ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí

Bakalářská práce

Stanovení obsahu vody v čerstvém betonu s využitím ultrazvuku

(Determination of water content in fresh concrete with ultrasonic)

Vypracoval: Patrik Šnobl
Studijní program - **STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ**
Studijní obor - **Konstrukce pozemních staveb**

Vedoucí práce: doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.
Ing. Michal Števula, Ph.D.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šnobl Jméno: Patrik Osobní číslo: 468219

Zadávající katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Stanovení obsahu vody v čerstvém betonu s využitím ultrazvuku

Název bakalářské práce anglicky: Determination of water content in fresh concrete with ultrasonic

Pokyny pro vypracování:

Souhrn poznatků-metody pro stanovení vody v čerstvém betonu
Popis metodiky s využitím ultrazvuku-provedení zkoušek pro vybrané receptury
Vyhodnocení výsledků zkoušek
Doporučení pro další činnost

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 17.2.2020 Termín odevzdání bakalářské práce: 17.5.2020

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci zpracoval samostatně za pomoci všech uvedených informačních zdrojů, dosud získaných znalostí a na základě konzultací s vedoucími mé bakalářské práce.

V Praze dne: ……

Patrik Šnobl

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá zkušebními metodami na čerstvém betonu, především stanovením obsahu vody. Zpracovává přehled nedestruktivních zkušebních metod používaných pro betonové konstrukce založených na principu ultrazvuku.

Cílem praktické části, v rámci které, byla prováděna měření čerstvého betonu na různých vzorcích získaných namícháním v laboratoři a odebíráním z betonárny, je vyhodnocení přesnosti přístroje pro stanovení obsahu vody v čerstvém betonu SONO-WZ Analyzer. Vyhodnocení je stanoveno na základě hodnot získaných vysušením jednotlivých vzorků a hodnot naměřených přístrojem SONO-WZ Analyzer.

Klíčová slova:

Ultrazvuk, Obsah vody v čerstvém betonu, SONO-WZ Analyzer, Zkoušení čerstvého betonu, Nedestruktivní zkoušení

Abstract:

The bachelor‘s thesis describes test methods on fresh concrete, first of all determination of water content in fresh concrete. It is focused on presenting of a listing non-destructive testing methods based on principle of ultrasonic used for concrete structures.

The purpose of the practical part of the thesis is evaluation of SONO-WZ Analyzer – a brand new measuring instrument for water content determination in fresh concrete, To reach this evaluation many measurements on different samples were taken. Both mixed in laboratory and taken from concrete plant fresh concrete samples were used for measurements. The evaluation is determined based of difference of results from drying the samples and SONO-WZ Analyzer.

Keywords:

Ultrasonic, Water content of fresh concrete, SONO-WZ Analyzer, Testing fresh concrete, Non-destructive testing

Poděkování:

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucím své bakalářské práce doc. Ing. Jitce Vaškové, CSc. a Ing. Michalu Števulovi, Ph.D. za cenné a užitečné rady a připomínky při psaní práce. Dále bych rád poděkoval celému kolektivu laboratoře firmy BETOTECH v Berouně, který mi umožnil provádět jednotlivé zkoušky v jejich laboratoři. V neposlední řadě bych rád poděkoval svým rodičům, za jejich podporu a důvěru po celou dobu studia.

OBSAH

1 ÚVOD 8
1.1 TÉMA 8
1.2 CÍLE PRÁCE 10
1.3 ČLENĚNÍ PRÁCE 10
2 ULTRAZVUKOVÁ METODA 12
2.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA 12
2.2 DRUHY ULTRAZVUKOVÝCH METOD 13
2.2.1 ULTRAZVUKOVÁ IMPULZOVÁ ODRAZOVÁ METODA 13
2.2.2 ULTRAZVUKOVÁ IMPULZOVÁ METODA PRŮCHODOVÁ 13
3 VODA V BETONU 15
3.1 FUNKCE VODY V BETONU 15
3.2 OBSAH VODY V BETONU 15
3.3 DRUHY VODY 16
4 ZKOUŠENÍ ČERSTVÉHO BETONU 18
4.1 TEPLOTA 18
4.2 KONZISTENCE 18
4.2.1 SEDNUTÍ KUŽELE 18
4.2.2 ROZLITÍ 20
4.2.3 SEDNUTÍ-ROZLITÍM KUŽELE A ČAS T_{500} 22
4.2.4 VEBE 23
4.2.5 STUPEŇ ZHUTNITELNOSTI 25
4.3 MĚŘENÍ OBSAHU VZDUCHU 27
4.3.1 Metoda vodního sloupce 27
4.3.2 Tlakoměrná metoda 28
4.4 OBJEMOVÁ HMOTNOST 29
4.5 OBSAH CEMENTU A VODNÍ SOUČINITEL 30
5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST 31
5.1 POUŽÍVANÉ ZAŘÍZENÍ 31
5.2 SONO-WZ ANALYZER 32
5.2.1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA 32
5.2.2 NASTAVENÍ VSTUPNÍCH HODNOT 32
5.2.3 HODNOTY STANOVENÉ SONO-WZ DIS 34
5.2.4 OVLIVŇUJICÍ FAKTORY 35
5.3 POSTUP PROVÁDĚNÍ 36
5.3.1 BETON Z BETONÁRNY 36
5.3.2 BETON Z LABORATOŘE 42

5.4 VÝSLEDKY 45
5.4.1 HODNOTY - BETONÁRNA 45
5.4.2 HODNOTY - LABORATOŘ 47
6 ZÁVĚR 49
6.1 VYHODNOCENÍ 49
6.1.1 NASTAVENÍ DLE DOPORUČENÍ VÝROBCE 49
6.1.2 PŘESNOST DLE KONZISTENCE 53
6.1.3 NASTAVENÍ DLE SLOŽENÍ 56
6.2 DOPORUČENÍ 59
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 60
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK 63
SEZNAM OBRÁZKŮ 63
SEZNAM TABULEK 64
SEZNAM PŘÍLOH 65
[1] Měření betonárna 65
[2] Měření laboratoř 65
[3] Převzaté hodnoty BETOTECH 65
Přílohy jsou uloženy v digitální podobě na přiloženém CD 65

1 ÚVOD

1.1 TÉMA

Bakalářská práce se zabývá zkoušením čerstvého betonu, především kolik obsahu vody se nachází ve stanovených recepturách čerstvého betonu. Pro zjišťování bylo použito jak standardních metod, tak zároveň přístroje, který určuje obsah vody v čerstvém betonu pomocí ultrazvuku.

Beton můžeme zkoušet z různých důvodů a v různém čase, hlavním rozdělením typu zkoušek je hledisko stáří betonu, kdy se jedná buď o čerstvý beton, nebo o ztvrdlý beton.

U čerstvého betonu se zkouší především konzistence betonu, provzdušnění betonu a kontroluje se vodní součinitel, tedy obsah účinné vody v betonu.

Zkoušky ztvrdlého betonu se dělí na zkoušky mechanicko-fyzikálních vlastností (zkouška pevnosti v tlaku, zkouška pevnosti v tahu a zkouška modulu pružnosti) a zkoušky odolností betonu (chemické - odolnost vůči CHLR, zkouška mrazuvzdornosti, zkouška odolnosti proti chloridům a zkoušky mechanické - zkouška odolnosti proti obroušení). Další rozdělení zkoušek u ztvrdlého betonu je podle toho, zničí-li se vzorek či nikoliv. Provádějí se metody zkoušení destruktivní (tzv. přímé), u kterých se zkoušený vzorek poruší a již nejde použít znovu. Typickým příkladem je zkouška pevnosti v tlaku na zkušebních krychlích, válcích, vývrtech. U destruktivních zkoušek je výhodou vyšší přesnost stanovených hodnot a možnost odebrání vzorků z hloubky. Naopak nedestruktivní (tzv. nepřímé) zkoušení betonu neporušuje zkoušený beton a může být tedy využito i přímo na konstrukci - odrazové tvrdoměry (Schmidtovo kladívko), ultrazvuková impulsní metoda, rezonanční zkoušení. Nedestruktivní metody určují sledované vlastnosti pomocí kalibračních vztahů (tvrdoměry, ultrazvuky). Nevýhodou nedestruktivních metod jsou méně přesné výsledky. [11,20,25]

Ultrazvuk je akustické vlnění s frekvencí, která je vyšší než hranice slyšitelnosti lidského ucha (asi 20kHz), což znamená, že není slyšitelný pro lidský sluch. Je však slyšitelný pro řadu živočichů (delfíni, psi, netopýři, velryby), kteří dokonce část ultrazvukového spektra vydávají a využívají ho tak k běžné komunikaci a orientaci. Ultrazvuk se tedy neliší vlastnostmi od slyšitelného zvuku a infrazvuku – akustická vlnění, jehož frekvence je nízká a lidské ucho ho není schopno zaznamenat (obr. 2.1). [24]

