od provedení nástřiku vyrobena zkušební tělesa. Zkušební tělesa byla vyrobena pomocí jádrových vývrtů o průměru 100mm. Z každého odebraného vzorku o rozměrech 500x500x150mm bylo pomocí jádrové vrtačky Hilti DD200 s jádrovým vrtákem odvrtáno 9 vývrtů (obrázek 19). Volba průměru jádrového vrtáku byla volena 100mm.



Obrázek 18: nedokonalá zóna dle ČSN EN 14488-1

Dle normy ČSN EN 14488-1 zkoušení stříkaného betonu – část 1 – odběr vzorku čerstvého a ztvrdlého betonu by neměly být vzorky odvrtávány z nedokonalé zóny. Nedokonalá zóna se dle normy nachází po obvodu zkušební desky v oblasti šířky rovnající se tloušťce zkušební desky, v našem případě tedy 150mm. Rozmístění jádrových vývrtů a zakreslení nedokonalé zóny je znázorněno na obrázku 18.



Obrázek 19: provádění jádrových vývrtů ze zkušební desky pro výrobu zkušebních těles

Po provedení vývrtů, byly vzorky podrobeny vizuální kontrole dle normy ČSN EN 13018, jak je popsáno v části metodika zkoušení kapitole 6.2 Vizuální kontrola.

Vzorky byly následně logicky přeznačeny dle typu receptury A a B. Původní značení používané na stavbě (dle místa odběru) a laboratorní značení (dle receptury směsi) používané v textu uvádí tabulka 14.

**Tabulka 14: značení zkušebních desek**

laboratorní označení zkušebních desek	označení zkušebních desek z in situ	receptura směsi	odebrání vzorku
A1	B	A	04/2011
A2	C	A	04/2011
A3	D	A	04/2011
A4	E	A	04/2011
A5	F	A	04/2011
A6	G	A	05/2011
A7	H	A	05/2011
A8	I	A	05/2011
A9	K	A	06/2011
A10	J	A	06/2011
A11	3.8.olom.	A	08/2011
A12	X	A	07/2012
A13	14.9.sas pado	A	07/2012
A14	15.9.sas pado	A	07/2012
A15	4.10.sob s	A	07/2012
A16	*2012	A	07/2012
A17	knauf satT	A	07/2012
A18	1.8.2012SAS kal	A	08/2012
A19	8.8.2012SAS kal	A	08/2012
A20	13.8.2012SAS kur	A	08/2012
A21	9.8.2012SAS	A	08/2012
B1	18.7.ž	B	07/2011
B2	17.8.ž	B	08/2011
B3	19.8.ž	B	09/2011
B4	21.8.ž	B	08/2011
B5	22.8.ž	B	08/2011
B6	23.8.ž	B	09/2011
B7	1.9.ž	B	09/2011
B8	2.9.ž	B	09/2011
B9	5.9.ž	B	09/2011
B10	6.9.ž	B	09/2011
B11	7.9.ž	B	09/2011
B12	8.9.ž	B	09/2011
B13	9.9.ž	B	09/2011

V in situ bylo provedeno značení, které odkazovalo na stavbu, ze které byla směs odebírána. Laboratorní značení bylo provedeno na základě použité směsi jednotlivých zkušebních desek.

## 7.4 Úprava zkušebních těles

Pro potřeby dalších zkoušek byla zkušební tělesa upravena tak, aby jejich rozměry byly tvaru válce s průměrem podstavy  $d=100\text{mm}$  a výškou  $h=100\text{mm}$  (obrázek 20). Tyto hodnoty byly zvoleny záměrně, protože při poměru zkušebního tělesa  $h/d=1$  je výsledná válcová pevnost v tlaku rovna krychelné pevnosti v tlaku.

Na základě změny normy ČSN EN 12390-3 Z1 je nutné provést přepočet mezi válcovou a krychlenou pevností betonu v tlaku. Tento přepočet dříve nebyl nutný byl-li poměr průměru válce  $D$  ku jeho výšce  $h$  roven 1. Po změně normy je vztah pro výpočet válcové pevnosti  $f_{c,cyl}$  dle vzorce:

$$f_{c,cyl} = \kappa_{c,cyl} * \frac{F}{A_c}$$

kde  $f_{c,cyl}$  – pevnost v tlaku [MPa]

$\kappa_{c,cyl}$  – opravný součinitel

$F$  – maximální zatížení při porušení vzorku [N]

$A_c$  – průřezová plocha zkušebního tělesa, na kterou působí zatížení v tlaku [mm<sup>2</sup>]

Tabulka 15: hodnoty součinitele  $\kappa_{c,cyl}$  [ČSN EN 12390-3 Z1]

poměr délky válce k jeho průměru $\lambda$	opravný součinitel $\kappa_{c,cyl}$
1,000 -1,013	0,85

Pro zjištění krychelné pevnosti  $f_{c,cube}$  podle vzorce:

$$f_{c,cube} = \kappa_{c,cube} * f_{cyl,cube}$$

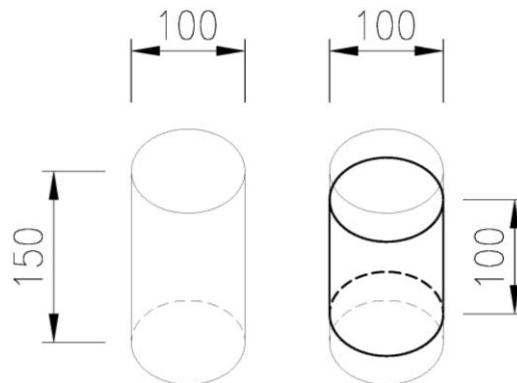


**Tabulka 16: převodní součinitel  $k_{c,cyl}$ , cube při pevnosti betonu zjištěné na válcích základního**

rozměru [ČSN EN 12390-3 Z1] válcová pevnost $f_{c,cyl}$ v MPa	Převodní součinitel $k_{c,cyl, cube}$
8	1,252
12	1,252
16	1,252
20	1,251
25	1,249
30	1,246
35	1,242
40	1,236
45	1,230

Přepočty podle změny normy ČSN EN 1290-3 Z1 nebyly v průběhu experimentální části prováděny. Zjištěná válcová pevnost v tlaku byla pro účely hodnocení kvality stříkaného betonu brána jako pevnost krychelná.

Zkrácení bylo provedeno pomocí diamantové pily tak, aby bylo dosaženo hladkosti a rovnoběžnosti podstav. Umístění řezů bylo voleno tak, aby byly eliminovány zjevné defekty na vývrtech (obrázek 15).



**Obrázek 20: úprava zkušebních těles**

## 8. ZKOUŠKY BETONU

### 8.1 Visuální kontrola

Visuální kontrola byla provedena dle metody popsané v části metodiky měření 6.2. Visuální kontrola byla provedena na každém jádrovém vývrtnu před finálním upravením zkušební tělesa. Kontrola byla prováděna v laboratoři na pracovním stole, na zkušební těleso svítila stolní lampa, která zajišťovala intenzitu osvětlení zkušební tělesa 600 lx. Při kontrole bylo z každé sady vybráno zkušební těleso, které mělo nejméně vad. Zbývající zkušební tělesa byla s tímto tělesem porovnávána a zjištěné vady byly zaznamenávány. Při úpravě zkušební tělesa byly voleny řezy tak, aby část zkušební tělesa, ve které se vada nachází, byla oříznuta. Obr. 21 je použit jako demonstrační pro ukázkou vad. Ukazuje sérii vzorků A20, kde je červenými kruhy vyznačeno místo vady. První vzorek byl vybrán za referenční.

U upravených zkušebních těles, ve kterých byly zjištěny vady byly porovnávány odchylky od průměrných hodnot jednotlivých sledovaných veličin, aby se prokázalo, zda má vada na tuto veličinu vliv. Vizualní kontrola sady zkušebních těles A20 (13.8. SAS KUR) je znázorněna na obrázku 21.

Vizuální kontrola receptury A

- U zkušební tělesa A3-7 byla zjištěna na povrchu válcové plochy ve středové části velmi malá trhlina (1-mm).
- U zkušební tělesa A5-2 byla zjištěna na povrchu válcové plochy ve středové části menší trhlina.(3-5mm)
- U zkušebních těles A6-2, A6-4 a A6-6 byly ve spodní části válcové plochy zjištěny větší trhliny (20x 2mm, hloubky 2mm).
- U zkušební tělesa A7-2, byla zjištěna ve spodní části válcové plochy větší trhlina (do 15 x 2mm, hloubky 1mm).
- U zkušebních těles A8-1, A8-2 byly ve spodní části válcové plochy zjištěny větší trhliny (do 20 x2mm, hloubky 2mm).
- U všech zkušebních těles sady A9 byla u každého tělesa nalezena v centrální části válcové plochy jedna trhlina o rozměrech 2 x 3 mm hloubky 3mm.
- U zkušební tělesa A10-2 byly v centrální části válcového povrchu dvě dutiny o rozměrech 20 x 3 mm hloubky 2mm, u tělesa A10-3 jedna trhlina o rozměrech 20 x 2 mm, hloubky 1mm a u tělesa A10-4 jedna trhlina o rozměrech 20x3mm, hloubky 1mm.



- U zkušební tělesa A11-3 byla v centrální části zjištěna trhlina o rozměrech 13 x 4mm.
- U zkušební tělesa A12-2 byly v centrální části válcového povrchu dvě dutiny o rozměrech 15 x 2 mm, hloubky 1mm, u tělesa A12-8 jedna trhlina o rozměrech 15 x 2 mm hloubky, 2mm a u tělesa A12-9 jedna trhlina o rozměrech 10 x 2mm hloubky 1mm.
- U všech zkušebních těles sady A12 byla u každého tělesa nalezena na válcové ploše jedna trhlina o rozměrech 30 x 2 mm, hloubky 2mm.
- U všech zkušebních těles sady A16, A18, A19, A21 bylo patrné velké množství defektů (několik dutin 30 x 3 mm, hloubky 3mm), defekty byly na rozhraní mezi jednotlivými vrstvami nástřiku.

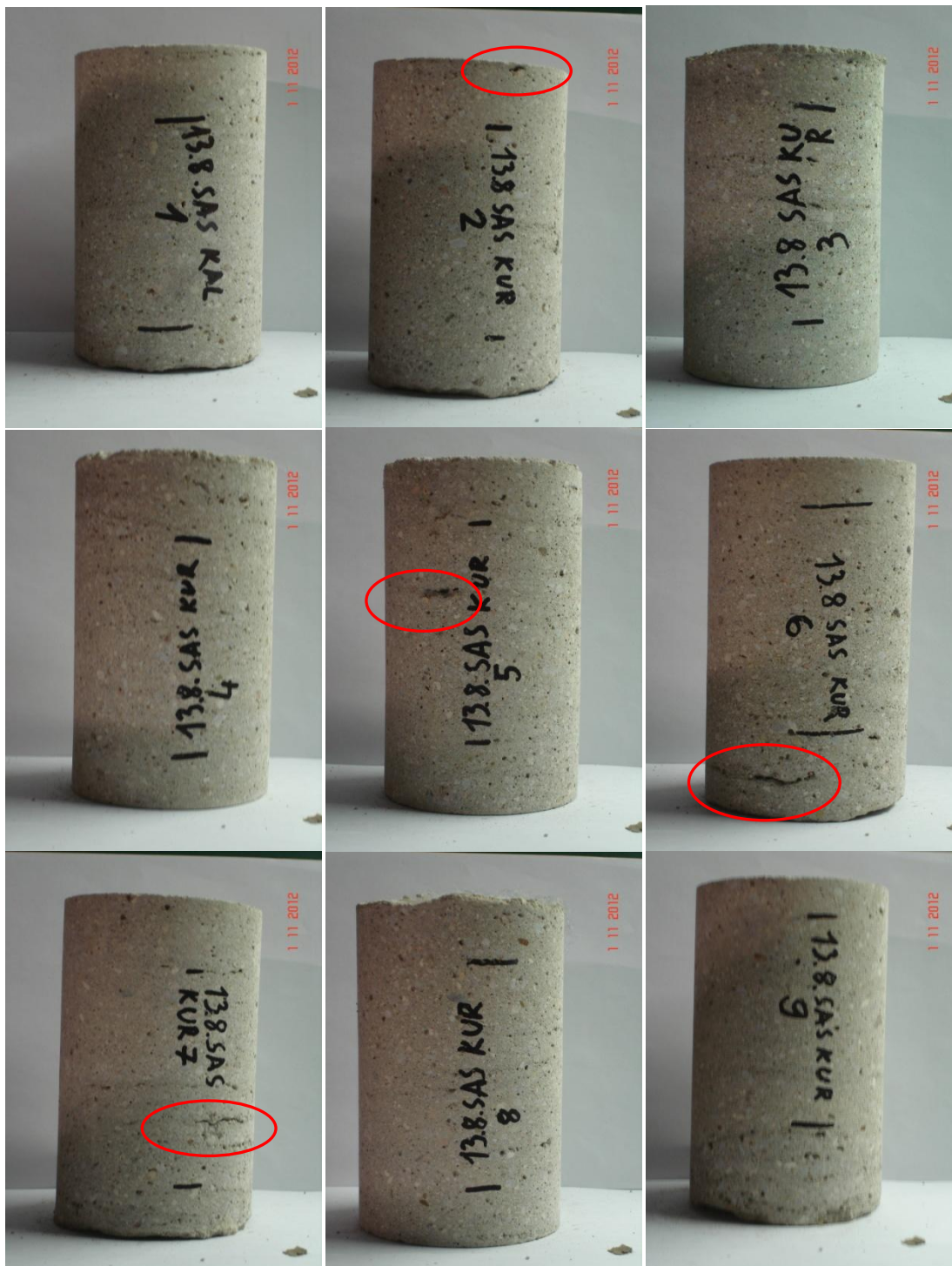
### Vizuální kontrola receptury B

- U všech zkušebních těles sady B1, B2 bylo patrné velké množství defektů (několik dutin 30 x 3 mm, hloubky 2mm), defekty byly na rozhraní mezi jednotlivými vrstvami nástřiku.
- U zkušební tělesa B4-3 byla v centrální části zjištěna trhlina o rozměrech 10x 5 mm, u tělesa B4-3 trhlina o rozměrech 20 x 5 mm, hloubky 3mm, u tělesa B4-8 byla trhlina 5 x 5 mm hloubky 2mm.
- U zkušební tělesa B6-3 byla v centrální části zjištěna trhlina o rozměrech 10 x 5 mm,
- U zkušební tělesa B7-9 byla zjištěna trhlina 30 x 2mm, hloubky 3mm.
- U zkušební tělesa B8-1 byla zjištěna trhlina 20 x 2mm, hloubky 1mm.
- U zkušební tělesa B12-1 byla zjištěna trhlina 15 x 3mm hloubky 2mm, u zkušební tělesa B12-5 jedna trhlina 15 x 2 mm, hloubky 1mm, u zkušební tělesa B12-9 byla trhlina rozměru 15 x 2mm, hloubky 1mm.
- U zkušební tělesa B13-8 byla zjištěna trhlina 15 x 2mm, u zkušební tělesa B13-5 jedna trhlina 15 x 2 mm, hloubky 2mm.

Z výsledků vizuální kontroly je patrné, že téměř v každé sadě zkušebních těles se nachází drobné defekty. Většinou jsou defekty patrné u zkušebních těles odvrtných mimo centrální část zkušební desky. To by odpovídalo teorii o nedokonalé zóně, která je po obvodu zkušební desky v šíři rovnající se výšce zkušební desky.

U zkušebních těles sady A16, A18, A19, A21, B1 a B3 bylo nalezeno velké množství defektů i u vývrtů z centrální části desky. Z toho je možné usuzovat, že nástřik

byl proveden nekvalitně, neboť zde byly patrné trhliny mezi jednotlivými vrstvami nástřiku, což svědčí o špatném postupu provádění nástřiku. Vliv těchto defektů neměl podstatný vliv na pevnosti zjištěné při zkoušce v dostředném tlaku na lise.



Obrázek 21: vizuální kontrola sady A20

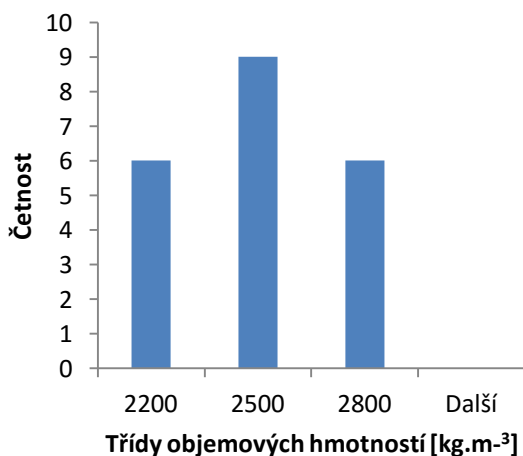
## 8.2 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost zkušebních těles byla zjištěna dle postupu popsaného v normě ČSN EN 12 390-7 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu.

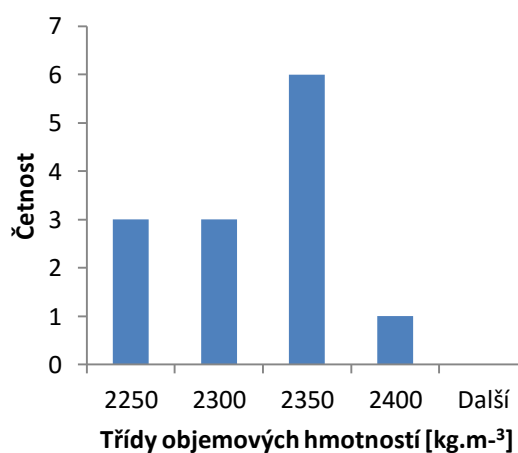
Při zjišťování objemové hmotnosti zkušební tělesa byla využita váha značky Sartorius s přesností na jedno desetinné místo. Nejprve byla změřena hmotnost zkušební tělesa uloženého v laboratoři ( $m_r$ ), následně bylo zkušební těleso umístěno do sušárny s nucenou cirkulací vzduchu při teplotě 105 °C po dobu 24 hodin tak, aby se hmotnost vysušeného tělesa mezi jednotlivými měřeními nelišila více jak o 0,2%, a byla zjištěna hmotnost vysušeného tělesa ( $m_o$ ). Vysušené těleso bylo dále ponořeno do 20 l nádoby s vodou o teplotě cca 20 °C po dobu 7 dní až do 100% nasycení vzorku vodou, kdy se jednotlivé hodnoty měření hmotnosti vzorku ponořeného ve vodě nelišily více než o 0,2%. Zkušební těleso bylo pod hladinou vody zavěšeno do třmenů (hmotnost ponořeného třmenu  $m_{st}$ ) do hloubky 5 cm nad dno nádoby. Byla určena hmotnost ponořeného tělesa ( $m_w$ ). Zkušební těleso bylo poté vyjmuto z vodní lázně, jeho povrch byl otřen vlhkým hadrem a byla stanovena hmotnost tělesa s obsahem vody ( $m_a$ ).

Na základě matematických vztahů uvedených v kapitole 5.3 byla vypočtena objemová hmotnost pro jednotlivá zkušební tělesa. Vypočtené hodnoty objemové hmotnosti pro jednotlivé zkušební vzorky jsou uvedeny v Příloze 1. Graf č. 4 a 5 graficky znázorňuje získané výsledky objemových hmotností vzorků.

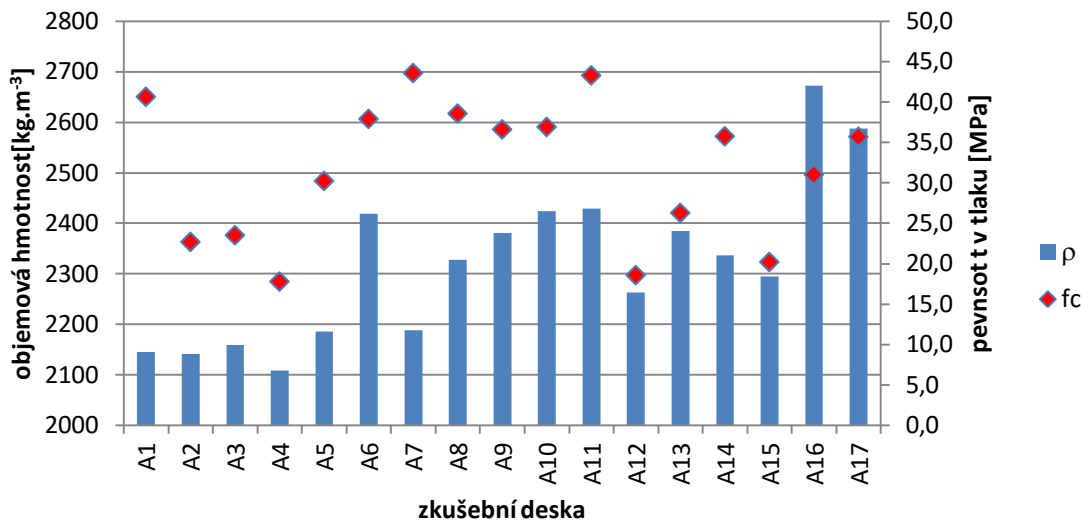
Pro další experimenty byl vzorek po vytažení z vodní lázně umístěn do laboratoře (stálá teplota cca 22 °C a vlhkost cca 60%), kde před dalšími experimenty vysychal do konstantního objemu vody.



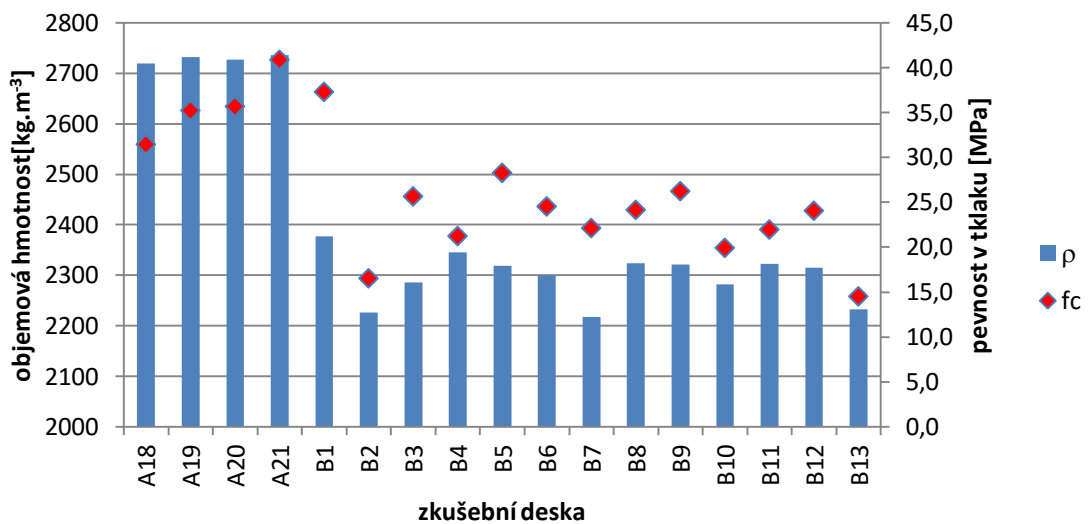
Graf 2: histogram objemové hmotnosti receptury A



Graf 3: histogram objemové hmotnosti receptury B



Graf 4: průměrná objemová hmotnost a pevnost v tlaku u jednotlivých zkušebních desek



Graf 5: průměrná objemová hmotnost a pevnost v tlaku u jednotlivých zkušebních desek

Na základě porovnání výsledků objemových hmotností zkušebních těles vyvrtaných z jednotlivých zkušebních desek, vyrobených ze směsi A je z grafu 3 patrné, že se zde nachází tři různá pásma objemových hmotností, která se vzájemně výrazně liší jak dokládá histogram v grafu 2. Jedná se o pásmo I. zahrnující zkušební desky A1–A5 a A7 o průměrné objemové hmotnosti  $2160 \text{ kg.m}^{-3}$ , dále pásmo II. zahrnující zkušební desky A6, A8-A15 o objemové hmotnosti  $2360 \text{ kg.m}^{-3}$ , a pásmo III. zahrnující zkušební desky A16-A21 o objemové hmotnosti  $2700 \text{ kg.m}^{-3}$ . U všech zkušebních desek A bylo deklarováno stejné složení, na základě zjištěných podstatných rozdílů v objemových hmotnostech je možné se domnívat, že směsi nebyly namíchány

vždy stejné a že do směsi použité u zkušebních desek A16-A21 bylo přidáno více cementu, což mělo za následek zvýšení objemové hmotnosti a tedy i pevnosti betonu.

Při porovnání jednotlivých zkušebních těles vyrobených podle receptury B, je patrný malý rozptyl objemových hmotností jednotlivých zkušebních desek, jak je znázorněno v histogramu v grafu 3. Vyšší vodní součinitel u zkušebních desek B9 a B12 neměl vliv na objemovou hmotnost.

### 8.3 Měření rychlosti ultrazvukového impulsu

Měření ultrazvukového impulsu bylo provedeno dle metodiky popsané v části metodiky měření - rychlost šíření ultrazvuku.

Při měření rychlosti průchodu ultrazvukového impulsu byly stanoveny rozměry zkušební tělesa dle normy ČSN EN 12390-1 a byla stanovena měřící základna. Rozměry byly odměřeny 3x pomocí posuvného měřidla s přesností na 0,1 mm. Následně byly vážením zjištěny hmotnosti zkušebních těles s přesností na 5g.

Pro měření rychlosti šíření ultrazvukového impulsu byl použit přístroj TICO od firmy Proceq se sondami o frekvenci 82 kHz. Zkušební tělesa většinou neměla dostatečně hladký povrch na to, aby bylo při přiložení sond dosaženo přiměřeně akustického spojení mezi povrchem zkušební tělesa a sondou. Pro zlepšení akustického spojení byly sondy opatřeny vrstvičkou plastelíny. Byl zjištěn tzv. mrtvý čas ( $T_0$ ), tedy doba průchodu ultrazvuku vrstvičkou plastelíny a konstrukcí sondy. Mrtvý čas byl zjišťován na etalonu se známou časovou charakteristikou.

U každého zkušební vzorku bylo provedeno měření rychlosti ultrazvuku pomocí přímého prozvučování přiložením vysílače a budiče do středu válcových podstav. Stav byl měřen třikrát. Po každém měření času průchodu ultrazvukového impulsu zkušebním tělesem bylo provedeno měření rychlosti šíření ultrazvukového impulsu etalonem. Na základě změřeného času průchodu ultrazvuku a mrtvého času byla vypočítána rychlost šíření ultrazvukového impulsu známou délkou vzorku.

Výpočet mrtvého času byl proveden podle vzorce:

$$T_0 = T_E - E$$

kde  $T_0$  – mrtvý čas [ $\text{m.s}^{-1}$ ]

$T_E$  j– doba průchodu impulsu ultrazvukového vlnění etalonem [ $\mu\text{s}$ ]

$E$  – časová charakteristika etalonu [ $\mu\text{s}$ ]

Pro každou měřicí základnu L byla vypočítána rychlost šíření ultrazvukového vlnění  $v_L$  v  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  dle vzorce:

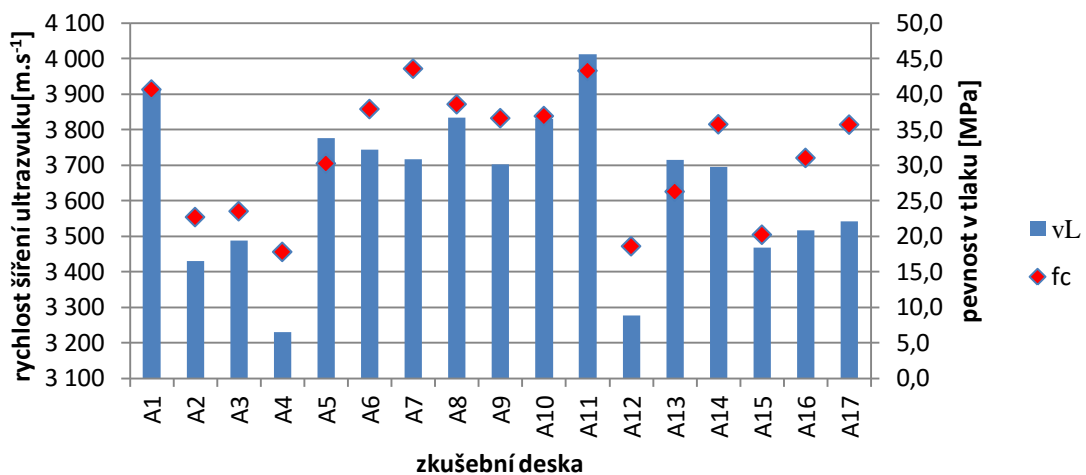
$$v_L = \frac{L}{T - T_0}$$

kde  $L$  – délka měřicí základny [mm]

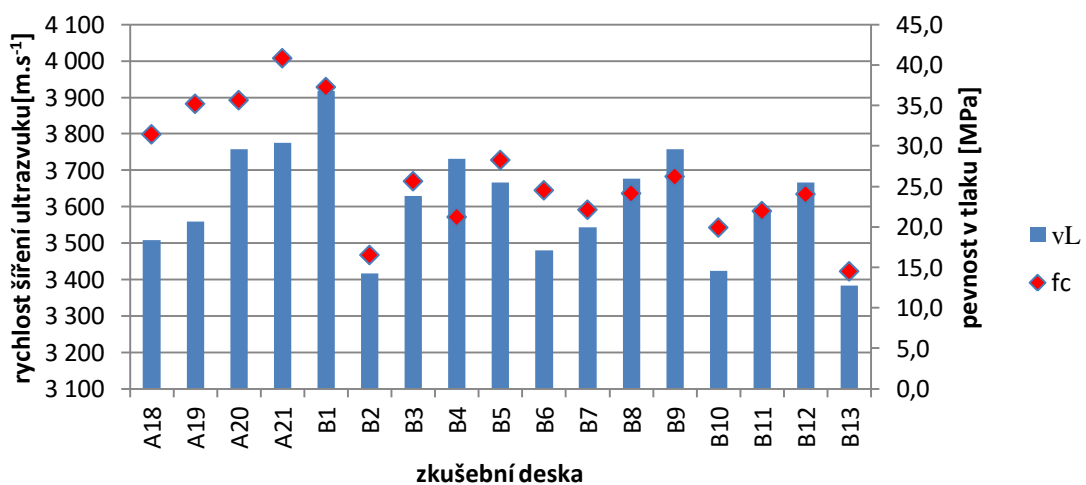
$T$  – doba průchodu impulzu ultrazvukového vlnění prvkem [ $\mu\text{s}$ ].

$T_0$  – mrtvý čas [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

Vypočtené hodnoty rychlosti šíření ultrazvukového vlnění pro jednotlivé zkušební vzorky jsou uvedeny v Příloze 1. Graf č. 6 a 7 graficky znázorňuje získané výsledky rychlosti šíření ultrazvukového vlnění pro jednotlivé zkušební desky.



Graf 6: průměrná rychlost šíření ultrazvukového impulzu a pevnost v tlaku u jednotlivých zkušebních deskách



Graf 7: průměrná rychlost šíření ultrazvukového impulzu a pevnost v tlaku u jednotlivých zkušebních deskách

Ze zkoušek měření rychlosti ultrazvukového impulsu jednotlivých jádrových vývrtů byl vypočítán průměr rychlostí šíření ultrazvukových vln pro jednotlivé zkušební desky. Z měření vyplynulo, že u zkušební desky A4 je průměrná rychlost šíření ultrazvuku výrazně nižší než u ostatních zkušebních desek stejného složení a to o více než  $200\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , u jádrových vývrtů z této zkušební desky nebyly vizuální kontrolou zjištěny žádné defekty. Nejnižší rychlosti byly naměřeny v centrální části zkušební desky. Další významný rozdíl v rychlosti průchodu ultrazvuku byl pozorován u zkušební desky A12, což může být způsobeno trhlinami zjištěnými u sady vývrtů z této zkušební desky při vizuální kontrole. Grafické znázornění rychlosti šíření ultrazvuku v jednotlivých zkušebních deskách na základě měření rychlosti ultrazvuku na jádrových vývrtech je zakresleno v příloze 2.

## 8.4 Pevnost betonu v tlaku

### 8.4.1 Pevnost betonu v tlaku

Pevnost betonu v tlaku byla vypočtená na základě destruktivní metody popsané v kapitole 5.7.

Zkušební tělesa tvaru válce o stanovených rozměrech byla podrobována zkoušce pevnosti v tlaku ve vysušeném stavu. Dvě hodiny před zkouškou byla tělesa vytažena ze sušičky, ve které byla po dobu dvou dnů ponechána při teplotě  $60^{\circ}\text{C}$ .

Zkušební tělesa byla zkoušena ve svislé poloze na hydraulickém lisu EDT 1600, kde byl nastaven zkušební rozsah  $400\text{kN}$  a rychlost zatěžování byla  $0,6\text{ MPa/s} \pm 0,2\text{ MPa/s}$ . Na základě změřené síly, při které došlo k porušení zkušebního tělesa a známé ploše na kterou síla působila, byla vypočítána hodnota pevnosti v tlaku dle vzorce:

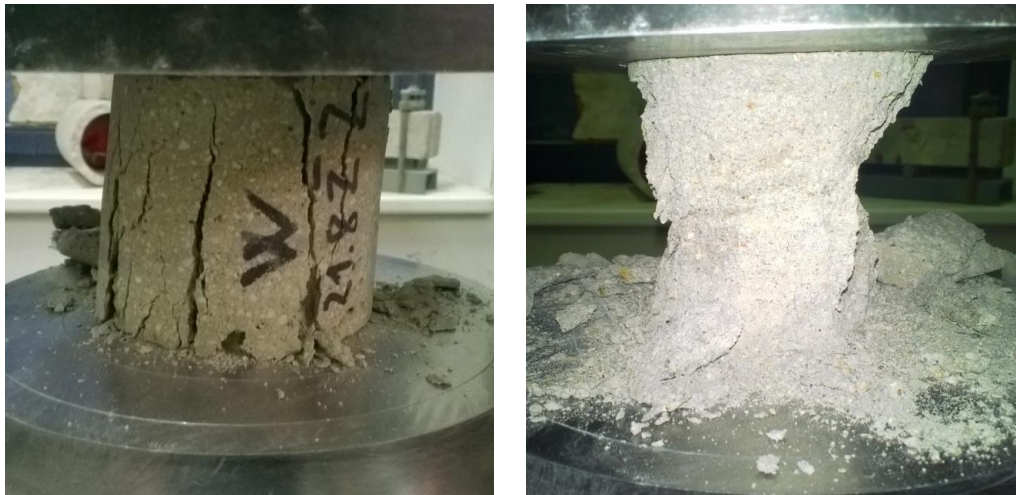
$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

kde  $f_c$  – pevnost v tlaku [MPa]

$F$  – maximální zatížení při porušení vzorku [N]

$A_c$  – průřezová plocha zkušebního tělesa, na kterou působí zatížení v tlaku [ $\text{mm}^2$ ]





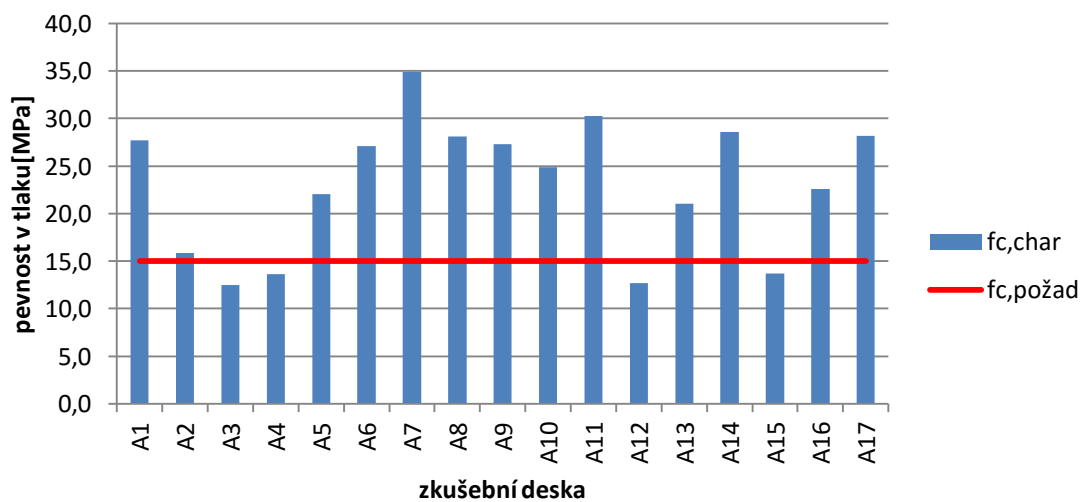
Obrázek 22: průběh zkoušky pevnosti v tlaku

Charakteristická hodnota pevnosti v tlaku a pevnosti tlaku vypočtené na základě šíření rychlosti ultrazvuku (5% kvantil) byla vypočítána za předpokladu normálního rozdělení:

$$X_c = m_x * (1 - k_n * V_x)$$

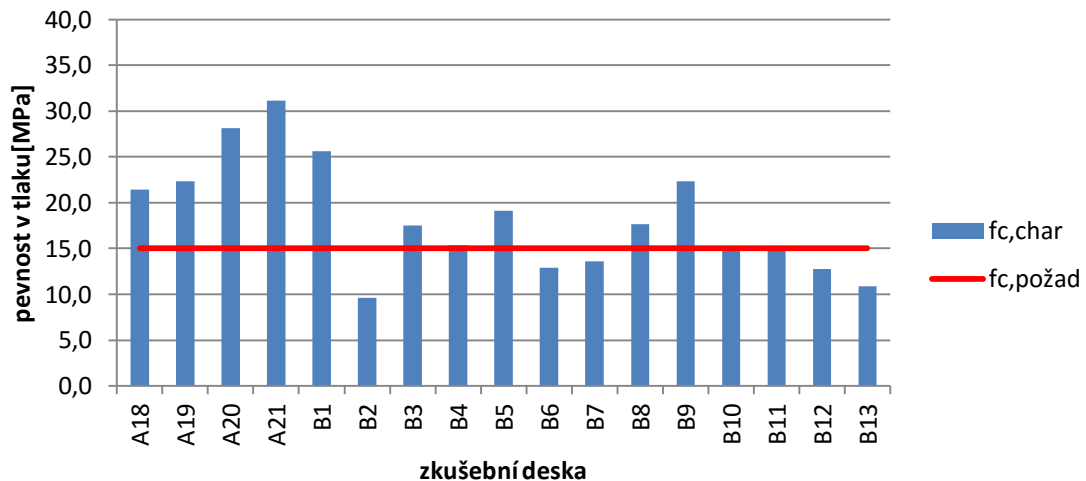
kde  $X_c$  – náhodná veličina  
 $m_x$  – aritmetický průměr  
 $k_n$  – součinitel pro 5%kvantil  
 $V_x$  – variační koeficient

V rámci provádění laboratorních zkoušek byly před provedením zkoušek destruktivních, realizovány také zkoušky nedestruktivní s využitím ultrazvukového měření.



Graf 8: porovnání charakteristické pevnosti v tlaku z jádrových vývrtů a požadované pevnosti





Graf 9: porovnání charakteristické pevnosti v tlaku z jádrových vývrtů a požadované pevnosti

Výsledky pevnosti v dostředném tlaku ukazují, že u receptury A, zkušebních desek A3, A4, A12 a A15 je výrazně nižší pevnost v tlaku. U těchto zkušebních desek je patrná souvislost s defekty zjištěnými při vizuální kontrole a také rychlosti šíření ultrazvuku. U receptury B je zjištěný významný pokles pevnosti u zkušebních desek B2, B7 a B13. Zde je patrná souvislost s rychlostí šíření ultrazvuku a defekty z vizuálních kontrol. U ostatních zkušebních desek kde byla zjištěna nižší pevnost v tlaku, tato závislost prokázána nebyla.

Z výsledku vyplývá že u receptury A bylo u zkušebních desek A3, A4, A12, a A15 dosaženo nižší charakteristické pevnosti než bylo požadováno. U receptury B to bylo u třetiny zkušebních desek (B2, B6, B7, B12, B13).

#### 8.4.2 Informativní pevnost betonu v tlaku z rychlosti šíření ultrazvuku

S využitím ultrazvukového přístroje TICO, firmy Proceq, byly na vyrobených zkušebních vývrtech měřeny rychlosti šíření ultrazvukového signálu. Na základě provedených ultrazvukových měření byla vypočítána informativní pevnost betonu v tlaku a porovnána s pevností v tlaku zjištěnou při destruktivní zkoušce v hydraulickém lisu.

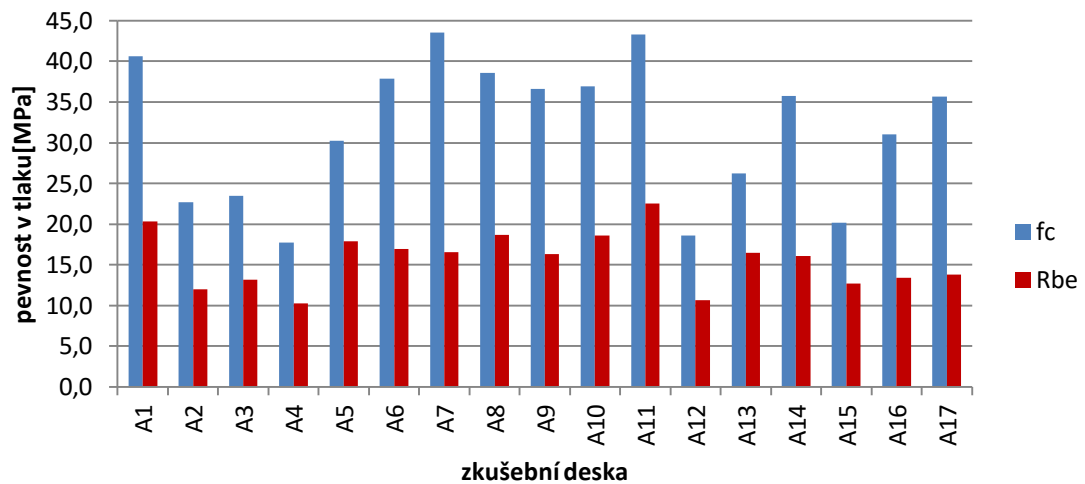
Pro výpočet informativní pevnosti hutného betonu je nutné stanovit rychlost šíření ultrazvuku v trojrozměrném prostředí, na základě této rychlosti se informativní pevnost vypočte dle vzorce:

$$R_{be} = 9.9 * v_{L3}^2 - 0.56 * v_{L3} + 87,8$$

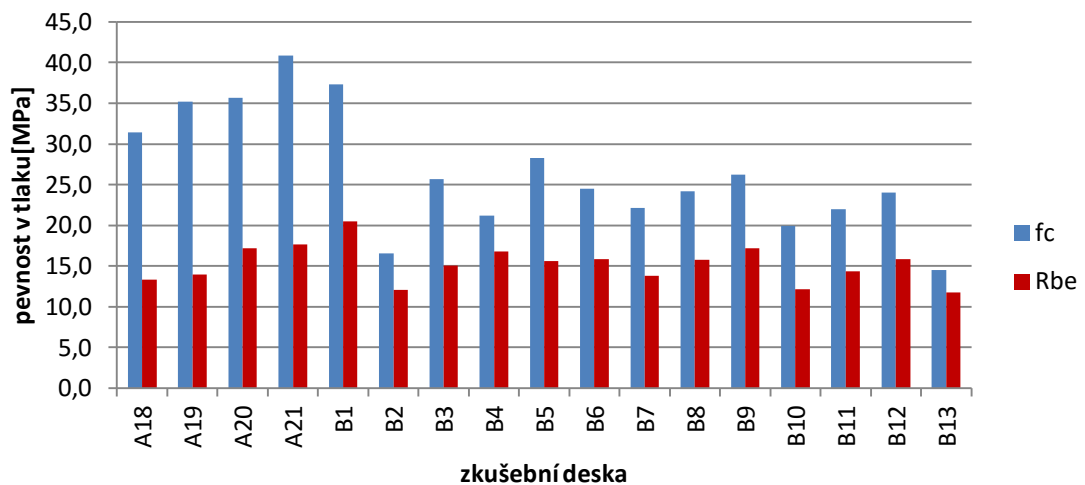
kde  $R_{be}$  – pevnost betonu v tlaku [MPa]

$v_{L3}$  – rychlost šíření ultrazvuku v trojrozměrném prostředí [ $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

Tento vzorec pro stanovení informativní pevnosti v tlaku z ČSN 731371 byl vytvořen přibližně před 30 lety. Pevnost vypočtená pole tohoto vzorce již neodpovídá současným betonům, výsledná pevnost vychází poměrně nízká oproti krychelné pevnosti zjištěné destruktivní zkouškou, jak dokládají grafy 10 a 11.

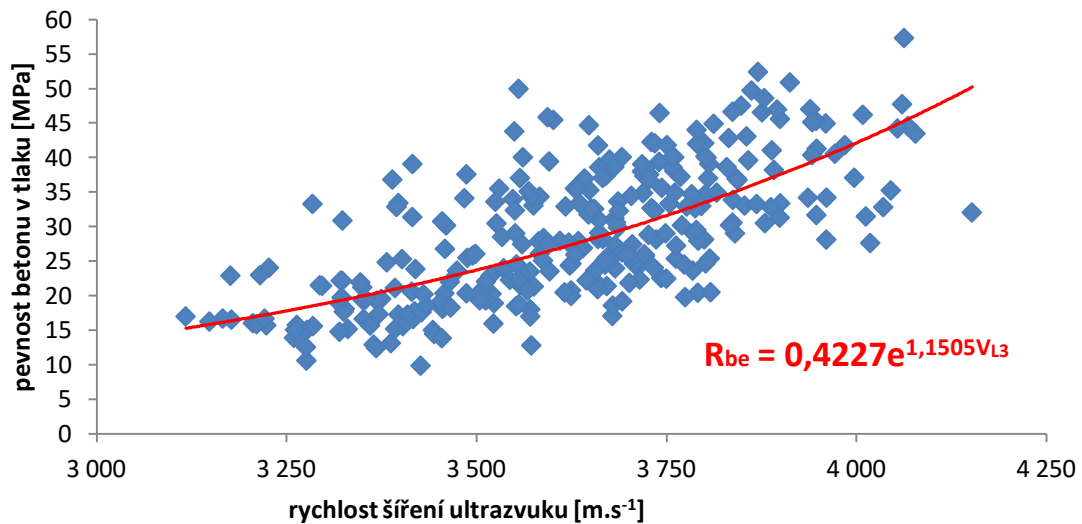


Graf 10: pevnost v tlaku destruktivní zkouškou a informativní pevnost betonu v tlaku



Graf 11: pevnost v tlaku destruktivní zkouškou a informativní pevnost betonu v tlaku

V rámci experimentální části byla stanovena závislost mezi vypočítanou pevností v tlaku z destruktivních zkoušek jednotlivých jádrových vývrťů a rychlostí šíření ultrazvuku u jednotlivých jádrových vývrťů. Závislost těchto veličin je znázorněna v grafu 12.



**Graf 12: upravený vztah pro výpočet informativní pevnosti v tlaku na základě pevnosti v tlaku a rychlosti šíření ultrazvuku**

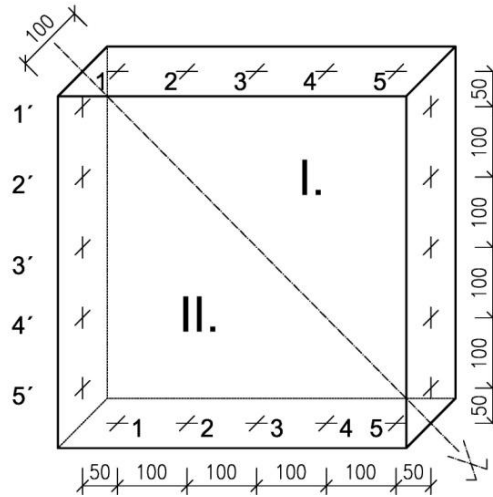
Při porovnání výsledků pevnosti v dostředném tlaku z destruktivních zkoušek a vypočítaných pevností na základě šíření ultrazvukového impulsu dle vzorce  $R_{be}=9,9*v_{L3}^2-0,56*v_{L3}+87,6$  bylo jisté, že hodnota stanovená destruktivní zkouškou oproti hodnotě vypočtené je dvojnásobná téměř u 55% všech vzorků. Celkově lze konstatovat, že na základě destruktivní zkoušky je u 97% všech zkoušených vzorků pevnost v tlaku jeden a půl násobkem pevnosti tlaků zjištěné výpočtem z rychlosti šíření ultrazvuku, což jednoznačně prokazuje, že normový vztah určený pro výpočet informativní pevnosti v tlaku je pro současné betony ne zcela vypovídající. Tento vztah byl pro zkoušenou pevnostní třídu betonu modifikován na základě výsledků pevnosti v tlaku a rychlosti šíření ultrazvukového impulsu zkušebními tělesy. Nově formulovaný vztah pro výpočet informativní pevnosti zní:  $R_{be}=0,4227e^{1,1505v_{L3}}$ .

V rámci experimentální části byla předem rovněž zjišťována homogenita celé zkušební desky. Homogenita byla zjišťována pomocí rychlosti šíření ultrazvukového vlnění a to metodou přímého prozvučování a metodou polopřímého prozvučování.

### **Příprava měření**

Měření pomocí přímé impulzové ultrazvukové metody bylo prováděno ve dvou na sebe kolmých směrech. Po obvodu zkušební desky byly rozměřeny měřicí body. Body byly umístěny v ose stěny, první bod byl ve vzdálenosti 50mm od kraje, následně byly vyznačeny další body, jejichž osová vzdálenost byla 100mm. Tímto způsobem

byly vyznačeny body na sobě rovnoběžných stěnách (body 1, 2, 3 a 4). Následně byly vyznačeny body na zbývajících stěnách (body 1', 2', 3' a 4'). Umístění bodů je zakresleno na obrázku 23.

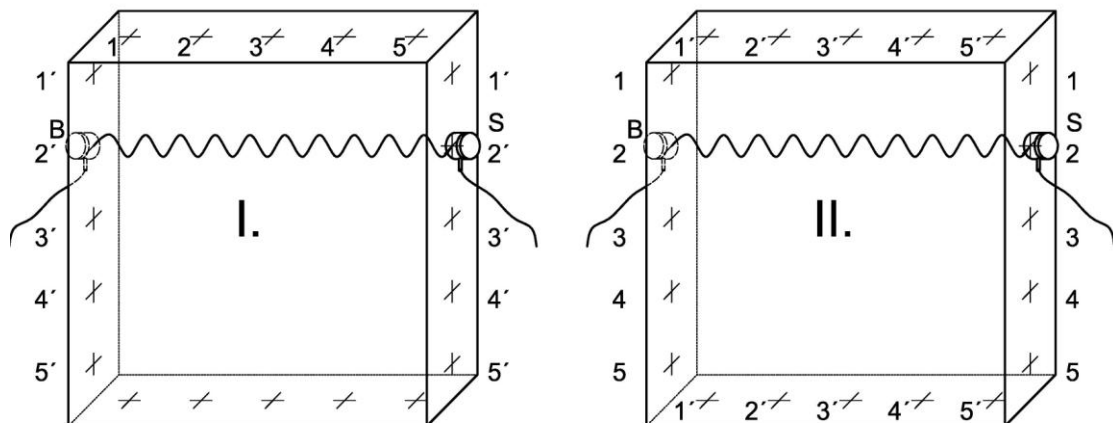


Obrázek 23: rozměření měřících bodů

### Přímé prozvučování zkušebních desek

Přímé prozvučování zkušební desky bylo provedeno ve dvou na sebe kolmých směrech.

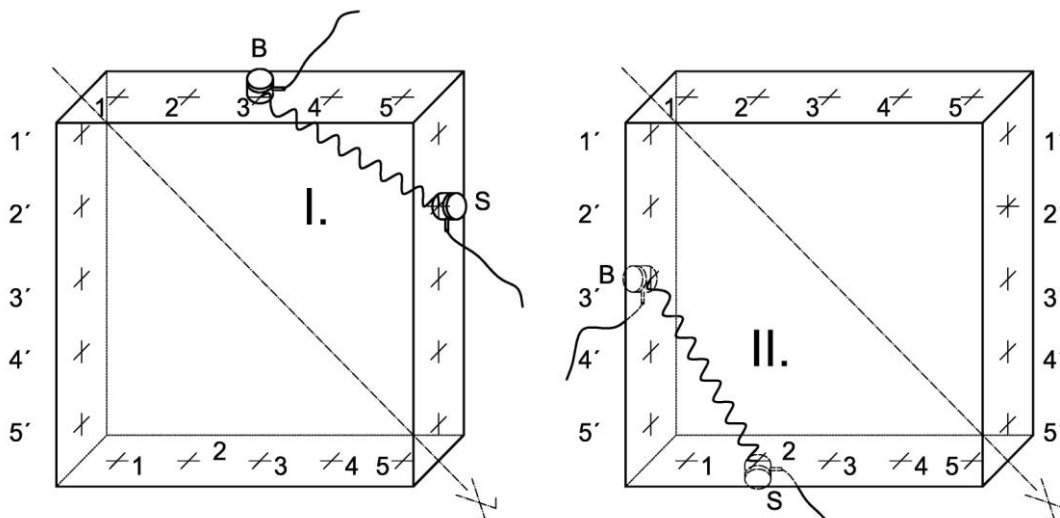
V první fázi bylo provedeno měření v protilehlých bodech 1 - 1, následně 2 - 2, 3 - 3, 4 - 4 a 5 - 5. Před měřením každé dvojice bodů bylo provedeno měření času průchodu ultrazvuku v etalonu. U každé měřené dvojice byl čas průchodu změřen 3x. Z naměřených hodnot byl stanoven aritmetický průměr. Schéma prozvučování je znázorněno na obrázku 24. Ve druhé fázi bylo provedeno měření mezi protilehlými body 1' - 1', následně 2' - 2', 3' - 3', 4' - 4' a 5' - 5' opět stejným způsobem.



Obrázek 24: schéma přímého prozvučování

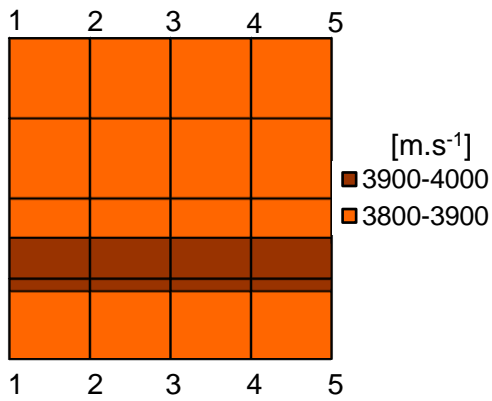
### Polopřímé prozvučování zkušebních desek

Polopřímé prozvučování zkušební desky bylo provedeno ve dvou oblastech. Osa byla vedena úhlopříčně zkušební deskou. Oblasti jsou znázorněny na obrázku 23. Nejprve bylo prováděno měření v oblasti I. a následně v oblasti II, kdy oblasti I a II jsou uvedeny na obrázek 25 a dělí úhlopříčně vzorek. První měření bylo provedeno s budičem umístěným v bodě 1 a se snímačem umístěným v bodě 1'. Bylo zde provedeno 3x měření času průchodu ultrazvuku zkušebním tělesem. Při dalším měření byl budič umístěn v bodě 1 a přijímač byl přemístěn do bodu 2', následně do bodu 3', 4' a 5'. Celá série měření se opakovala přemístěním budiče do bodu 2 a snímače do bodů 1', 2', 3', 4', 5'. Celkem bylo provedeno pět sérií po pěti měřeních v oblasti I. Následně bylo provedeno 5 sérií po pěti měřeních v oblasti II. Znázornění oblastí a bodů je na obrázku 25.

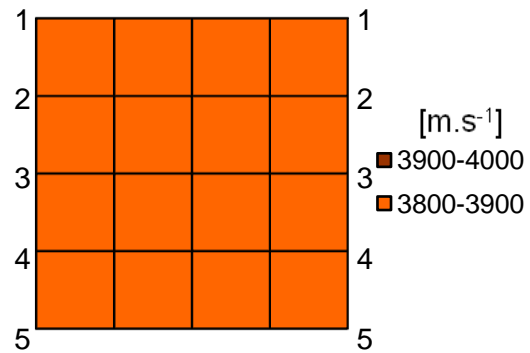


Obrázek 25: schéma polopřímého o prozvučování

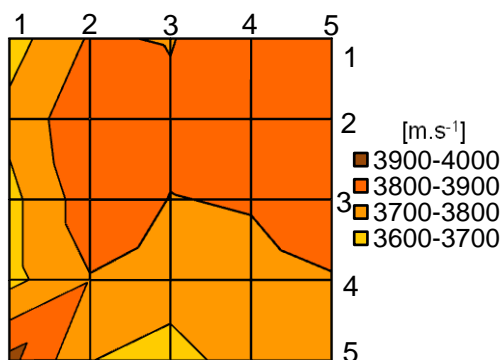
Grafy 13 a 14 ukazují výsledky získané při přímém a grafy 15 a 16 polopřímého prozvučování desky. Graf 17 pak prezentuje výsledky rychlosti šíření ultrazvukových vln pro jednotlivé vývrty vyvrtané v daných oblastech. Srovnáním výsledků z grafu 15 a 16a především z grafu 17 pro polopřímé prozvučování lze odvodit, že vývrty jednoznačně vypovídají o celkovém stavu desek.



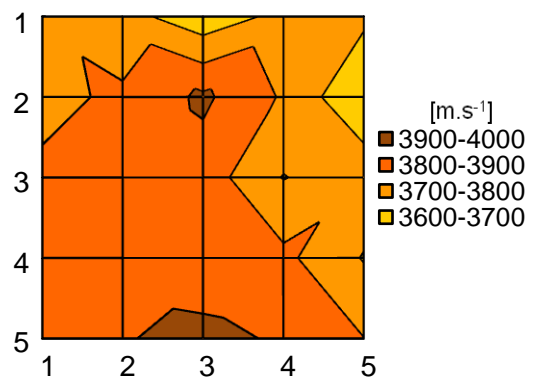
Graf 13 Rychlost průchodu ultrazvukového impulsu při přímém měření I.



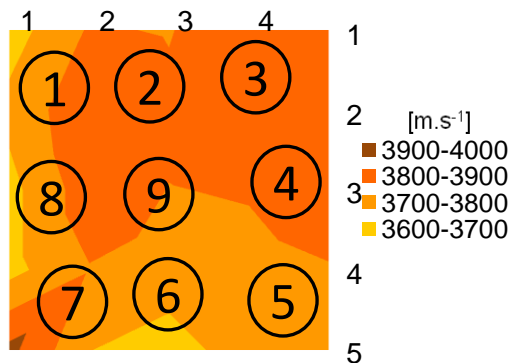
Graf 14 Rychlost průchodu ultrazvukového impulsu při přímém měření II.



Graf 15 Rychlost průchodu ultrazvukového impulsu při polopřímém měření I.



Graf 16 Rychlost průchodu ultrazvukového impulsu při polopřímém měření II.



Graf 17 Rychlost průchodu ultrazvukového impulsu při přímém prozvučování jádrových vývrtů

Z výsledků měření přímého prozvučování zkušebních desek v sobě na sebe kolmých směrech je patrné, že tyto výsledky nejsou příliš vypovídající, jak je znázorněno na v grafu 13 a grafu 14.. Na základě polopřímého prozvučování je možné získat daleko přesnější obraz o struktuře betonové desky, jak je znázorněno v grafu 13 a grafu 16. Při porovnání výsledků zjištěných z přímého prozvučování jádrových vývrtů, které jsou znázorněny na grafu 17 je zřejmé, že výsledky nepřímého prozvučování celé

desky a výsledky přímého prozvučování jádrových vývrtnů jsou téměř totožné, jak dokládají graf 15 a graf 16. Lze tedy usuzovat, že při zjišťování struktury velkoplošné konstrukce by bylo vhodnější použití kombinace jádrových vývrtnů a polopřímého prozvučování.

## 8.5 Stejnorodost

Stejnorodost stříkaného betonu byla stanovována pro jednotlivé zkušební desky na základě výsledků zjištěných na 9 jádrových vývrtech vyrobených z jednotlivých zkušebních desek.

Stejnorodost byla stanovena dle metodiky zkoušení uvedené v kapitole 5.4. Nejprve byla stejnorodost stanovena na základě objemové hmotnosti, následně na základě pevnosti v dostředném tlaku a nakonec podle rychlosti šíření ultrazvukového vlnění. Vyhodnocení stejnorodosti bylo provedeno dle normy ČSN 73 2011. Výsledná stejnorodost byla stanovena tak, že pokud alespoň ve dvou ze tří sledovaných stejnorodostí byla deska stejnorodá, byla klasifikována jako stejnorodá.

Výsledná stejnorodost jednotlivých zkušebních desek je uvedena v tabulce 16. Stejnorodost byla vyhodnocována na základě šíření ultrazvuku, pevnosti v tlaku zjištěné destruktivní zkouškou a objemové hmotnosti. Vyhodnocení bylo provedeno tak, že stejnorodost byla stanovena u dvou ze tří hodnocených kritérií. U desek se složením směsi A bylo 43% zkušebních desek stejnorodých, u desek složení směsi B bylo 38% stejnorodých.

Při porovnávání stejnorodosti na základě objemových hmotností bylo ze 34 zkušebních desek stejnorodých 18%, při porovnání pevnosti v tlaku bylo stejnorodých 32 % a při porovnání stejnorodosti na základě rychlosti šíření ultrazvuku bylo stejnorodých zkušebních desek 88%. Při kombinaci třech kritérií bylo 41% zkušebních desek stejnorodých. Z výsledků je tedy zřejmé, že porovnávání stejnorodosti podle jednoho kritéria je velmi nepřesné.

Tabulka 17: Stejnorodost zkušebních desek

označení zkušební desky	zhodnocení stejnorodosti	označení zkušební desky	zhodnocení stejnorodosti
A1	stejnorodý	A18	nestejnorodý
A2	stejnorodý	A19	nestejnorodý
A3	stejnorodý	A20	nestejnorodý
A4	stejnorodý	A21	nestejnorodý
A5	nestejnorodý	B1	nestejnorodý
A6	stejnorodý	B2	nestejnorodý
A7	stejnorodý	B3	nestejnorodý
A8	nestejnorodý	B4	stejnorodý
A9	nestejnorodý	B5	nestejnorodý
A10	nestejnorodý	B6	nestejnorodý
A11	nestejnorodý	B7	nestejnorodý
A12	nestejnorodý	B8	stejnorodý
A13	stejnorodý	B9	stejnorodý
A14	stejnorodý	B10	stejnorodý
A15	nestejnorodý	B11	nestejnorodý
A16	stejnorodý	B12	nestejnorodý
A17	nestejnorodý	B13	stejnorodý

## 8.6 Zkouška zhutnění pomocí ultrazvuku

Zkouška zhutnění byla interpretována pro jednotlivé zkušební desky. Výsledné zhutnění u jednotlivých zkušebních desek bylo stanoveno dle metodiky zkoušení uvedené v kapitole 5.5 rovněž popsané v „NDT zkoušení ve stavebnictví – příručka kurzu ČŽV„. Byla stanovena rychlost šíření ultrazvukového impulsu jednotlivými jádrovými vývrty zkušební desky. Následně byl vypočten rozdíl mezi nevyšší vypočtenou rychlostí a nejnižší vypočtenou rychlostí šíření ultrazvukového vlnění.

Vypočtený rozdíl byl zatříděn do jednotlivých intervalů  $v_L$  (viz kapitola 5.5., tabulka 17) a byla stanovena kvalita zhutnění jednotlivých zkušebních desek.

Tabulka 18 uvádí výsledky měření zhutnění.

Z výsledků hodnocení zhutnění rychlosti šíření ultrazvuku vyplývá, že u receptury A je 48% zkušebních desek zhutněno dostatečně nebo dobře, u zkušebních desek vyrobených recepturou B bylo 54% zhutněno dostatečně nebo lépe než dostatečně.



Při porovnání zkušebních desek vyrobených z receptury B, u kterých bylo měřeno množství záměsové vody, je zřejmé, že u zkušební desky B12, u které byl změřen 2x větší vodní součinitel než doporučený, bylo zhutnění hodnoceno jako nedostatečné. U ostatních zkušebních desek, u kterých bylo měřeno množství záměsové vody a byl vyšší vodní součinitel, bylo zhutnění dostatečné nebo dobré. Z těchto výsledků lze tedy dovozovat, že vliv množství záměsové vody nemá zásadní vliv na hodnocení zhutnění na základě šíření rychlosti ultrazvuku

**Tabulka 18: hodnocení zhutnění zkušebních desek pomocí ultrazvuku**

označení zkušební desky	zhodnocení zhutnění	označení zkušební desky	zhodnocení zhutnění
A1	nedostatečné	A18	nedostatečné
A2	nedostatečné	A19	dostatečné
A3	nedostatečné	A20	dostatečné
A4	dostatečné	A21	nedostatečné
A5	nedostatečné	B1	nedostatečné
A6	dostatečné	B2	dostatečné
A7	nedostatečné	B3	nedostatečné
A8	dobré	B4	nedostatečné
A9	nedostatečné	B5	dobré
A10	dobré	B6	dostatečné
A11	dostatečné	B7	nedostatečné
A12	dostatečné	B8	dostatečné
A13	dostatečné	B9	dobré
A14	výborné	B10	dobré
A15	dostatečné	B11	dobré
A16	nedostatečné	B12	nedostatečné
A17	nedostatečné	B13	dostatečné

## 8.7 Dynamický modul pružnosti v tahu a tlaku

Pro výpočet dynamického modulu v tahu a tlaku je nutné posoudit kritérium rozměrnosti. Při výpočtu dynamického modulu pružnosti je nutné uvažovat, zda je měření prováděno na velkém bloku nebo na malém bloku zkušební tělesa vyrobeného ze stejného materiálu. Kritérium rozměrnosti prostředí, je charakteristika závislá na vztahu rozměru měřeného objektu a na délce vlny ultrazvukového vlnění. Na základě kritéria rozměrnosti prostředí rozdělujeme prostředí na trojrozměrné, jednorozměrné a neurčité. [13]

Pro stanovení rozměrnosti prostředí není nutné stanovení délky vlny ultrazvukového vlnění v námi měřeném vzorku. Délky vlny lze vypočítat dle vzorce:

$$\lambda_L = \frac{v_L}{f}$$

kde  $\lambda_L$  – délka vlny [m]  
 $v_L$  – průměrná rychlost šíření ultrazvuku [m.s<sup>-1</sup>]  
 $f$  – jmenovitá frekvence použité sondy [Hz]

Prostředí lze tedy dělit na:

- Jednorozměrné prostředí - pro rozměry vzorku kolmé ke směru šíření ultrazvuku platí  $a, b, \text{ nebo } d \leq 0,2 * \lambda_L$ , potom platí  $v_L = v_{L1}$
- Trojrozměrné prostředí - pro rozměry vzorku kolmé ke směru šíření ultrazvuku platí  $a, b, \text{ nebo } d \geq 2 * \lambda_L$ , potom platí  $v_L = v_{L3}$

Na rozměrnosti závisí i koeficient  $k$ . Pro jednorozměrné prostředí je  $k_1 = 1$ , pro trojrozměrné prostředí je  $k_3$  závislé na hodnotě Poissonova poměru  $\nu$ .

**Tabulka 19: Poissonův poměr některých stavebních materiálů  $\nu$**

materiál	ocel	dřevo	keramika	beton	pórobeton
$\nu$	0,33	0,14	0,18	0,20	0,20

**Tabulka 20: Koeficient  $k_3$  v závislosti na Poissonově poměru**

$\nu$	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24
$k_3$	1,0319	1,0420	1,0541	1,0685	1,857

Dynamický modul pružnosti v tahu a tlaku vypočteme dle vzorce:

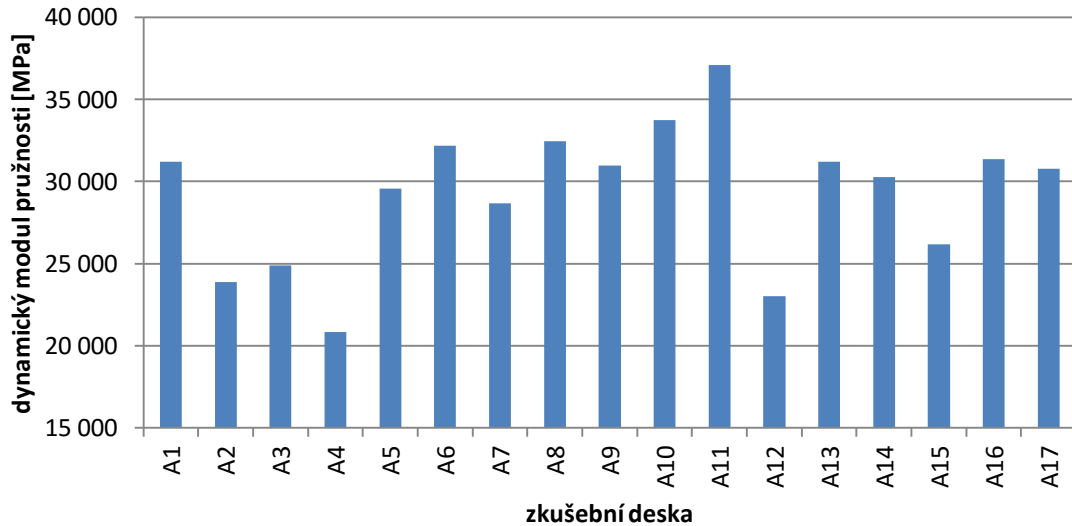
$$E_{bu} = \rho * v_L^2 * \frac{1}{k^2} * 10^{-6}$$

kde  $E_{bu}$  – dynamický modul pružnosti [ $N \cdot mm^{-2}$ ]

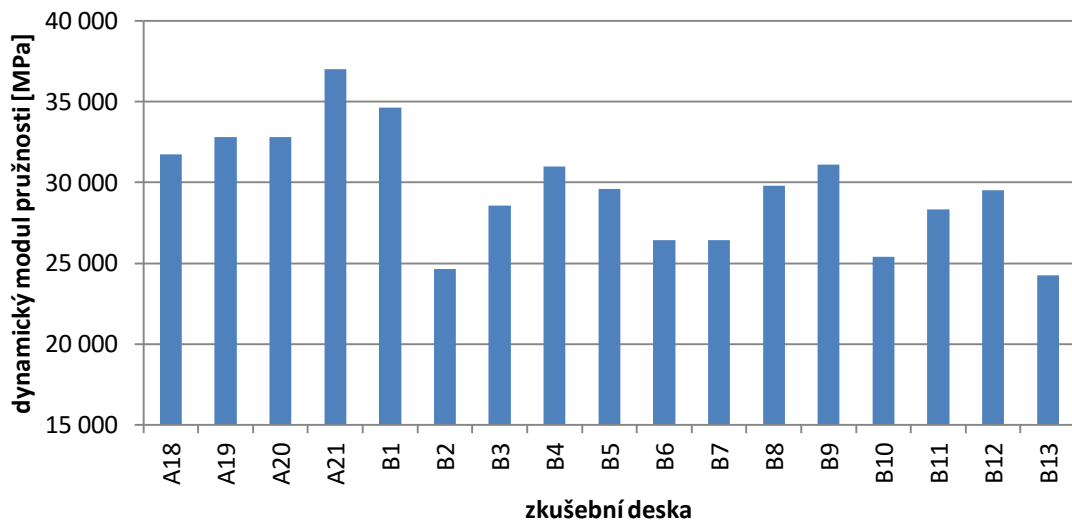
$\rho$  – objemová hmotnost materiálu [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

$v_L$  – rychlost šíření ultrazvuku [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$k$  – koeficient rozměrnosti prostředí



Graf 18: dynamický modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlosti šíření ultrazvuku



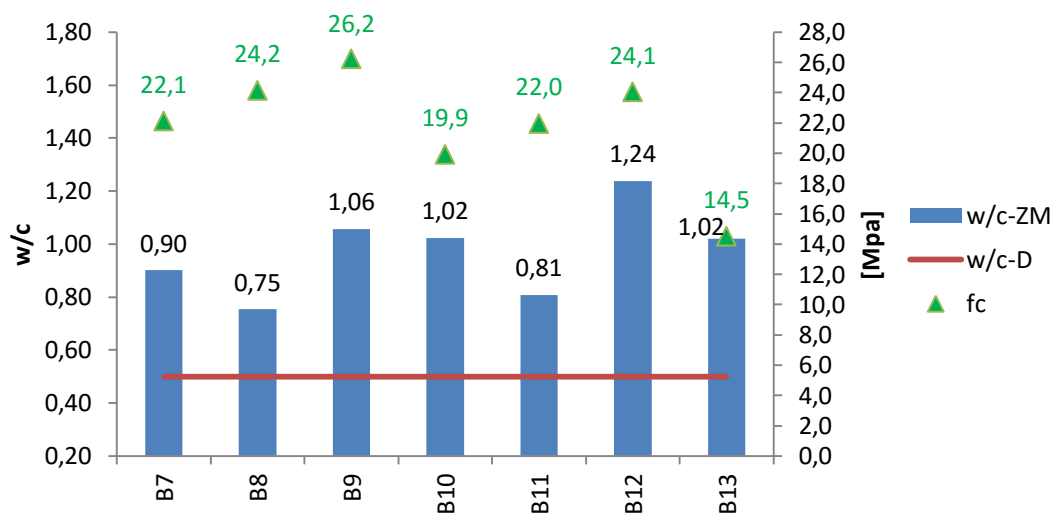
Graf 19: dynamický modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlosti šíření ultrazvuku

Výsledky dynamického modulu pružnosti v tahu a tlaku vypočítané z rychlosti šíření ultrazvuku korelují s výsledky rychlosti šíření ultrazvuku. Jsou zde stejné nesrovnalosti a to zejména u desek A4, A12, A15, B2, B7, B13.

## 8.8 Měření obsahu vody

V průběhu provádění nástřiku byl prováděn odečet množství přidávané záměsové vody do trysky. Měření množství záměsové vody bylo provedeno dle Stanovení množství záměsové vody v popisu metodiky měření kapitola 5.6. Měření bylo prováděno jen u sérií odběrů B7 až B13, kde bylo možno umístit měřící zařízení. Obecně platí, že vyšší vodní součinitel vede k nižší pevnosti betonu, proto bylo cílem ověřit toto tvrzení experimentem. [12]

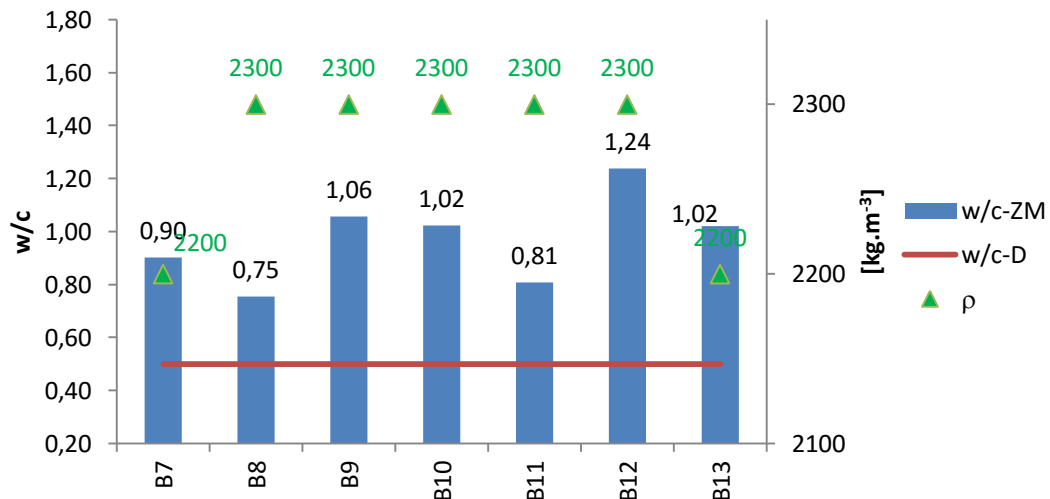
Graf 20 znázorňuje experimentálně získané hodnoty pevnosti v tlaku a vodního součinitele u jednotlivých zkušebních desek.



Graf 20: doporučený vodní součinitel, stanovený vodní součinitel, pevnost v tlaku

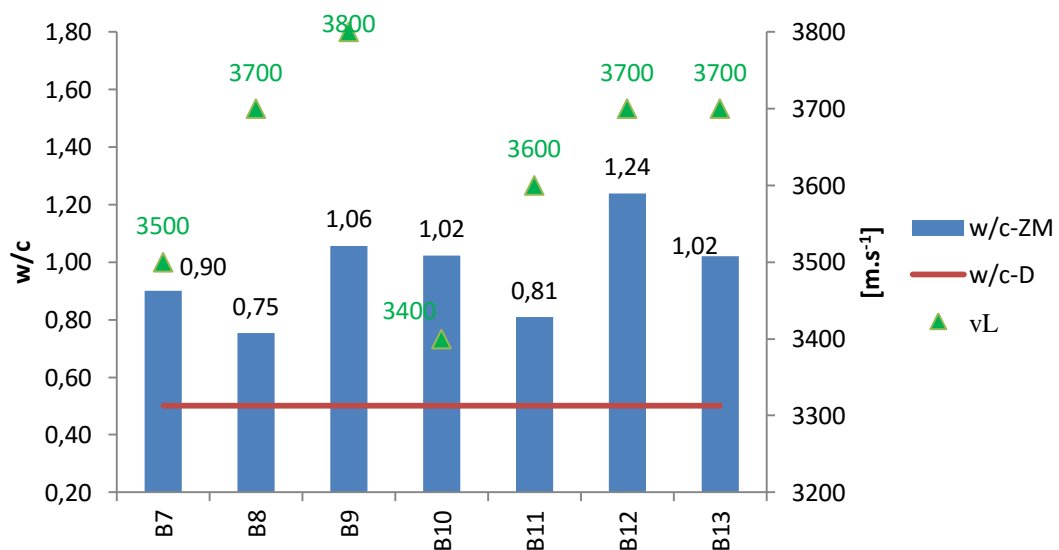
Při měření obsahu záměsové vody do receptury B u desek B7 až B13 vyplynulo, že zjištěný vodní součinitel je téměř dvojnásobný než doporučený vodní součinitel (0,5) a to u více než 57% vzorků. Vyšší vodní součinitel však neměl zásadní vliv na pevnosti betonu v tlaku.

Porovnání objemové hmotnosti a vodního součinitele je znázorněno na grafu 21.



Graf 21: doporučený vodní součinitel, stanovený vodní součinitel a objemová hmotnost

Z grafu 21 vyplývá, že významně vyšší vodní součinitel u zkušebních desek receptury B neměl významný vliv ani na objemovou hmotnost.