Historie poznání ultrazvuku sahá až do roku 1794, ve kterém byly první zmínky o zvukových vlnách, které není člověk schopný slyšet. Autorem byl italský biolog a fyziolog L. Spallanzani, který uveřejnil teorii (v knize „Opus coli di fisica“), jejíž náplní bylo vysvětlení schopnosti netopýrů létat ve tmě, a přitom se orientovat aniž by narazili na překážku. Tuto teorii potvrdili až svými výzkumy netopýrů Gallambos (1942) a Griffin (1944). V roce 1880 přišel Galton, který vytvořil píšťalku s frekvencí 40kHz, se zjištěním, že psi jsou schopni tuto frekvenci vnímat, ale člověk nikoli. Ještě v tomtéž roce objevili a popsali bratři Pierre a Jacques Curie piezoelektrický jev, což je schopnost krystalu generovat elektrické napětí při jeho deformování a využívá se k detekci, případně generování ultrazvukových vln. Po nehodě Titaniku v roce 1912 patentoval Richardson bezpečnostní zařízení, které na principu ultrazvuku signalizovalo volně plující ledovce. Výzkumy ruského vědce Sokolova znamenaly zvrat a autor se v roce 1929 stal zakladatelem ultrazvukové defektoskopie. Sokolov mezi lety 1929-1935 studoval použití ultrazvukových vln k detekci kovových předmětů. Nejdříve zavedl metodu průchodovou a v roce 1934 metodu impulsní odrazovou. V roce 1931 získal fyzik Mulhauser patent pro používání ultrazvukových vln k detekci chyb v pevných látkách. Ve druhé světové válce (1939-1945) bylo do praxe uvedeno ultrazvukové detekční zařízení nazývané SONAR (Sound Navigation and Ranging). V roce 1940 jako první sestrojil Američan Firestone ultrazvukový impulsní defektoskop pro použití nedestruktivního zkoušení v praxi. Po druhé světové válce se v Japonsku rozvijí výzkum ultrazvuku, japonští vědci zkoumali možnosti využití ultrazvuku v lékařství. [13,12]

V současnosti stále dochází ke zdokonalování metod, postupů a přístrojů, které jsou důležité pro efektivní využívání ultrazvuku. Dnes se využívá ultrazvuk nejen v lékařství (sonografie), ale současně ve strojírenství, průmyslu a také ve stavebnictví. Nejčastější využívání je: v defektoskopii k hledání vad materiálu, k určování vzdáleností a geome-

trických rozměrů, k čistění ultrazvukem na principu kavitace. Ultrazvukové vlnění nachází s rozvojem technologií uplatnění i formou senzorů. Praktickým příkladem jsou senzory na autech, které používáme při parkování. Senzory na základě odraženého ultrazvukového vlnění určují vzdálenosti okolních předmětů. [13,12,24]

1.2 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce *Stanovení obsahu vody v čerstvém betonu pomocí ultrazvuku* je seznámení s jednotlivými metodami pro měření obsahu vody v čerstvém betonu, s jejich principy a používanými zařízeními. Obsah vody v čerstvém betonu je velmi důležitý, neboť výrazně ovlivňuje jak vlastnosti čerstvého betonu, tak i vlastnosti ztvrdlého betonu. Dále je podrobněji pojednáno o využití ultrazvukové metody pro zjišťování obsahu vody v čerstvém betonu a uveden popis používaného přístroje.

V praktické části bakalářské práce jsou dokumentována měření obsahu vody v čerstvém betonu různými metodami včetně ultrazvukové metody a porovnání dosažených výsledků metod a hodnot obsahu vody v betonové směsi při míchaní betonu na betonárně a v laboratoři. Tato porovnání a vyhodnocení jsou hlavními cíli bakalářské práce.

1.3 ČLENĚNÍ PRÁCE

V následující kapitole jsou představeny hlavní ultrazvukové metody používané především ve stavebnictví, včetně zkoušení vlastností betonu. Je popsáno a ukázáno, při jakých frekvencích pracuje ultrazvuk obecně a při jakých frekvencích je ultrazvuk využívaný ve stavebnictví.

Třetí kapitola je věnována obsahu vody v betonu. Je uvedeno, jaké základní funkce má voda v betonu a jaké vlastnosti ovlivňuje její množství. Dalšími informacemi v této kapitole jsou: kolik vody by se ideálně mělo v betonu nacházet a jaké druhy vody lze pro výrobu a ošetřování betonu používat.

Dále, ve čtvrté kapitole, je shrnutí zkoušek čerstvého betonu. Jsou popsány obvyklé zkoušky a podrobněji uveden postup zkoušek, které jsem osobně používal v průběhu provádění experimentu.

V následující páté kapitole je představeno zařízení pro stanovení obsahu vody SONO-WZ DIS. Je zde uveden základní princip, jaké hodnoty jsou potřeba zadat před začátkem měření a jaké výstupy ukáže přístroj. Jsou uvedeny a popsány všechny používané přístroje, zařízení a pomůcky nezbytné k provádění jednotlivých měření. Dále jsou uvedeny experimentální postupy, jakými jsem postupoval při měření čerstvého betonu odebíraného z betonárny i míchaného v laboratoři. Poslední částí této kapitoly jsou výsledky, kterých jsem dosáhl v průběhu jednotlivých experimentálních měření. Kompletní výsledky se všemi naměřenými hodnotami jsou jako přílohy uloženy na přiloženém CD.

V poslední šesté kapitole je vyhodnocení výsledků a závěr vzhledem k používanému přístroji SONO-WZ DIS pro stanovení obsahu vody v čerstvém betonu. Posledním bodem kapitoly a zároveň celé bakalářské práce je doporučení formulované na základě zkušeností a výsledků mé práce s využitím popisovaného přístroji pro měření obsahu vody.

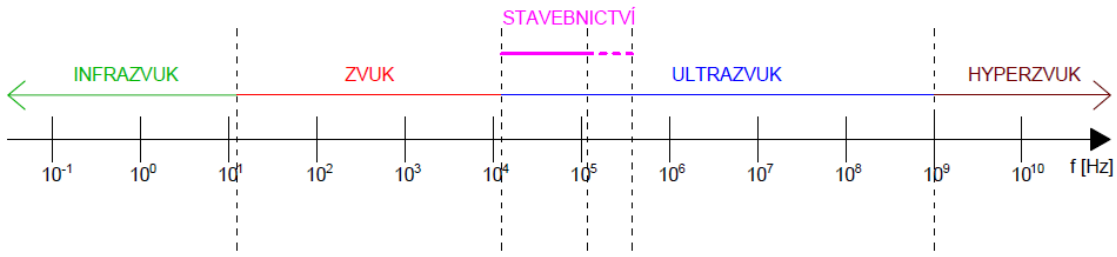
2 ULTRAZVUKOVÁ METODA

2.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA

Ultrazvuková metoda je ve stavebnictví používána již několik desetiletí. Jedná se o dynamickou nedestruktivní metodu zkoušení (NDT - Non Destructive Testing) stavebních materiálů, prvků a konstrukcí. Hlavní výhodou nedestruktivní metody je to, že při jejím používání není nutné porušení nebo zničení materiálů a může se používat přímo na konstrukci, bez porušení nebo ohrožení únosnosti a použitelnosti. Metody NDT se proto dělí na čisté, což jsou metody, které nezpůsobí vůbec žádné porušení a na ostatní metody, které způsobují malé místní porušení (stopa od tvrdoměrů, stopy po vrtných a brusných metodách). [14]

Další výhodou je možnost velkého počtu míst pro zkoušení (což je statisticky výhodné), případně provádět na stejném místě více měření pro minimalizaci chyb měření. Posledním větším plusem je relativně levnější způsob zkoušení oproti destruktivním metodám. [11]

Hodnota ultrazvukového vlnění je dána podle konstrukce budiče (např. rezonanční frekvence jádra). Ve stavebnictví využíváme běžně ultrazvukové vlnění s frekvencí od 20 kHz do 150 kHz (ve výjimečných případech až do 500 kHz). Výhodou ultrazvukového vlnění je schopnost šíření v i relativně silných vrstvách materiálu, ve kterých se slyšitelné vlnění rychle utlumí. [10,14]



Obr. 2.1: Ultrazvuk ve stavebnictví

2.2 DRUHY ULTRAZVUKOVÝCH METOD

V praxi využíváme několik druhů ultrazvukových metod, jednak při stanovení daných vlastností materiálů a dále při lokalizaci vad u technických prvků (defektoskopie). Jako první lze používat metodu spojitého vysílání vlnění. S touto metodou se můžeme setkat hlavně ve strojírenství, kde je hojně využívána, pro kontinuální kontrolu tloušťky plechů, případně vad materiálů. Další a zároveň častější metodou použití je vysílání impulzové („krátké svazečky mechanického tlumeného kmitání vznikající v budiči účinkem pravidelně se opakujících elektrických impulzů“) Při zkoušení materiálu můžeme používat buď dvě ultrazvukové sondy, kdy první sonda funguje jako budič mechanických impulzů a druhá sonda mění přicházející mechanické vlnění na jeho elektrický obraz a funguje tak jako snímač. Zároveň lze použít pouze jednu sondu, většinou piezoelekrickou, ta se přikládá na povrch zkoušeného prvku (tzv. ultrazvuková odrazová metoda). [14]

2.2.1 ULTRAZVUKOVÁ IMPULZOVÁ ODRAZOVÁ METODA

Sonda nejdříve funguje jako budič, vyšle do materiálu mechanický impulz, následně se přepne a funguje jako snímač, který po příchodu odražené vlny od protějšího povrchu vzorku, případně jiné překážky, přemění vlnu na elektrický tvar a zobrazí jako „echo“ na obrazovce defektoskopu. Na tento způsob jedné sondy fungují strojírenské ultrazvukové defektoskopy pro odhalování vad výkovků a svarů, používají se piezoelektrické sondy o vysokých frekvencích, obvykle od 1 do 6 MHz. Tato metoda není vhodná pro masivní materiály s velkým útlumem a pro časté heterogenní hmoty, typickým příkladem je beton, u kterého by se ve stavebnictví tato metoda hodila pro kontrolu konstrukcí přístupných pouze z jednoho povrchu. Ve stavebnictví tedy používáme pro zkoušení betonu v konstrukci jen přístroje o dvou sondách. [14]

2.2.2 ULTRAZVUKOVÁ IMPULZOVÁ METODA PRŮCHODOVÁ

Tato metoda je používána hlavně tam, kde je třeba zjistit jakost zkoušeného prostředí, například rovnoměrnost vlastností výrobku nebo mechanicko-fyzikální charakteristiky (modul pružnosti betonu, pevnost v tlaku a změny těchto vlastností v čase (během zrání nebo degradace - přítomnost trhlin a větších dutin v betonu)). Princip této ultrazvukové metody spočívá v tom, že opakovanými elektrickými impulzy se v budiči vytvoří úzké svazky mechanického kmitání. Dále se tyto impulzy vnesou do zkoušeného prvku a po průchodu materiálem změřené dráhy L jsou sejmuty snímačem. Současně se měří, za

jak dlouho projde ultrazvukové vlnění materiálem. Je tedy měřen čas *t* od doby, kdy byl vyslán impulz budičem, po dobu, kdy byl zaznamenán dopad impulzu na snímač. Impulzovou rychlost ultrazvuku potom můžeme zapsat vztahem: $v_{uz}=L/t$. [14]

Naměřená hodnota času je ovlivňována použitou ultrazvukovou aparaturou – hlavně konstrukcí obvodů, ultrazvukovými sondami, tvarem ultrazvukového signálu a používaným akustického vazebního prostředku. Proto je nutné skutečnou dobu šíření ultrazvuku zkoušeným materiálem upravit korekcí z měření na kalibračním vzorku, který získáme buď od výrobce zařízení, nebo odborným ústavem pro ultrazvukové zkoušení. Polohu sond (zkušebních míst) bychom měli volit tak, aby nebylo ovlivněno měření výsledného času vlivem okrajů zkušebního tělesa, nehomogenitou betonu, přítomností poruch nebo trhlin v oblasti sond. Uvedené pravidlo neplatí, pokud je úkolem měření ohraničení oblasti betonové konstrukce, která je poškozená např. trhlinami. [14]

3 VODA V BETONU

3.1 FUNKCE VODY V BETONU

Voda je jednou ze základních složek v receptuře betonu a je velmi důležitá. Ovlivňuje téměř všechny vlastnosti a chování, jak čerstvého, tak i ztvrdlého betonu. Prvním využitím vody v betonu je chemická reakce vody při hydrataci cementu, která je příčinou náběhu mechanických vlastností betonu a jeho přechodu z tekuté fáze do fáze tuhé. Další důležitou roli, kterou voda ovlivňuje a se kterou se setkáváme po vyložení betonu z autodomíchávače je zpracovatelnost betonové směsi. Čím více vody je v betonové směsi, tím lepší má zpracovatelnost - lépe se s ním pracuje (ukládání do bednění, vibrování) [17]

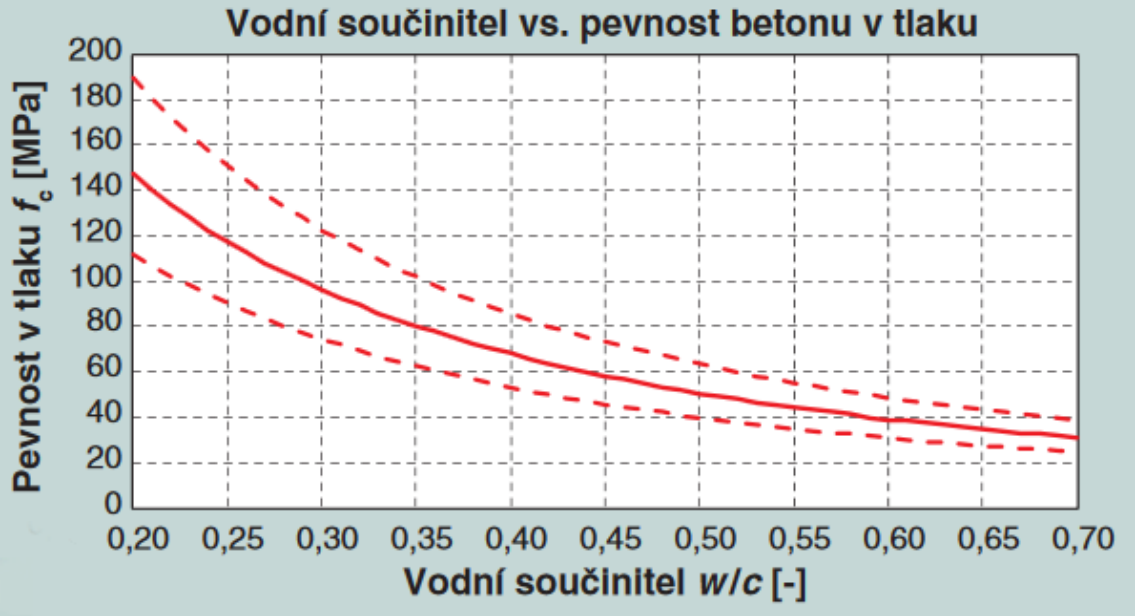
3.2 OBSAH VODY V BETONU

Obsah vody v betonu se stanovuje na základě hodnoty vodního součinitele, který se stanoví dle následujícího vzorce: w = v/c, kde v = hmotnost vody a c = hmotnost cementu. Dříve bylo nutné dostatečné (velké) množství záměsové vody, která byla nezbytná pro zajištění zpracovatelnosti betonu. V dnešní době při užití stavební chemie (přísad) je možné zajistit snížení vodního součinitele při zachování zpracovatelnosti betonu. Hranice hodnoty vodního součinitele, od které výrazně klesá zpracovatelnost, je 0,3. Minimální potřebný vodní součinitel k průběhu hydratace je 0,23 až 0,25. U běžných betonů se vodní součinitel pohybuje v rozmezí od 0,4 do 0,6, u vysokopevnostních betonů klesá jeho hodnota až k 0,25, což je minimální hodnota pro řádný průběh procesu hydratace. Pokud by hodnota byla výrazně pod 0,25, došlo by k neúplné hydrataci, některá cementová zrna by nehydratovala a vytvořila by jemnozrnné plnivo. [9,17]

Velikost vodního součinitele ovlivňuje kromě již zmíněně hydratace a zpracovatelnosti další vlastnosti betonu: [16,17]

- vysychání betonu má za následek smršťování a dotvarování
- mrazuvzdornost (odolnost proti zmrznutí vody v pórech - zvětšení objemu a potrhání betonu)
- požární odolnost (voda v pórech se naopak odpařuje - tlaky v betonu)
- ovlivňuje výslednou pevnost betonu (čím vyšší hodnota vodního součinitele, tím menší pevnost betonu)

Obecně se dá tvrdit, že čím nižší vodní součinitel betonu je, tím je beton (cementový tmel) méně pórovitý, kompaktnější a tím zároveň pevnější a odolnější proti agresivnímu prostředí (trvanlivější). [17]



Obr. 3.1: Závislost pevnosti betonu na vodním součiniteli [17]

3.3 DRUHY VODY

Voda přidávaná do betonu v průběhu míchání na betonárně, tzv. záměsová voda. Následně voda pro ošetřování betonu tzv. voda ošetřovací. Voda musí splňovat určité požadavky na kvalitu. Vyhovující voda pro přípravu betonu je podle normy ČSN EN 206+A1, pokud je v souladu s normou ČSN EN 1008. Ta určuje, jaké druhy vody je vhodné použít za jakých podmínek. Obecně se pro výrobu betonu používá voda pitná, kterou už není třeba nijak ověřovat, či zkoušet a je vhodná vždy, jen pokud se nejedná o vodu minerální. Dále využíváme vodu získanou při recyklaci, podzemní vody, povrchové vody a odpadní průmyslové vody. U vody získávané z recyklovaného betonu se musí ověřovat vyhovující podmínky dle normy (ČSN EN 1008) a dále je třeba počítat s vyšším obsahem jemných částic (z cementu, kameniva a příměsí původního betonu) a přizpůsobit tomu složení při výrobě betonové směsi, k dosažení požadované konzistence čerstvého betonu. [1,9,15]

U dalších zmíněných druhů vod musíme vždy ověřit použitelnost pro výrobu betonu. Ověření probíhá z hlediska:

- chemických vlastností vody (chloridy, sírany, alkálie)
- čisticích prostředků - pěna musí zmizet do dvou minut po protřepání 80 ml vody, barvy - vizuálně (bledě žlutá nebo světlejší), zápachu - čichem (musí být bez zápachu)
- rozptýlených látek - usazeniny < 4 mm po 30 minutách odstavení 80 ml vody
- kyselosti – pH ≥ 4 pomocí indikátorového papírku
- humusovitých látek

Můžeme se ještě setkat s mořskou nebo poloslanou vodou, ta je vhodná pouze do betonů, které neobsahují výztuž ani jiný kov. Posledním typem je voda splašková, která není vhodná do žádného typu betonu. [1,9,15]

4 ZKOUŠENÍ ČERSTVÉHO BETONU

Jak již bylo zmíněno v první kapitole, beton se zkouší z různých důvodů a dá se zkoušet v různém čase, ať už se jedná o čerstvý nebo ztvrdlý beton. Tato kapitola pojednává pouze o zkoušení čerstvého betonu, které je důležité, neboť vlastnosti čerstvého betonu výrazně ovlivňují vlastnosti ztvrdlého betonu.