Graf 22: doporučený vodní součinitel, stanovený vodní součinitel a rychlost šíření ultrazvuku

Z grafu 22 je vyplývá, že u zkušebních desek s nižším vodním součinitelem nebyly vyšší rychlosti šíření ultrazvukového impulzu. Nižší obsah záměsové vody ve směsi tedy nemá zásadní vliv na rychlost šíření ultrazvuku.

## 9. ZÁVĚRY PRÁCE A JEJÍ PŘÍNOST PRO DALŠÍ ROZVOUJ VĚDY

### 9.1 Hlavní výsledky disertační práce

Technologie výroby a zkoušení stříkaného betonu je poměrně složitý proces, který se ovšem neustále vyvíjí a vylepšuje. Pozornost je v dnešní době soustředěna především do oblasti vývoje pevnosti stříkaného betonu.

Hlavním cílem předložené disertační práce bylo ověření kvality provedení stříkaného betonu bez urychlujících přísad aplikovaných suchou cestou nástřiku provedených ručním způsobem na staveništi. Kvalita stříkaného betonu byla v rámci práce posuzována na základě normovaných jak nedestruktivních, tak destruktivních zkušebních metod na odebraných zkušebních tělesech. Kvalita stříkaného betonu byla posuzována z hlediska pevnosti stříkaného betonu v tlaku, objemové hmotnosti a homogenity posuzované na základě rychlosti šíření ultrazvuku vzorkem. Pro destruktivní metodu zkoušení byly provedeny jádrové vývrty, které byly podrobeny zkoušce v dostředném tlaku na hydraulickém lisu. Jako nedestruktivní metoda byla použita ultrazvuková průchodová metoda založená na rychlosti šíření ultrazvukového impulsu zkušebním tělesem.

Podrobné výsledky jednotlivých zkoušek jsou uvedeny vždy v rámci příslušných kapitol disertační práce.

V teoretické části práce byly shrnuty současné poznatky o stříkaném betonu, složení směsi a byl uveden přehled prováděných zkoušek.

Experimentální část práce byla prováděna v laboratoři Ústavu stavebního zkušebnictví Fakulty stavební Brno na odebraných zkušebních vzorcích nastříknutých do vlastní navržené formy na staveništi. U odebraných vzorků stříkaného betonu byla požadovaná třída betonu SB15(C12/15). V experimentální části byla u dvou receptur suché betonové směsi (v práci označované A a B) ověřována závislost pevností v tlaku a rychlostí šíření ultrazvuku. Tato závislost je popsána normovaným vztahem ČSN 731371, kde je vztah pro výpočet informativní pevnosti z rychlosti šíření ultrazvukového signálu v trojrozměrném prostředí popsán obecnou rovnicí  $R_{be} = 9,9 \cdot v_{L3}^2 - 0,56 \cdot v_{L3} + 87,8$ . Výsledky zkoušek pevnosti betonu v tlaku byly v porovnání s výsledky informativní pevnosti vypočtené podle obecného vztahu téměř dvojnásobné u 55% zkušebních těles. Původní vztah tedy jednoznačně neodpovídal skutečným pevnostem u námi odebraných zkušebních vzorků. V rámci experimentální části práce

byl proto na základě zjištěných výsledků rychlosti šíření ultrazvuku a pevnosti v tlaku navržen pro dané směsi nový upřesněný vztah  $R_{be} = 0,4227e^{1,1505 \cdot vL^3}$ .

Tento vztah byl sestaven pro vzorky stříkaného betonu bez urychlovače třídy SB15 na základě vyhodnocení výsledků zkoušek provedených celkem na 306 vzorcích. Pro obecné použití upřesněného vztahu pro obecně v praxi používané stříkané betony obdobného složení ale vyšších pevnostních tříd by bylo ještě zapotřebí doplnění vyhodnocení zkoušek provedených na zkušebních vzorcích z uvedených stříkaných betonů vyšších pevnostních tříd. Získané výsledky v rámci disertační práce lze však považovat za dostatečný základ pro navržení vztahu, který napomáhá splnit cíle kladené na disertační práci při popisu kvality stříkaných betonů třídy SB15(C12/15).

Výsledky vizuální zkoušky a zkoušky rychlosti šíření ultrazvuku rovněž potvrdily, že pomocí ultrazvukové impulzové metody lze odhalit nehomogenitu betonu a případné defekty, které nejsou na povrchu betonu běžně viditelné (např. trhliny). Tyto defekty pak v praxi mohou zásadně ovlivnit životnost provedené konstrukce jak z hlediska soudržnosti jednotlivých vrstev nástřiku, tak možnosti degradace vlivem klimatických podmínek.

Stříkaný beton aplikovaný v rámci staveb pozemního stavitelství je v praxi aplikován při výstavbě velkých plošných konstrukcí (např. nástřik pilotové stěny, nástřik záporového pažení či sanace svahu), kde však homogenita vrstvy může značně kolísat a to vlivem jen těžce predikovatelných vlivů a poloh. V současné době je kvalita aplikovaného betonu na stavbě ověřována pomocí jádrových vývrtů ze zkušebních těles případně jádrovými vývrty v náhodně vybraných oblastech na konstrukci. Na základě námi jištěných výsledků ze zkoušek rychlosti šíření ultrazvuku, které jsou schopny odhalit pomocí změny rychlosti ultrazvukových vln nehomogenitu nástřiku, lze navrhnout ověření homogenity aplikované vrstvy pomocí ultrazvukové metody a pouze u zjištěných oblastí s ultrazvukově predikovanou nehomogenitou pak provést kontrolní jádrový vývrt, což vede ke snížení počtu jádrových vývrtů na reálné konstrukci a tedy snížení ekonomických nákladů na provedení zkoušek a zvýšení efektivity provádění zkoušek přímo na stavbě.

## 9.2 Hlavní výsledky disertační práce jsou uvedeny

### v následujících bodech:

- Na základě porovnání výsledků objemových hmotností jádrových vývrtů byly zjištěny velké rozdíly (8%), z kterých lze usuzovat, že na stavbě nebylo dodrženo technologické složení směsi.
- Porovnáním výsledků objemových pevností u jádrových vývrtů jednotlivých zkušebních desek bylo zjištěno, že nejnižší objemové hmotnosti se nachází v horním pásmu zkušební desky. Lze tedy usuzovat, že tento jev je způsoben plněním zkušební formy, při kterém dojde k malému zhutnění betonu v horní části zkušební desky, což si lze vysvětlit představou o vytvoření jakýchsi výrů v okolí přímého dopadu středního proudu nástřiku betonové směsi a tedy snížení zhutnění betonu díky zavedení vyššího množství vzduchu v důsledku pohybu vířivé směsi v horním pásmu zkušební desky nastříkaného betonu. Bylo by tedy možné diskutovat, zda se tento jev rovněž projeví i na velkoplošných reálných konstrukcích. Bylo však zjištěno, že tento jev nemá zásadní vliv na snížení pevnosti v tlaku a proto mu nebyl v rámci této disertační práce věnován zásadní význam.
- Zkušební tělesa s větším množstvím vizuálně zjištěných defektů vykazovala výrazně nižší pevnosti v tlaku a také rychlosti šíření ultrazvuku.
- Stejnorodost betonové konstrukce lze posuzovat na základě několika kritérií, jako je objemová hmotnost, pevnost v tlaku a rychlost šíření ultrazvuku. Každé z těchto kritérií má jinou vypovídající hodnotu, což dokazují zjištěné výsledky. Při hodnocení stejnorodosti betonu na základě objemové hmotnosti vyhovovalo kritériu stejnorodosti pouze 18% zkoušených vzorků. Při hodnocení stejnorodosti betonu na základě pevnosti v tlaku vyhovělo požadavkům stejnorodosti 32% všech zkušebních vzorků a bylo-li použito kritérium rychlosti šíření ultrazvuku vzorkem, vyhovělo až 88% všech vzorků. Navrhují tedy při posuzování stejnorodosti využít kombinace všech tří kritérií. V rámci práce byl zkušební vzorek považován za stejnorodý, pokud vyhověl alespoň dvěma z výše zmíněných kritérií.



- Na základě výpočtu charakteristických pevností v tlaku a jejich porovnání s požadovanou pevností v tlaku nevyhověly pevnostním požadavkům 4 zkušební desky u receptury A (tj. 20%) a 5 zkušebních desek u receptury B (tj. 38%). U všech těchto desek byl při vizuální kontrole zjištěn významný výskyt defektů. Lze tedy říci, že lze srovnávat charakteristickou pevnost a požadovanou pevnost u vzorků bez významného množství defektů.
- U vybraných 7 zkušebních vzorků směsi B (B7-B13) bylo provedeno měření množství záměsové vody přidávané do trysky stříkacího stroje. Z měření vyplynulo, že u všech testovaných vzorků byl překročen doporučený vodní součinitel (0,5). U 57% zkušebních vzorků byl vodní součinitel stanoven téměř dvojnásobný než doporučený. Vyšší vodní součinitel však neměl zásadní vliv na objemové hmotnosti. Rychlosti šíření ultrazvuku nebyly vodním součinitel významně ovlivněny. Výsledky neprokázaly, že by měl vyšší vodní součinitel přímý vliv na výsledné pevnosti v tlaku. Nižší pevnosti byly zjištěny spíše u zkušebních desek s pozorovanými defekty. Vyšší pevnosti mohou být důsledkem vyššího obsahu cementu, než je popsáno v receptuře.

Disertační práce se svým rozsahem sice omezila pouze na beton SB15(C12/15) u něž námi navržený vztah závislosti mezi informativní pevností betonu a rychlostí šíření ultrazvuku koreloval s realitou. Pro obecné využití upraveného vztahu i pro betony vyšších pevnostních tříd či betony s obsahem urychlujících přísad je však nutné provést sérii zkoušek provedených v rámci této disertační práce i pro tyto typy betonů. Potvrdila-li by se širší platnost námi upraveného vztahu, bylo by možné na základě vypočtených informativních hodnot pevnosti pro jednotlivé betony dané pevnostní třídy predikovat kalibrační vztahy pro stříkaný beton dle složení nástřikové směsi.

Další možnou oblast rozvoje dané problematiky vidím v měření šíření ultrazvuku u zkušebních vzorků po kratší době od provedení nástřiku. Navrhuji dobu zkoušení po 5, 10 a 28 dnech od nástřiku. Po 28 dnech by byla provedena destruktivní zkouška a výsledky měření ultrazvuku po 5, 10 a 28 dnech by byly vzájemně srovnány a porovnány s výsledky destruktivní zkoušky. Bylo-li by možné ověřit vlastnosti po 5 nebo 10 dnech od provedení nástřiku, mohly by být případné nekvalitní konstrukce odstraněny v kratším časovém horizontu a nemuselo by se čekat na výsledky po 28 dnech, což by významně ovlivnilo ekonomičnost stavby.

Z výsledků disertační práce lze usuzovat, že využití doposud pouze laboratorně používaných nedestruktivních zkoušek se jeví jako vhodná alternativa k běžně užívaným destruktivním zkušebním metodám. V rámci disertační práce bylo potvrzeno, že výsledky získané z nedestruktivních zkoušek mohou po vytvoření příslušných kalibračních vztahů (viz upřesněná rovnice výpočtu informativní pevnosti betonu v tlaku) korelovat s výsledky destruktivních zkoušek. Vytvořený kalibrační vztah pro danou třídu betonu je vždy vhodné ověřit kontrolním jádrovým vývrtem na reálné konstrukci a to především v potenciálně rizikových místech odhalených na základě nedestruktivních metod. Na základě příliš rozdílných výsledků destruktivní zkoušky by pak musel být kalibrační vztah upraven pro danou stavbu. Závěrem práce tedy lze konstatovat, že využití nedestruktivních zkušebních metod v současné době využívaných především v laboratorních podmínkách lze s dostatečnou měrou spolehlivosti použít při kontrolách reálných konstrukcí. Tyto metody nabízí vyšší ekonomičnost, rychlost a především nedochází k poškození konstrukce.

### **9.3 Možnosti dalšího rozvoje vědy**

V současné době moderního stavitelství je velký důraz kladen na rychlost a ekonomiku provedených prací, proto je potřeba se zabývat ověřováním kvality provedených konstrukcí. Kvalita provedených konstrukcí bývá podložena certifikáty použitých vstupních surovin, dokladem o kvalifikaci pracovníků a zkouškami z reálné konstrukce, které však popisují pouze lokální oblast konstrukce, kde byla zkouška provedena. Celková kvalita konstrukce však nemusí plně odpovídat stavu v místě provedení zkoušky.

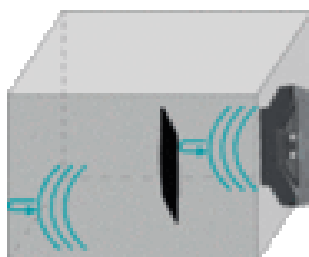
Pro komplexní posouzení kvality konstrukce se na základě zjištěných poznatků v rámci disertační práce jednoznačně nabízí použití nedestruktivních diagnostických metod založených na rychlosti šíření ultrazvukového impulzu materiálem.

V rámci disertační práce bylo využito metody přímého a polopřímého prozvučování zkušebních vzorků ultrazvukovým impulzem. U reálných stavebních konstrukcí, jejichž povrch je přístupný pouze z jedné strany se využívá metody nepřímého prozvučování. Při provádění diagnostiky kvality betonové stěny pomocí nepřímého prozvučování je však nutné, aby byly sondy přikládány dle zvoleného rastru. Pro komplexní charakteristiku konstrukce v hodnocené oblasti je potřeba velkého počtu měření a jeho následného vyhodnocení.

Na trhu však existují přístroje, které umožňují nepřímé prozvučování přiložením soustavy sond na povrch konstrukce. Tyto sondy umožňují měření i při přístupu konstrukce pouze z jedné strany, kdy dochází ke zpětnému odražení ultrazvukového vlnění od vnitřního líce konstrukce do přijímače. Příkladem takového přístroje může být výrobek od firmy Proceq Pundit PL-200PE se sondou 50 Hz a pulzním převodníkem (Obr. 26, 27), který umožňuje zjišťování tloušťky konstrukce, detekci a lokalizaci vad a plošné skenování konstrukce v reálném čase.



**Obrázek 26: přístroj Pundit PL-200 se sondou n 50Hz pulzním převodníkem**[\[http://www.proceq.com/en/nondestructivetestequipment/concrete-testing/ultrasonic-pulse-velocity/pundit-pl-200pe.html\]](http://www.proceq.com/en/nondestructivetestequipment/concrete-testing/ultrasonic-pulse-velocity/pundit-pl-200pe.html)



**Obrázek 27: princip měření**[\[http://www.proceq.com/en/nondestructivetestequipment/concrete-testing/ultrasonic-pulse-velocity/pundit-pl-200pe.html\]](http://www.proceq.com/en/nondestructivetestequipment/concrete-testing/ultrasonic-pulse-velocity/pundit-pl-200pe.html)

V rámci dalšího rozvoje vědy vidím potřebu v ověření vhodnosti technologie Pundit PL-200PE pro stříkané betony (jemnozrnného složení). Pro ověření vhodnosti technologie navrhuji vytvořit modelová zkušební tělesa podobná reálné konstrukci s uměle vytvořenými nehomogenitami. Následným měřením pomocí přístroje Pundit

pak odhalit tyto nehomogenity a určit nepřesnost měření přístroje. Vyhodnocení typu a lokalizace nehomogenit v rámci zkušebního tělesa pomocí přístroje Pundit by mělo sloužit jako základ při posuzování kvality reálné konstrukce.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HILAR, Matouš. *Stříkaný beton v podzemním stavitelství* [online]. Vyd. 1. Praha: Český tunelářský komitét ITA-AITES, 2008 [cit. 2016-02-25]. Dokumenty českého tunelářského komitétu ITA-AITES. ISBN 978-80-254-1262-6. Dostupné z:  
[http://www.ita-aites.cz/files/edice\\_CTuK/ctuk\\_03\\_strikany\\_beton.pdf](http://www.ita-aites.cz/files/edice_CTuK/ctuk_03_strikany_beton.pdf)
- [2] THE SPRAYED CONCRETE ASSOCIATION. *An introduction to sprayed concrete* [online]. Hampshire: Sprayed Concrete Association, 1999 [cit. 2016-02-25]. ISBN 18-709-8008-5. Dostupné z:  
[http://www.sca.org.uk/pdf\\_word/Intro\\_to\\_Sprayed\\_Concrete.pdf](http://www.sca.org.uk/pdf_word/Intro_to_Sprayed_Concrete.pdf)
- [3] ZADĚLÁK, Martin. *Betony s mikrosilikou a jejich odolnost proti chemickým rozmrazovacím látkám*. In: Juniorstav 2004. Brno: CERM, 2004, s. 1. ISBN 80-214-2560-1.
- [4] PYTLÍK, Petr. *Technologie betonu*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-214-0779-4.
- [5] COLLEPARDI, Mario. *Moderní beton*. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009. Betonové stavitelství. ISBN 978-80-87093-75-7.
- [6] PRACOVNÍ SKUPINA ČESKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU PRO STŘÍKANÝ BETON. *Zásady pro používání stříkaného betonu*. Praha: Český tunelářský komitét ITA/AITES [online], 2003. 32 p. [cit. 2010-12-03] Dostupné z [http://www.ita-aites.cz/files/SB\\_zasady.pdf](http://www.ita-aites.cz/files/SB_zasady.pdf)
- [7] ŠKAPOVÁ, Pavla. *Problematika testování stříkaných betonů*. Brno, 2014. 109 s., 125 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců.
- [8] HUBÁČEK, Adam, Michala HUBERTOVÁ a Rudolf HELA. *Stříkaný beton – problematika laboratorního zkoušení*. Journal Lafarge cement [online]. Lafarge Cement, a. s., 2011, 8(3), 4 [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: LFJ11\_03.pdf

- [9] HOBST, Leonard, Pavel SCHMID, Jiří ADÁMEK a Petr CIKRLE.  
*Diagnostika stavebních konstrukcí: průvodce předmětem*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2005.
- [10] ANTON, Ondřej. *Základy zkušebnictví: návody do cvičení. 1*. Brno: CERM, 2002. Učební texty vysokých škol. ISBN 8021420790.
- [11] CIKRLE, Petr, Ondřej ANTON, Petr DANĚK, Barbara KUCHARCZYKOVA a Petr MISÁK. *NTD Zkoušení ve stavebnictví: Příručka kurzu CŽV. Ústav stavebního zkušebnictví*, Fakulta stavební, VUT v Brně, 2010.
- [12] Technologie betonu: Modul M01 Bj 04Technologie betonu I [online]. [cit. 2015-02-26]. Dostupné z:  
<http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BJ04-Technologie%20betonu%20I/technologie%20betonu%20I.pdf>
- [13] Dynamické moduly pružnosti návod do cvičení [online]. [cit. 2015-02-26]. Dostupné z: [http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI02/D\\_navod.pdf](http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI02/D_navod.pdf)

## POUŽITÉ NORMY

- ČSN EN 197-1 *Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha 2012
- ČSN EN 12620 *Kamenivo do betonu*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha 2014
- ČSN EN 13018 *Nedestruktivní zkoušení – Vizuální kontrola – Všeobecné zásady*, ČNI, Praha, 2002
- ČSN EN 934-2 *Přísady do betonu, malty a injektážní malty - Část 2: Přísady do betonu – Definice, požadavky, shoda, označování a značení štítkem*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha 2012
- ČSN 73 1373 *Nedestruktivní zkoušení betonu - Tvrdoměrné metody zkoušení betonu*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha 2011
- ČSN 73 2011 *Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha 2012
- ČSN EN 933-1 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha 2012
- ČSN EN 933-4 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 4: Stanovení tvaru zrn – Tvarový index*, ČNI 2008
- ČSN EN 450-1 *Popílek do betonu - Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha 2013
- ČSN EN 1008 *Záměšová voda do betonu - Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměšové vody do betonu*, ČNI, Praha 2003
- ČSN EN 1097-5 *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 5: Stanovení vlhkosti sušením v sušárně*, ČNI 2008
- ČSN EN 14488-2 *Zkoušení stříkaného betonu- Část 2: Pevnost v tlaku mladého stříkaného betonu*, ČNI, Praha 2007
- ČSN EN 14487-1 *Stříkaný beton - Část 1: definice, specifikace a shoda*, ČNI, Praha 2006
- ČSN EN 12390-7 *Zkoušení ztvrdlého betonu- část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu*, ÚNMZ, Praha 2009

- ČSN EN 14487-1 *Stříkaný beton - Část 1: definice, specifikace a shoda*, ČNI, Praha 2006
- ČSN 73 0211 *Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí*, ÚNMZ, Praha 2012
- ČSN 73 1314 *Zkušební metody pro stanovení vodního součinitele čerstvého betonu*, ČNI, Praha 2002
- ČSN 73 1370. *Nedestruktivní zkoušení betonu - Společná ustanovení*, ÚNMZ, Praha 2011
- ČSN 73 13 71 *Nedestruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu*, ÚNMZ, Praha 2011
- ČSN EN 206 *Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*, ÚNMZ, Praha 2014
- ČSN EN 12350-1 *Zkoušení čerstvého betonu - Část 1 :Odběr vzorků*, ÚNMZ, Praha 2009
- ČSN EN 12350-6. *Zkoušení čerstvého betonu - Část 6:Objemová hmotnost*, ÚNMZ, Praha 2009
- ČSN EN 12390-1 *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 1 - Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy*, ÚNMZ, Praha 2013
- ČSN EN 12390-2 *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 2 - Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti*, ÚNMZ, Praha 2009
- ČSN EN 12390-3 *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*, ÚNMZ, Praha 2009
- ČSN EN 12390-4 *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 4:Pevnot v tlaku - Požadavky na zkušební lisy*, ČNI, Praha 2001
- ČSN EN 12504-1*Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 1: Vývrty - Odběr m vyšetření a zkoušení v tlaku*, ÚNMZ, Praha 2009
- ČSN EN 12504-4 *Zkoušení Betonu - Část 4: Stanovení rychlosti šíření Ultrazvukového impulsu*, ČNI, Praha 2005
- ČSN EN 14487-2 *Stříkaný beton - Část 2: Provádění*, ČNI 2007
- ČSN EN 14488-1 *Zrušení stříkaného betonu - Část 1: Odběr vzorku čerstvého a ztvrdlého betonu*, ČNI 2006
- ČSN EN 1008 *Záměsová voda do betonu - Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu*, ČNI, Praha 2003
- ČSN 731371 *Nedestruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha 2011



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SB	stříkaný beton
$D_{\max}$	maximální zrno kameniva
$f_{c,cube}$	pevnost v tlaku krychlových vzorků
$f_{c,cyl}$	pevnost v tlaku válcových vzorků
$f_{ck}$	charakteristická pevnost
$f_{cm}$	průměrná pevnost
$f_{cd}$	návrhová pevnost
$m_r$	hmotnost zkušebního tělesa v laboratoři
$m_o$	hmotnost vysušeného zkušebního tělesa
$m_w$	hmotnost zkušebního vzorku ve vodě
$m_a$	hmotnost zkušebního vzorku nasáknutého vodou
$\rho_w$	objemová hmotnost vody
$D(\rho)$	objemová hmotnost
$v_{uz}$	impulzová rychlost šíření ultrazvukového vlnění
L	délka měřicí základy
$V_x$	variační koeficient impulzové rychlosti šíření ultrazvukového vlnění
$m_x$	aritmetický průměr rychlosti šíření impulzu ultrazvukového vlnění
S	výběrová směrodatná odchylka souboru hodnot
$x_i$	impulzová rychlosti šíření kluzu ultrazvukového vlnění
$\bar{x}$	aritmetický průměr
n	počet měření
$V_x$	variační součinitel
$f_c$	pevnost v tlaku
F	maximální zatížení při porušení vzorku
$A_c$	průřezová plocha zkušebního tělesa
$E_{bu}$	dynamický modul pružnosti
$v_L$	rychlost šíření ultrazvuku
k	koeficient rozměrnosti prostředí
$\lambda$	vlnová délka
$\kappa_{c,cyl}$	opravný součinitel
$T_0$	mrtvý čas
E	časová charakteristika etalonu
$T_E$	doba průchodu impulzu ultrazvukového vlnění etalonem
T	doba průchodu impulzu ultrazvukového vlnění prvkem
$t_E$	maximální zatížení při porušení vzorku
$X_c$	náhodná veličina
$k_n$	součinitel pro 5%kvantil
$m_x$	aritmetický průměr
$R_{be}$	pevnost betonu v tlaku
$v_{L3}$	rychlost šíření ultrazvuku v trojrozměrném prostředí
f	jmenovitá frekvence použité sondy
w/c-ZM	vodní součinitel zjištěný z měření
w/c-D	doporučený vodní součinitel
$f_{c,char}$	charakteristická pevnost v tlaku
$f_c, pož$	požadovaná pevnost v tlaku

## SEZNAM TABULEK

TABULKA 1: POROVNÁNÍ DOPORUČENÉHO SLOŽENÍ SMĚSÍ PRO 1M <sup>3</sup> V ČESKÉ REPUBLICE A VE SVĚTĚ [4]	14
TABULKA 2: DOPORUČENÉ SLOŽENÍ SMĚSÍ PRO 1M <sup>3</sup> V ČESKÉ REPUBLICE PRO JEDNOTLIVÉ TECHNOLOGIE NÁSTRÍKU [1]	14
TABULKA 3: POŽADAVKY NA NEALKALICKÉ URYCHLOVAČE [6]	18
TABULKA 4: POŽADAVKY NA TEKUTÉ ALKALICKÉ URYCHLOVAČE [6]	18
TABULKA 5: ROZDĚLENÍ METOD PODLE ČSN EN 14488 – 2	20
TABULKA 6: PŘEHLED NOREM PRO MĚŘENÍ PEVNOSTI V TLAKU STŘÍKANÉHO BETONU [7]	21
TABULKA 7: VYHODNOCOVÁNÍ STEJNORODOSTI BETONU NA ZÁKLADĚ VARIÁČNÍHO KOEFICIENTU (%) JEDNOTLIVÝCH VELIČIN	28
TABULKA 8: HODNOCENÍ ZHUTNĚNÍ STŘÍKANÉHO BETONU NA ZÁKLADĚ PODÉLNÉ RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ ULTRAZVUKU	29
TABULKA 9: RECEPTURA A V KG NA 1M <sup>3</sup> BETONU	31
TABULKA 10: RECEPTURA B V KG NA 1M <sup>3</sup> BETONU (MNOŽSTVÍ ZÁMĚSOVÉ VODY BYLO DOMĚŘENO NA STAVBĚ)	31
TABULKA 11: HODNOTY PEVNOSTÍ V TLAKU A V TAHU ZA OHYBU POŽADOVANÉ NORMOU A DEKLAROVANÉ VÝROBCEM	32
TABULKA 12: ZRNITOST KAMENIVA 0-4 MM BRATČICE	33
TABULKA 13: TABULKA VLASTNOSTÍ POUŽITÉHO POPÍLKU	34
TABULKA 14: ZNAČENÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK	39
TABULKA 15: HODNOTY SOUČiniteLE $k_{C,CYL}$ [ČSN EN 12390-3 Z1]	40
TABULKA 16: PŘEVODNÍ SOUČINITEL $k_{C,CYL}$ , CUBE PŘI PEVNOSTI BETONU ZJIŠTĚNÉ NA VÁLCÍCH ZÁKLADNÍHO	41
TABULKA 17: STEJNORODOST ZKUŠEBNÍCH DESEK	58
TABULKA 18: HODNOCENÍ ZHUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK POMOCÍ ULTRAZVUKU	59
TABULKA 19: POISSONŮV POMĚR NĚKTERÝCH STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ $\nu$	60
TABULKA 20: KOEFICIENT K3 V ZÁVISLOSTI NA POISSONOVĚ POMĚRU	60

## SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1: SCHÉMA PROVÁDĚNÍ NÁSTŘIKU SUCHOU CESTOU [1].....	7
OBRÁZEK 2: SCHÉMA PROVÁDĚNÍ NÁSTŘIKU MORKOU CESTOU[1].....	7
OBRÁZEK 3: PŘÍKLAD POUŽITÍ STŘÍKANÉHO BETONU V POZEMNÍM STAVITELSTVÍ [HTTP://WHITEWOOD.EU/OUR-FUNDS/SEPARATE-MANDATES/CENTROOVALECHIASSO.ASPX] ...	10
OBRÁZEK 4: STROJNÍ PROVÁDĚNÍ NÁSTŘIKU .....	12
OBRÁZEK 5: MANUÁLNÍ PROVÁDĚNÍ NÁSTŘIKU.....	12
OBRÁZEK 6: OBORY NÁRŮSTU PEVNOSTI MLADÉHO STŘÍKANÉHO BETONU [1].....	13
OBRÁZEK 7: TĚLESA DOPORUČENÉ PÁSMO ZRNITOSTI PROSTŘÍKANÉ BETONY [1].....	16
OBRÁZEK 8: GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ROZDĚLENÍ METOD PRO MĚŘENÍ PEVNOSTI.....	21
OBRÁZEK 9: PROVÁDĚNÍ MĚŘENÍ MNOŽSTVÍ ZÁMĚSOVÉ VODY.....	24
OBRÁZEK 10: VLIV KVALITY BETONU NA RYCHLOST ŠÍŘENÍ A TVAR IMPULZU UZ VLNĚNÍ [10].....	27
OBRÁZEK 11: KŘIVKA ZRNITOSTI KAMENIVO 0-4 MM BRATČICE .....	33
OBRÁZEK 12: SCHÉMA FORMY PRO ODBĚR STŘÍKANÉHO BETONU.....	35
OBRÁZEK 13: STROJ PRO PROVÁDĚNÍ NÁSTŘIKU SUCHOU CESTOU.....	36
OBRÁZEK 14: PROVÁDĚNÍ NÁSTŘIKU .....	36
OBRÁZEK 15: POLOHA FORMY PŘI APLIKACI NÁSTŘIKU DO FORMY.....	37
OBRÁZEK 16: FORMA OPATŘENA SEPARAČNÍM PŘÍPRAVKEM.....	37
OBRÁZEK 17: UPRAVENÁ FORMA PO PROVEDENÍ NÁSTŘIKU .....	37
OBRÁZEK 18: NEDOKONALÁ ZÓNA DLE ČSN EN 14488-1.....	38
OBRÁZEK 19: PROVÁDĚNÍ JÁDROVÝCH VÝVRTŮ ZE ZKUŠEBNÍ DESKY PRO VÝROBU ZKUŠEBNÍCH TĚLES .	38
OBRÁZEK 20: ÚPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	41
OBRÁZEK 21: VISUÁLNÍ KONTROLA SADY A20.....	44
OBRÁZEK 22: PRŮBĚH ZKOUŠKY PEVNOSTI V TLAKU .....	50
OBRÁZEK 23: ROZMĚŘENÍ MĚŘÍCÍCH BODŮ.....	54
OBRÁZEK 24: SCHÉMA PŘÍMÉHO PROZVUČOVÁNÍ.....	54
OBRÁZEK 25: SCHÉMA POLOPŘÍMÉHO O PROZVUČOVÁNÍ.....	55
OBRÁZEK 26: PŘÍSTROJ PUNDIT PL-200 SE SONDOU N 50HZ PULZNÍM PŘEVODNÍKEM[HTTP://WWW.PROCEQ.COM/EN/NONDESTRUCTIVETESTEQUIPMENT/CONCRETE- TESTING/ULTRASONIC-PULSE-VELOCITY/PUNDIT-PL-200PE.HTML].....	69
OBRÁZEK 27:PRINCIP MĚŘENÍ[HTTP://WWW.PROCEQ.COM/EN/NONDESTRUCTIVETESTEQUIPMENT/CONCRETE- TESTING/ULTRASONIC-PULSE-VELOCITY/PUNDIT-PL-200PE.HTML].....	69
OBRÁZEK 28: PROVÁDĚNÍ REKONSTRUKCE STROPNÍ KONSTRUKCE.....	69
OBRÁZEK 29: PROVÁDĚNÍ ZESÍLENÍ KONSTRUKCE KLENBY .....	69
OBRÁZEK 30: REALIZACE NÁSTŘIKU A NÁSLEDNÁ ÚPRAVA POVRCHU .....	70
OBRÁZEK 31: REALIZACE NÁSTŘIKU .....	70
OBRÁZEK 32: PODKLAD PŘIPRAVENÝ PRO REALIZACI NÁSTŘIKU .....	71
OBRÁZEK 33: KONSTRUKCE PRO PROVEDENÍ NÁSTŘIKU A PROVEDENÍ POVRCHOVÉ ÚPRAVY .....	71
OBRÁZEK 34: STROJNÍ ZAŘÍZENÍ PRO REALIZACI NÁSTŘIKU SUCHOU CESTU .....	72
OBRÁZEK 35: PROVÁDĚNÍ NÁSTŘIKU .....	72

## SEZNAM GRAFŮ

GRAF 1: ZÁVISLOST PEVNOSTI V TLAKU NA RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ ULTRAZVUKU PODLE OBECNÉHO VZTAHU .....	23
GRAF 2: HISTOGRAM OBJEMOVÉ HMOTNOSTI RECEPTURY A .....	45
GRAF 3: HISTOGRAM OBJEMOVÉ HMOTNOSTI RECEPTURY B .....	45
GRAF 4: PRŮMĚRNÁ OBJEMOVÁ HMOTNOST A PEVNOST V TLAKU U JEDNOTLIVÝCH ZKUŠEBNÍCH DESEK .....	46
GRAF 5: PRŮMĚRNÁ OBJEMOVÁ HMOTNOST A PEVNOST V TLAKU U JEDNOTLIVÝCH ZKUŠEBNÍCH DESEK .....	46
GRAF 6: PRŮMĚRNÁ RYCHLOST ŠÍŘENÍ ULTRAZVUKOVÉHO IMPULZU A PEVNOST V TLAKU U JEDNOTLIVÝCH ZKUŠEBNÍCH DESEK.....	48
GRAF 7: PRŮMĚRNÁ RYCHLOST ŠÍŘENÍ ULTRAZVUKOVÉHO IMPULZU A PEVNOST V TLAKU U JEDNOTLIVÝCH ZKUŠEBNÍCH DESEK.....	48
GRAF 8: POROVNÁNÍ CHARAKTERISTICKÉ PEVNOSTI V TLAKU Z JÁDROVÝCH VÝVRTŮ A POŽADOVANÉ PEVNOSTI .....	50
GRAF 9: POROVNÁNÍ CHARAKTERISTICKÉ PEVNOSTI V TLAKU Z JÁDROVÝCH VÝVRTŮ A POŽADOVANÉ PEVNOSTI .....	51
GRAF 10: PEVNOST V TLAKU DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKOU A INFORMATIVNÍ PEVNOST BETONU V TLAKU	52
GRAF 11: PEVNOST V TLAKU DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKOU A INFORMATIVNÍ PEVNOST BETONU V TLAKU	52
GRAF 12: UPRAVENÝ VZTAH PRO VÝPOČET INFORMATIVNÍ PEVNOSTI V TLAKU NA ZÁKLADĚ PEVNOSTI V TLAKU A RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ ULTRAZVUKU .....	53
GRAF 13 RYCHLOST PRŮCHODU ULTRAZVUKOVÉHO IMPULZU PŘI PŘÍMÉM MĚŘENÍ I. ....	56
GRAF 14 RYCHLOST PRŮCHODU ULTRAZVUKOVÉHO IMPULZU PŘI PŘÍMÉM MĚŘENÍ II. ....	56
GRAF 15 RYCHLOST PRŮCHODU ULTRAZVUKOVÉHO IMPULZU PŘI POLOPŘÍMÉM MĚŘENÍ I.....	56
GRAF 16 RYCHLOST PRŮCHODU ULTRAZVUKOVÉHO IMPULZU PŘI POLOPŘÍMÉM MĚŘENÍ II.....	56
GRAF 17 RYCHLOST PRŮCHODU ULTRAZVUKOVÉHO IMPULZU PŘI PŘÍMÉM PROZVUČOVÁNÍ JÁDROVÝCH VÝVRTŮ .....	56
GRAF 18: DYNAMICKÝ MODUL PRUŽNOSTI V TAHU A TLAKU Z RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ ULTRAZVUKU .....	61
GRAF 19: DYNAMICKÝ MODUL PRUŽNOSTI V TAHU A TLAKU Z RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ ULTRAZVUKU .....	61
GRAF 20: DOPORUČENÝ VODNÍ SOUČINITEL, STANOVENÝ VODNÍ SOUČINITEL, PEVNOST V TLAKU .....	62
GRAF 21: DOPORUČENÝ VODNÍ SOUČINITEL, STANOVENÝ VODNÍ SOUČINITEL A OBJEMOVÁ HMOTNOST .....	63
GRAF 22: DOPORUČENÝ VODNÍ SOUČINITEL, STANOVENÝ VODNÍ SOUČINITEL A RYCHLOST ŠÍŘENÍ ULTRAZVUKU .....	63

## SEZNAM PŘÍLOH

### PŘÍLOHA Č. 1 TABULKY VÝSLEDKŮ

SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A1 .....	1
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A2 .....	2
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A3 .....	3
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A4 .....	4
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A5 .....	5
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A6 .....	6
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A7 .....	7
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A8 .....	8
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A9 .....	9
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A10.....	10
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A11.....	11
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A12.....	12
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A13.....	13
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A14.....	14
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A15.....	15
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A16.....	16
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A17.....	17
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A18.....	18
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A19.....	19
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A20.....	20
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A21.....	21
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B1.....	24
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B2.....	23
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B3.....	24
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B4.....	25
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B5.....	26
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B6.....	27
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B7.....	28
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B8.....	29
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B9.....	30
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B10.....	31
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B11.....	32
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B12.....	33
SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B13.....	34

### PŘÍLOHA Č. 2 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ

GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A1 .....	35
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A2 .....	36
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A3 .....	37
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A4 .....	38
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A5 .....	39
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A6 .....	40
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A7 .....	41
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A8 .....	42
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A9 .....	43
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A10 .....	44
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A11 .....	45
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A12 .....	46

GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A13 .....	47
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A14 .....	48
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A15 .....	49
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A16 .....	50
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A17 .....	51
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A18 .....	52
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A19 .....	53
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A20 .....	54
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE A21 .....	55
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B1 .....	56
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B2 .....	57
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B3 .....	58
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B4 .....	59
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B5 .....	60
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B6 .....	61
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B7 .....	62
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B8 .....	63
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B9 .....	64
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B10.....	65
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B11.....	66
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B12.....	67
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝLEDKŮ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ DESCE B13.....	68
PŘÍLOHA Č. 3 FOTODOKUMENTACE Z PROVÁDĚNÍ STŘÍKANÝCH BETONŮ NA STAVBĚ	
PŘÍKLADY POUŽITÍ STŘÍKANÉHO BETONU .....	69
REALIZACE NÁSTŘIKU .....	70
PODKLAD PRO PROVEDENÍ NÁSTŘIKU A KONEČNÁ ÚPRAVA NÁSTŘIKU.....	71
STROJNÍ MECHANIZACE PRO PROVÁDĚNÍ NÁSTŘIKU SUCHOU CESTOU .....	72

**ZKUŠEBNÍ DESKA A1**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A1-1	17	26	53%	3 700	27500	2 110
A1-2	21	41	95%	3 900	31500	2 120
A1-3	23	35	52%	4 000	33500	2 160
A1-4	20	38	90%	3 900	31000	2 150
A1-5	21	40	90%	3 900	31500	2 150
A1-6	19	47	147%	3 900	31000	2 160
A1-7	22	41	86%	4 000	32000	2 150
A1-8	21	45	114%	4 000	32000	2 150
A1-9	19	52	174%	3 900	30500	2 160
<b>Ø</b>	<b>20</b>	<b>41</b>		<b>3900</b>	<b>31000</b>	<b>2150</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	40,624	56,110	0,184	1,73	<b>27,5</b>
$R_{be}$	9	20,354	1,882	0,067	1,73	<b>18,0</b>
$\rho$	9	2145,656	339,338	0,009	1,73	<b>2110</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2146	18,42	0,9%	2,5%	stejnorodý
$f_c$	41	7,49	18,4%	16,0%	nestejnorodý
$v_L$	3914	5,06	0,1%	4,0%	stejnorodý
<b>stejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	4046
$V_{Lmin}$	3722
$V_{Lprům}$	3914
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	323
<b>zhutnění</b>	<b>nedostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5;  
 množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA A2**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	50*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A2-1	11	24	118%	3 500	25500	2 150
A2-2	13	27	108%	3 500	24500	2 170
A2-3	15	21	40%	3 600	27000	2 160
A2-4	11	22	100%	3 300	22000	2 120
A2-5	12	20	67%	3 400	23000	2 110
A2-6	13	19	46%	3 500	24500	2 110
A2-7	11	19	73%	3 400	23000	2 140
A2-8	11	21	91%	3 300	23000	2 140
A2-9	11	31	182%	3 300	22500	2 160
<b>Ø</b>	<b>12</b>	<b>23</b>		<b>3400</b>	<b>24000</b>	<b>2140</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	22,674	15,455	0,173	1,73	<b>16</b>
$R_{be}$	9	12,012	1,744	0,110	1,73	<b>9,5</b>
$\rho$	9	2140,824	484,714	0,010	1,73	<b>2100</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2141	22,02	1,0%	2,5%	stejnorodý
$f_c$	23	3,93	17,3%	16,0%	nestejnorodý
$v_L$	3430	3,91	0,1%	4,0%	stejnorodý
<b>stejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3625
$V_{Lmin}$	3323
$V_{Lprům}$	3430
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	301
<b>zhutnění</b>	<b>nedostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)



**ZKUŠEBNÍ DESKA A3**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A3-1	12	24	100%	3 400	24000	2 140
A3-2	15	27	80%	3 600	27000	2 170
A3-3	13	30	131%	3 500	24500	2 170
A3-4	15	28	87%	3 700	27500	2 160
A3-5	12	31	158%	3 500	24500	2 170
A3-6	16	24	50%	3 700	28000	2 180
A3-7	10	17	70%	3 200	20500	2 140
A3-8	11	18	64%	3 300	22500	2 130
A3-9	14	13	7%	3 600	26000	2 160
<b>Ø</b>	<b>13</b>	<b>24</b>		<b>3500</b>	<b>25000</b>	<b>2160</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	23,494	40,412	0,271	1,73	<b>12,5</b>
$R_{be}$	9	13,158	4,292	0,157	1,73	<b>9,5</b>
$\rho$	9	2158,516	314,482	0,008	1,73	<b>2130</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2159	17,73	0,8%	2,5%	stejnorodý
$f_c$	23	6,36	27,1%	16,0%	nestejnorodý
$v_L$	3488	6,36	0,2%	4,0%	stejnorodý
<b>stejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3683
$V_{Lmin}$	3177
$V_{Lprům}$	3488
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	505
<b>zhutnění</b>	<b>nedostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA A4**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A4-1	9	17	89%	3 100	19500	2 110
A4-2	10	16	60%	3 300	21500	2 120
A4-3	11	21	91%	3 300	22000	2 120
A4-4	10	17	70%	3 200	20000	2 100
A4-5	11	22	100%	3 300	21500	2 100
A4-6	11	19	73%	3 400	22500	2 110
A4-7	10	16	60%	3 200	20500	2 110
A4-8	10	16	60%	3 200	21000	2 110
A4-9	10	16	60%	3 100	19500	2 090
<b>Ø</b>	<b>10</b>	<b>18</b>		<b>3200</b>	<b>21000</b>	<b>2110</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	17,771	5,662	0,134	1,73	<b>13,5</b>
$R_{be}$	9	10,255	0,387	0,061	1,73	<b>9,0</b>
$\rho$	9	2108,378	63,693	0,004	1,73	<b>2090</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2108	7,98	0,4%	2,5%	stejnorodý
$f_c$	18	2,38	13,4%	16,0%	stejnorodý
$v_L$	3230	2,38	0,1%	4,0%	stejnorodý
<b>stejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3350
$V_{Lmin}$	3117
$V_{Lprům}$	3230
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	233
<b>zhutnění</b>	<b>dostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA A5**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdílnost $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A5-1	20	33	65%	3 900	31500	2 190
A5-2	17	33	94%	3 700	29000	2 190
A5-3	18	37	106%	3 800	30000	2 190
A5-4	14	26	86%	3 600	26000	2 140
A5-5	13	24	85%	3 500	24500	2 150
A5-6	17	28	65%	3 700	29000	2 190
A5-7	21	34	62%	3 900	31000	2 100
A5-8	16	25	56%	3 700	30000	2 330
A5-9	26	32	23%	4 200	36000	2 200
<b>Ø</b>	<b>18</b>	<b>30</b>		<b>3800</b>	<b>29500</b>	<b>2190</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	30,215	22,374	0,157	1,73	<b>22</b>
$R_{be}$	9	17,868	15,680	0,222	1,73	<b>11,0</b>
$\rho$	9	2186,331	4126,140	0,029	1,73	<b>2080</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2186	64,24	2,9%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	30	4,73	15,7%	14,0%	nestejnorodý
$v_L$	3776	4,73	0,1%	4,0%	stejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	4152
$V_{Lmin}$	3474
$V_{Lprům}$	3776
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	678
<b>zhutnění</b>	<b>nedostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA A6**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A6-1	17	38	124%	3 800	32500	2 430
A6-2	18	40	122%	3 800	33000	2 410
A6-3	17	39	129%	3 700	31500	2 390
A6-4	16	25	56%	3 700	30500	2 400
A6-5	15	42	180%	3 700	30000	2 350
A6-6	19	48	153%	3 800	35500	2 510
A6-7	20	33	65%	3 900	35500	2 460
A6-8	15	36	140%	3 600	30000	2 410
A6-9	16	40	150%	3 700	31500	2 420
<b>Ø</b>	<b>17</b>	<b>38</b>		<b>3700</b>	<b>32000</b>	<b>2420</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	37,878	38,675	0,164	1,73	<b>27</b>
$R_{be}$	9	16,980	2,652	0,096	1,73	<b>14,0</b>
$\rho$	9	2418,550	2052,037	0,019	1,73	<b>2340</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2419	45,30	1,9%	2,5%	stejnorodý
$f_c$	38	6,22	16,4%	14,0%	nestejnorodý
$v_L$	3744	6,22	0,2%	3,5%	stejnorodý
<b>stejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3888
$V_{Lmin}$	3630
$V_{Lprům}$	3744
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	258
<b>zhutnění</b>	<b>dostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA A7**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A7-1	18	39	117%	3 800	30000	2 190
A7-2	17	42	147%	3 700	29000	2 200
A7-3	20	51	155%	3 900	32000	2 200
A7-4	16	37	131%	3 700	28500	2 180
A7-5	15	45	200%	3 600	26500	2 170
A7-6	20	46	130%	3 900	31500	2 190
A7-7	16	37	131%	3 700	28000	2 190
A7-8	14	44	214%	3 500	26500	2 210
A7-9	14	50	257%	3 600	26000	2 170
$\bar{\phantom{x}}$	<b>17</b>	<b>43</b>		<b>3700</b>	<b>28500</b>	<b>2190</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	43,561	25,142	0,115	1,73	<b>35</b>
$R_{be}$	9	16,581	5,972	0,147	1,73	<b>12,5</b>
$\rho$	9	2188,411	176,759	0,006	1,73	<b>2170</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2188	13,30	0,6%	2,5%	stejnorodý
$f_c$	44	5,01	11,5%	12,0%	stejnorodý
$v_L$	3716	5,01	0,1%	3,0%	stejnorodý
<b>stejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3913
$V_{Lmin}$	3550
$V_{Lprům}$	3716
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	363
<b>zhutnění</b>	<b>nedostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA A8**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A8-1	20	41	105%	3 900	31500	2 200
A8-2	19	43	126%	3 800	30500	2 200
A8-3	18	45	150%	3 800	30500	2 210
A8-4	17	33	94%	3 800	31500	2 360
A8-5	20	31	55%	3 900	36000	2 490
A8-6	20	49	145%	3 900	33500	2 350
A8-7	18	35	94%	3 800	34000	2 460
A8-8	19	37	95%	3 800	32000	2 300
A8-9	18	33	83%	3 800	32500	2 380
$\bar{\phantom{x}}$	<b>19</b>	<b>39</b>		<b>3800</b>	<b>32500</b>	<b>2330</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	38,557	36,716	0,157	1,73	<b>28</b>
$R_{be}$	9	18,642	0,924	0,052	1,73	<b>17,0</b>
$\rho$	9	2327,553	11986,307	0,047	1,73	<b>2140</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2328	109,48	4,7%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	39	6,06	15,7%	14,0%	nestejnorodý
$v_L$	3834	6,06	0,2%	3,5%	stejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3899
$V_{Lmin}$	3754
$V_{Lprům}$	3834
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	145
<b>zhutnění</b>	<b>dobré</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA A9**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A9-1	16	38	138%	3 700	28500	2 170
A9-2	17	36	112%	3 700	29000	2 170
A9-3	18	42	133%	3 800	30000	2 190
A9-4	18	42	133%	3 800	34000	2 480
A9-5	17	35	106%	3 800	33500	2 490
A9-6	18	35	94%	3 800	33500	2 470
A9-7	12	25	108%	3 400	27500	2 500
A9-8	14	34	143%	3 600	30000	2 480
A9-9	17	42	147%	3 700	33000	2 480
<b>Ø</b>	<b>16</b>	<b>37</b>		<b>3700</b>	<b>31000</b>	<b>2380</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	36,592	28,964	0,147	1,73	<b>27,5</b>
$R_{be}$	9	16,313	4,001	0,123	1,73	<b>13,0</b>
$\rho$	9	2381,306	23653,381	0,065	1,73	<b>2120</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2381	153,80	6,5%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	37	5,38	14,7%	14,0%	nestejnorodý
$v_L$	3702	5,38	0,1%	3,5%	stejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3800
$V_{Lmin}$	3402
$V_{Lprům}$	3702
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	398
<b>zhutnění</b>	<b>nedostatečné</b>

$n$  - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA A10**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdílnost $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A10-1	17	30	76%	3 800	29500	2 200
A10-2	20	47	135%	3 900	31500	2 190
A10-3	19	43	126%	3 900	31500	2 230
A10-4	18	33	83%	3 800	34000	2 510
A10-5	19	31	63%	3 800	35500	2 540
A10-6	20	31	55%	3 900	37000	2 580
A10-7	19	47	147%	3 800	35000	2 510
A10-8	19	34	79%	3 800	34500	2 470
A10-9	17	37	118%	3 800	35000	2 580
<b>Ø</b>	<b>19</b>	<b>37</b>		<b>3800</b>	<b>33500</b>	<b>2420</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	36,889	48,440	0,189	1,73	<b>25</b>
$R_{be}$	9	18,561	0,816	0,049	1,73	<b>17,0</b>
$\rho$	9	2424,087	27273,454	0,068	1,73	<b>2140</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2424	165,15	6,8%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	37	6,96	18,9%	14,0%	nestejnorodý
$v_L$	3830	6,96	0,2%	2,0%	stejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3896
$V_{Lmin}$	3769
$V_{Lprům}$	3830
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	127
<b>zhutnění</b>	<b>dobré</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)



**ZKUŠEBNÍ DESKA A11**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdílnost $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A11-1	24	57	138%	4 100	34000	2 170
A11-2	24	48	100%	4 100	34500	2 220
A11-3	24	44	83%	4 100	35000	2 220
A11-4	23	33	43%	4 000	38500	2 500
A11-5	24	45	88%	4 100	40000	2 560
A11-6	18	35	94%	3 800	36500	2 650
A11-7	22	37	68%	4 000	38000	2 510
A11-8	23	44	91%	4 100	38000	2 430
A11-9	21	47	124%	3 900	38500	2 600
<b>Ø</b>	<b>23</b>	<b>43</b>		<b>4000</b>	<b>37000</b>	<b>2430</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	43,270	56,396	0,174	1,73	<b>30,5</b>
$R_{be}$	9	22,556	3,620	0,084	1,73	<b>19,5</b>
$\rho$	9	2429,480	32841,346	0,075	1,73	<b>2120</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2429	181,22	7,5%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	43	7,51	17,4%	12,0%	nestejnorodý
$v_L$	4013	7,51	0,2%	2,0%	stejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	4078
$V_{Lmin}$	3816
$V_{Lprům}$	4013
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	262
<b>zhutnění</b>	<b>dostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA A12**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdílnost $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A12-1	12	17	42%	3 400	22500	2 070
A12-2	11	15	36%	3 300	21000	2 060
A12-3	11	19	73%	3 300	21500	2 070
A12-4	10	16	60%	3 200	22000	2 250
A12-5	10	23	130%	3 200	22500	2 370
A12-6	10	24	140%	3 200	23500	2 400
A12-7	12	21	75%	3 400	26000	2 360
A12-8	10	17	70%	3 200	24000	2 430
A12-9	10	15	50%	3 300	23500	2 350
<b>Ø</b>	<b>11</b>	<b>19</b>		<b>3300</b>	<b>23000</b>	<b>2260</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	18,567	11,566	0,183	1,73	<b>12,5</b>
$R_{be}$	9	10,647	0,538	0,069	1,73	<b>9,5</b>
$\rho$	9	2262,748	23172,032	0,067	1,73	<b>2000</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2263	152,22	6,7%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	19	3,40	18,3%	16,0%	nestejnorodý
$v_L$	3276	3,40	0,1%	4,0%	stejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3397
$V_{Lmin}$	3176
$V_{Lprům}$	3276
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	221
<b>zhutnění</b>	<b>dostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA A13**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A13-1	19	30	58%	3 800	31000	2 210
A13-2	18	28	56%	3 800	30000	2 220
A13-3	16	26	63%	3 700	29000	2 210
A13-4	16	25	56%	3 700	31500	2 470
A13-5	15	27	80%	3 600	30500	2 450
A13-6	15	22	47%	3 600	31000	2 450
A13-7	18	30	67%	3 800	33000	2 440
A13-8	17	27	59%	3 800	33500	2 500
A13-9	14	21	50%	3 600	30500	2 530
<b>Ø</b>	<b>16</b>	<b>26</b>		<b>3700</b>	<b>31000</b>	<b>2390</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	26,260	9,060	0,115	1,73	<b>21</b>
$R_{be}$	9	16,439	2,303	0,092	1,73	<b>14,0</b>
$\rho$	9	2384,932	17864,488	0,056	1,73	<b>2150</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2385	133,66	5,6%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	26	3,01	11,5%	16,0%	stejnorodý
$v_L$	3714	87,11	2,3%	4,0%	stejnorodý
<b>stejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3834
$V_{Lmin}$	3576
$V_{Lprům}$	3714
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	258
<b>zhutnění</b>	<b>dostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA A14**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A14-1	16	40	150%	3 700	28000	2 170
A14-2	16	31	94%	3 700	27500	2 140
A14-3	17	42	147%	3 800	28500	2 140
A14-4	16	34	113%	3 700	32500	2 510
A14-5	15	33	120%	3 700	32000	2 520
A14-6	17	39	129%	3 700	32500	2 470
A14-7	16	34	113%	3 700	27000	2 070
A14-8	16	39	144%	3 700	32500	2 480
A14-9	15	31	107%	3 700	32000	2 530
<b>Ø</b>	<b>16</b>	<b>36</b>		<b>3700</b>	<b>30500</b>	<b>2340</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	35,733	17,055	0,116	1,73	<b>28,5</b>
$R_{be}$	9	16,058	0,290	0,034	1,73	<b>15,0</b>
$\rho$	9	2336,893	39076,109	0,085	1,73	<b>1990</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2337	197,68	8,5%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	36	4,13	11,6%	14,0%	stejnorodý
$v_L$	3695	31,17	0,8%	3,5%	stejnorodý
<b>stejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3751
$V_{Lmin}$	3655
$V_{Lprům}$	3695
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	96
<b>zhuťnění</b>	<b>výborné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA A15**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdílnost $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A15-1	12	17	42%	3 400	23000	2 140
A15-2	12	15	25%	3 400	23000	2 120
A15-3	12	19	58%	3 400	24000	2 130
A15-4	11	20	82%	3 300	24500	2 330
A15-5	14	21	50%	3 600	28500	2 380
A15-6	13	19	46%	3 500	27000	2 320
A15-7	14	28	100%	3 600	29500	2 400
A15-8	13	23	77%	3 500	29000	2 470
A15-9	13	19	46%	3 500	27500	2 370
<b>Ø</b>	<b>13</b>	<b>20</b>		<b>3500</b>	<b>26000</b>	<b>2300</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	20,187	13,976	0,185	1,73	<b>13,5</b>
$R_{be}$	9	12,734	1,310	0,090	1,73	<b>11,0</b>
$\rho$	9	2294,481	17697,776	0,058	1,73	<b>2060</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2294	133,03	5,8%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	20	3,74	18,5%	16,0%	nestejnorodý
$v_L$	3468	91,77	2,6%	4,0%	stejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3588
$V_{Lmin}$	3323
$V_{Lprům}$	3468
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	266
<b>zhutnění</b>	<b>dostatečné</b>

$n$  - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA A16**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A16-1	14	27	93%	3 600	26500	2 180
A16-2	16	32	100%	3 700	28500	2 190
A16-3	12	39	225%	3 400	24000	2 180
A16-4	14	29	107%	3 500	34500	2 900
A16-5	14	33	136%	3 600	36500	3 020
A16-6	11	22	100%	3 300	30500	2 890
A16-7	14	34	143%	3 500	34500	2 900
A16-8	12	33	175%	3 400	31500	2 870
A16-9	14	29	107%	3 600	35000	2 910
<b>Ø</b>	<b>13</b>	<b>31</b>		<b>3500</b>	<b>31500</b>	<b>2670</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	31,000	23,862	0,158	1,73	<b>22,5</b>
$R_{be}$	9	13,403	2,136	0,109	1,73	<b>11,0</b>
$\rho$	9	2672,858	135516,578	0,138	1,73	<b>2040</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2673	368,13	13,8%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	31	4,88	15,8%	16,0%	stejnorodý
$v_L$	3517	108,47	3,1%	4,0%	stejnorodý
<b>stejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3688
$V_{Lmin}$	3347
$V_{Lprům}$	3517
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	340
<b>zhutnění</b>	<b>nedostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA A17**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A17-1	16	39	144%	3 700	26500	2 070
A17-2	15	33	120%	3 600	25500	2 050
A17-3	15	26	73%	3 600	25500	2 060
A17-4	13	38	192%	3 500	32500	2 810
A17-5	12	37	208%	3 400	33000	3 010
A17-6	14	37	164%	3 600	34500	2 860
A17-7	14	40	186%	3 600	34000	2 820
A17-8	15	39	160%	3 700	35000	2 740
A17-9	11	33	200%	3 300	29500	2 870
<b>Ø</b>	<b>14</b>	<b>36</b>		<b>3600</b>	<b>30500</b>	<b>2590</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	35,684	18,912	0,122	1,73	<b>28</b>
$R_{be}$	9	13,793	3,024	0,126	1,73	<b>11,0</b>
$\rho$	9	2587,828	162724,094	0,156	1,73	<b>1890</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2588	403,39	15,6%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	36	4,35	12,2%	14,0%	stejnorodý
$v_L$	3541	132,60	3,7%	3,0%	nestejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3682
$V_{Lmin}$	3284
$V_{Lprům}$	3541
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	397
<b>zhutnění</b>	<b>nedostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA A18**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivor 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A18-1	13	34	162%	3 500	25000	2 190
A18-2	13	30	131%	3 500	26000	2 180
A18-3	15	32	113%	3 600	27500	2 180
A18-4	13	22	69%	3 500	33000	2 820
A18-5	12	31	158%	3 400	33500	3 010
A18-6	13	34	162%	3 500	35500	3 030
A18-7	15	37	147%	3 600	37500	3 000
A18-8	14	39	179%	3 600	37000	3 030
A18-9	10	23	130%	3 200	29500	3 030
<b>Ø</b>	<b>13</b>	<b>31</b>		<b>3500</b>	<b>31500</b>	<b>2720</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	31,448	33,414	0,184	1,73	<b>21,5</b>
$R_{be}$	9	13,327	2,596	0,121	1,73	<b>10,5</b>
$\rho$	9	2718,853	164807,899	0,149	1,73	<b>2020</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2719	405,97	14,9%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	31	5,78	18,4%	12,0%	nestejnorodý
$v_L$	3507	132,63	3,8%	3,0%	nestejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3648
$V_{Lmin}$	3215
$V_{Lprům}$	3507
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	432
<b>zhutnění</b>	<b>nedostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)



**ZKUŠEBNÍ DESKA A19**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A19-1	15	45	200%	3 600	27500	2 200
A19-2	12	33	175%	3 400	24000	2 200
A19-3	14	34	143%	3 600	26500	2 200
A19-4	14	46	229%	3 600	35000	2 850
A19-5	15	36	140%	3 600	37500	3 010
A19-6	14	35	150%	3 600	37000	3 050
A19-7	13	36	177%	3 500	35000	2 970
A19-8	12	20	67%	3 400	34000	3 040
A19-9	15	33	120%	3 700	39000	3 080
<b>Ø</b>	<b>14</b>	<b>35</b>		<b>3600</b>	<b>33000</b>	<b>2730</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	35,222	55,195	0,211	1,73	<b>22,5</b>
$R_{be}$	9	13,955	1,614	0,091	1,73	<b>12,0</b>
$\rho$	9	2732,510	165812,258	0,149	1,73	<b>2030</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2733	407,20	14,9%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	35	7,43	21,1%	12,0%	nestejnorodý
$v_L$	3558	91,93	2,6%	3,0%	stejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3651
$V_{Lmin}$	3395
$V_{Lprům}$	3558
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	256
<b>zhutnění</b>	<b>dostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA A20**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A20-1	17	39	129%	3 800	29500	2 210
A20-2	18	33	83%	3 800	29500	2 180
A20-3	16	26	63%	3 700	28500	2 210
A20-4	17	38	124%	3 700	39000	2 980
A20-5	17	37	118%	3 700	39500	3 000
A20-6	16	37	131%	3 700	37500	2 940
A20-7	17	40	135%	3 800	41500	3 100
A20-8	19	39	105%	3 800	40500	2 900
A20-9	19	33	74%	3 900	43000	3 030
<b>Ø</b>	<b>17</b>	<b>36</b>		<b>3800</b>	<b>36500</b>	<b>2730</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	35,668	19,003	0,122	1,73	<b>28</b>
$R_{be}$	9	17,182	1,376	0,068	1,73	<b>15,0</b>
$\rho$	9	2727,293	161610,305	0,147	1,73	<b>2030</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2727	402,01	14,7%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	36	4,36	12,2%	12,0%	nestejnorodý
$v_L$	3757	62,91	1,7%	3,0%	stejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3869
$V_{Lmin}$	3666
$V_{Lprům}$	3757
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	203
<b>zhutnění</b>	<b>dostatečné</b>

$n$  - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\*předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA A21**

Složení směsi			
třída betonu	CEM I 42,5R	kamenivo 0 – 4 mm	voda
SB 15 (C12/15)	300	1716	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost v dostředném tlaku - lis	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
A21-1	22	42	91%	4 000	32500	2 160
A21-2	19	40	111%	3 900	31500	2 230
A21-3	18	40	122%	3 800	30500	2 220
A21-4	18	44	144%	3 800	41000	3 020
A21-5	17	46	171%	3 700	41000	3 070
A21-6	17	40	135%	3 800	41500	3 090
A21-7	19	50	163%	3 900	42500	3 000
A21-8	15	33	120%	3 600	37500	2 980
A21-9	14	32	129%	3 600	34000	2 840
<b>Ø</b>	<b>18</b>	<b>41</b>		<b>3800</b>	<b>37000</b>	<b>2730</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	40,855	31,480	0,137	1,73	<b>31</b>
$R_{be}$	9	17,642	5,610	0,134	1,73	<b>13,5</b>
$\rho$	9	2736,056	165636,645	0,149	1,73	<b>2030</b>

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
$\rho$	2736	406,98	14,9%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	41	5,61	13,7%	12,0%	nestejnorodý
$v_L$	3776	127,83	3,4%	3,0%	nestejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3985
$V_{Lmin}$	3551
$V_{Lprům}$	3776
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	434
<b>zhutnění</b>	<b>nedostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA B1**

Složení směsi				
třída betonu	CEM I 32,5R	kamenivo 0 – 4 mm	popílek	voda
SB 15 (C12/15)	300	1706	100	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
B1-1	21	45	114%	3 900	32500	2 210
B1-2	21	32	52%	3 900	32000	2 170
B1-3	21	45	114%	3 900	32500	2 210
B1-4	21	28	33%	4 000	37000	2 490
B1-5	22	32	45%	4 000	38000	2 480
B1-6	19	37	95%	3 800	36500	2 590
B1-7	22	46	109%	4 000	37500	2 470
B1-8	21	34	62%	4 000	35500	2 380
B1-9	15	36	140%	3 600	30000	2 400
$\bar{\phantom{x}}$	<b>20</b>	<b>37</b>		<b>3900</b>	<b>34500</b>	<b>2380</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	37,288	45,661	0,181	1,73	25,5
$R_{be}$	9	20,483	5,159	0,111	1,73	16,5
r	9	2377,646	21982,579	0,062	1,73	2120

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
r	2378	148,27	6,2%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	37	6,76	18,1%	14,0%	nestejnorodý
$v_L$	3918	6,76	0,2%	3,5%	stejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	4013
$V_{Lmin}$	3640
$V_{Lprům}$	3918
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	373
<b>zhutnění</b>	<b>nedostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5% kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA B2**

Složení směsi				
třída betonu	CEM I 32,5R	kamenivo 0 – 4 mm	popílek	voda
SB 15 (C12/15)	300	1706	100	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
B2-1	12	15	25%	3 400	24000	2 120
B2-2	14	24	71%	3 500	25000	2 090
B2-3	11	17	55%	3 400	22000	2 080
B2-4	12	10	17%	3 400	25000	2 240
B2-5	11	15	36%	3 300	24500	2 300
B2-6	12	18	50%	3 400	25000	2 230
B2-7	13	16	23%	3 500	27500	2 350
B2-8	13	20	54%	3 500	26500	2 340
B2-9	10	14	40%	3 300	23000	2 280
$\emptyset$	<b>12</b>	<b>17</b>		<b>3400</b>	<b>24500</b>	<b>2230</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	16,533	15,922	0,241	1,73	9,5
$R_{be}$	9	12,101	1,043	0,084	1,73	10,5
r	9	2226,369	11202,961	0,048	1,73	2040

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
r	2226	105,84	4,8%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	17	3,99	24,1%	16,0%	nestejnorodý
$v_L$	3416	3,99	0,1%	4,0%	stejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3536
$V_{Lmin}$	3260
$V_{Lprům}$	3416
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	276
<b>zhutnění</b>	<b>dostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA B3**

Složení směsi				
třída betonu	CEM I 32,5R	kamenivo 0 – 4 mm	popílek	voda
SB 15 (C12/15)	300	1706	100	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
B3-1	15	27	80%	3 600	27000	2 130
B3-2	16	35	119%	3 700	28000	2 120
B3-3	17	25	47%	3 800	28500	2 140
B3-4	14	24	71%	3 600	29500	2 440
B3-5	13	18	38%	3 500	25500	2 250
B3-6	16	28	75%	3 700	31000	2 420
B3-7	16	24	50%	3 700	30000	2 290
B3-8	14	28	100%	3 600	29500	2 420
B3-9	14	22	57%	3 600	28500	2 370
$\bar{\phantom{x}}$	<b>15</b>	<b>26</b>		<b>3600</b>	<b>28500</b>	<b>2290</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	25,653	22,278	0,184	1,73	17,5
$R_{be}$	9	15,051	2,297	0,101	1,73	12,5
r	9	2286,374	17858,517	0,058	1,73	2060

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
r	2286	133,64	5,8%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	26	4,72	18,4%	16,0%	nestejnorodý
$v_L$	3630	4,72	0,1%	4,0%	stejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3763
$V_{Lmin}$	3456
$V_{Lprům}$	3630
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	307
<b>zhutnění</b>	<b>nedostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA B4**

Složení směsi				
třída betonu	CEM I 32,5R	kamenivo 0 – 4 mm	popílek	voda
SB 15 (C12/15)	300	1706	100	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
B4-1	14	19	36%	3 600	25000	2 110
B4-2	16	17	6%	3 700	27000	2 120
B4-3	16	22	38%	3 700	28000	2 140
B4-4	16	19	19%	3 700	30500	2 390
B4-5	16	25	56%	3 700	31000	2 390
B4-6	16	19	19%	3 700	31500	2 440
B4-7	23	28	22%	4 000	36500	2 390
B4-8	17	23	35%	3 700	35000	2 630
B4-9	18	20	11%	3 800	34000	2 510
$\bar{\phantom{x}}$	<b>17</b>	<b>21</b>		<b>3700</b>	<b>31000</b>	<b>2350</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	21,233	11,533	0,160	1,73	15,5
$R_{be}$	9	16,813	5,901	0,144	1,73	12,5
r	9	2345,149	34700,277	0,079	1,73	2020

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
r	2345	186,28	7,9%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	21	3,40	16,0%	16,0%	stejnorodý
$v_L$	3731	3,40	0,1%	4,0%	stejnorodý
<b>stejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	4018
$V_{Lmin}$	3552
$V_{Lprům}$	3731
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	466
<b>zhutnění</b>	<b>nedostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA B5**

Složení směsi					
třída betonu	CEM I 32,5R	kamenivo	0 – 4 mm	popílek	voda
SB 15 (C12/15)	300	1706		100	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
B5-1	17	29	71%	3 700	28500	2 150
B5-2	16	27	69%	3 700	27000	2 120
B5-3	14	18	29%	3 600	26000	2 160
B5-4	15	35	133%	3 600	31000	2 460
B5-5	15	28	87%	3 600	29500	2 350
B5-6	15	29	93%	3 700	30500	2 420
B5-7	16	23	44%	3 700	31000	2 380
B5-8	15	34	127%	3 600	30500	2 450
B5-9	16	31	94%	3 700	31500	2 390
$\emptyset$	<b>15</b>	<b>28</b>		<b>3700</b>	<b>29500</b>	<b>2320</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	28,273	27,972	0,187	1,73	19
$R_{be}$	9	15,597	0,768	0,056	1,73	14,0
r	9	2319,243	18942,173	0,059	1,73	2080

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
r	2319	137,63	5,9%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	28	5,29	18,7%	14,0%	nestejnorodý
$v_L$	3667	5,29	0,1%	3,5%	stejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3749
$V_{Lmin}$	3571
$V_{Lprům}$	3667
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	178
<b>zhutnění</b>	<b>dobré</b>

- n - počet prvků
- $m_x$  - průměr
- $s_x$  - směrodatná odchylka
- $V_x$  - variační koeficient
- $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5 \* množství cementu 300kg)



**ZKUŠEBNÍ DESKA B6**

Složení směsi				
třída betonu	CEM I 32,5R	kamenivo 0 – 4 mm	popílek	voda
SB 15 (C12/15)	300	1706	100	150*

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
B6-1	15	28	87%	3 600	26500	2 120
B6-2	14	22	57%	3 500	25500	2 120
B6-3	12	33	175%	3 400	23500	2 130
B6-4	13	26	100%	3 500	28000	2 410
B6-5	14	23	64%	3 600	29000	2 400
B6-6	12	25	108%	3 400	26000	2 390
B6-7	11	15	36%	3 300	25000	2 380
B6-8	14	27	93%	3 600	28500	2 360
B6-9	13	22	69%	3 500	27000	2 390
$\bar{\phantom{x}}$	<b>13</b>	<b>25</b>		<b>3500</b>	<b>26500</b>	<b>2300</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	24,533	25,034	0,204	1,73	16
$R_{be}$	9	12,905	1,536	0,096	1,73	11,0
r	9	2299,978	17022,139	0,057	1,73	2070

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
r	2300	130,47	5,7%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	25	5,00	20,4%	16,0%	nestejnorodý
$v_L$	3481	5,00	0,1%	4,0%	stejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3610
$V_{Lmin}$	3320
$V_{Lprům}$	3481
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	290
<b>zhutnění</b>	<b>dostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

\* předpokládané množství záměsové vody na základě výpočtu (doporučený vodní součinitel 0,5; množství vody 150kg = 0,5\*množství cementu 300kg)

**ZKUŠEBNÍ DESKA B7**

Složení směsi				
třída betonu	CEM I 32,5R	kamenivo 0 – 4 mm	popílek	voda
SB 15 (C12/15)	300	1706	100	270

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
B7-1	16	26	63%	3 700	26500	2 080
B7-2	13	20	54%	3 500	23500	2 060
B7-3	15	20	33%	3 600	25500	2 040
B7-4	13	26	100%	3 500	26000	2 240
B7-5	13	19	46%	3 500	27000	2 270
B7-6	11	18	64%	3 300	23000	2 210
B7-7	12	14	17%	3 400	25500	2 260
B7-8	17	29	71%	3 700	31500	2 380
B7-9	14	27	93%	3 600	29500	2 420
$\bar{\phantom{x}}$	<b>14</b>	<b>22</b>		<b>3500</b>	<b>26500</b>	<b>2220</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	22,129	24,337	0,223	1,73	13,5
$R_{be}$	9	13,808	2,998	0,125	1,73	11,0
r	9	2217,875	18822,834	0,062	1,73	1980

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
r	0	0,00	0,0%	0,0%	0
$f_c$	0	0,00	0,0%	0,0%	0
$v_L$	0	0,00	0,0%	0,0%	0
<b>Stejnorodost</b>					

$V_{Lmax}$	3727
$V_{Lmin}$	3325
$V_{Lprům}$	3544
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	401
<b>zhutnění</b>	<b>nedostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

**ZKUŠEBNÍ DESKA B8**

Složení směsi					
třída betonu	CEM I 32,5R	kamenivo	0 – 4 mm	popílek	voda
SB 15 (C12/15)	300	1706		100	226

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
B8-1	17	20	18%	3 800	29000	2 140
B8-2	16	21	31%	3 700	27500	2 140
B8-3	14	25	79%	3 600	26000	2 130
B8-4	14	24	71%	3 600	29500	2 380
B8-5	16	26	63%	3 700	31500	2 420
B8-6	15	22	47%	3 700	30000	2 380
B8-7	18	21	17%	3 800	33500	2 440
B8-8	16	31	94%	3 700	31500	2 450
B8-9	15	28	87%	3 600	30500	2 430
$\emptyset$	<b>16</b>	<b>24</b>		<b>3700</b>	<b>30000</b>	<b>2320</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	24,152	14,215	0,156	1,73	17,5
$R_{be}$	9	15,791	1,662	0,082	1,73	13,5
r	9	2323,653	20853,205	0,062	1,73	2070

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
r	2324	144,41	6,2%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	24	3,77	15,6%	16,0%	stejnorodý
$v_L$	3677	74,90	2,0%	4,0%	stejnorodý
<b>stejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3808
$V_{Lmin}$	3588
$V_{Lprům}$	3677
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	220
<b>zhutnění</b>	<b>dostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

**ZKUŠEBNÍ DESKA B9**

Složení směsi					
třída betonu	CEM I 32,5R	kamenivo	0 – 4 mm	popílek	voda
SB 15 (C12/15)	300	1706		100	226

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
B9-1	17	24	41%	3 700	28000	2 120
B9-2	18	25	39%	3 800	29500	2 140
B9-3	19	29	53%	3 800	30000	2 130
B9-4	18	28	56%	3 800	33000	2 410
B9-5	18	24	33%	3 800	32500	2 400
B9-6	15	24	60%	3 700	31500	2 480
B9-7	18	29	61%	3 800	32500	2 390
B9-8	16	26	63%	3 700	31500	2 410
B9-9	16	27	69%	3 700	31500	2 410
$\bar{\phantom{x}}$	<b>17</b>	<b>26</b>		<b>3800</b>	<b>31000</b>	<b>2320</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	26,238	5,059	0,086	1,73	22,5
$R_{be}$	9	17,188	1,207	0,064	1,73	15,5
r	9	2321,926	21384,674	0,063	1,73	2070

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
r	2322	146,23	6,3%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	26	2,25	8,6%	16,0%	stejnorodý
$v_L$	3757	60,28	1,6%	4,0%	stejnorodý
<b>stejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3840
$V_{Lmin}$	3656
$V_{Lprům}$	3757
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	184
<b>zhutnění</b>	<b>dobré</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

**ZKUŠEBNÍ DESKA B10**

Složení směsi				
třída betonu	CEM I 32,5R	kamenivo 0 – 4 mm	popílek	voda
SB 15 (C12/15)	300	1706	100	307

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
B10-1	12	19	58%	3 500	23500	2 070
B10-2	12	17	42%	3 400	22500	2 050
B10-3	11	20	82%	3 400	22000	2 080
B10-4	11	22	100%	3 300	25000	2 380
B10-5	13	20	54%	3 500	28500	2 420
B10-6	12	21	75%	3 400	26500	2 410
B10-7	13	26	100%	3 500	28000	2 410
B10-8	12	17	42%	3 400	26000	2 360
B10-9	12	18	50%	3 400	26500	2 360
$\emptyset$	<b>12</b>	<b>20</b>		<b>3400</b>	<b>25500</b>	<b>2280</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	19,927	8,446	0,146	1,73	15
$R_{be}$	9	12,156	0,544	0,061	1,73	11,0
r	9	2281,932	26548,762	0,071	1,73	2000

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
r	2282	162,94	7,1%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	20	2,91	14,6%	16,0%	stejnorodý
$v_L$	3424	62,61	1,8%	4,0%	stejnorodý
<b>stejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3520
$V_{Lmin}$	3321
$V_{Lprům}$	3424
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	198
<b>zhutnění</b>	<b>dobré</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5% kvantil

**ZKUŠEBNÍ DESKA B11**

Složení směsi				
třída betonu	CEM I 32,5R	kamenivo 0 – 4 mm	popílek	voda
SB 15 (C12/15)	300	1706	100	242

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
B11-1	15	24	60%	3 600	26500	2 140
B11-2	14	17	21%	3 600	25500	2 120
B11-3	15	21	40%	3 600	26500	2 120
B11-4	13	18	38%	3 500	27500	2 410
B11-5	16	30	88%	3 700	31500	2 440
B11-6	13	21	62%	3 500	28000	2 410
B11-7	13	21	62%	3 500	29000	2 470
B11-8	15	25	67%	3 600	30000	2 400
B11-9	15	21	40%	3 700	30500	2 410
$\emptyset$	<b>14</b>	<b>22</b>		<b>3600</b>	<b>28500</b>	<b>2320</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	21,963	14,897	0,176	1,73	15,5
$R_{be}$	9	14,330	1,247	0,078	1,73	12,5
r	9	2322,837	22461,829	0,065	1,73	2060