4.1 TEPLOTA

Pokud pracujeme s betonovou směsí v zimním období, je nutné dávat pozor na teplotu používaného betonu, která by dle normy ČSN EN 206+A1 neměla být v době dodávání nižší než 5 °C. Při teplotě nižší než 5 °C dochází k výraznému zpomalování hydratace a při 0 °C se úplně zastavuje. Při okolní teplotě vzduchu menší než 5 °C by teplota dodávaného betonu během ukládání měla být alespoň +10 °C. Při nízkých teplotách je vhodné chránit čerstvý beton před promrznutím.

Opačný případ nastává při práci s betonovou směsí v letním období, kdy teplota okolního vzduchu překračuje hranici 30 °C. Teplota čerstvého betonu obecně nesmí překročit hranici 27 °C, vyšší teplota je dovolena pouze na základě průkazních zkoušek zaměřených na vyšší teplotu, při kterých byla prokázána dostatečná doba zpracovatelnosti, obsah vzduchu a reálnost dosažení předepsaných vlastností ztvrdlého betonu. V letním období je doporučeno provádět betonáž ve večerních hodinách před chladnou částí dne a použit dočasnou ochranu (bílé nástřiky). Vysoké teploty mají negativní vliv na čerstvý beton, zejména rychlejší ztrátu konzistence a nebezpečí nestability obsahu vzduchu u provzdušněných betonů. [9]

4.2 KONZISTENCE

Konzistence čerstvého betonu vyjadřuje jeho odpor proti přetváření. Vyjadřuje se třídou konzistence podle použitého druhu zkušební metody a jejího výsledku. Zjednodušeně řečeno, konzistence určuje tekutost čerstvého betonu, respektive jeho sypkost. [9,20]

4.2.1 SEDNUTÍ KUŽELE

Zkouška sednutím kužele se značí S (Slumptest) a provádí se dle normy ČSN EN 12350-2. Norma určuje, že tato zkouška není vhodná, pokud je velikost maximálního zrna

kameniva > 40mm. Zkouška rozděluje konzistenci do pěti tříd S1-S5. S1 značí tuhou směs, S2 značí směs plastickou, S3 je směs měkká, S4 označuje směs velmi měkkou a poslední třída S5 je pro směs tekutou. Zatřídění probíhá dle normy *ČSN EN 206+A1 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. (tab. 4.1). [2]

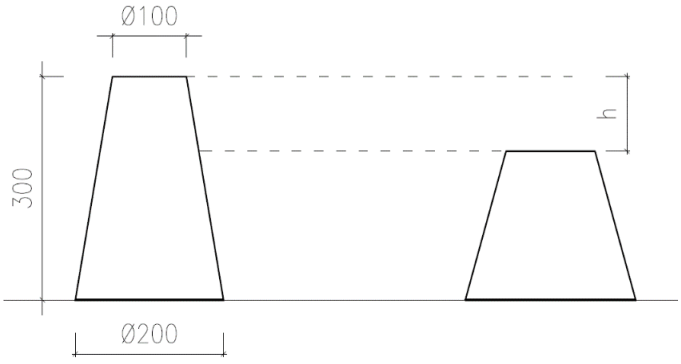
Tab. 4.1: Klasifikace dle sednutí kužele (převzato z [9])

STUPEŇ	SEDNUTÍ (h) [mm]
S1	10-40
S2	50-90
S3	100-150
S4	160-210
S5	≥220

Ke stanovení sednutí jsou zapotřebí tato zkušební zařízení:

- forma - Abramsův kužel (obr. 4.1)
- propichovací tyč
- násypka
- podkladní deska
- lopatka

Výše je shrnutí, co vše je potřeba k provádění zkoušky, jak ji klasifikovat a následuje popis zkoušky.



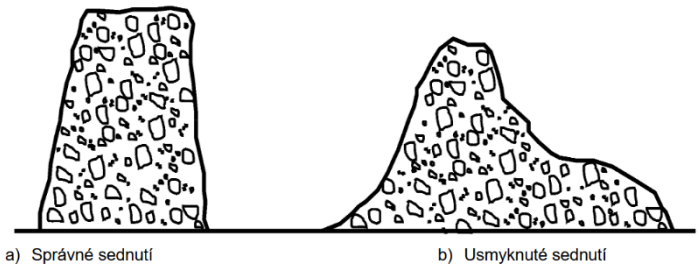
Obr. 4.1: Abramsův kužel a stanovení sednutí h (převzato z [2])

Ze všeho nejdříve je třeba, jak už je u práce s betonem zvykem, před používáním namočit všechny používané pomůcky. Následně se před začátkem plnění, kužel přichytí k podkladní desce, což se provede přišlápnutím dvou plošek. Poté se začne plnit Abramsův kužel (dále jen kužel) po jednotlivých třetinách výšky kužele, přičemž po naplnění každé vrstvy (třetiny) se beton uvnitř kužele zhutní pomocí propichovací tyče 25 vpichy, tak aby mírně zasahovaly do předchozí vrstvy (platí pro zhutňování druhé a třetí

vrstvy). Po naplnění kužele a začištění betonu zároveň s horní hranou, se zvedá kužel. Doba zvedání kužele by se měla pohybovat 2-5 sekund. Celková doba celé zkoušky by neměla být delší, než 150 sekund. [2,15]

Následně ihned po úplném zvednutí změříme sednutí h (obr 4.1). Výslednou hodnotu h zaokrouhlujeme na 10 mm. [26]

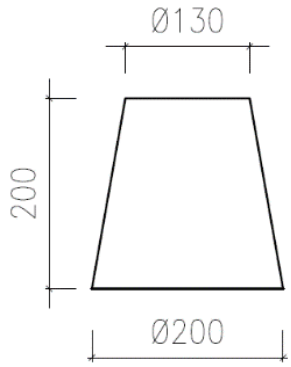
Výsledek zkoušky se dá považovat za platný, pokud povrch betonu zůstane neporušený a kužel je symetrický (obr 4.2). Pokud se vzorek usmykne (obr. 4.2), zkouška se musí opakovat s jiným vzorkem. V případě, že se i nový vzorek usmykne, potom má beton nedostatečnou plasticitu a je nevhodný pro zkoušení sednutím kužele. [26]



Obr. 4.2: Tvary sednutí [123]

4.2.2 ROZLITÍ

Zkouška rozlitím se značí F (Flowtest) a provádí se dle normy ČSN EN 12350-5. tato zkouška je vhodná zejména pro betony s maximální velikostí zrna < 63 mm. Zkouška se dělí podle velikosti rozlití do sedmi tříd F1-F6. F1 značí tuhou směs, F2 je označení pro směs plastickou, F3 je směs měkká, F4 označuje směs velmi měkkou, F5 je tekutá směs, F6 značí směs velmi tekutou. Klasifikace do jednotlivých tříd probíhá dle normy *ČSN EN 206+A1 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. (tab. 4.2) [5,15]



Obr. 4.3: Rozměry formy (převzato z [5])

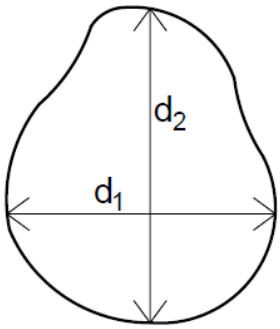
Ke zkoušce rozlitím jsou potřeba tato zkušební zařízení:

- střásací stolek (700x700 mm)
- dusadlo
- metr/pravítko
- forma - Abramsův kužel (obr. 4.3)
- stopky

Tab. 4.2: Klasifikace dle rozlití (převzato z [9])

STUPEŇ	PRUMĚR ROZLITÍ [mm]
F1	>340
F2	350-410
F3	420-480
F4	490-550
F5	560-620
F6	> 630

Postup zkoušky: Nejdříve namočíme všechny používané zařízení. Následně postavíme formu kužele na střed střásacího stolku a přišlápneme. Poté začneme formu plnit ve dvou vrstvách a každou vrstvu zhutníme desetinásobným dusáním předepsaným dusadlem a následně s ním zarovnáme beton u horního povrchu. Po třiceti sekundách formu zvedneme a následně zvedneme i horní desku střásacího stolku, kterou necháme padnout volným pádem. Volný pád je dán polohou dvou zarážek, které jsou součástí střásacího stolku a jsou od sebe ve vzdálenosti 40 mm. Zvedání horní desky opakujeme celkem 15x s periodou jedné až tří sekund. Následně změříme největší rozměry rozlitého betonu ve dvou na sebe kolmých směrech d_1 a d_2 (obr. 4.4). [5,15,29]