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
r	2323	149,87	6,5%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	22	3,86	17,6%	16,0%	nestejnorodý
$v_L$	3585	75,50	2,1%	4,0%	stejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3686
$V_{Lmin}$	3466
$V_{Lprům}$	3585
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	220
<b>zhutnění</b>	<b>dostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

**ZKUŠEBNÍ DESKA B12**

Složení směsi				
třída betonu	CEM I 32,5R	kamenivo 0 – 4 mm	popílek	voda
SB 15 (C12/15)	300	1706	100	371

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
B12-1	19	33	74%	3 900	30000	2 140
B12-2	11	11	0%	3 300	21000	2 040
B12-3	17	25	47%	3 800	29000	2 130
B12-4	17	32	88%	3 700	32500	2 460
B12-5	16	22	38%	3 700	32500	2 520
B12-6	14	22	57%	3 600	29000	2 440
B12-7	14	25	79%	3 600	28500	2 390
B12-8	18	25	39%	3 800	30500	2 240
B12-9	17	22	29%	3 800	33000	2 470
$\bar{\phantom{x}}$	<b>16</b>	<b>24</b>		<b>3700</b>	<b>29500</b>	<b>2310</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	24,057	42,711	0,272	1,73	13
$R_{be}$	9	15,845	6,898	0,166	1,73	11,5
r	9	2314,477	31303,638	0,076	1,73	2010

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
r	2314	176,93	7,6%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	24	6,54	27,2%	16,0%	nestejnorodý
$v_L$	3667	178,51	4,9%	4,0%	nestejnorodý
<b>nestejnorodý</b>					

$V_{Lmax}$	3853
$V_{Lmin}$	3276
$V_{Lprům}$	3667
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	577
<b>zhutnění</b>	<b>nedostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

**ZKUŠEBNÍ DESKA B13**

Složení směsi				
třída betonu	CEM I 32,5R	kamenivo 0 – 4 mm	popílek	voda
SB 15 (C12/15)	300	1706	100	306

	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	pevnost -z rychlosti šíření ultrazvuku	rozdíl $R_{be} - f_c$	rychlost šíření ultrazvuku	modul pružnosti v tahu a tlaku z rychlostí šíření ultrazvuku	objemová hmotnost
	$R_{be}$ [MPa]	$f_c$ [MPa]	[%]	$v_L$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$E_{bu}$ [MPa]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
B13-1	12	14	17%	3 500	23500	2 070
B13-2	12	13	8%	3 400	22500	2 080
B13-3	11	13	18%	3 300	20500	2 040
B13-4	11	16	45%	3 300	23500	2 290
B13-5	11	13	18%	3 400	24500	2 300
B13-6	11	12	9%	3 400	25000	2 320
B13-7	14	19	36%	3 600	28000	2 340
B13-8	12	16	33%	3 400	26000	2 350
B13-9	11	16	45%	3 400	25000	2 310
$\emptyset$	<b>12</b>	<b>15</b>		<b>3400</b>	<b>24500</b>	<b>2230</b>

**Výpočet charakteristických hodnot**

	n	$m_x$	$s_x^2$	$V_x$	$k_n$	vel. Char
$f_c$	9	14,521	4,376	0,144	1,73	11
$R_{be}$	9	11,727	0,969	0,084	1,73	10,0
r	9	2232,961	17249,991	0,059	1,73	2010

**Vyhodnocení stejnorodosti na základě vyhodnocení 3 veličin**

	$m_x$	S	$V_x$	$V_{x-lim}$ dle normy	výsledek
r	2233	131,34	5,9%	2,5%	nestejnorodý
$f_c$	15	2,09	14,4%	16,0%	stejnorodý
$v_L$	3384	84,93	2,5%	4,0%	stejnorodý
<b>stejnorodý</b>					

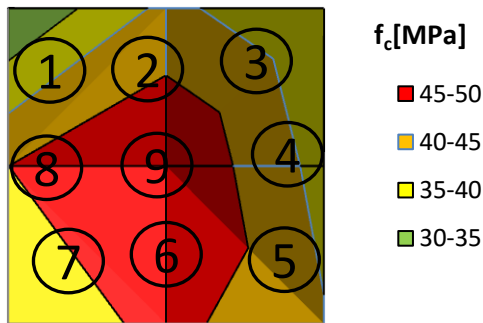
$V_{Lmax}$	3556
$V_{Lmin}$	3276
$V_{Lprům}$	3384
$V_{Lmax} - V_{Lmin}$	280
<b>zhutnění</b>	<b>dostatečné</b>

n - počet prvků  
 $m_x$  - průměr  
 $s_x$  - směrodatná odchylka  
 $V_x$  - variační koeficient  
 $k_n$  - součinitel pro 5%kvantil

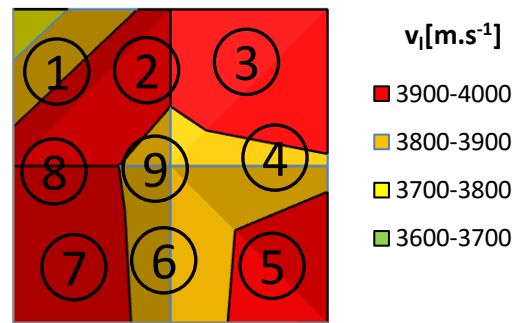


ZKUŠEBNÍ DESKA A1

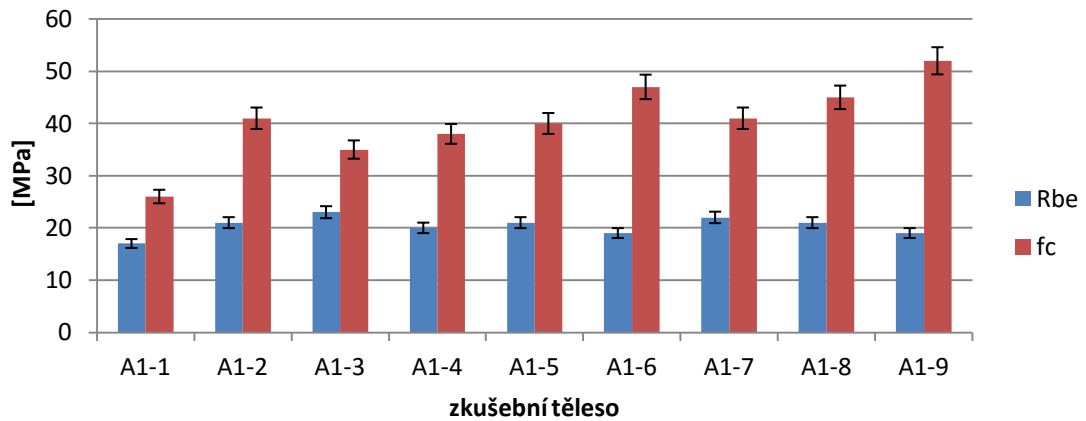
pevnost v tlaku u zkušební desky na základě jádrových výrtů



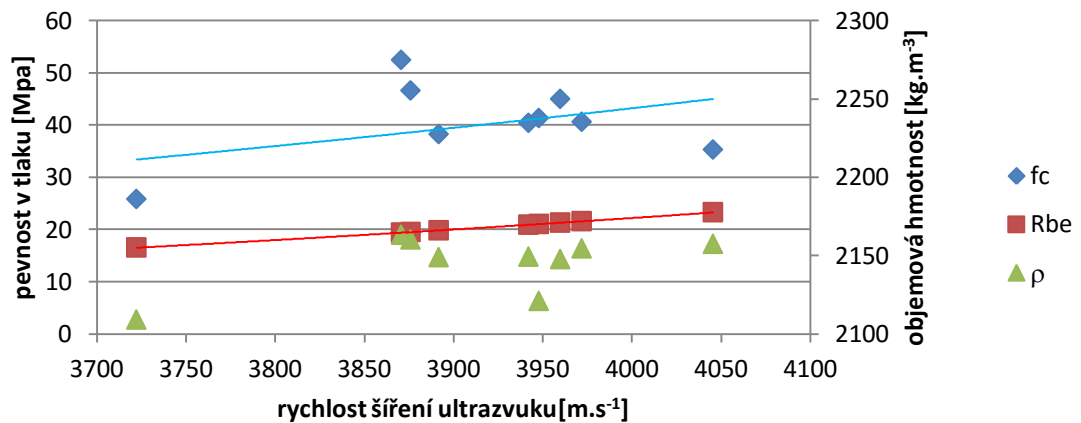
rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



**Komentář:**

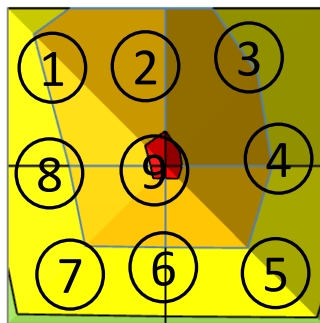
Nejvyšší změřená pevnost v tlaku se nachází v centrální oblasti zkušební desky. Z výsledků šíření ultrazvuku je patné, že v centrální části je tato rychlost nejmenší.

Lze se domnívat, že při provádění nástřiku bylo započato v centrální části desky, čemuž napovídá vysoká hodnota pevnosti v tlaku. Nejvyšší rychlosti šíření ultrazvuku se nacházejí v okrajových oblastech.

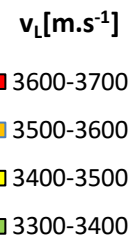
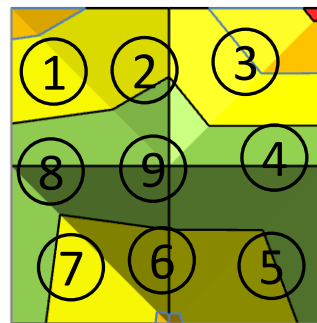
Objemová hmotnost se v jednotlivých částech zkušební desky příliš nemění.

### ZKUŠEBNÍ DESKA A2

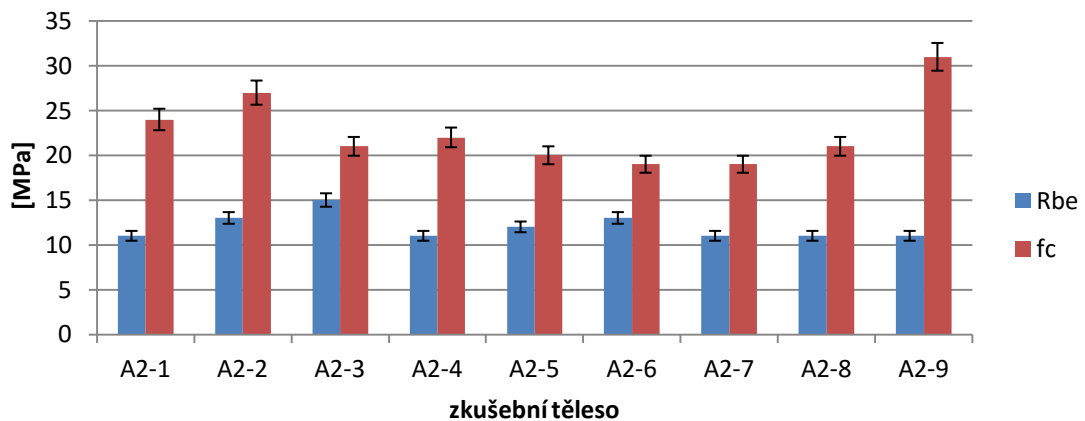
pevnost v tlaku zkušební desky na základě jádrových výrtů



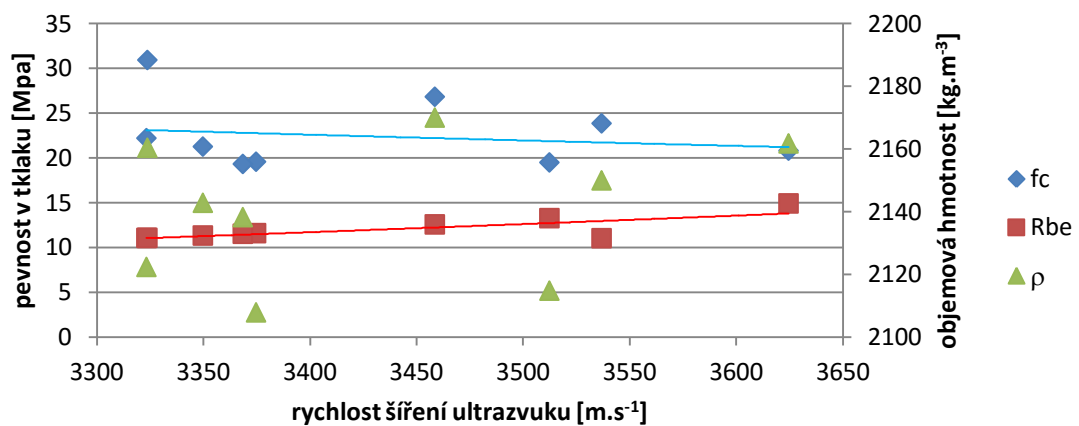
rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



#### Komentář:

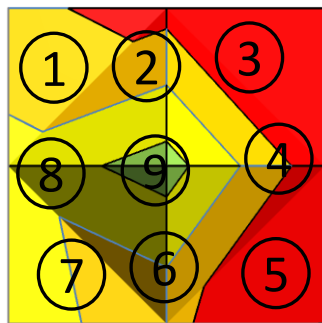
Nejvyšší změřená pevnost v tlaku se nachází v centrální oblasti a v horní středové oblasti zkušební desky. Výsledky ukazují, že nejnižší rychlost šíření ultrazvuku se nachází ve středním pásmu desky.

Lze usuzovat, že nástřik byl započat v horní centrální části desky. Z rychlosti šíření ultrazvuku vyplývá, že v horní oblasti a spodní oblasti zkušební desky by měla lepší stejnorodost betonu než ve středním pásmu desky.

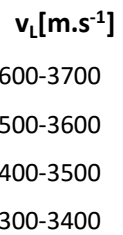
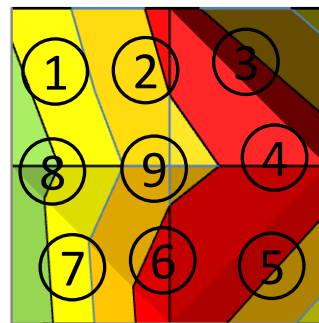
Objemová hmotnost se v jednotlivých částech zkušební desky příliš nemění.

### ZKUŠEBNÍ DESKA A3

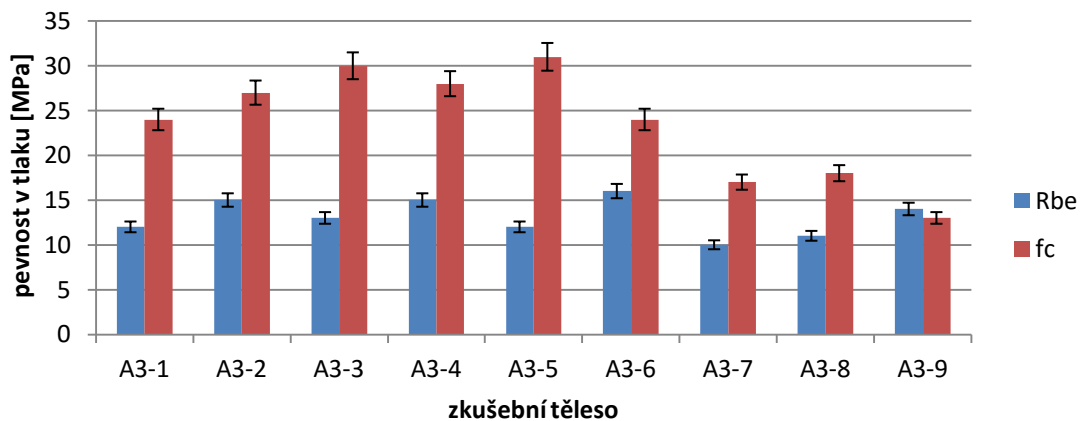
pevnost v tlaku zkušební desky na  
základě jádrových výrtů



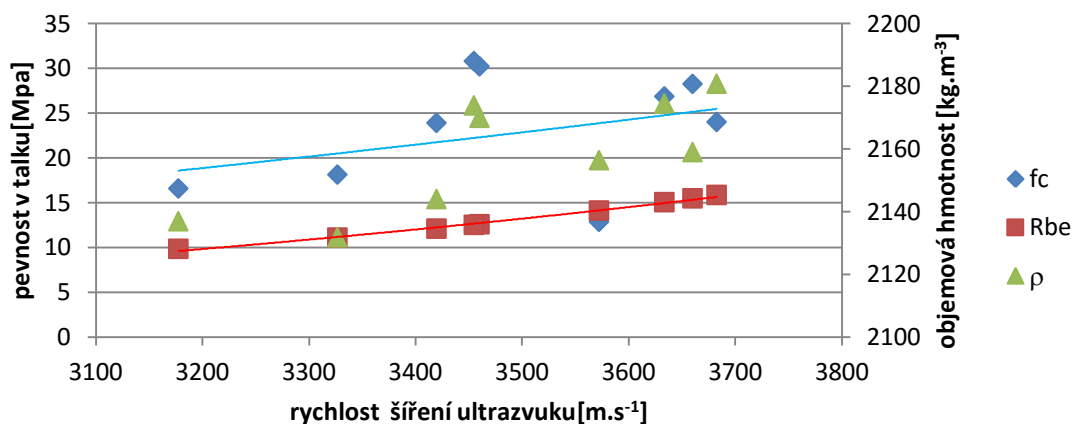
rychlost ultrazvuku na jádrových  
výrttech



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



#### Komentář:

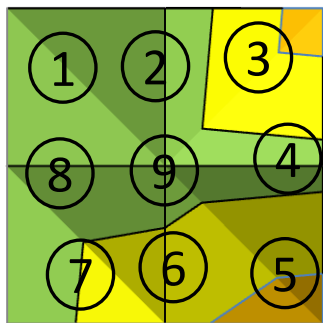
Z grafického znázornění pevností a rychlosti šíření ultrazvuku je patné, že v pravé oblasti zkušební desky jsou zjištěny vysoké hodnoty pevnosti v tlaku a vysoké rychlosti šíření ultrazvuku.

Výsledky naznačují, že zkušební deska byla při nástřiku otočena o 90° doprava, oblasti s vysokými pevnostmi a rychlostmi šíření ultrazvuku se nacházely ve spodní části formy a tím došlo k lepšímu ztuhnutí betonu.

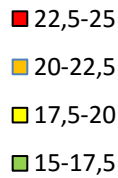
Objemová hmotnost je v rámci zkušební desky stejná.

### ZKUŠEBNÍ DESKA A4

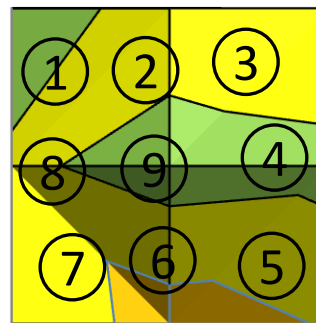
pevnost v tlaku zkušební desky na  
základě jádrových výrtů



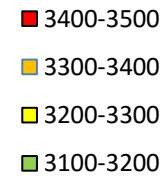
$f_c$  [MPa]



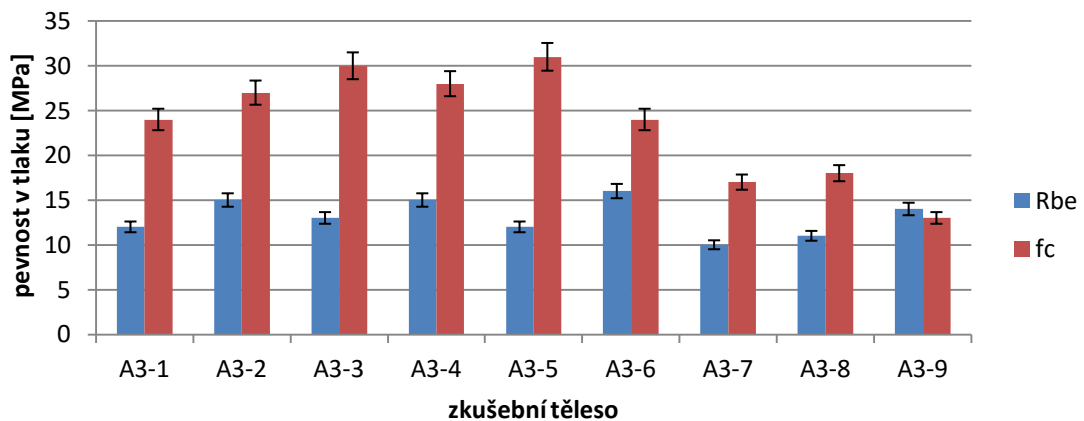
rychlost ultrazvuku na jádrových  
výrttech



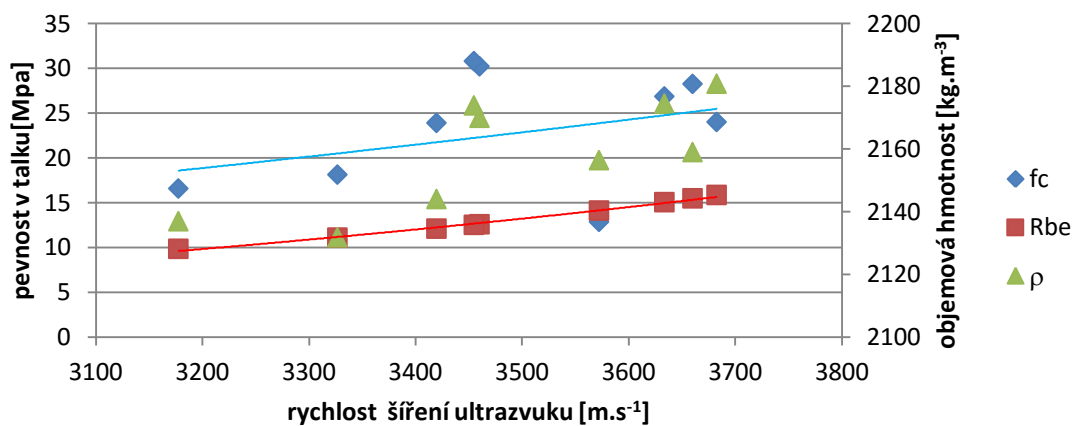
$v_L$  [m.s<sup>-1</sup>]



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



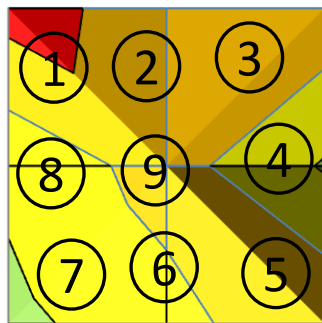
#### Komentář:

V centrálním pásmu zkušební desky se nachází nejnížší pevnosti v tlaku a také nenižší rychlosti šíření ultrazvuku.

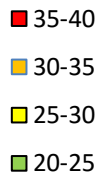
Výsledky z nedokonalé zóny byly lepší než v centrální části, kde by měly být nejlepší. Objemová hmotnost je nejnížší v centrální oblasti zkušební desky.

### ZKUŠEBNÍ DESKA A5

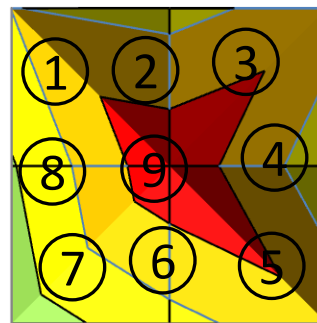
pevnost v tlaku zkušební desky na základě jádrových výrtů



$f_c$  [MPa]



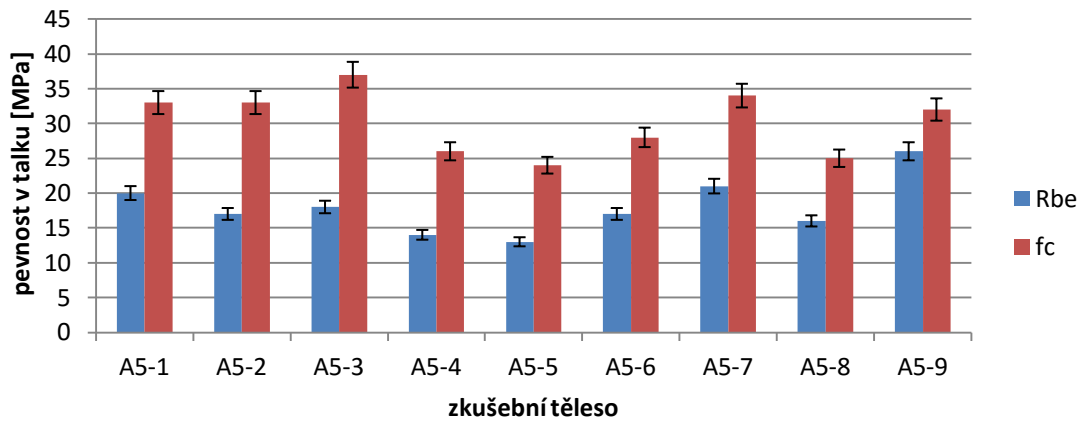
rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



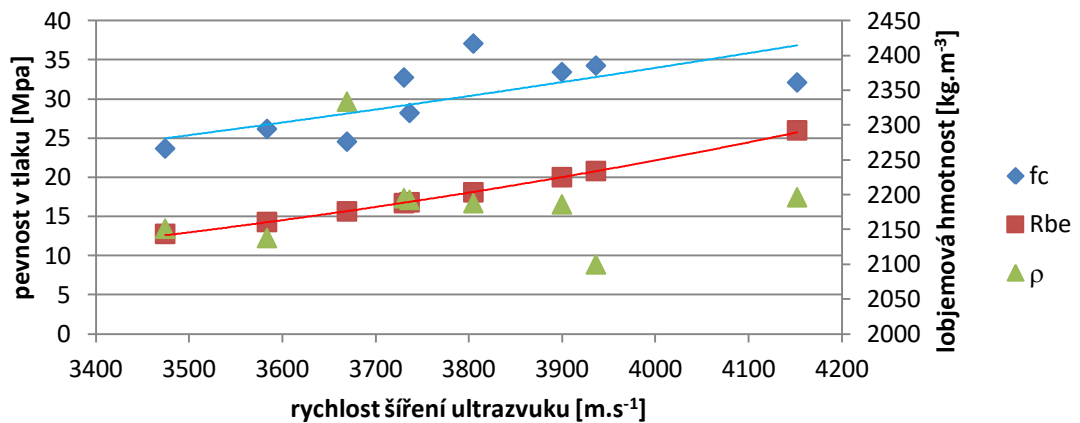
$v_L$  [m.s<sup>-1</sup>]



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



#### Komentář:

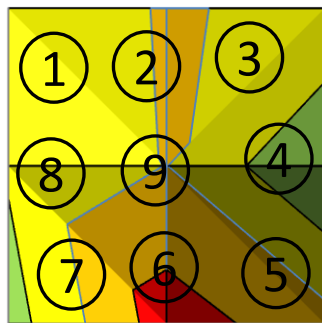
Z výsledku je patné, že oblast ve které se nachází vysoké pevnosti je shodná s oblastí kde byla vysoká rychlost šíření ultrazvuku.

Lze se domnívat, že nástřik byl započat v centrální oblasti desky. Ve spodní levé oblasti zkušební desky je významný pokles jak pevnosti, tak rychlosti ultrazvuku, co ž mohlo být způsobeno vířením ve spodní části desky a nedokonalým ztuhnutím betonu.

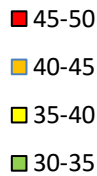
Objemová hmotnost je stejná v rámci celé zkušební desky.

### ZKUŠEBNÍ DESKA A6

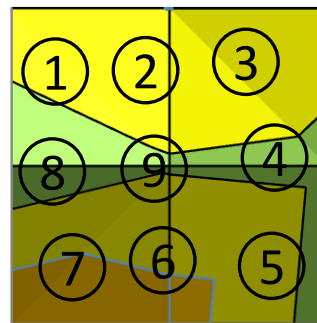
pevnost v tlaku zkušební desky na  
základě jádrových výrtů



$f_c$  [MPa]



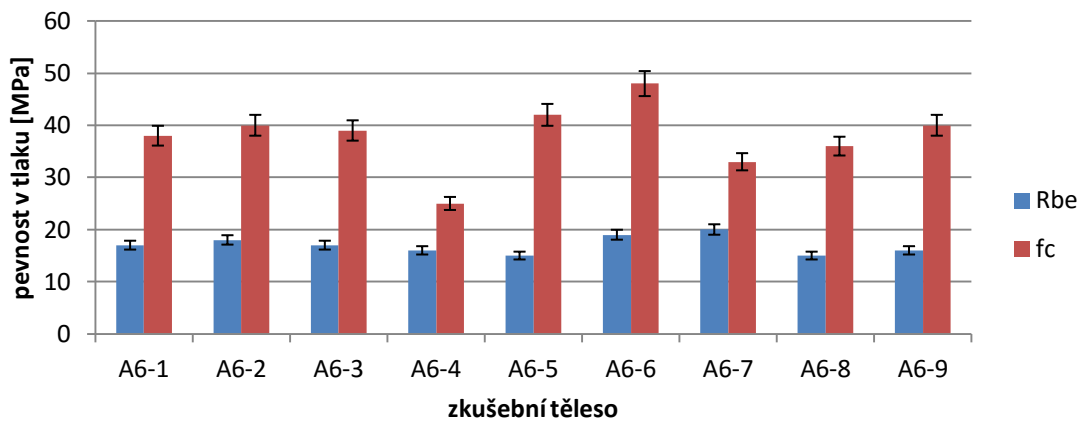
rychlost ultrazvuku na jádrových  
výrttech



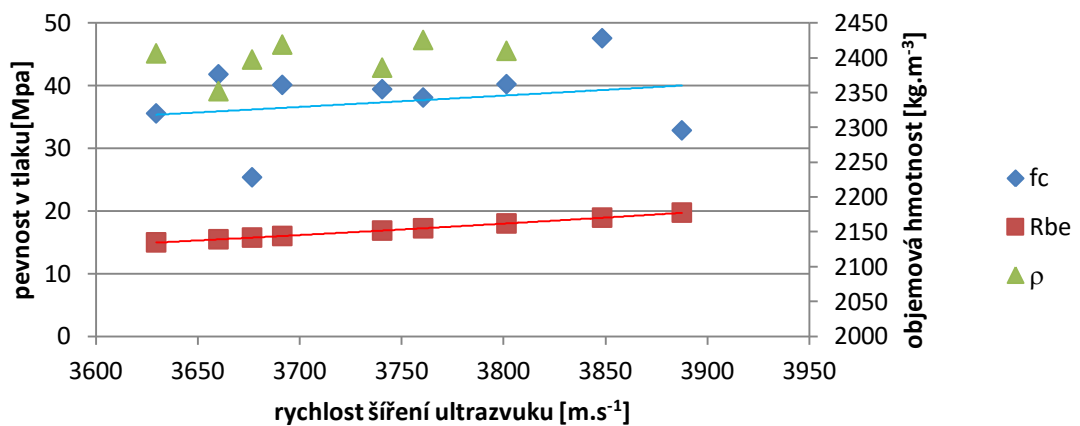
$v_L$  [m.s<sup>-1</sup>]



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



**Komentář:**

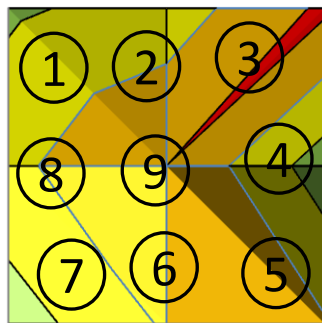
Z grafického znázornění vyplývá, že oblasti s vysokou pevností a rychlostí šíření ultrazvuku se nacházejí ve spodním pásmu zkušební desky. Ve středním pásmu se nachází nejnižší rychlosti ultrazvuku a také nejnižší pevnosti.

Nástřík byl pravděpodobně započat ve spodní části formy.

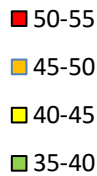
Objemová hmotnost je nejvyšší ve spodním pásmu zkušební desky.

### ZKUŠEBNÍ DESKA A7

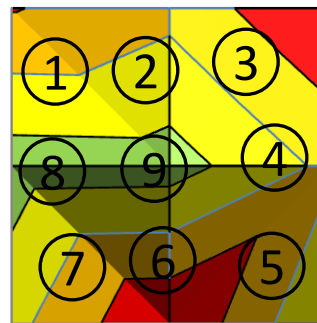
pevnost v tlaku zkušební desky na základě jádrových výrtů



$f_c$  [MPa]



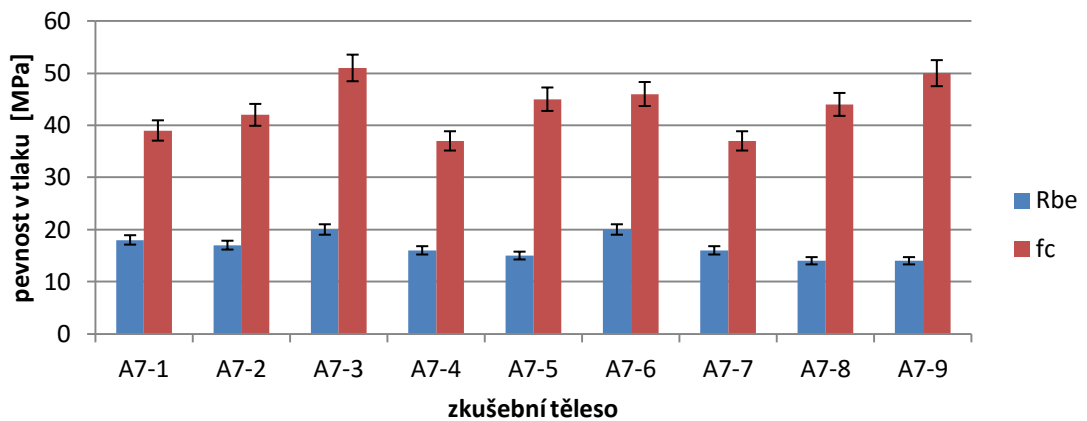
rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



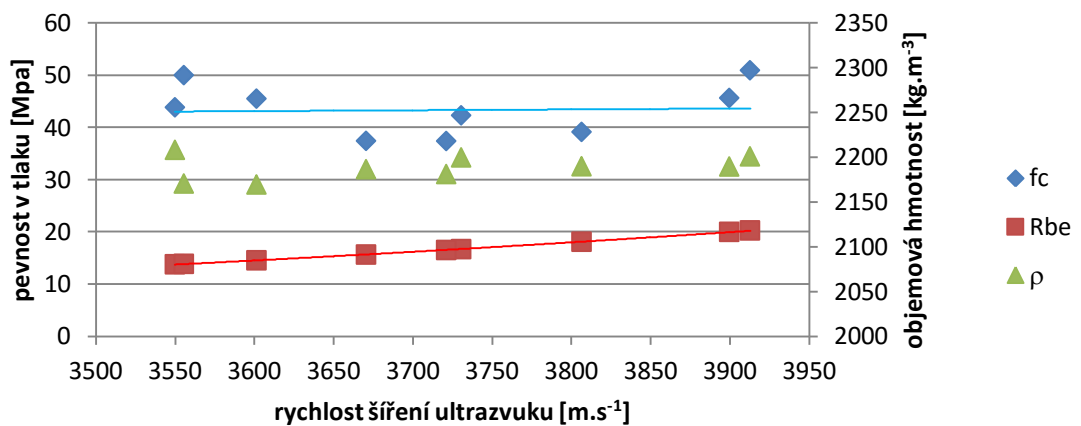
$v_L$  [m.s<sup>-1</sup>]



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



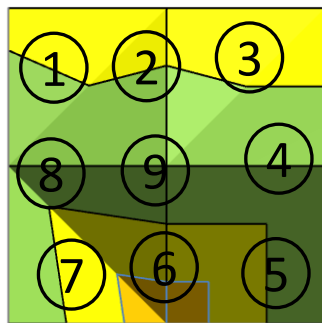
#### Komentář:

Výsledky ukazují, že centrální oblast zkušební desky vykazuje vysoké pevnosti v tlaku ale nízké rychlosti šíření ultrazvuku. V dolním pásmu zkušební desky se nachází vyšší pevnosti v tlaku a vyšší rychlosti.

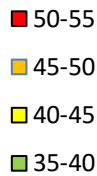
Nejnižší objemová hmotnost se nachází v centrální oblasti zkušební desky.

### ZKUŠEBNÍ DESKA A8

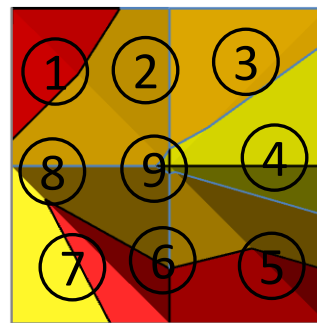
pevnost v tlaku zkušební desky na  
základě jádrových výrtů



$f_c$  [MPa]



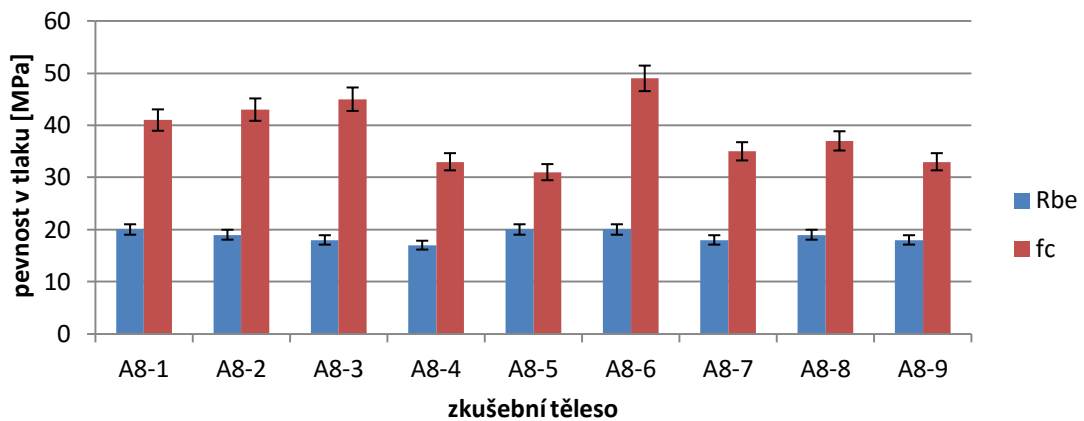
rychlost ultrazvuku na jádrových  
výrtích



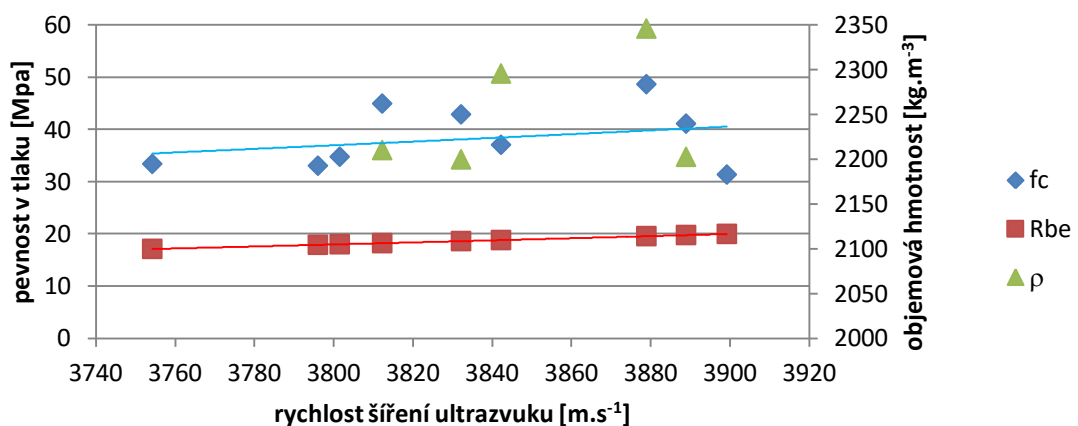
$v_L$  [m.s<sup>-1</sup>]



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



**Komentář:**

Z grafů je patrné, že v centrálním pásmu se nachází nejnižší pevnosti v tlaku. V horním i dolním pásmu se nachází vyšší pevnosti.

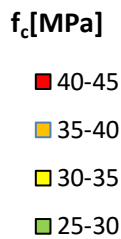
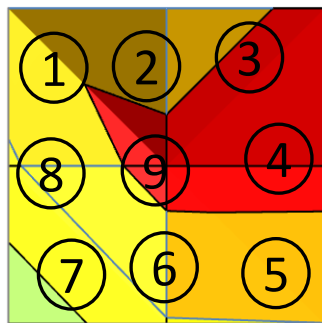
Rychlosti šíření ultrazvuku jsou nejvyšší ve spodním pásmu a v horní levé oblasti. Rychlosti ultrazvuku a pevnosti spolu podle znázornění nikterak nesouvisí.

Vyšší objemové hmotnosti se nachází ve spodním pásmu zkušební desky.

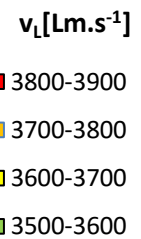
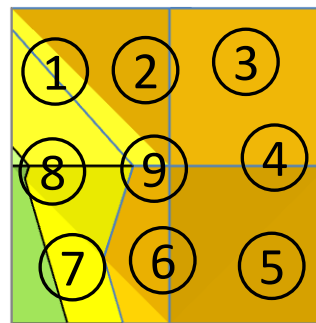


### ZKUŠEBNÍ DESKA A9

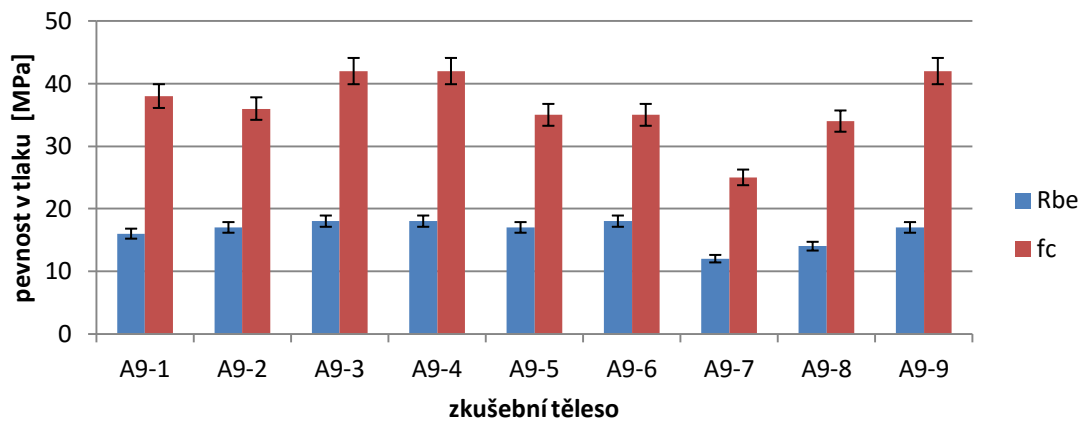
pevnost v tlaku zkušební desky na základě jádrových výtřtů



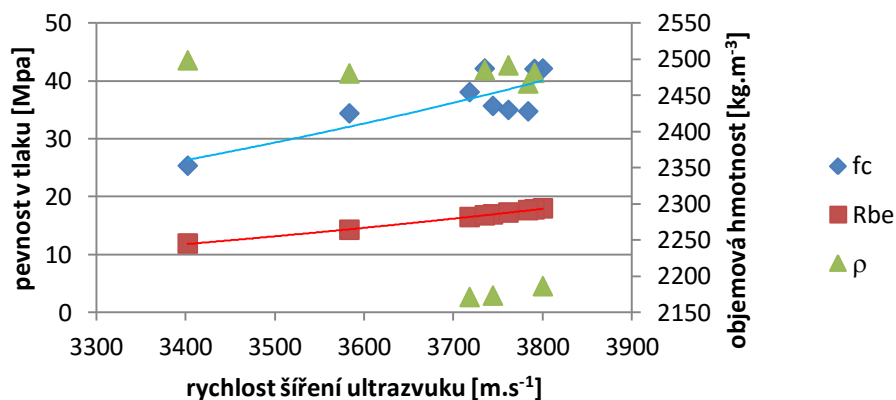
rychlost ultrazvuku na jádrových výtřtech



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



#### Komentář:

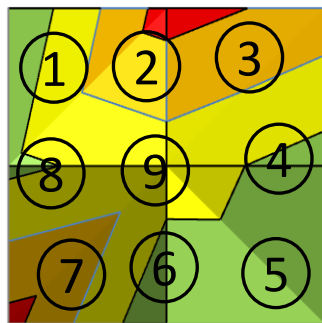
Výsledky vypovídají o tom, že oblast s vysokými pevnostmi v tlaku odpovídá oblasti s vysokou rychlostí ultrazvuku.

Nástřík byl patrně veden z centrální oblasti a následně do pravé části zkušební desky.

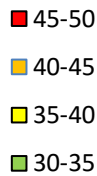
Objemová hostnost je nejnižší v levém pásmu zkušební desky.

### ZKUŠEBNÍ DESKA A10

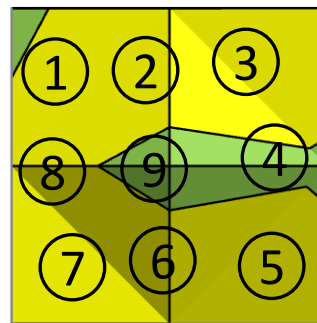
pevnost v tlaku zkušební desky na základě jádrových výrtů



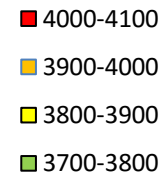
$f_c$  [MPa]



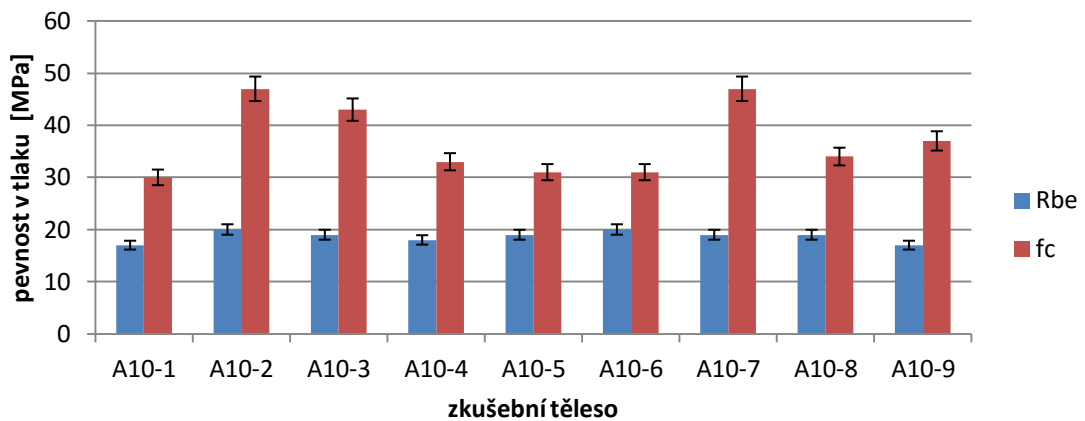
rychlost ultrazvuku na jádrových výrtech



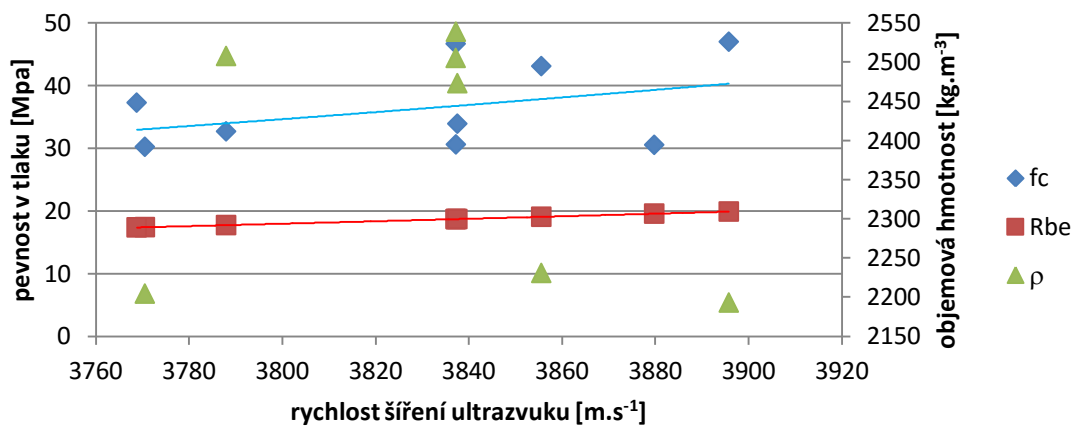
$v_L$  [m.s<sup>-1</sup>]



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



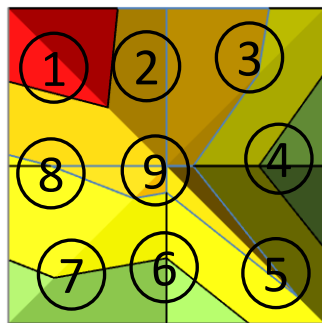
**Komentář:**

Z grafického znázornění je patrné, že ve spodní levé oblasti zkušební desky se nachází nejnižší pevnosti v tlaku. V centrální oblasti se nachází nízké hodnoty rychlosti ultrazvuku.

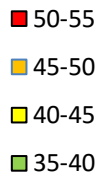
Výsledky s nejnižší objemovou hmotností se nachází v horním pásmu zkušební desky.

### ZKUŠEBNÍ DESKA A11

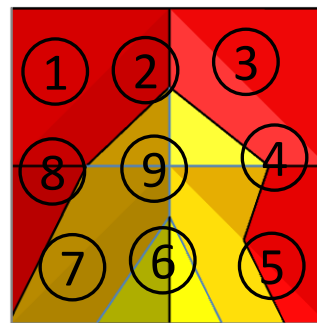
pevnost v tlaku zkušební desky na základě jádrových výrtů



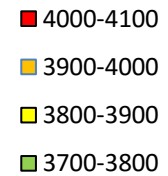
$f_c$  [MPa]



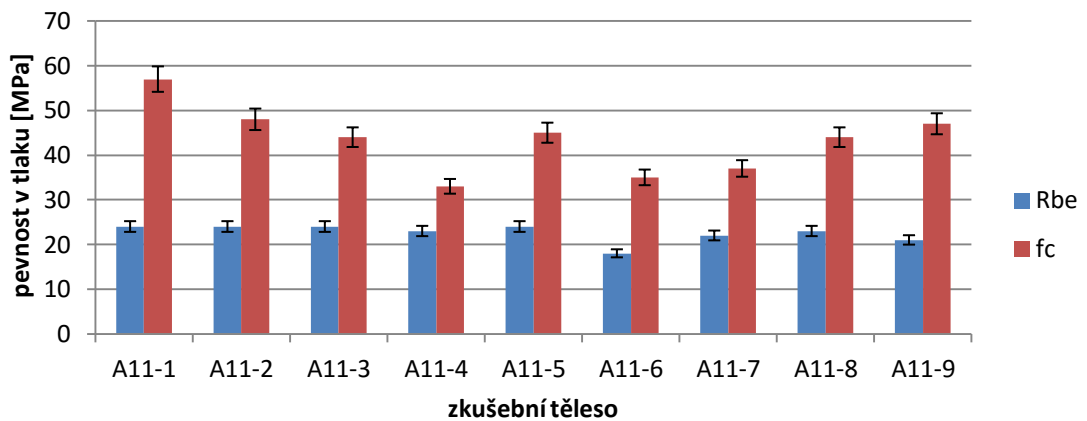
rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



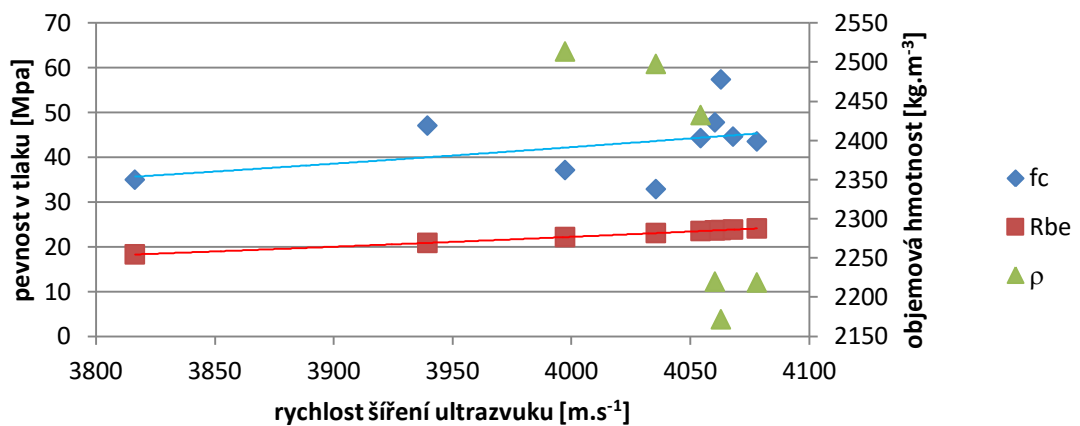
$v_l$  [m.s<sup>-1</sup>]



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



#### Komentář:

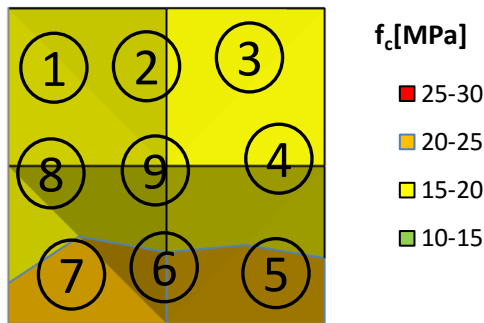
Vysoké hodnoty pevnosti se nachází v horním pásmu zkušební desky. Oblast s nejnižší rychlostí ultrazvuku se nachází ve středu spodního pásma zkušební desky.

Lze usuzovat, že nástřik byl prováděn v horním levém rohu a následně byl proveden v horní části formy.

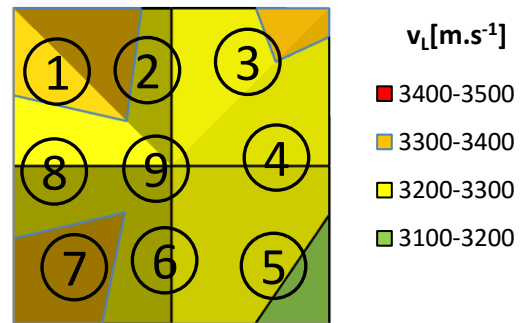
Objemová hmotnost je nejnižší v dolní části zkušební desky.

ZKUŠEBNÍ DESKA A12

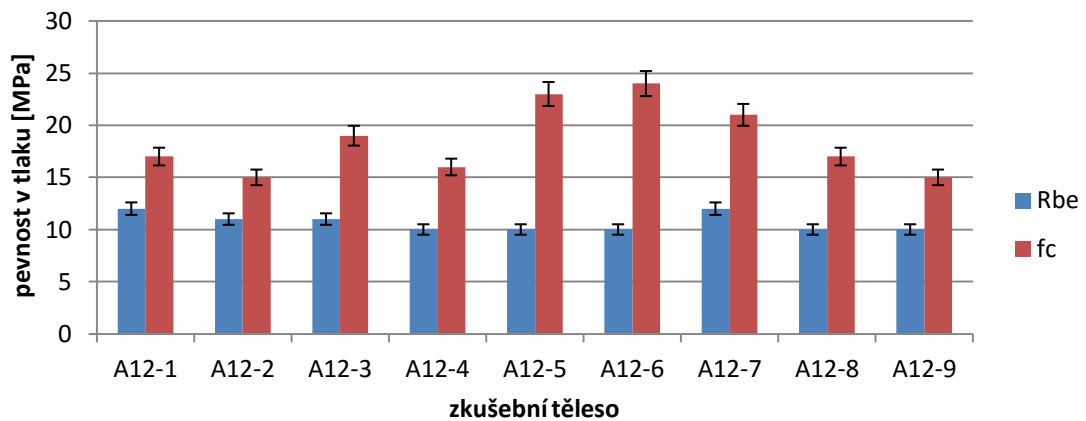
pevnost v tlaku zkušební desky na základě jádrových výtřtů



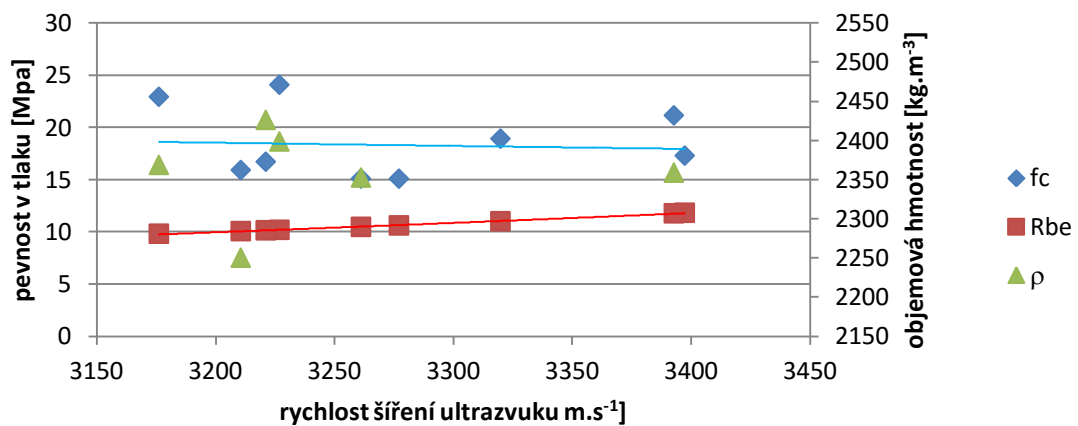
rychlost ultrazvuku na jádrových výtřtech



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



Komentář:

Při porovnání oblastí s vysokou pevností v tlaku a oblastí s vysokou rychlostí šíření ultrazvuku je patrné, že obě oblasti jsou velmi podobné.

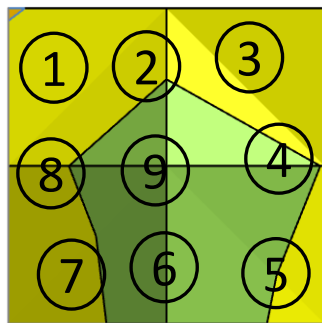
Rozdíly mezi pevnostmi v tlaku a rychlostmi ultrazvuku jsou v ploše desky velmi malé.

Objemová hmotnost je nejnižší v horním pásmu zkušební desky. Nejvyšší je ve spodním pásmu zkušební desky.

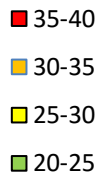
Lze se domnívat, že nástřík byl prováděn ze spodní části formy.

### ZKUŠEBNÍ DESKA A13

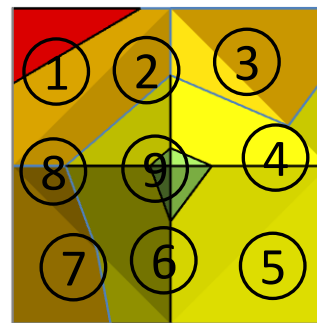
pevnost v tlaku zkušební desky na základě jádrových výrtů



$f_c$  [MPa]



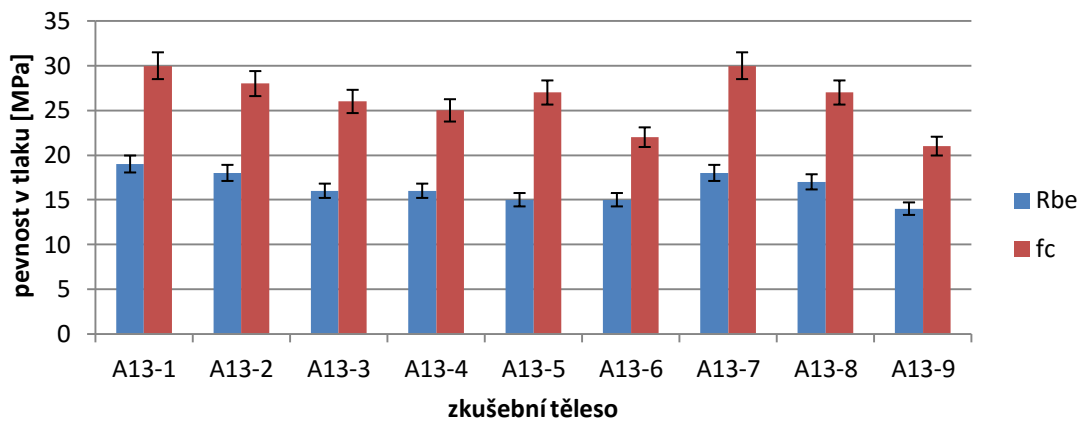
rychlost ultrazvuku na jádrových výrtech



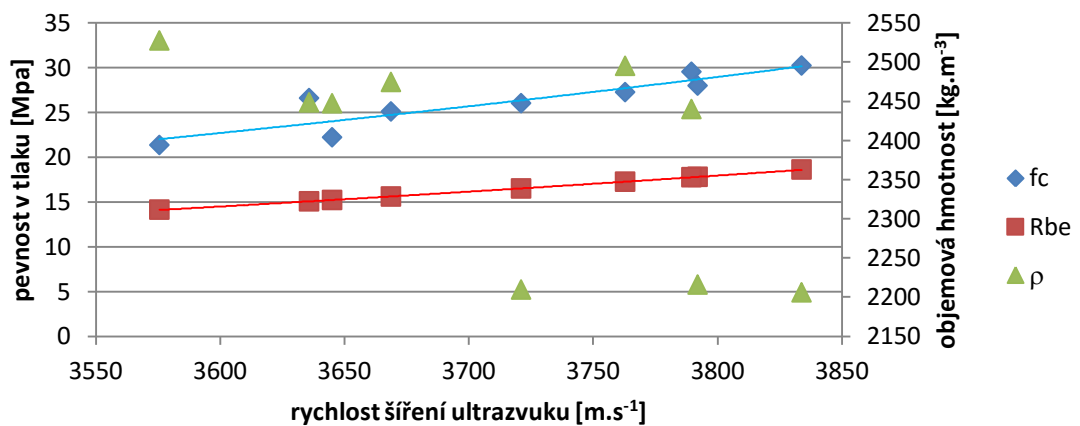
$v_L$  [m.s<sup>-1</sup>]



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



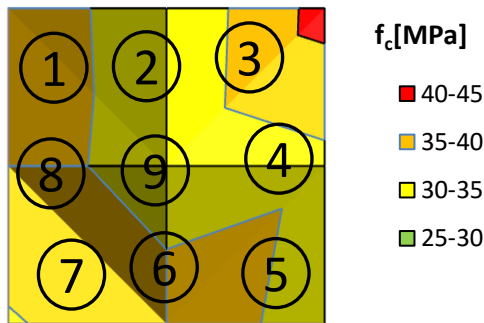
#### Komentář:

Grafické znázornění vypovídá, že v centrální oblasti zkušební desky je nejnižší pevnost v tlaku a rychlost šíření ultrazvuku. V okrajových oblastech je vyšší pevnost a vyšší rychlost ultrazvuku.

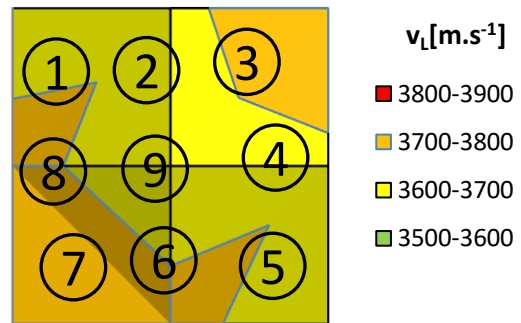
Objemová hmotnost je nejnižší v horním pásmu.

### ZKUŠEBNÍ DESKA A14

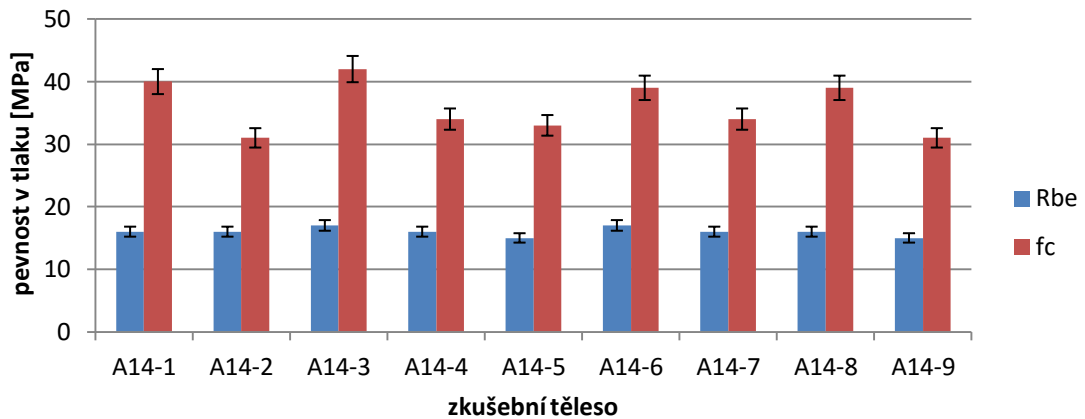
pevnost v tlaku zkušební desky na základě jádrových výrtů



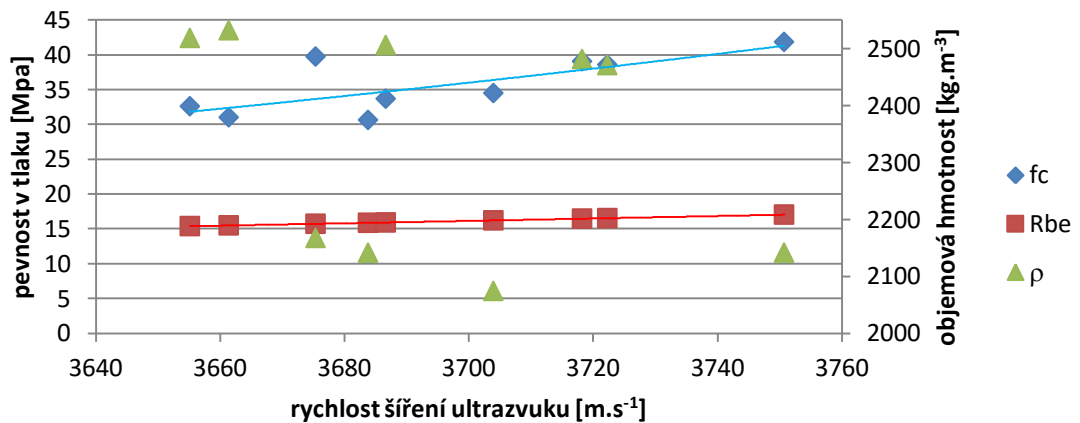
rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



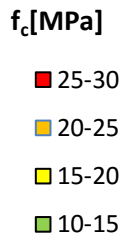
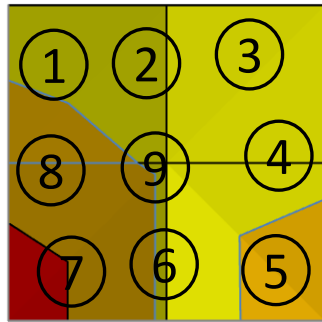
**Komentář:**

Při porovnání oblastí s vysokou pevností v tlaku a oblastí s vysokou rychlostí šíření ultrazvuku je patrné, že obě oblasti jsou velmi podobné.

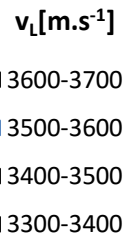
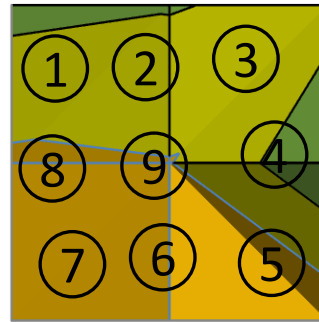
Objemová hmotnost je nejnižší v horním pásmu. Lze dovozovat, že nástřik byl prováděn ze spodní části formy.

### ZKUŠEBNÍ DESKA A15

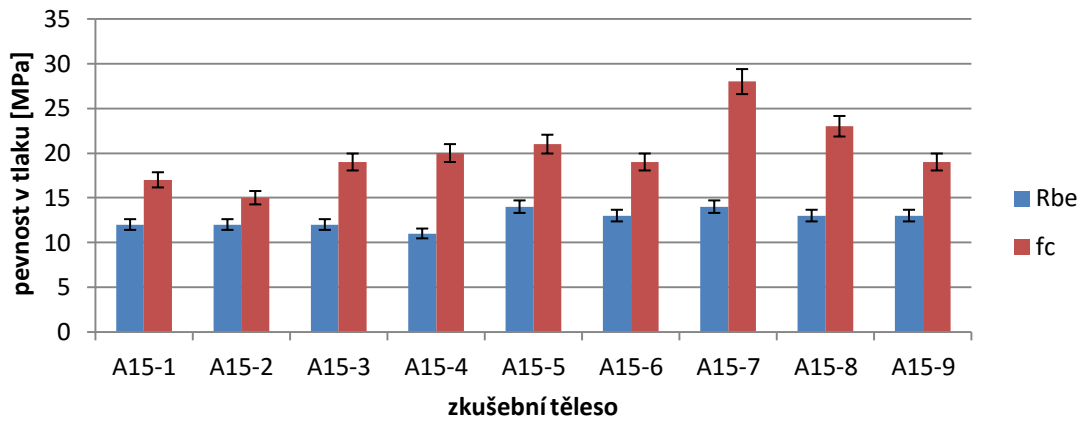
pevnost v tlaku zkušební desky na základě jádrových výrtů



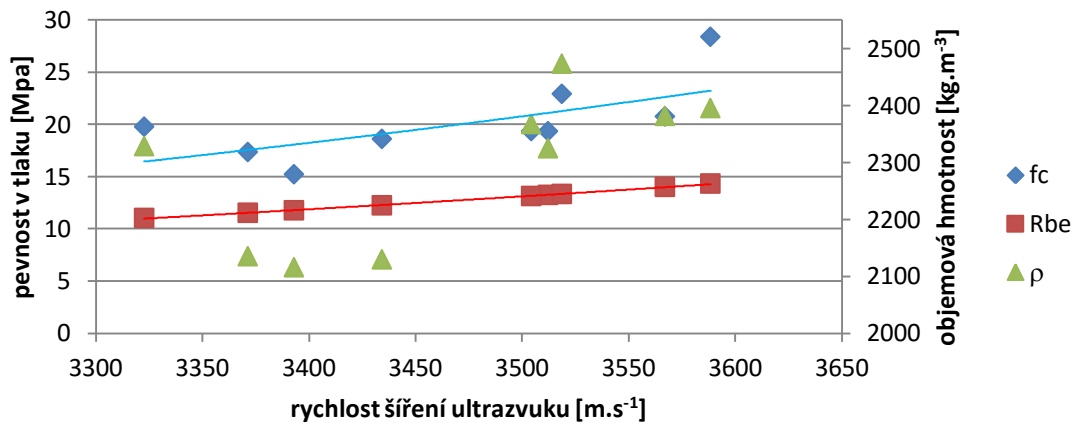
rychlost ultrazvuku na jádrových výrtech



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



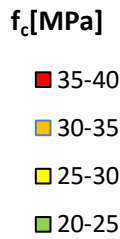
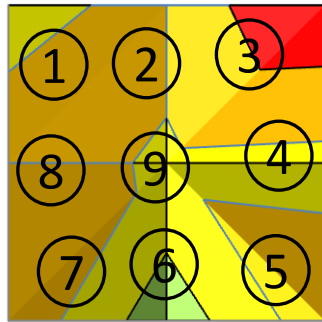
**Komentář:**

Výsledky pevnosti v tlaku ukazují rovnoměrné rozložení pevností v ploše zkušební desky. Rychlost ultrazvuku koresponduje s pevnostmi v tlaku. Nejnižší objemové hmotnosti byly zjištěny v horním pásmu zkušební desky.

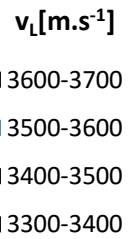
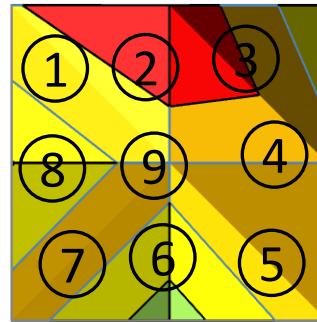
Nástřík byl zřejmě prováděn ze spodní části formy.

### ZKUŠEBNÍ DESKA A16

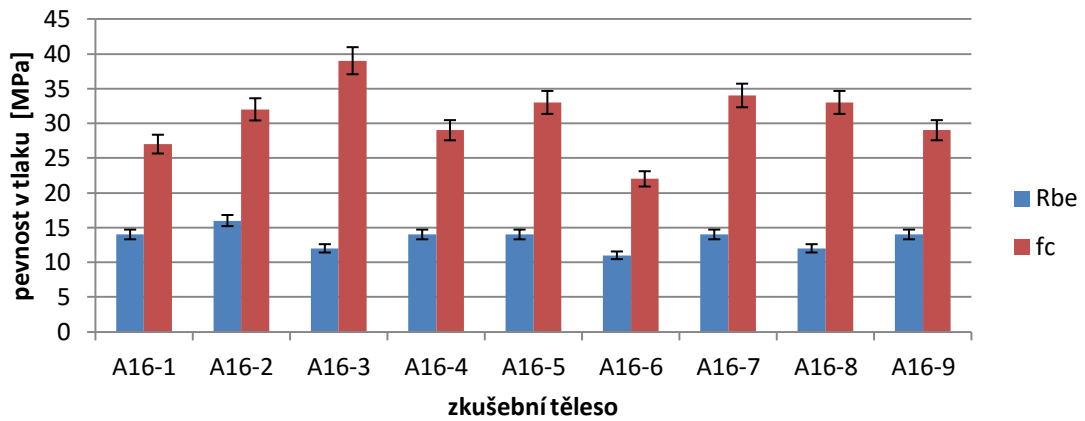
pevnost v tlaku zkušební desky na základě jádrových výrtů



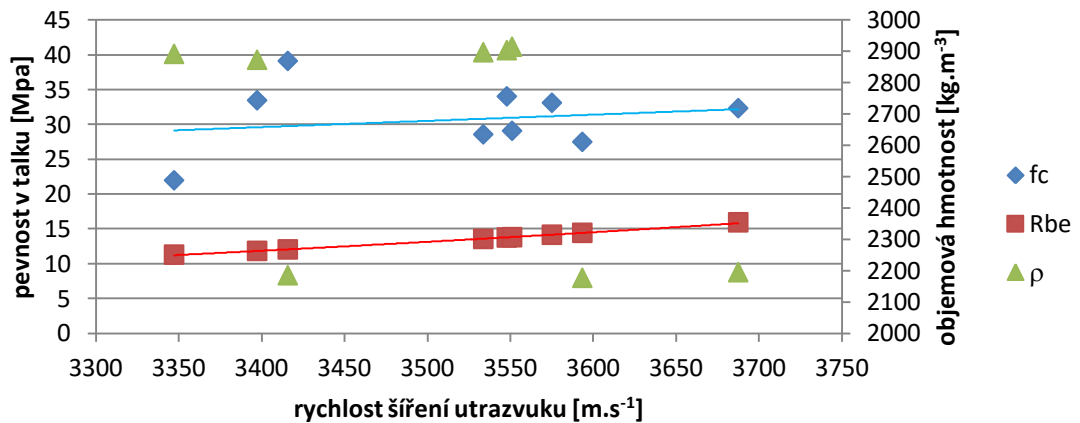
rychlost ultrazvuku na jádrových výrtech



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



**Komentář:**

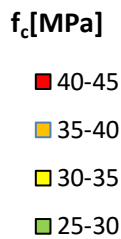
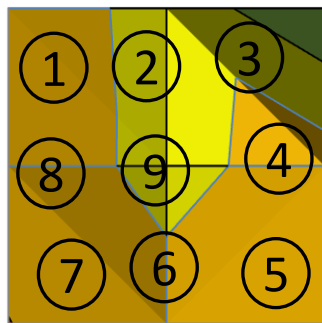
Rozložení výsledků pevnosti v tlaku a rychlosti v šíření ultrazvuku je velmi podobné.

Objemová hmotnost je nejnižší v horním pásmu zkušební desky.

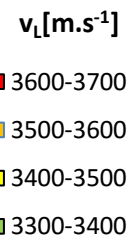
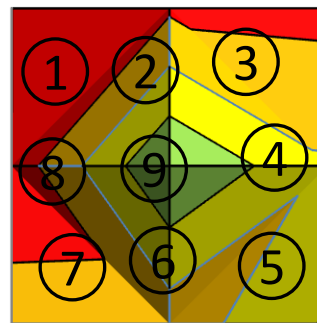


### ZKUŠEBNÍ DESKA A17

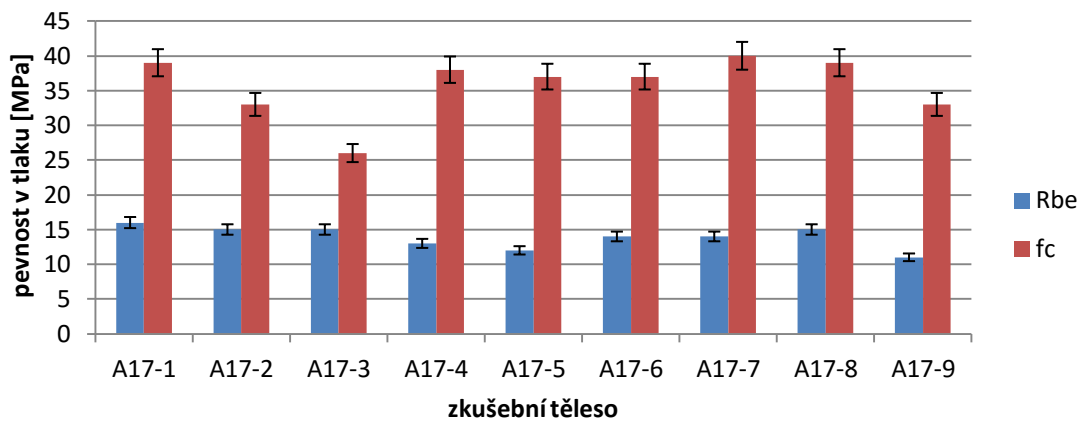
pevnost v tlaku zkušební desky na základě jádrových výrtů



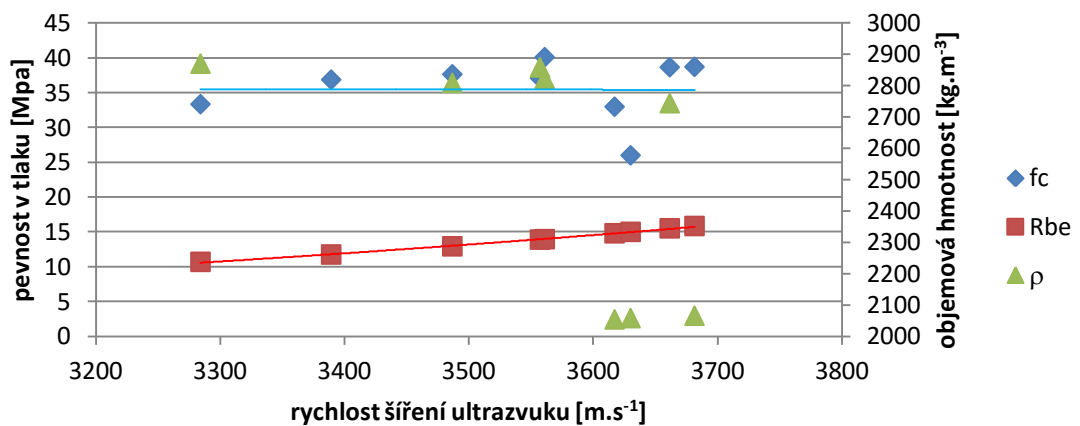
rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



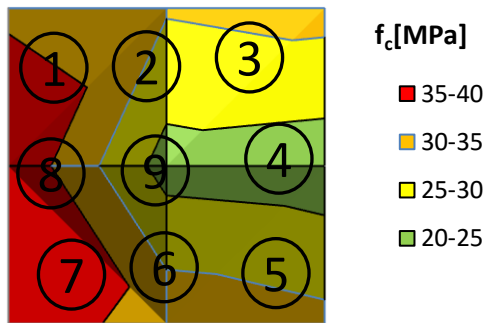
#### Komentář:

Výsledky vypovídají, že v centrální oblasti zkušební desky se nachází nízké pevnosti v tlaku a nejnižší rychlosti šíření ultrazvuku. Nejvyšší rychlosti ultrazvuku se naopak nachází v okrajových obalech.