Obr. 4.4: Měření rozlití (převzato z [5])

Ze dvou získaných rozměrů uděláme průměr, který následně zaokrouhlíme na 10 mm. V případě, že by se objevila segregace (stav, kdy se oddělí cementová kaše od hrubého kameniva) zkouška je neplatná. [5,15,29]

4.2.3 SEDNUTÍ-ROZLITÍM KUŽELE A ČAS T_{500}

Zkoušku značíme SF (Slump-flow) a provádí se dle normy ČSN EN 12350-8. Rozlití kužele se používá pro určení konzistence samozhutnitelných betonů, což jsou vysoce tekuté betony, mající schopnost se sami rozlévat a je možné je zpracovávat bez jakéhokoliv hutnění (vibrování). Tato zkouška vychází z principu sednutí kužele (používá se rozměrově stejný kužel – obr. 4.1) a slouží k vyhodnocení rychlosti tečení a schopností téct samozhutnitelných betonů, přičemž mu v tečení nic nebrání. Zkouška se dle normy *ČSN EN 206+A1 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda* dělí na třídy SF1-SF3. Rozdělení do jednotlivých tříd je uvedeno v následující tabulce 4.3 (klasifikace není použitelná pro D_{max} větší než 40 mm [8,9,15]

Tab. 4.3: Třídy konzistence rozlitím kužele (převzato z [9])

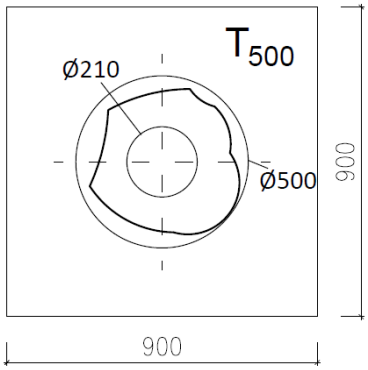
TŘÍDA	ROZLITÍ [mm]
SF1	550-650
SF2	660-750
SF3	760-850

Ke zkoušce rozlití kužele jsou potřeba následující zařízení:

- podkladní deska (900x900 mm)
- forma – Abramsův kužel (obr. 4.1)
- lopatka
- stopky

Před zkouškou navlhčíme všechny používané zařízení, které budeme používat. Následně položíme na podkladní desku Abramsův kužel, který pomocí plošek přišlápneme a naplníme celý bez propichování až po okraj kužele. Po třiceti sekundách zvedneme kužel a zároveň spustíme stopky, které měří čas rozlití betonu do doby, než se beton dostane na jakékoliv místo vyznačené kružnicí na podkladní desce s Ø 500 mm (obr. 4.5). Po ukončení rozlití se změří největší rozměr rozlitého betonu d_1 a rozměr d_2, který je kolmý na d_1 (obr. 4.5). Zároveň kontrolujeme, zda nedošlo k segregaci kameniva, pokud ano,

zkouška je neplatná. Výsledkem zkoušky je průměrný rozměr rozlití betonu zaokrouhlený na 10 mm a čas T_{500} zaokrouhlený na 0,5 sekundy. [8,15]



Obr. 4.5: Podkladní deska - vyznačený Ø 500 a Ø 210

Kvalita samozhutnitelných betonů se v čerstvém stavu stanovuje pomocí dalších zkoušek, které popisují a ověřují jejich chování. Jedná se o testy dle norem ČSN: [15]

- zkouška V-nálevkou (Funnel test)- ověření viskozity
- zkouška L-Boxem - schopnost protékat mezi jednotlivými pruty výztuže
- zkouška segregace při prosévání – odolnost proti segregaci
- zkouška J-ring – ověření schopnosti protékání

4.2.4 VEBE

Zkouška se značí písmenem V a je popsána v normě ČSN EN 12350-3. Je vhodná především pro beton, ve kterém se nachází kamenivo s maximálním zrnem větším než 63 mm. Zkouška není vhodná, pokud je při zkoušce naměřený čas menší než 5 s nebo delší jak 30 s. Klasifikace zkoušky je dle normy *ČSN EN 206+A1 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda* rozdělena do pěti tříd V0-V4. V0 platí pro směs velmi tuhou, V1 je směs tuhá, V2 je směs plastická, V3 označuje směs měkkou a V4 značí směs velmi měkkou. Rozdělení podle času z normy je uvedeno níže v tabulce 4.4 [3,9,27]

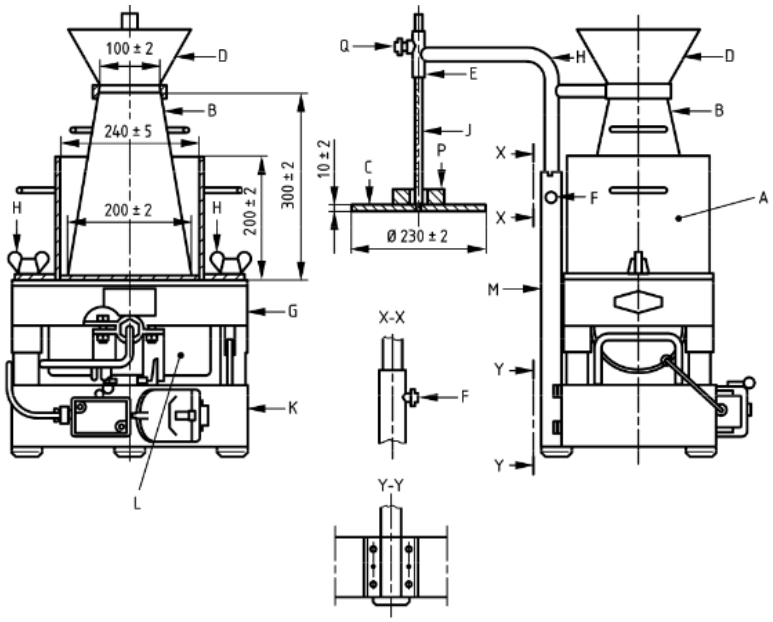
Tab. 4.4: Klasifikace konzistence dle času Vebe (převzato z [9])

STUPEŇ	ČAS VEBE [s]
V0	≥31
V1	21-30
V2	20-11
V3	10-6
V4	5-3

Při zkoušce Vebe jsou potřebná následující zařízení:

- přístroj Vebe (obr. 4.6)
- vibrační stůl
- propichovací tyč
- stopky
- forma - kužel (rozměrově stejný jako na obr. 4.1)
- lopatka

Nejdříve umístíme přístroj Vebe (obr. 4.6) na tuhý vodorovný podklad, nádobu (A) musíme připevnit k vibračnímu stolu (G) pomocí křídlových matic (H), následně navlhčíme kužel (B) a vložíme do nádoby. Nakonec nasadíme násypku (D) na formu a zajistíme stavěcím šroubem (F). [27]

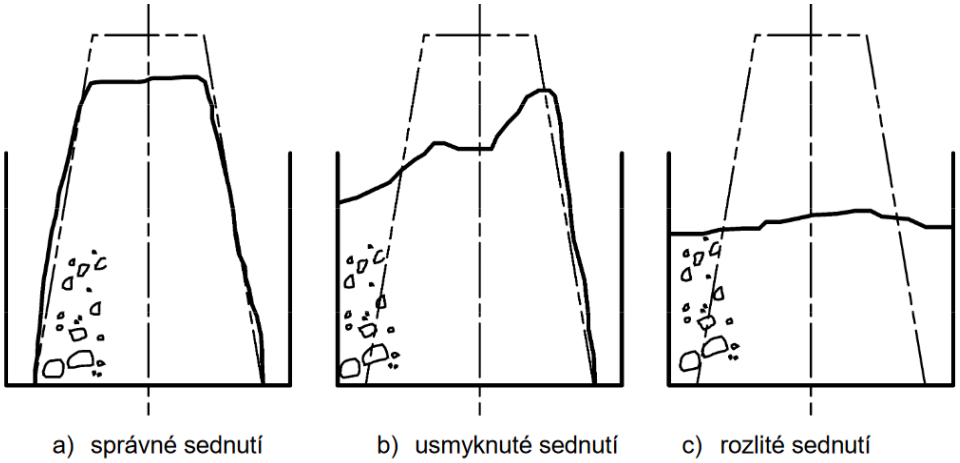


Obr. 4.6: Přístroj Vebe [19]

Po sestavení soustavy začneme plnit formu betonem ve třech vrstvách, každou vrstvu zhutníme 25 vpichy propichovací tyčí. Vpichy by měly u druhé a třetí vrstvy mírně zasahovat do vrstvy předchozí. Po zhutnění vrchní vrstvy povolíme stavěcí šroub a zvedneme násypku a vrátíme do původní polohy a zajistíme stavěcím šroubem v nové poloze. Je potřeba dát si pozor, aby se kužel nezvedl, případně nepohnul a beton nenapadal do nádoby. Zarovnáme beton horní vrstvy pomocí propichovací tyče, kužel oddělíme, pomocí držáků, od betonu svislým pohybem nahoru a mělo by trvat 2-5 s rovnoměrně a bez otáčení, aby nebyl ovlivněn beton. Pokud se beton usmykne, rozlije nebo nedotýká stěn

nádoby (obr. 4.7) je nutno tyto stavy zaznamenat. Následně průhlednou kruhovou desku (C) natočíme nad beton, uvolníme šroub (Q) a opatrně pustíme kruhovou desku dolů, až se dotkne betonu. Po dotyku kruhové desky nejvyššího bodu betonu se utáhne šroub a na vodící liště (J) se odečte sednutí. Po odečtení pět uvolníme šroub, aby mohla kruhová deska klesat dolů do nádoby a dotýkat se celou plochou betonu. Spustíme vibraci stolu a současně s ní stopky. Měříme, dokud se celý spodní povrch kruhové desky dotýká cementové malty, poté zastavíme stopky a vypneme vibrační stůl.