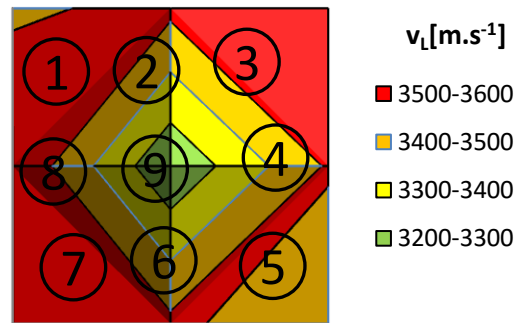
Objemová hmotnost je nejnižší v horním pásmu. Nástřík byl prováděn ze spodní části formy.

### ZKUŠEBNÍ DESKA A18

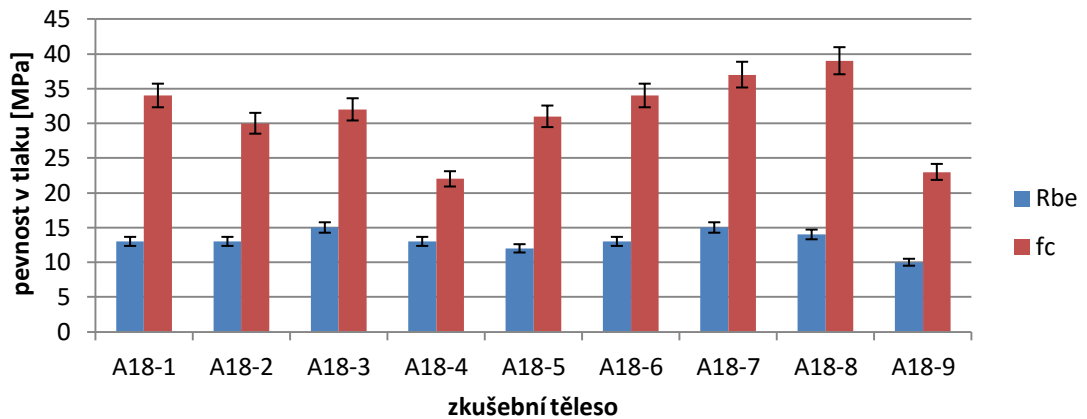
pevnost v tlaku zkušební desky na základě jádrových výrtů



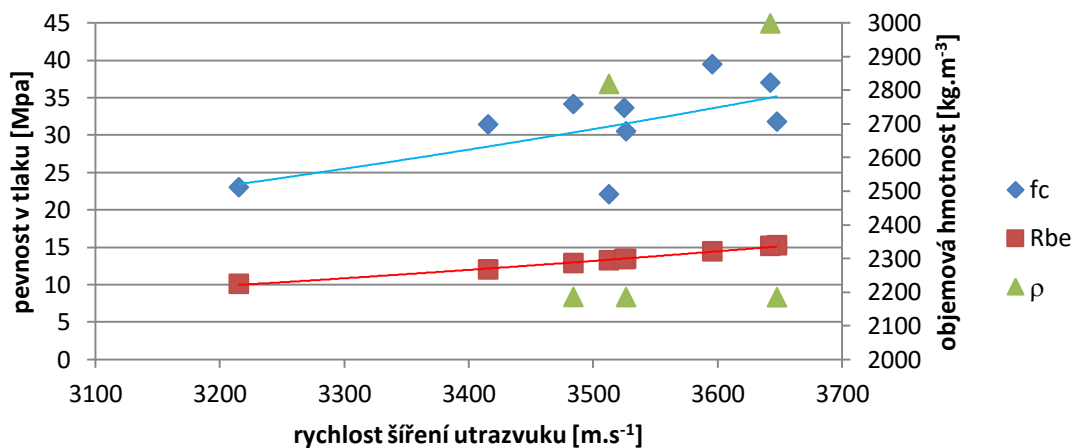
rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



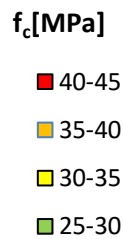
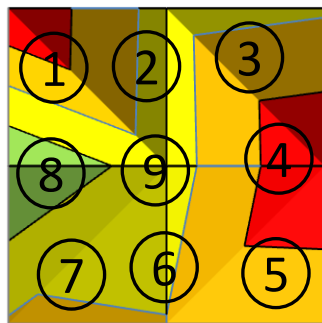
#### Komentář:

V centrální oblasti se nachází nejnižší rychlosti šíření ultrazvuku a také nejnižší pevnosti. V okrajových oblastech jsou vyšší pevnosti v tlaku a vyšší rychlosti šíření ultrazvuku.

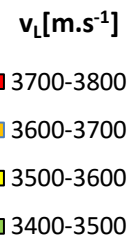
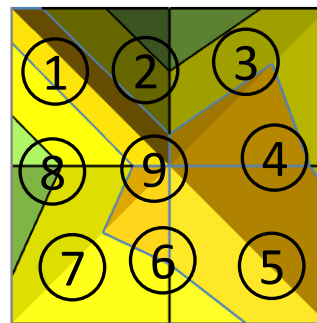
Objemové hmotnosti jsou nejnižší v horním pásmu zkušební desky.

### ZKUŠEBNÍ DESKA A19

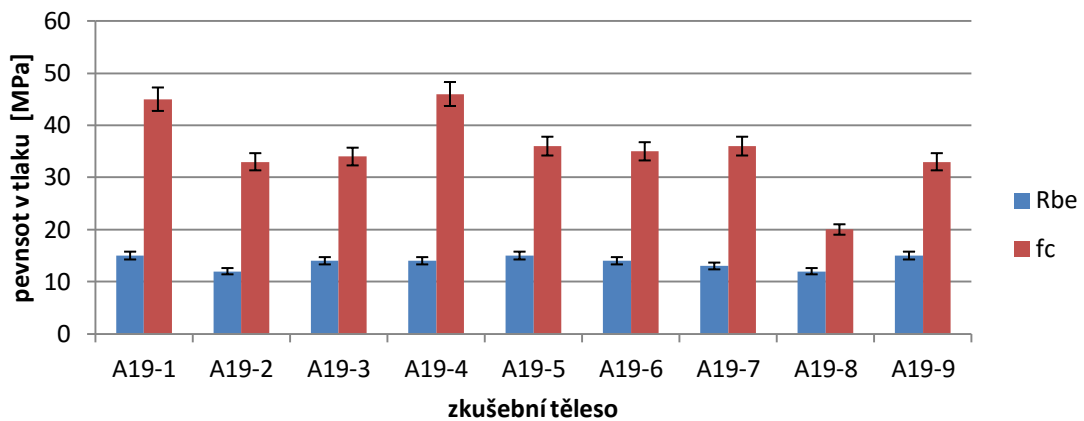
pevnost v tlaku zkušební desky na základě jádrových výrtů



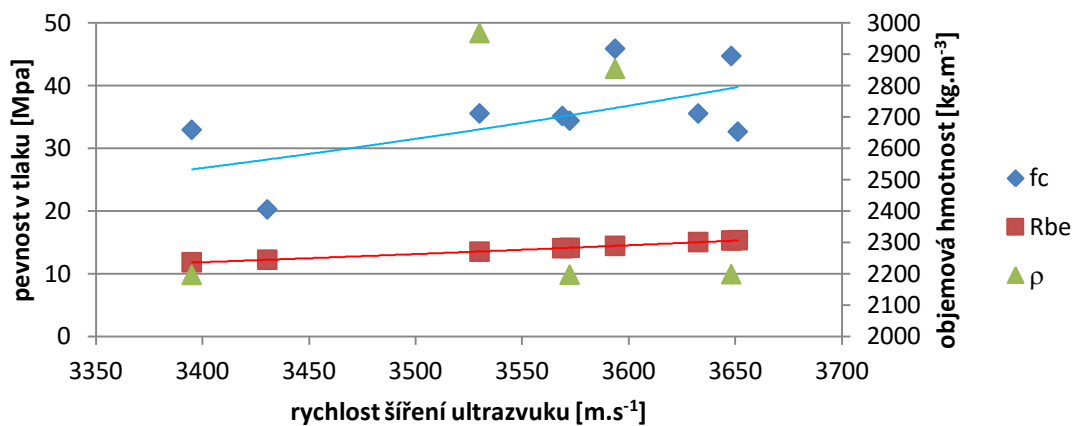
rychlost ultrazvuku na jádrových výrtech



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



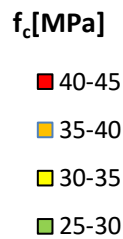
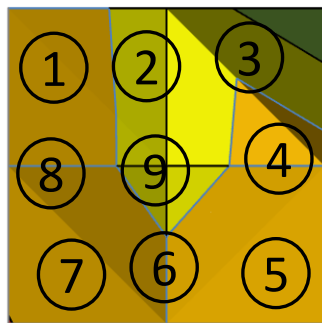
**Komentář:**

Z grafu je patrné, že nejvyšší pevnosti v tlaku se nenachází v centrální části ale ve dvou okrajových oblastech. Rychlosti šíření ultrazvuku jsou nejvyšší v centrálním pásmu.

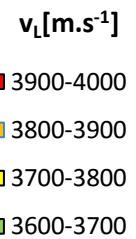
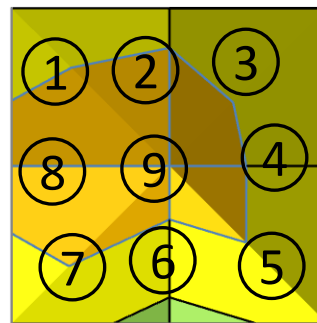
Objemové hmotnosti jsou výrazně nižší v horním pásmu zkušební desky.

### ZKUŠEBNÍ DESKA A20

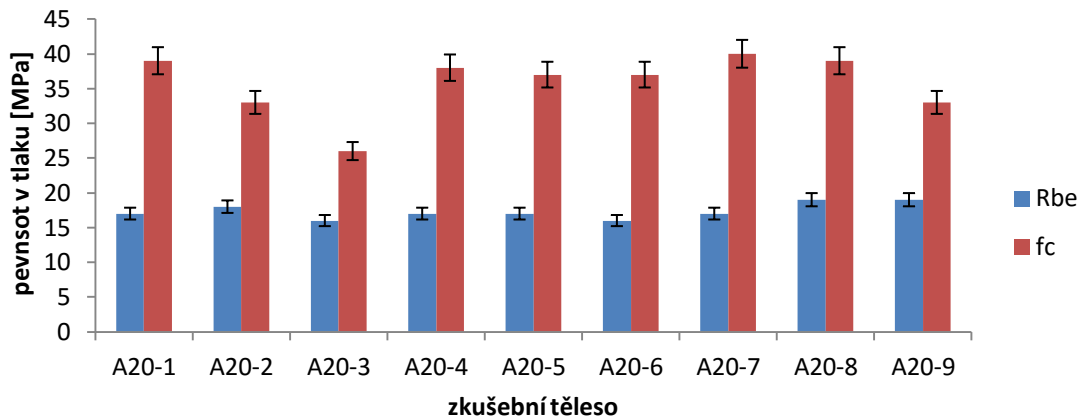
pevnost v tlaku zkušební desky na základě jádrových výrtů



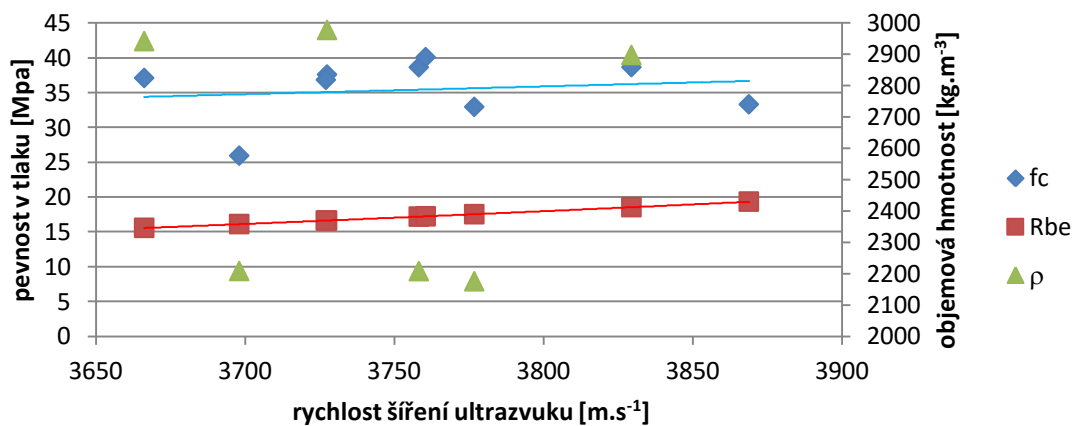
rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



pevnosti zkušebních těles



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



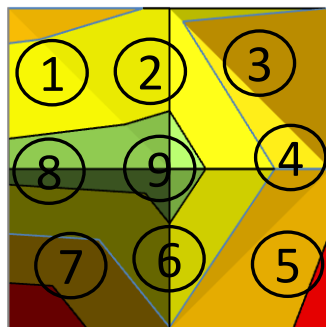
**Komentář:**

Pevnost v tlaku je nejnižší v centrální oblasti oproti tomu rychlost šíření ultrazvuku je v centrální oblasti nejvyšší a klesá k okrajovým oblastem.

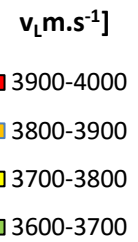
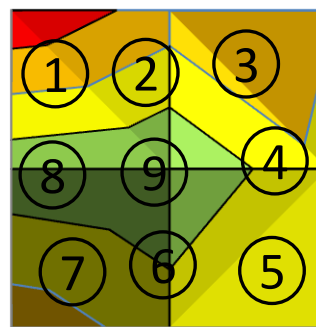
Objemové hmotnosti jsou nejnižší v horním pásmu zkušební desky.

### ZKUŠEBNÍ DESKA A21

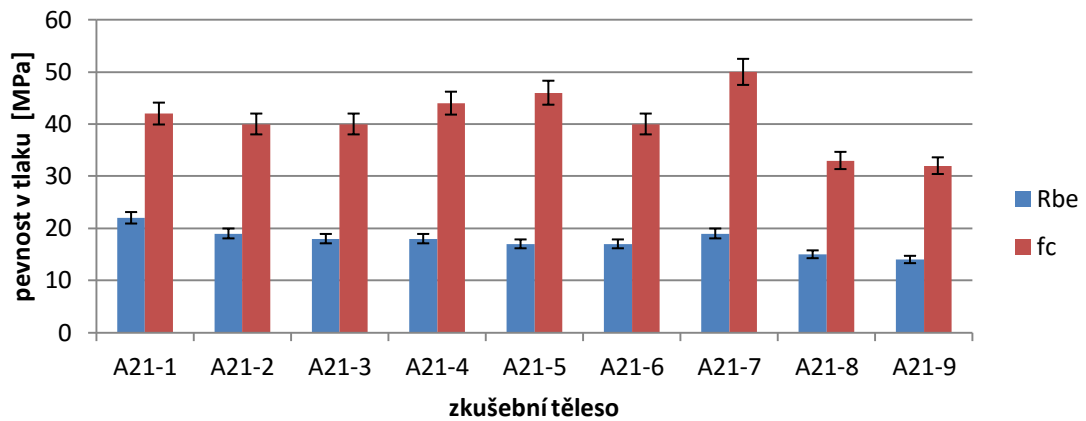
pevnost v tlaku zkušební desky na  
základě jádrových výtřtů



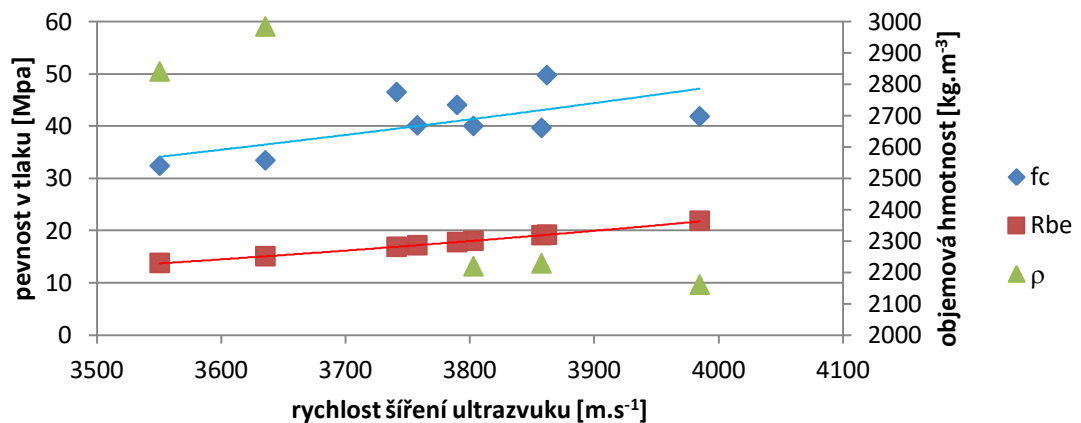
rychlost ultrazvuku na jádrových  
výtřtech



### pevnosti zkušebních těles



### závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



### Komentář:

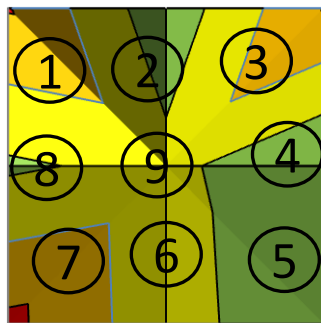
Grafické znázornění průběhu rychlostí šíření ultrazvuku odpovídá grafickému znázornění průběhu pevnosti v tlaku.

Výsledky neodpovídají teorii o nedokonalé zóně zkušební desky.

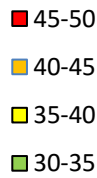
Objemová hmotnost je nejvyšší ve spodním pásmu zkušební desky.

### ZKUŠEBNÍ DESKA B1

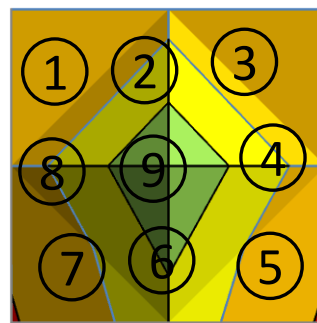
pevnost v tlaku u zkušební desky na základě jádrových výrtů



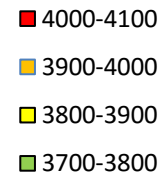
$f_c$  [MPa]



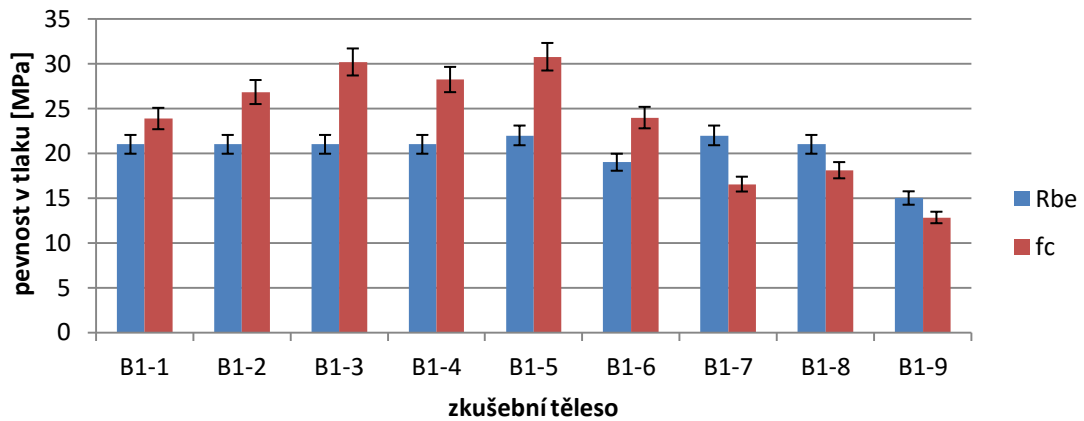
rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



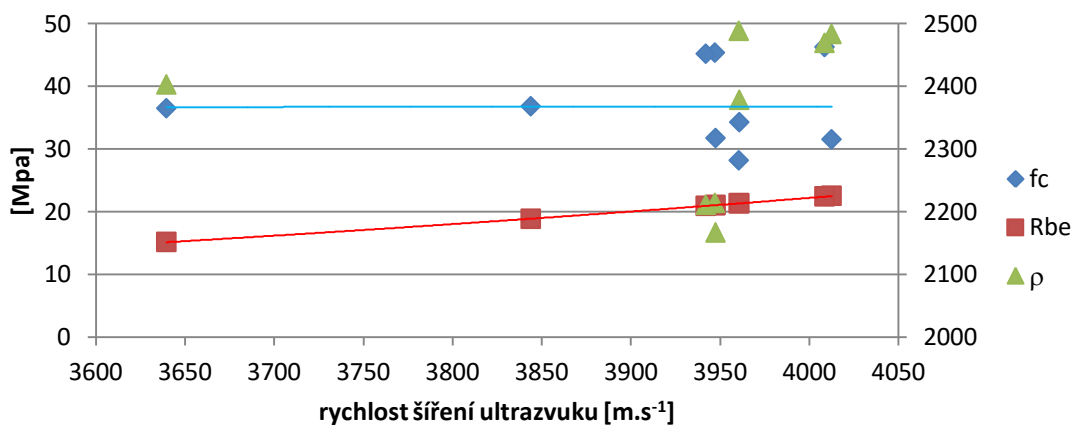
$v_L$  [m.s<sup>-1</sup>]



pevnosti jednotlivých vzorků



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



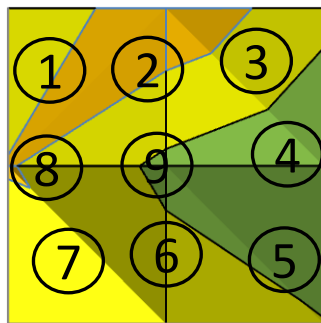
#### Komentář:

V centrální oblasti se nachází nejnižší rychlost šíření ultrazvuku, směrem k okrajovým oblastem tato rychlost vzrůstá. Pevnosti v tlaku jsou nejvyšší v rozích zkušební desky.

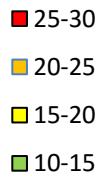
Objemová hmotnost klesá od spodního pásma zkušební desky k hornímu pásmu.

### ZKUŠEBNÍ DESKA B2

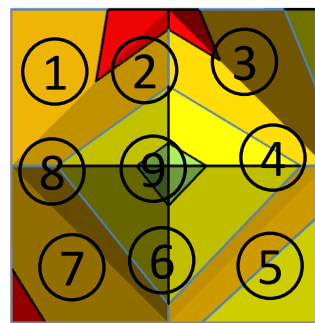
pevnost v tlaku u zkušební desky na základě jádrových výrtů



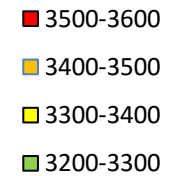
$f_c$  [MPa]



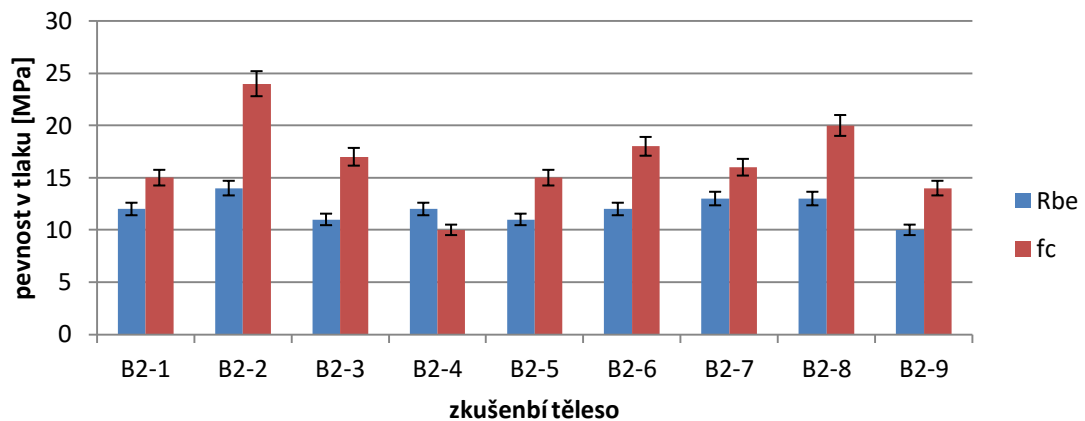
rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



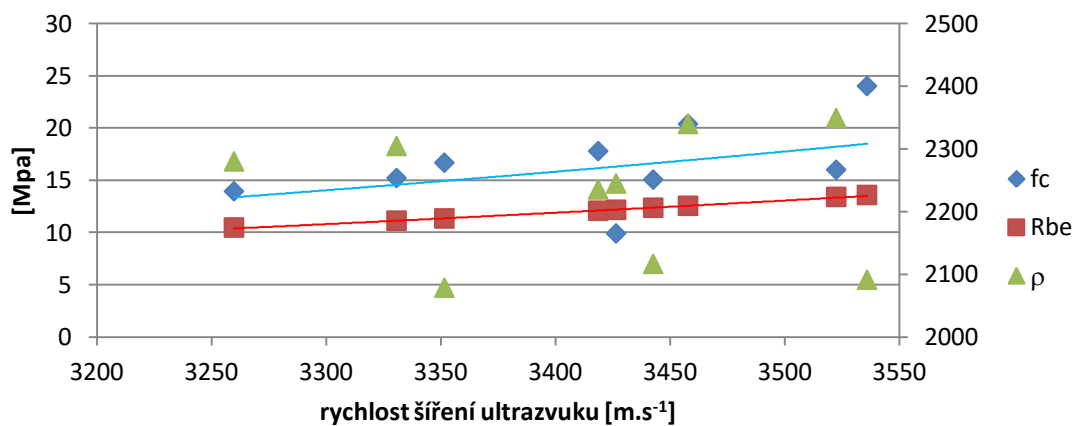
$v_L$  [m.s<sup>-1</sup>]



pevnosti jednotlivých vzorků



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



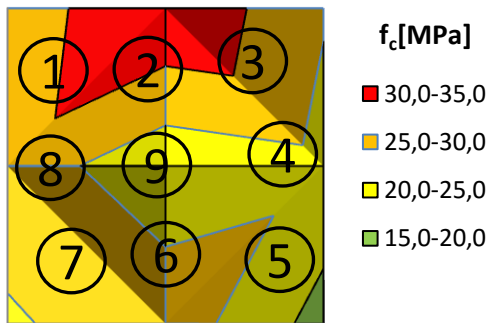
#### Komentář:

Z grafického znázornění pevnosti v tlaku a rychlosti šíření ultrazvuku je patrné, že v centrální oblasti desky se nachází nejnižší hodnoty.

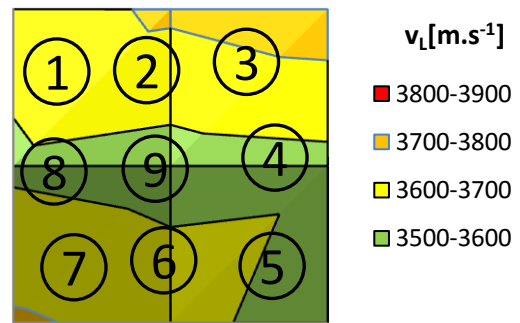
Objemová hmotnost je nejnižší v horním pásmu zkušební desky.

### ZKUŠEBNÍ DESKA B3

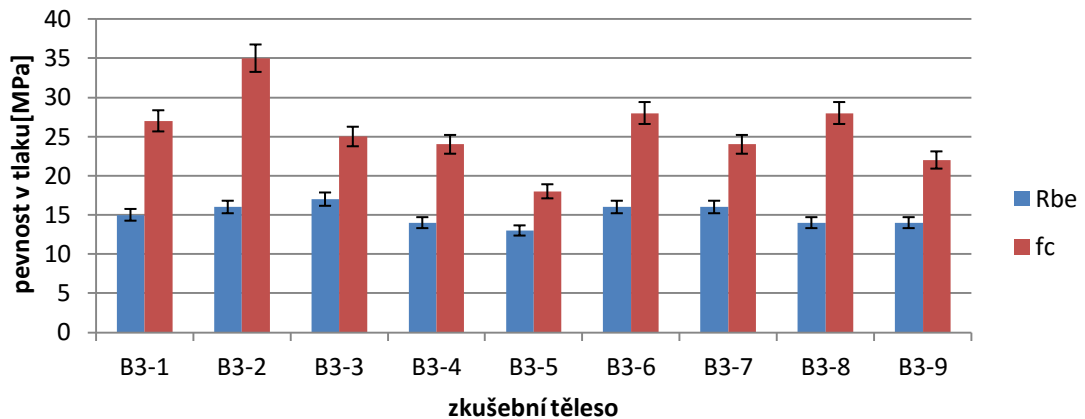
pevnost v tlaku u zkušební desky na základě jádrových výtřtů



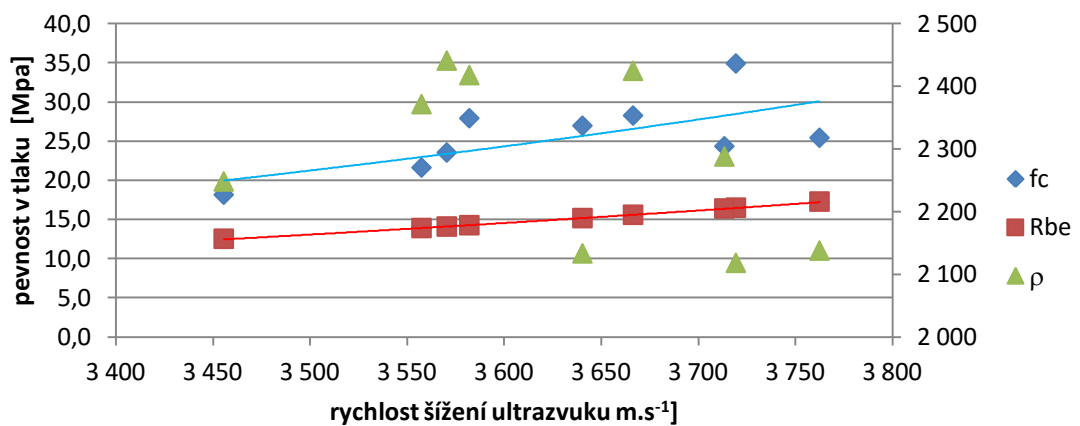
rychlost ultrazvuku na jádrových výtřtech



pevnosti jednotlivých vzorků



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



#### Komentář:

Průběhy rychlostí ultrazvuku a pevností jsou velmi podobné. V centrální oblasti zkušební desky se nachází pásmo, ve kterém jsou tyto hodnoty nižší proti hornímu nebo dolnímu pásmu.

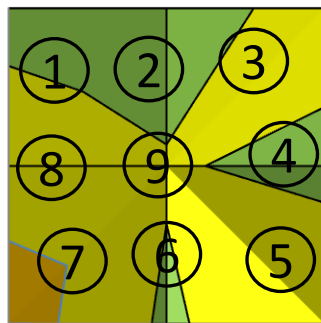
Nejnižší objemové hmotnosti se nachází v horním pásmu.



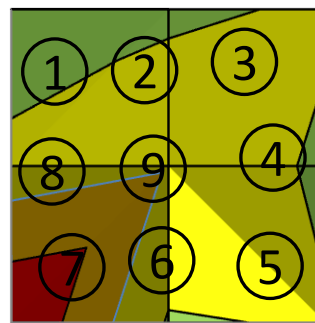
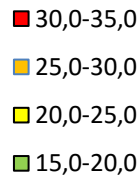
### ZKUŠEBNÍ DESKA B4

pevnost v tlaku u zkušební desky na základě jádrových výrtů

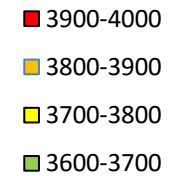
rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



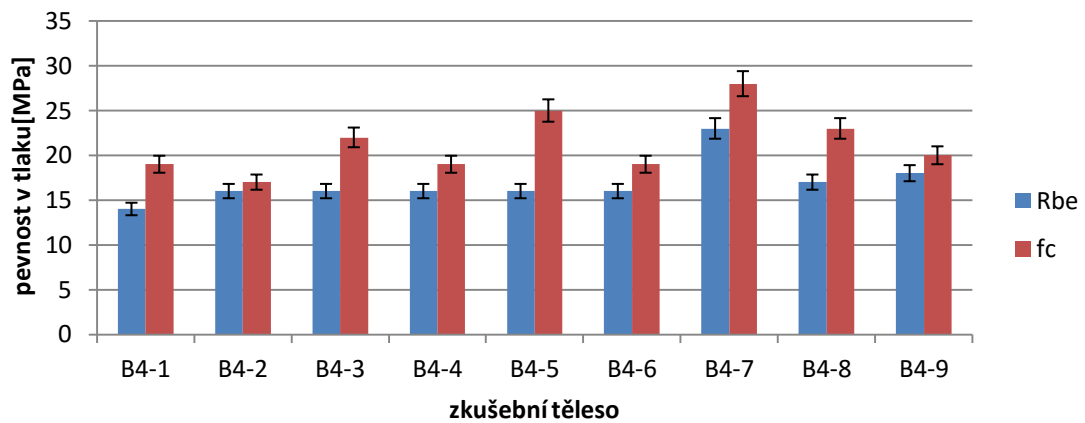
$f_c$  [MPa]



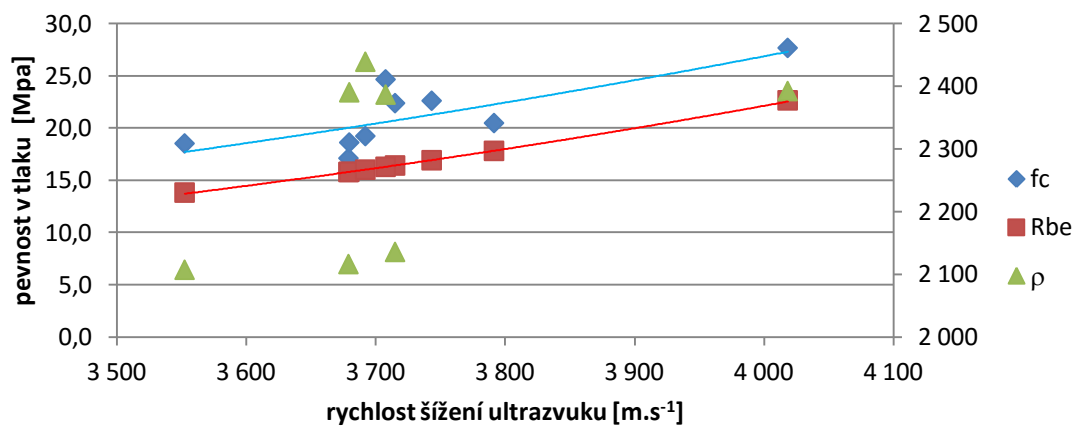
$v_L$  [m.s<sup>-1</sup>]



pevnosti jednotlivých vzorků



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



#### Komentář:

Grafické znázornění pevnosti v tlaku koresponduje s grafickým rozložením rychlostí šíření ultrazvuku.

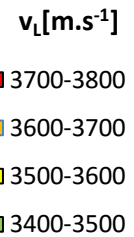
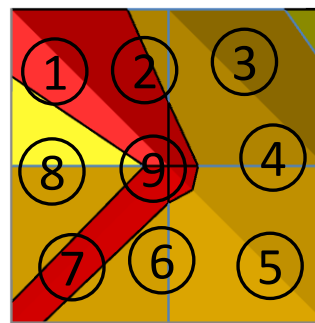
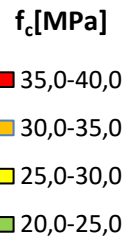
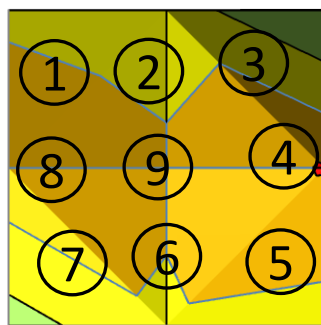
V horní části zkušební desky je patrné pásmo, kde jsou nižší pevnosti a nižší rychlosti šíření ultrazvuku.

Objemové hustoty jsou nejnižší v horním pásmu zkušební desky.