Výsledný změřený čas zaokrouhlíme na sekundy a vyhodnotíme stupeň konzistence dle tab. 4.4. Celá zkouška by měla probíhat bez přerušení a její celková délka by neměla překročit 5 minut. [3,19,27]



Obr. 4.7: Druhy sednutí dle Vebe [19]

4.2.5 STUPEŇ ZHUTNITELNOSTI

Zkoušku značíme pomocí písmene C (Compaction) a provádíme dle normy ČSN EN 12350-4. Zkouška je vhodná pro betony s maximálním zrnem kameniva < 63 mm. V případě, že je stupeň zhutnitelnosti betonu menší než 1,04, nebo naopak větší než 1,46, není tato zkouška vhodná pro daný typ betonu. Zkouška se dle normy *ČSN EN 206+A1 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda* dělí na stupně C0-C3. Stupeň C0 značí směs velmi tuhou, C1 označuje směs tuhou, C2 je směs plastická, C3 značí směs měkkou a C4 je pouze pro lehké betony. Zatřídění do jednotlivých stupňů je uvedeno níže (tab. 4.5). [4,9,28]

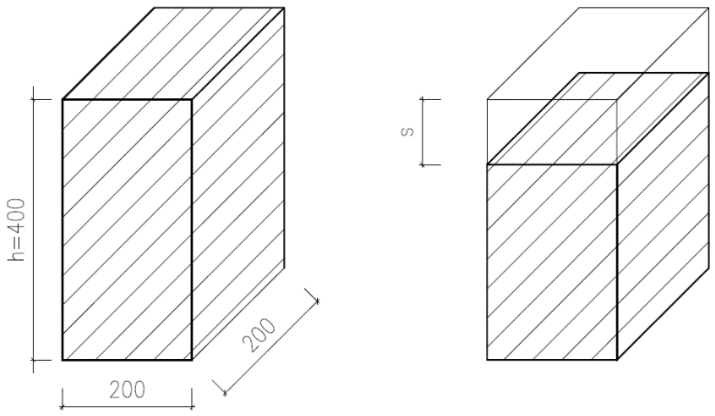
Tab. 4.5: Klasifikace dle zhutnitelnosti (převzato z [9])

STUPEŇ	STUPEŇ ZHUTNITELNOSTI
C0	≥ 1,46
C1	1,45-1,26
C2	1,25-1,11
C3	1,10-1,04
C4	< 1,04

Pro zkoušku potřebujeme tato zařízení:

- vibrační stůl
- nádoba (obr. 4.8)
- srovnávací lišta, delší než 200 mm

Jako první vyčistíme a navlhčíme nádobu, kterou položíme na vibrační stůl a poté naplníme nádobu až po horní okraj bez hutnění. Po naplnění zarovnáme horní povrch pomocí srovnávací lišty. Následně zhutníme beton zapnutím vibračního stolu a hutníme, dokud beton zmenšuje objem. [4,28]



Obr. 4.8: Beton v nádobě před zhutněním a po zhutnění

Po zhutňování stanovíme hodnotu *s*, která značí průměrnou hodnotu mezi horním povrchem a povrchem zhutněného betonu s přesností na 1 mm stanovenou ze čtyř měření na každé straně. Stupeň zhutnitelnosti C potom stanovíme jako:

$C = \frac{h_1}{h_1 - s}$ - kde h_1 je vnitřní výška nádoby.

Výsledek zkoušky zaokrouhlíme na dvě desetinná místa a stanovíme dle tab. 4.5 stupeň konzistence. [4,28]

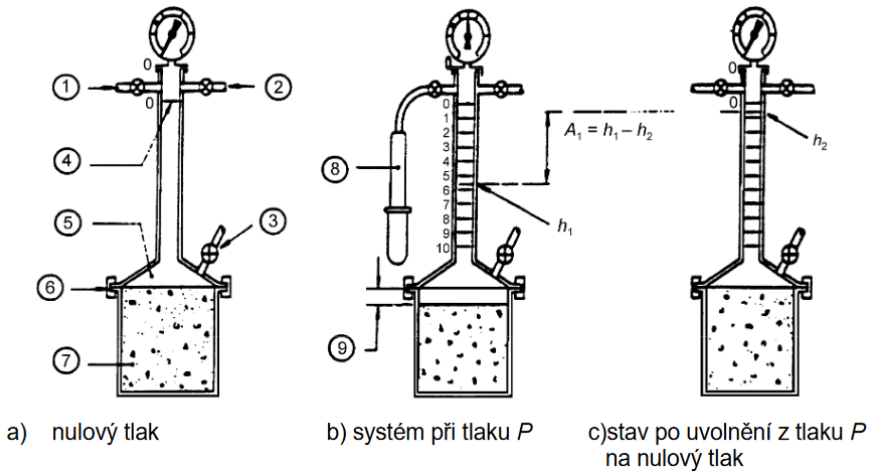
4.3 MĚŘENÍ OBSAHU VZDUCHU

Obsah vzduchu v čerstvém betonu je důležitá zkouška, neboť vzduch ve směsi velmi ovlivňuje vlastnosti ztvrdlého betonu, především mrazuvzdornost, pevnost v tlaku a modul pružnosti. V současné době se pro stanovení obsahu vzduchu používá metoda vodního sloupce a tlakoměrná metoda. Tyto metody jsou popsány v ČSN EN 12350-7.

4.3.1 Metoda vodního sloupce

Měřicí přístroj se skládá z těchto částí:

- nádoba na zkoušení obsahu vzduchu
- víko pro uzavření nádoby
- měřicí trubice
- víčko s odvzdušňovacím ventilem vzduchové komory
- vzduchová hustilka



Obr. 4.9: Přístroj pro metodu vodního sloupce [19]

Naplníme nádobu betonem a poté zhutníme, například na vibračním stole. Po zhutnění zarovnáme beton s horním povrchem nádoby (7) a připevníme víko k nádobě pomocí svorek (6). Zkušební přístroj se zaplní vodou a paličkou na něj poklepeme z důvodu odstranění vzduchových bublin na vnitřním povrchu víka. Poté se nastaví vodní hladina (5) na nulovou značku (4) vypouštěním vody pomocí vypouštěcího ventilu (3), zároveň musí být otevřený odvzdušňovací ventil. Uzavřeme odvzdušňovací ventil (2) a pomocí hustilky (8) vyvineme v nádobě zkušební tlak P. Zaznamenáme hladinu h_1 na stupnici měrné trubice a uvolníme tlak. Následně odečteme polohu hladiny h_2 v měrné trubici a v případě obsahu vzduchu menší než 0,2 % z tohoto čtení provedeme výpočet $A_1 = h_1 - h_2$, kde A_1 představuje skutečný obsah vzduchu. V případě, že je obsah vzduchu větší než

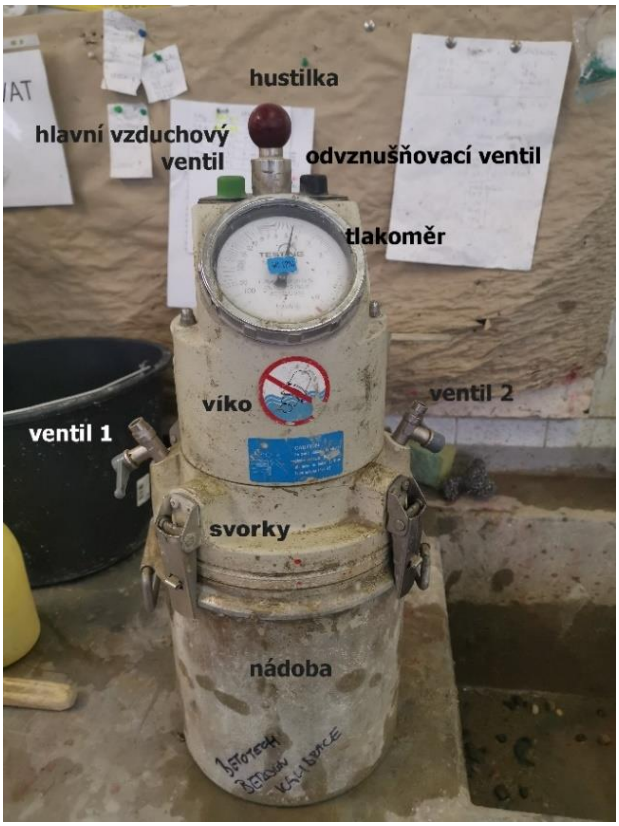
0,2 %, provedeme znovu natlakování a odečteme hladinu h_3 a h_4 stejně jako u hladin h_1 a h_2. Pokud rozdíl h_4-h_2 je 0,1 % vzduchu nebo méně zaznamená se hodnota h_3-h_1 jako skutečný obsah vzduchu. Pokud h_4-h_2 je větší než 0,1 % vyskytla se nejspíše chyba v těsnosti nádoby a zkouška je neplatná. [7,19]

4.3.2 Tlakoměrná metoda

Tlakoměrná metoda se pro stanovení obsahu vzduchu používá v praxi. K této zkoušce se používá měřicí přístroj (tlakový hrnec - obr. 4.10), který pracuje na principu: jediná stlačitelná složka čerstvého betonu je vzduch. V uzavřené nádobě je známý objem vzduchu o známém tlaku a v uzavřené nádobě přístroje se nachází neznámý objem vzduchu v betonu. Ke zkoušce potřebujeme pouze měřicí přístroj, vibrační stůl, paličku a lopatku.