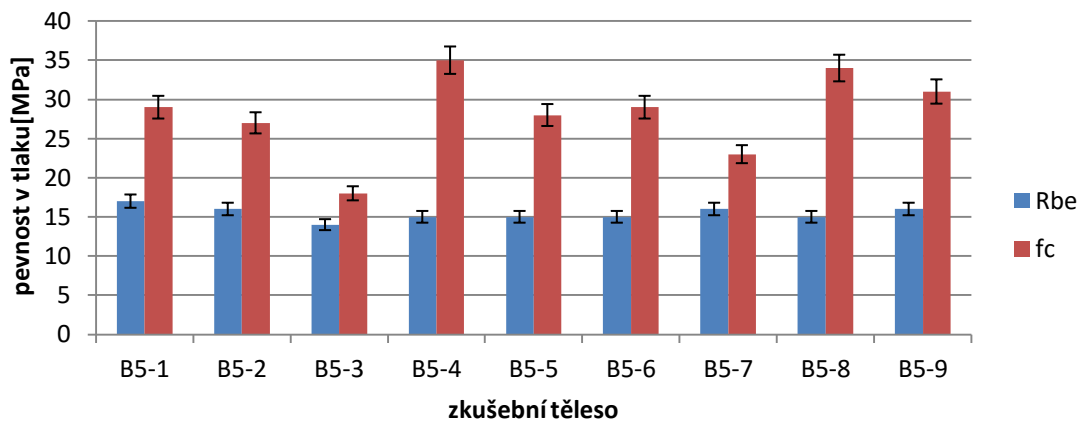
### ZKUŠEBNÍ DESKA B5

pevnost v tlaku u zkušební desky na základě jádrových výrtů

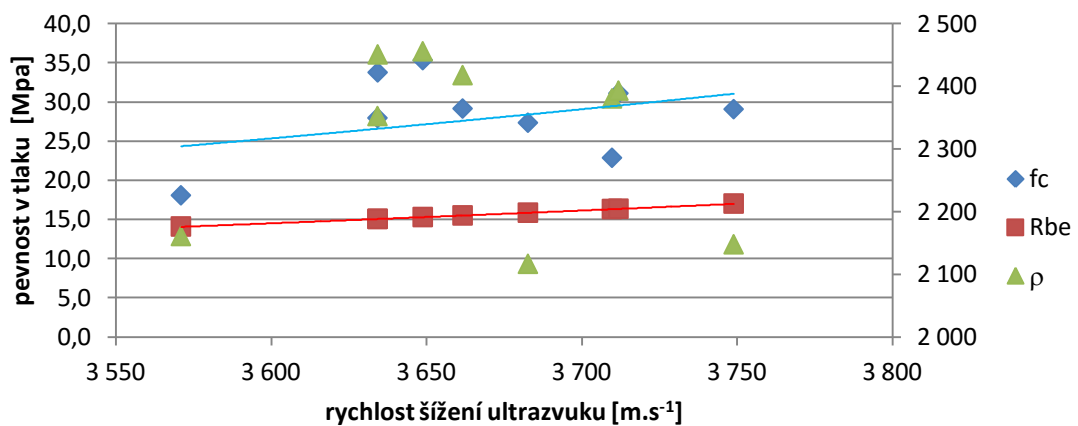
rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



pevnosti jednotlivých vzorků



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



#### Komentář:

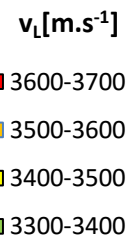
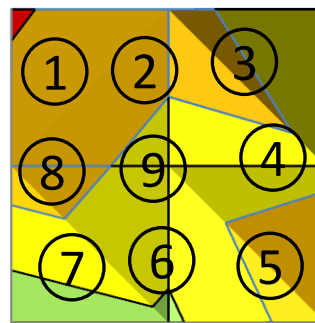
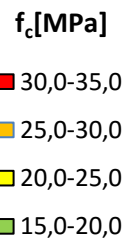
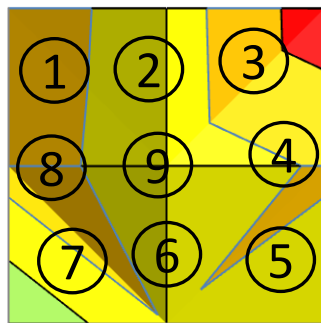
Pevnosti v tlaku jsou nejvyšší v centrálním pásmu zkušební desky. Rychlosti šíření ultrazvuku jsou nejvyšší v centrální oblasti a levé oblasti zkušební desky. Z výsledků lze usuzovat, že nástřik byl započat v centrální oblasti formy.

Pásmo s nejnižšími objemovými hmotnostmi se nachází v horní oblasti zkušební desky.

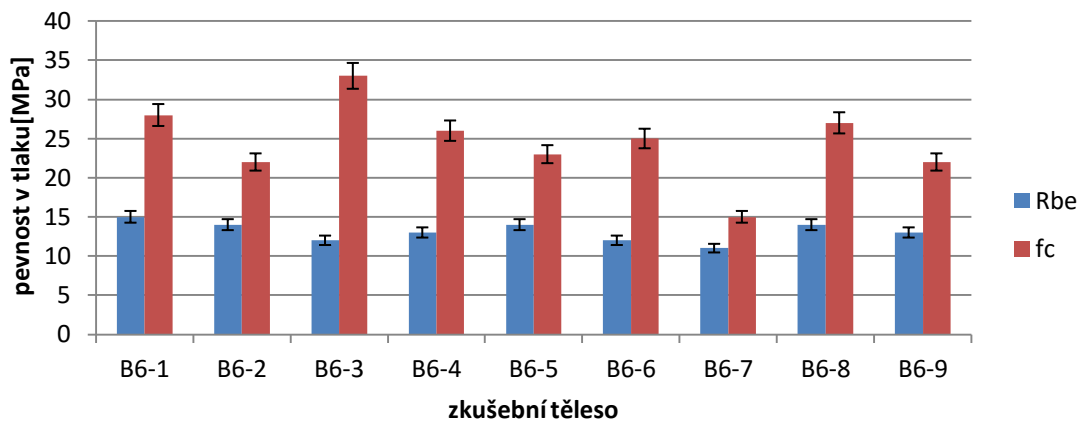
### ZKUŠEBNÍ DESKA B6

pevnost v tlaku u zkušební desky na základě jádrových výrtů

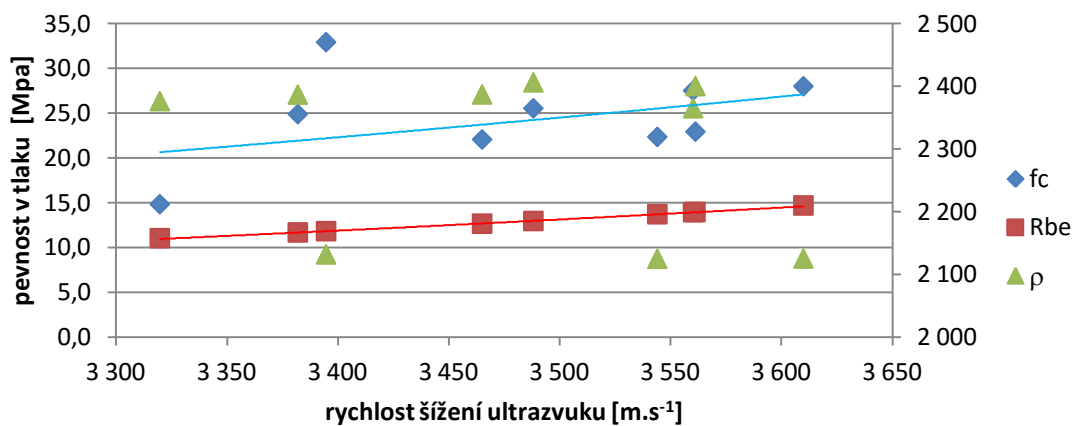
rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



pevnosti jednotlivých vzorků



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



**Komentář:**

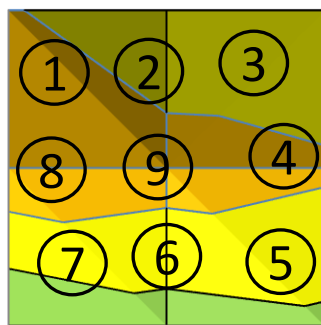
Grafické znázornění pevností v tlaku a rychlosti šíření ultrazvuku je téměř totožné.

Nejnižší objemové hmotnosti se nachází v horním pásmu zkušební desky.

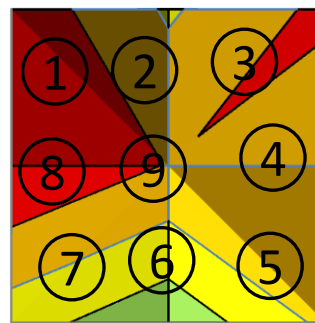
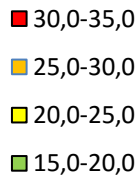
### ZKUŠEBNÍ DESKA B7

pevnost v tlaku u zkušební desky na základě jádrových výrtů

rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



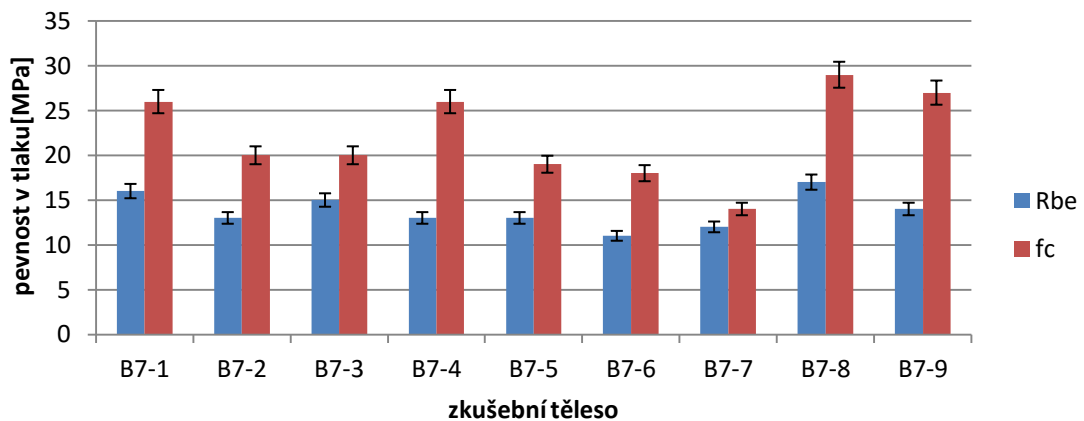
$f_c$  [MPa]



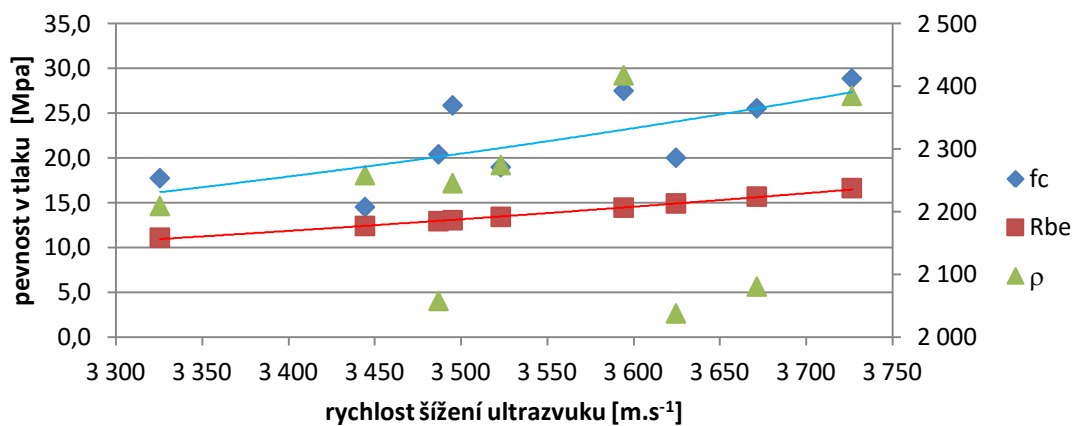
$v_L$  [m.s<sup>-1</sup>]



pevnosti jednotlivých vzorků



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



#### Komentář:

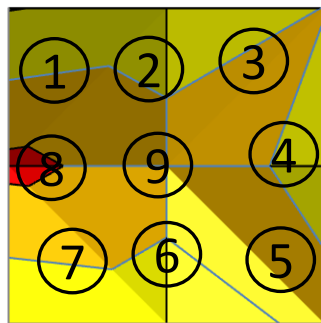
Výsledky pevnosti v tlaku ukazují, že v centrálním pásmu se nachází nejvyšší pevnosti. Nejvyšší rychlosti šíření ultrazvuku se nachází v levé horní oblasti zkušební desky. Toto rozložení výsledků odpovídá teorii o nedokonalé zóně.

Nejnižší objemové hmotnosti se nachází v horním pásmu zkušební desky.

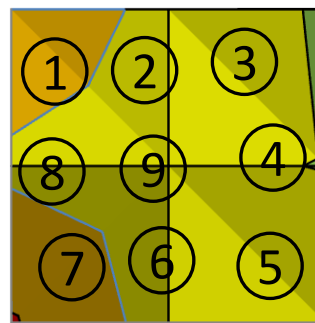
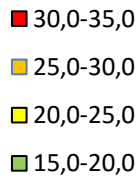
### ZKUŠEBNÍ DESKA B8

pevnost v tlaku u zkušební desky na základě jádrových výrtů

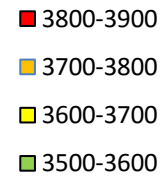
rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



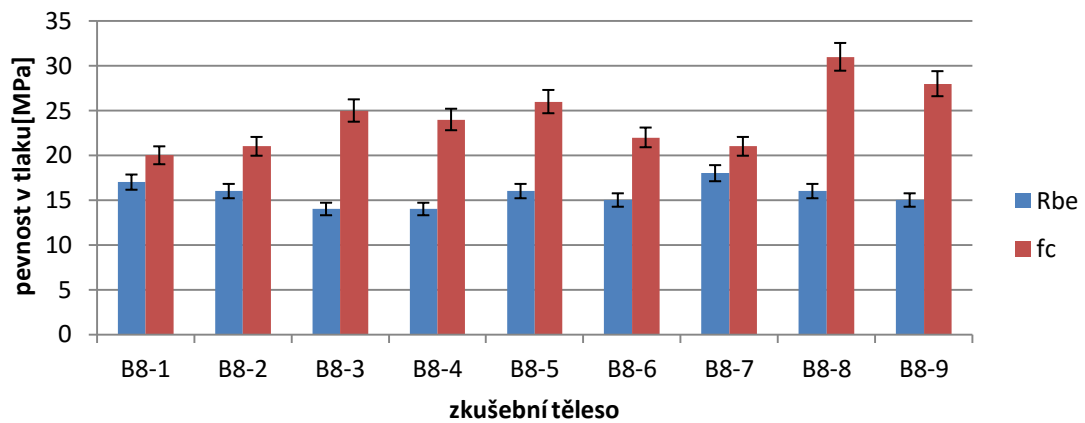
$f_c$ [MPa]



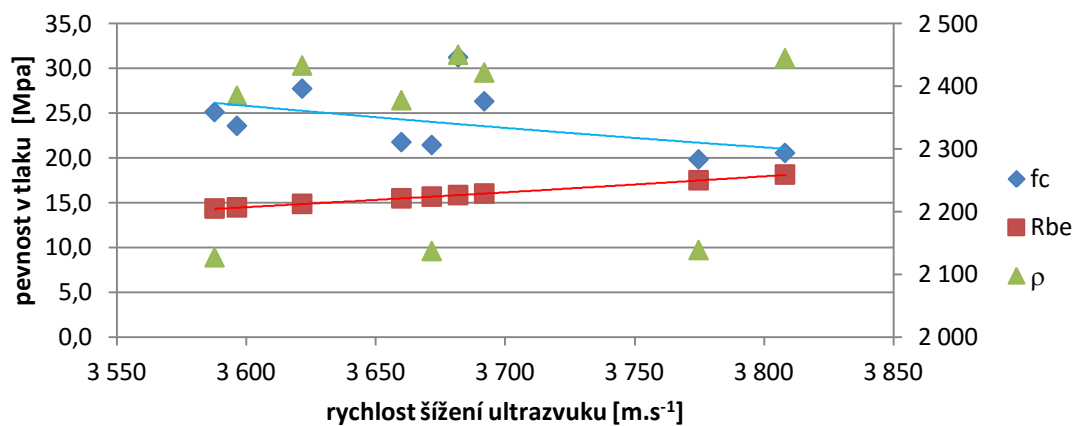
$v_L$ [m.s<sup>-1</sup>]



pevnosti jednotlivých vzorků



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



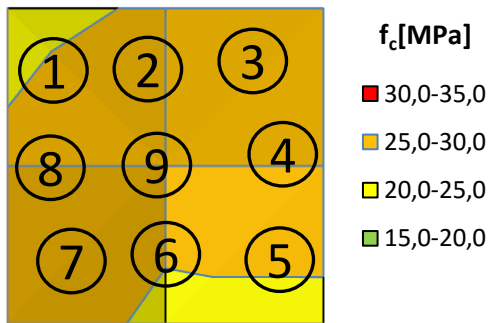
**Komentář:**

Znázornění rychlostí šíření ultrazvuku a znázornění pevností v tlaku je velmi podobné. V centrální oblasti se nachází nejvyšší hodnoty.

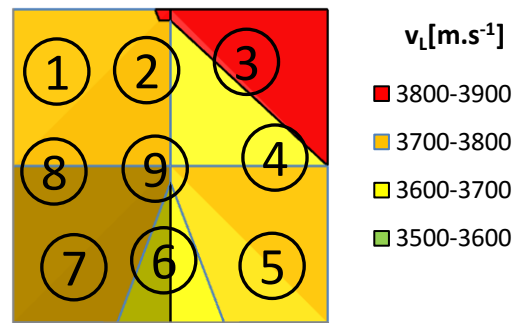
Objemové hmotnosti jsou nejnižší v horním pásmu zkušební desky.

### ZKUŠEBNÍ DESKA B9

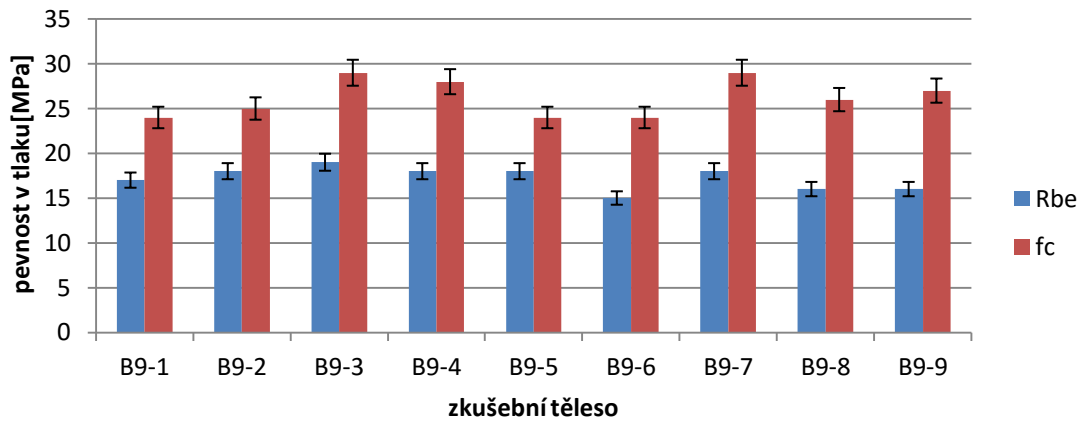
pevnost v tlaku u zkušební desky na základě jádrových výrtů



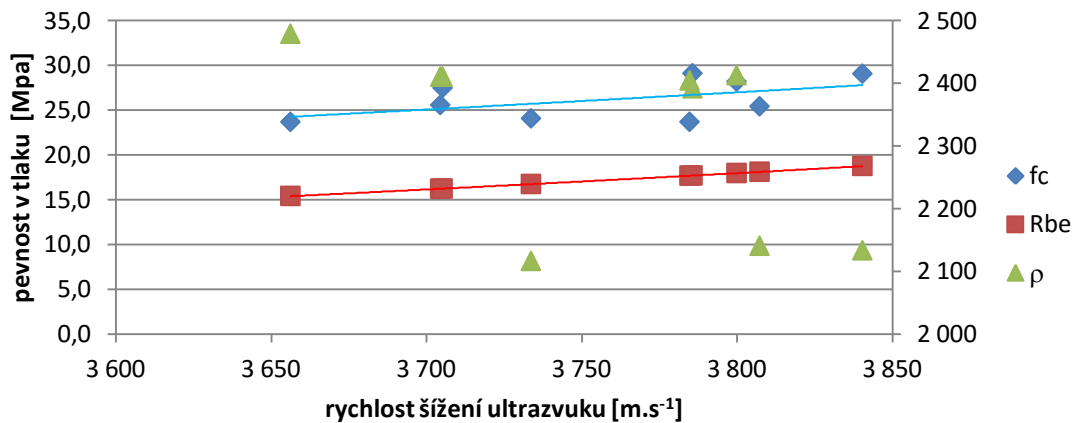
rychlost ultrazvuku na jádrových výrtech



pevnosti jednotlivých vzorků



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



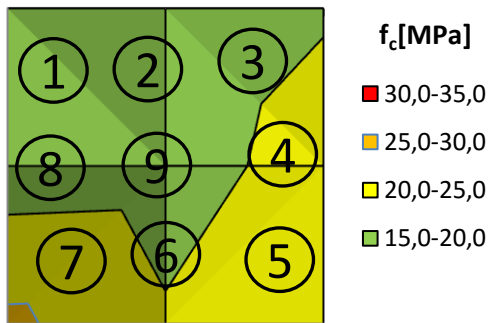
#### Komentář:

Rozdíly mezi pevnostmi v tlaku jsou v rámci zkušební desky velmi malé. Rychlost šíření ultrazvuku jsou téměř stejné v celé ploše zkušební desky. V horním levém rohu je velmi vysoká rychlost šíření ultrazvuku

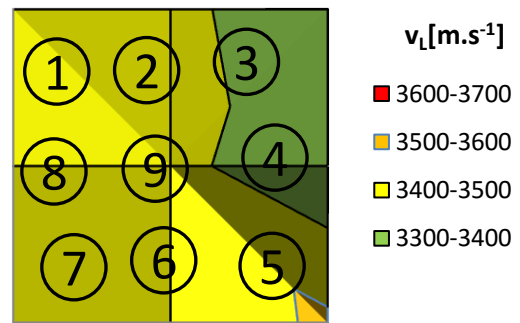
Objemová hmotnost je nejnižší v horním pásmu zkušební desky.

### ZKUŠEBNÍ DESKA B10

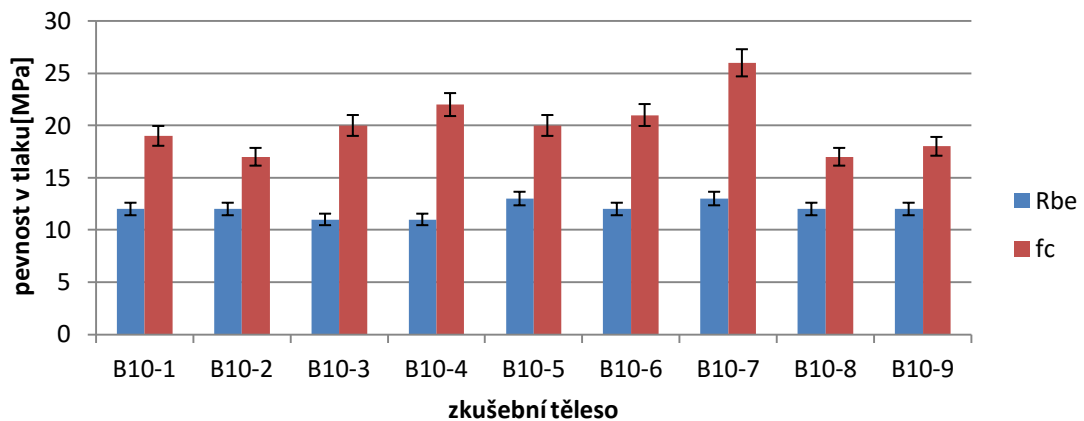
pevnost v tlaku u zkušební desky na základě jádrových výrtů



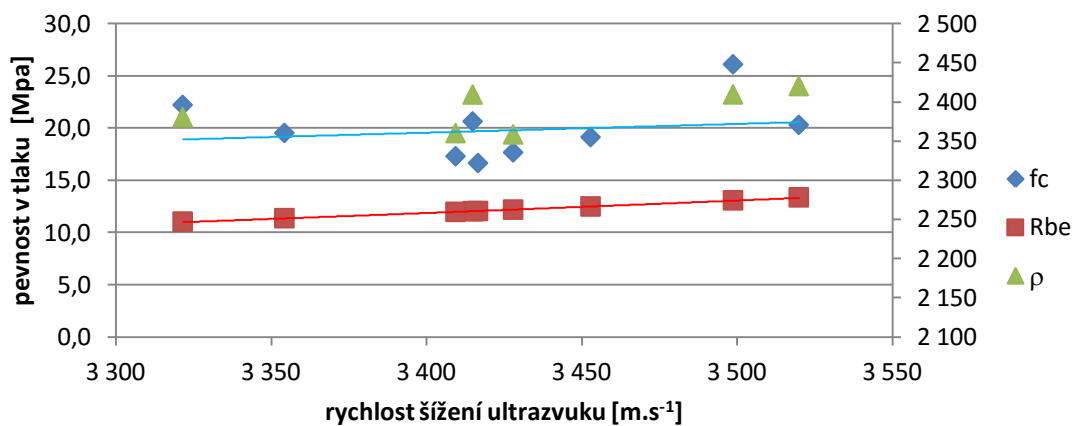
rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



pevnosti jednotlivých vzorků



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



#### Komentář

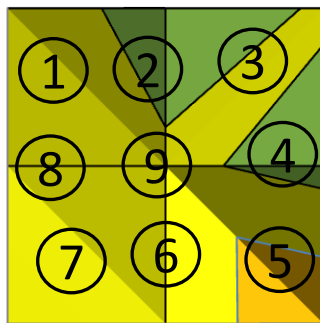
Pevnost v tlaku je vyšší ve spodním pásmu. Rychlost šíření ultrazvuku je nejmenší v levém horním rohu. Lze konstatovat, že rychlost šíření ultrazvuku je v ploše zkušební desky téměř stejná.

Objemové hmotnosti jsou nejnižší v horním pásmu zkušební desky.

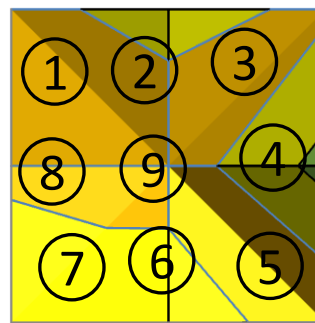
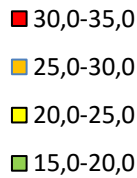
### ZKUŠEBNÍ DESKA B11

pevnost v tlaku u zkušební desky na základě jádrových výrtů

rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



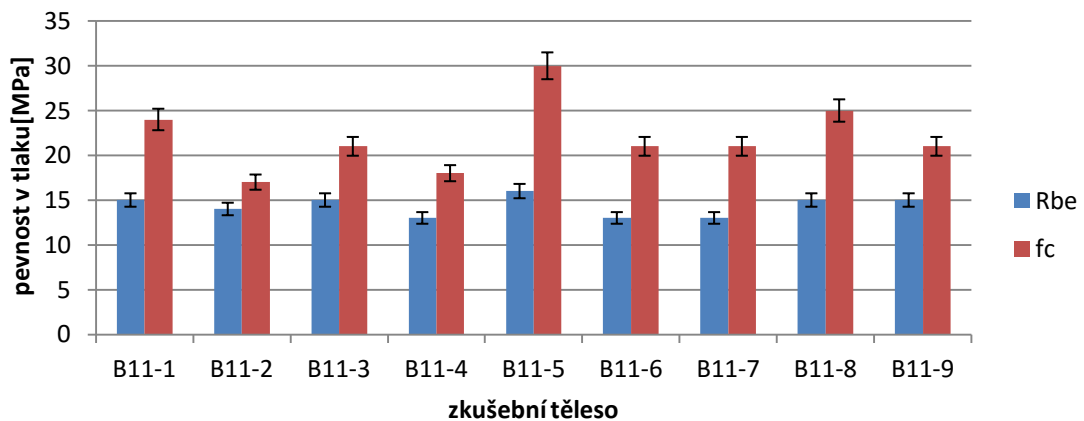
$f_c$  [MPa]



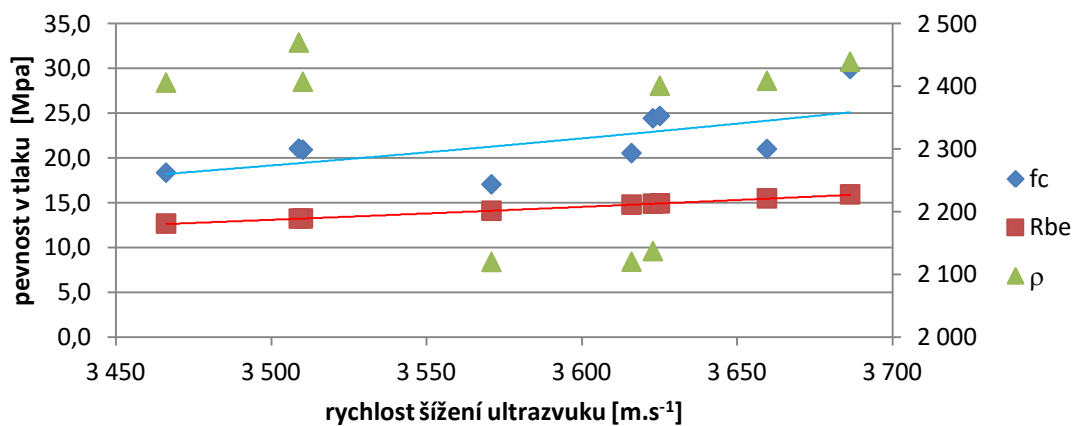
$v_L$  [m.s<sup>-1</sup>]



pevnosti jednotlivých vzorků



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



**Komentář:**

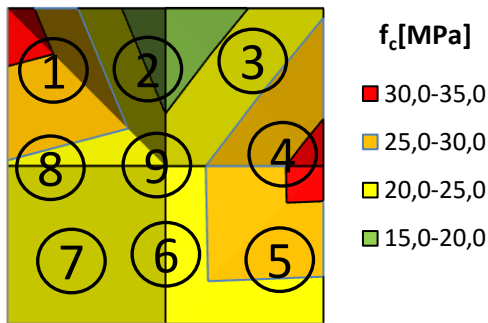
Výsledky ukazují, že v centrální oblasti zkušební desky se nachází vysoké hodnoty pevnosti v tlaku a vysoké hodnoty rychlosti šíření ultrazvuku. To nasvědčuje tomu, že nástřík byl započat v centrální oblasti formy.

V horním pásmu zkušební desky se nachází nejnižší hodnoty objemové hmotnosti.

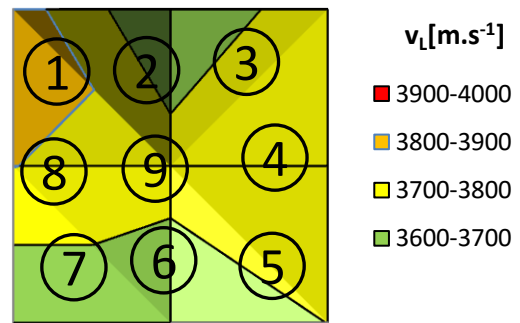


### ZKUŠEBNÍ DESKA B12

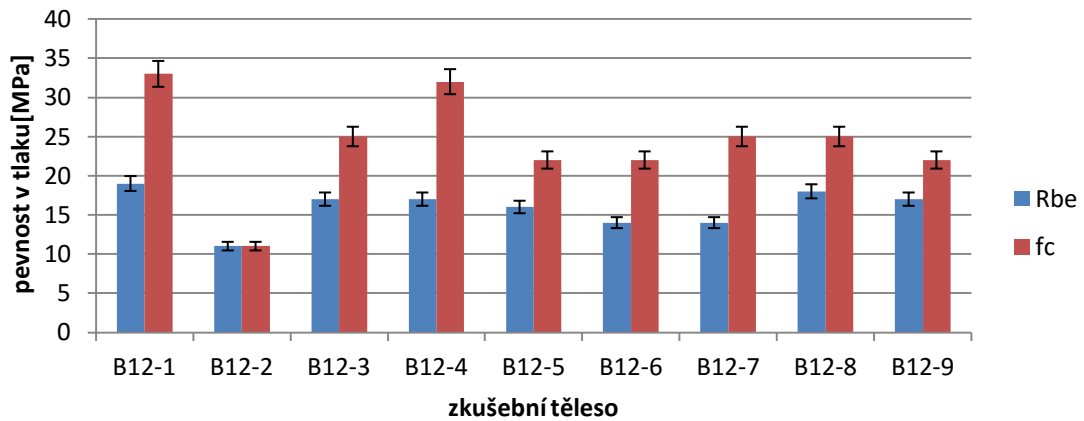
pevnost v tlaku u zkušební desky na základě jádrových výrtů



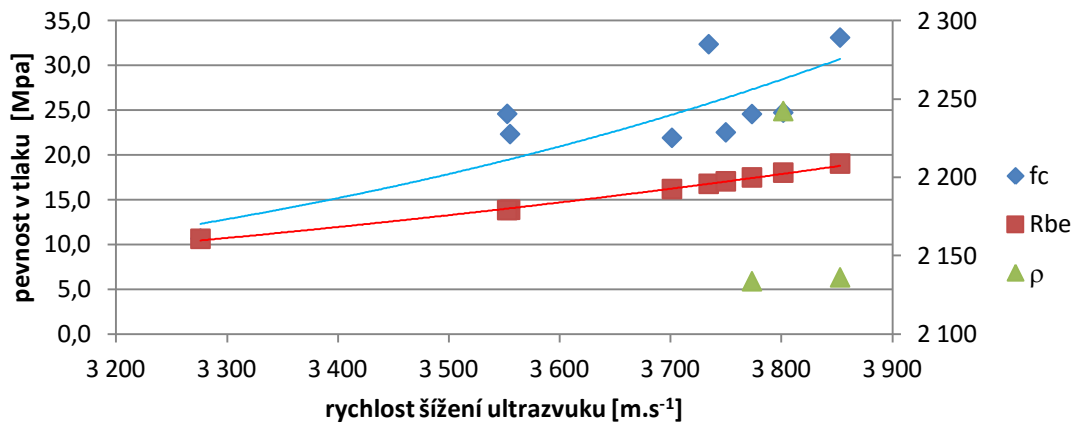
rychlost ultrazvuku na jádrových výrtech



pevnosti jednotlivých vzorků



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



#### Komentář:

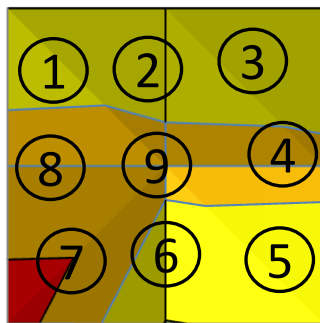
Z výsledků rychlosti šíření ultrazvuku je patrné, že v centrálním pásmu zkušební desky se nachází hodnoty s vysokou rychlostí šíření ultrazvuku. Pevnosti v tlaku jsou nevyšší v levém horním rohu a v pravé části středního pásma zkušební desky.

Nejnižší hodnoty objemové hmotnosti jsou situovány v horním pásmu zkušební desky.

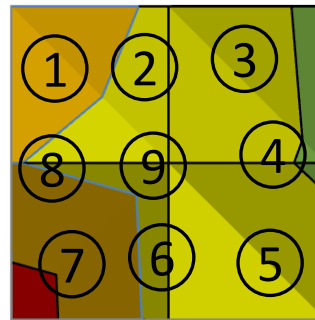
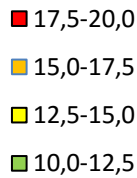
### ZKUŠEBNÍ DESKA B13

pevnost v tlaku u zkušební desky na základě jádrových výrtů

rychlost ultrazvuku na jádrových výrttech



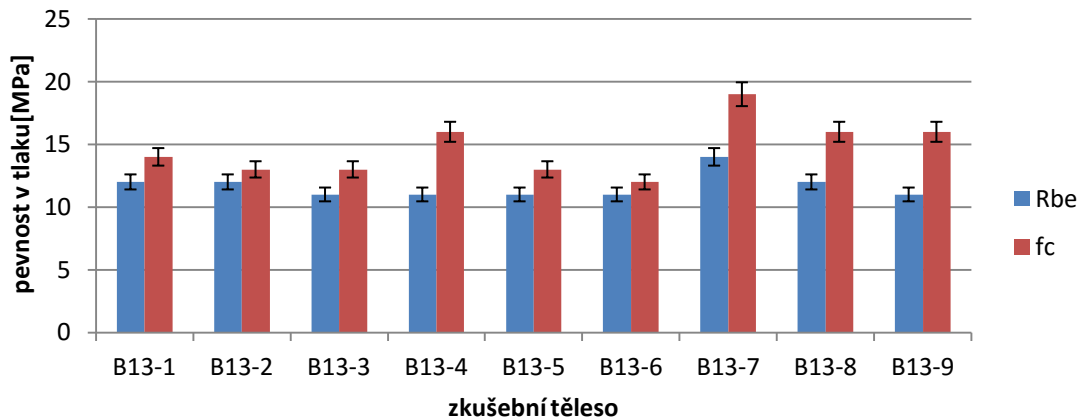
$f_c$  [MPa]



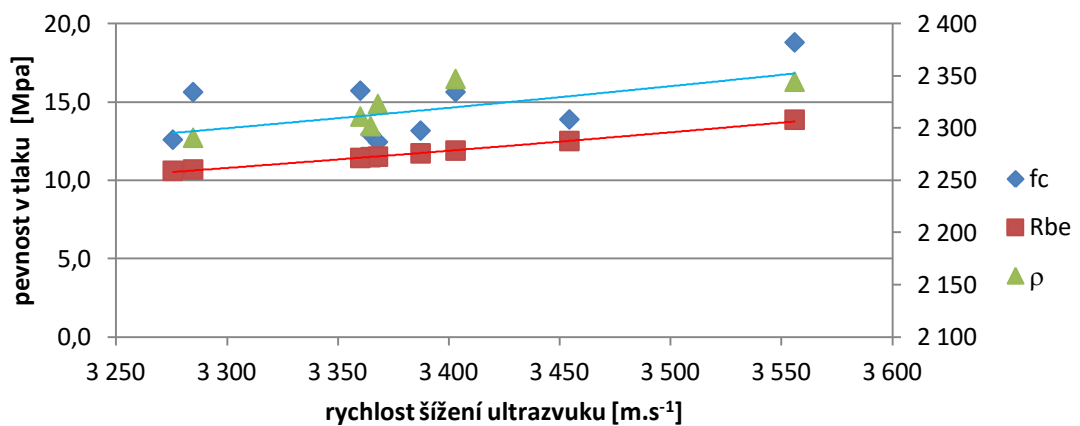
$v_L$  [m.s<sup>-1</sup>]



pevnosti jednotlivých vzorků



závislost objemové hmotnosti na rychlosti šíření ultrazvuku



#### Komentář:

V centrálním pásmu zkušební desky se nachází hodnoty s vysokou pevností v tlaku. Rychlost šíření ultrazvuku je nejvyšší v levém horním a spodním rohu.

Z výsledků se lze domnívat, že nástřik byl započat v levém dolním rohu formy.

Nejvyšší objemové hmotnosti jsou ve spodním pásmu zkušební desky.

**FOTODOKUMENTACE Z PROVÁDĚNÍ STŘÍKANÝCH BETONŮ NA  
STAVBĚ  
PŘÍKLADY POUŽITÍ STŘÍKANÉHO BETONU**



**Obrázek 28: provádění rekonstrukce stropní konstrukce**



**Obrázek 29: provádění zesílení konstrukce klenby**



## REALIZACE NÁSTŘIKU



Obrázek 30: realizace nástřiku a následná úprava povrchu



Obrázek 31: realizace nástřiku



### PODKLAD PRO PROVEDENÍ NÁSTŘIKU A KONEČNÁ ÚPRAVA NÁSTŘIKU



Obrázek 32: podklad připravený pro realizaci nástřiku



Obrázek 33: konstrukce pro provedení nástřiku a provedení povrchové úpravy

## STROJNÍ MECHANIZACE PROPOVÁDĚNÍ NÁSTŘIKU SUCHOU CESTOU



Obrázek 34: strojní zařízení pro realizaci nástřiku suchou cestu



Obrázek 35: provádění nástřiku