Měřicí přístroj se skládá z těchto částí (obr. 4.10):

- nádoba (min. obsah 5 l)
- víko pro uzavření nádoby
- tlakoměr
- vzduchová hustilka
- ventily – hl. vzduchový, odvzdušňovací



Obr. 4.10: Tlakový hrnec

Nejdříve navlhčíme nádobu zevnitř a poté jí začneme plnit betonem ve třech vrstvách. Po naplnění každé třetiny zhutníme pomocí vibračního stolu. Po naplnění a zhutnění betonu v nádobě provedeme zarovnání betonu s horní hranou a očištění dosedací plochy pro víko, které připevníme pomocí svorek k nádobě. Dále vyplníme pomocí ventilů 1 a 2 prostor nad betonem vodou a poklepeme paličkou, abychom dostali pryč vzduch od vnitřní stěny nádoby. Po vyplnění prostoru uzavřeme ventily 1 a 2 a pomocí hustilky vytvoříme tlak v horní komoře, tak aby ručička na tlakoměru byla na počáteční hodnotě, v případě přetlakování, můžeme odpustit vzduch odvzdušňovacím ventilem. Po ustálení ručičky tlakoměru na počáteční hodnotě zmáčkneme hlavní vzduchový ventil a držíme, dokud se ručička neustálí, následně odečteme procentuální hodnotu vzduchu v betonu, kterou zaokrouhlíme s přesností na 0,1 %. [7,19,22]

4.4 OBJEMOVÁ HMOTNOST

Stanovení objemové hmotnosti zhutněného čerstvého betonu provádíme pomocí normy ČSN EN 12350-6.

Pro stanovení objemové hmotnosti potřebujeme následující zařízení:

- nádoba (rozměry nejméně 150 mm)
- vibrační stůl
- váha
- lopatka

Prázdnou nádobu, nejdříve zevnitř navlhčíme a poté jí prázdnou zvážíme, čímž dostaneme hmotnost m_1. V dalším kroku nádobu naplníme betonem a beton zhutníme na vibračním stole (pevně přitlačíme nádobu ke stolu a vibrujeme jen krátce), zarovnáme beton s horním okrajem. Takto naplněnou nádobu zvážíme a dostaneme hmotnost m_2. Poslední potřebnou veličinou k výpočtu objemové hmotnosti je objem nádoby V, který buď známe, nebo případně vypočítáme. Následně už můžeme dopočítat objemovou hmotnost dle následujícího vzorce:

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V} \ [kg/m^3]$$

Objemovou hmotnost po vypočtení zaokrouhlíme na nejbližších 10 kg/m^3 [6]

4.5 OBSAH CEMENTU A VODNÍ SOUČINITEL

Pro zjišťování obsahu cementu, vody, případně příměsí, musíme použít hodnoty ze záznamu používaného dávkovacího zařízení. Pro zjišťování obsahu vody nejsou tyto získané hodnoty ovšem příliš přesné a dají se používat spíše orientačně, neboť neznáme přesnou vlhkost jednotlivých frakcí kameniva, ale pouze odhadujeme.

V případě vody můžeme stanovit její množství v čerstvém betonu také pomocí sušárny, kdy vložíme zvážený vzorek do sušárny nastavené na 105 °C po dobu 24 hodin. Následně vzorek vyjmeme ze sušárny a opět zvážíme v již vysušeném stavu. Rozdíl hmotností čerstvého a vysušeného betonu odpovídá množství vody v daném vzorku, který je následně nutné přepočítat pomocí objemové hmotnosti na obsah vody v 1 m^3 betonu. [9]

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Úkolem praktické části bakalářské práce bylo provedení měření obsahu vody v čerstvém betonu pomocí přístroje „SONO-WZ Analyzer“ a následné porovnání s hodnotami získanými z běžných metod uvedených v kapitole 4 (záznam z dávkovacího zařízení, sušárna). Měření probíhala v první fázi pro beton odebíraný z betonárny a ve druhé fázi beton míchaný v laboratoři, u kterého bylo známé přesné složení záměsi.

5.1 POUŽÍVANÉ ZAŘÍZENÍ

V průběhu provádění jednotlivých zkoušek a měření byla využívána tato zkušební zařízení zapůjčené laboratoří BETOTECH v Berouně:

- SONO-WZ Analyzer
- tlakový hrnec pro měření obsahu vzduchu
- Abramsův kužel – konzistence sednutím
- podkladní deska
- kolečko – doprava betonu do laboratoře
- lopata
- zednická lžíce
- zednická naběračka (fanka)
- váha
- vibrační stůl
- teploměr
- míchačka na beton
- plastový kýbl

Výše uvedená zařízení odpovídají všem používaným zařízením používaným v průběhu jednotlivých měření pro experimentální část bakalářské práce, ať už se jednalo o míchání betonu v laboratoři, nebo odebírání betonu z betonárny.

5.2 SONO-WZ ANALYZER

5.2.1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA

Přístroj pracuje na principu zdokonalené impulzní metody TRIME (Time domain Reflectometry with Intelligent MicroElements), která je založena na metodě TDR (Time Domain Reflectometry). To je metoda dříve využívaná k detekci porušeného kabelového vedení a je podobná radaru (podrobnější popis a řešení této metody není součástí této práce). Dnes se tato metoda rozšířila do více odvětví a vedle telekomunikací se používá k určování vlhkosti, vodivosti a též při určování polohy hladiny kapalných a sypkých látek v nádržích a silech. Zařízení s metodou TRIME generuje vysokofrekvenční impulz 0,6 až 1 Ghz, který se šíří podél vlnových vodičů. Principem metody je změření času, po který vysokofrekvenční impulz proběhne tam a zpět po sondě zapíchnuté v betonu. Následně jsou získaná data ze sondy odeslána do SONO-DIS, což je jednotka s displejem, která převede získané výsledky na displej v požadované podobě.
[21, 23]

Obr. 5.1: SONO WZ Analyzer

5.2.2 NASTAVENÍ VSTUPNÍCH HODNOT

Před měřením obsahu vody pomocí přístroje SONO-WZ Analyzer je zapotřebí stanovit objemovou hmotnost (*Density*) čerstvého betonu. Provedení je uvedeno v kapitole 4.4, jediným rozdílem je zaokrouhlování hodnoty na 5 kg/m^3 oproti zaokrouhlování na 10 kg/m^3, které je uvedeno v normě. Výrobce uvádí, že důvodem je minimalizace odchylky obsahu vody vzhledem k prováděnému zaokrouhlování, neboť při zadání rozdílu objemové hmotnosti o 100 kg/m^3 do zařízení, znamená výsledný rozdíl obsahu vody

8 l/m^3 . Dalšími hodnotami, které se nastavují před měřením (obr. 5.2) jsou: korekce vody (*G-Set*) a parametr charakteristický pro dané složení betonu (*CHAR*). [21]

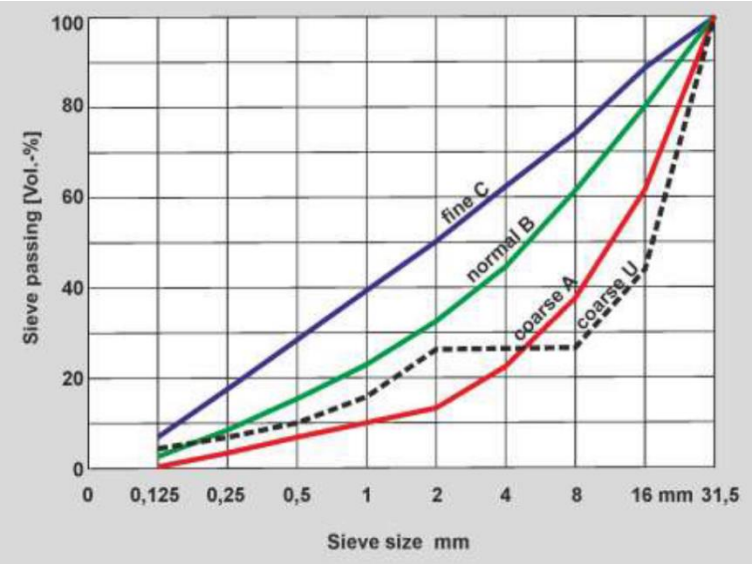
Obr. 5.2: Vstupní hodnoty

Přístroj SONO-WZ měří prakticky tři druhy vody:

a) volnou vodu v betonové směsi
b) nahrazenou vodu pomocí chemických přísad (plastifikační přísady)
c) část jádrové vody (voda uvnitř kameniva)

Pro zjišťování vodního součinitele je nejdůležitější voda volná, kterou přístroj zvládá měřit. SONO-WZ měří pouze část jádrové vody (přibližně jednu třetinu). Obsah jádrové vody závisí na používaném kamenivu a jeho absorpčních schopnostech, běžně se pohybuje mezi 5 až 50 l/m^3. V důsledku toho, nastavujeme před měřením korekční hodnotu vody (*G-Set*), což je od výrobce doporučeno nastavovat na hodnotu -10 l/m^3. Toto nastavení znamená, že výsledky po dokončení měření se automaticky zmenší o zadaných 10 l/m^3, maximální rozsah korekční hodnoty je ± 50 l/m^3. Přesnější stanovení korekce vody lze dosáhnout po porovnání několika měření s hodnotami zjištěné pomocí sušárny (popsáno v kapitole 4.5). Obdobně, pokud známe přesné složení betonu (obsah vody), čehož lze dosáhnout, pokud je kamenivo vysušené a do betonu se tak přidává pouze známé množství záměsové vody. Posledním krokem před začátkem měření je nastavení charakteristického parametru pro dané složení betonu (*CHAR*), tento parametr opravuje obsah vody v závislosti na křivce zrnitosti použitého kameniva v betonu (obr. 5.3). Na výběr máme ze čtyř hodnot: *normal*, *fine*, *coarse*, *special*. Pro křivku zrnitosti *normal* se neaplikuje žádná korekce vody. U betonu s jemnějším kamenivem a křivkou zrnitosti fine dojde ke zvýšení obsahu vody oproti hodnotě *normal* o 10 l/m^3. U hrubšího kameniva odpovídajícího křivce zrnitosti *coarse* dochází ke snížení obsahu vody oproti hodnotě

normal o 10 l/m^3, hodnota *coarse* se dále používá u betonů s obsahem vody menším než 160 l/m^3 a betonů s větším množstvím plastifikačních přísad. Poslední hodnota *special* se používá pro betony s jemným kamenivem frakce 4/8 mm a větším množstvím přísad (plastifikátory) a příměsí (popílek, křemičité úlety). Oproti hodnotě *normal*, dochází ke korekci obsahu vody o 15 l/m^3. [21]



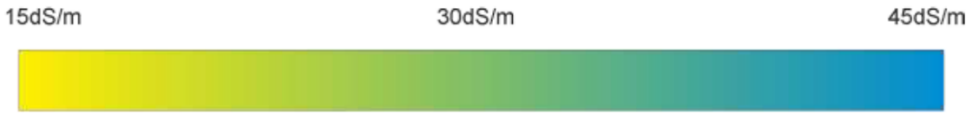
Obr. 5.3: Parametr CHAR v závislosti na křivce zrnistosti [21]

Výrobce uvádí, že po nastavení všech těchto parametrů (*Density, G-Set, CHAR*) by hodnoty obsahu vody měly být v zásadě stejné jako u postupu měření obsahu vody v sušárně, neboť voda získaná z vysušení vzorku = volné vodě + jádrové vodě + „obsah vody“ z chemických přísad. [21] Toto tvrzení bylo ověřováno v měřeních, viz další kapitola.

5.2.3 HODNOTY STANOVENÉ SONO-WZ DIS

Přístroj SONO-DIS na displeji zobrazí kromě již zmíněného obsahu vody v čerstvém betonu i další parametry a hodnoty, které výrobce doporučuje evidovat při měření: EC_{TRIME}, směrodatná odchylka, počet naměřených hodnot, *radar time tp*.

EC_{TRIME} je parametr elektrické vodivosti, který je závislý na druhu a obsahu cementu v betonu. Na obrázku (obr. 5.4) jsou uvedeny hodnoty, kterých parametr nabývá pro různé druhy betonů. Čím vyšší je jeho hodnota, tím více cementu se nachází ve složení betonu, naopak betony s menším obsahem cementu nabývají menších hodnot. Naměřenou hodnotu lze použít pro předběžnou analýzu obsahu a typu cementu. [21]



Obr. 5.4: Rozsah měřených hodnot EC_{TRIME} [21]

Směrodatná odchylka informuje o kvalitě provedených měřeních. Minimální počet měření je 4 až 5 za předpokladu, že hodnota je menší než 0,5. Pokud je beton nedostatečně homogenní a odchylka se pohybuje po pěti měřeních nad hodnotou 0,5, je zapotřebí provést další měření, dokud odchylka neklesne pod hodnotu 0,5. V případě, že měříme obsah vody v betonech, které mají snahu „krvácet“, měl by být počet měření větší než 5. Pokud je obsah vody menší než 100 l/m^3, přístroj takovéto množství nedokáže změřit a pouze zobrazí na displeji varovný symbol. Podle výrobce je to opatření kvůli špatnému měření, kdy sonda není úplně ponořena v betonu a ovlivnilo by to výsledek měření, proto se nepočítá do naměřené průměrné hodnoty.

Poslední veličinu, kterou přístroj zobrazí je *radar time tp*, což je čas vyjádřený v pikosekundách, za který se vyslaný impulz vrátí zpět do sondy. [21]

5.2.4 OVLIVŇUJICÍ FAKTORY

Měření pomocí přístroje SONO-WZ je stejně jako spousta jiných měřicích přístrojů ovlivněna celou řadou faktorů. V našem případě se jedná zejména o vliv plastifikačních a superplastifikačních přísad, obsah vzduchu v čerstvém betonu, křivce zrnitosti kameniva a v neposlední řadě nedostatečně zhomogenizovaná betonová směs. Problémem mohou být i betony, které mají tendenci „krvácet“, u těchto betonů může docházet k větší odchylce oproti vysušení v sušárně. [21]

5.3 POSTUP PROVÁDĚNÍ

5.3.1 BETON Z BETONÁRNY

Veškerý odebíraný beton pocházel z betonárny (obr. 5.5), kterou provozuje Českomoravský beton a nachází se v Berouně. Jedná se o betonárnu věžového typu s horizontálním mísícím jádrem a automatickým, počítačem řízeným provozem včetně automatického dávkování přísad do betonu a objemem míchačky 2 m^3. Betonárna je pro zimní období vybavena předehřevem kameniva a ohřevem záměsové vody. Hodinový výkon betonárny je 80 m^3. [18]

Obr. 5.5: Betonárna ČMB Beroun

Odebírání betonu probíhalo za pomoci autodomíchávačů. Nejdříve byl stanovený objem betonu klasicky namíchán na betonárně a následně sypán do autodomíchavače. Po naplnění požadovaného objemu betonu byl beton promíchán v autodomíchávači (doba míchání se v průběhu jednotlivých odběrů lišila, nicméně pro ověření funkčnosti zařízení SONO-WZ to nemá žádný vliv) a následně vysypán do kolečka (obr. 5.6). Ke každému odebranému betonu bylo dodáno složení vyrobených betonových směsí získané ze záznamu automatického dávkovacího zařízení.

Obr. 5.6: Odebírání betonu z autodomíchávače

Po naplnění kolečka betonem (obr. 5.6) byl beton převezen do laboratoře společnosti BETOTECH, která sídlí vedle areálu berounské betonárny. Prvním měření na čerstvém betonu vždy ihned po přivezení bylo prováděno měření teploty betonu (obr. 5.7).

Obr. 5.7: Měření teploty betonu

Po ustálení teploty byla odečtena a poznamenána teplota betonu. Následně byla stanovena objemová hmotnost čerstvého betonu, která se použije jako vstupní hodnota pro přístroj SONO-WZ, měření se provádělo pomocí spodní nádoby od tlakového hrnce

o objemu 8 l (obr. 5.8). Postup měření objemové hmotnosti byl prováděn dle normy (kapitola 4.4). Jediným rozdílem bylo zaokrouhlování hodnoty na 5 kg/m^3 (více v kapitole 5.1.2)

Obr. 5.8: Měření obsahu vzduchu

Následně jsem prováděl stanovení obsahu vzduchu v betonu (obr. 5.8). Měření bylo prováděno v důsledku možné odchylky měření, pokud by obsah vzduchu výrazně kolísal. Posledním zkouškou před samotným použitím přístroje SONO-WZ bylo stanovení konzistence betonu pomocí sednutí kužele (obr. 5.9, postup v kapitole 4.2.1). Stanovení konzistence bylo prováděno z důvodů ověření, zda se nejedná beton s vlastností „krvácení“, což by znamenalo provedení více měření přístrojem SONO-WZ. Před každou zkouškou byl čerstvý beton v kolečku dostatečně promíchán („zhomogenizován“), aby se výsledky daly brát jako vypovídající pro veškerý beton v kolečku, neboť při odběru pro měření obsahu vody se využívalo větší množství než pro předchozí zkoušky.

Obr. 5.9: Zkouška sednutí kužele

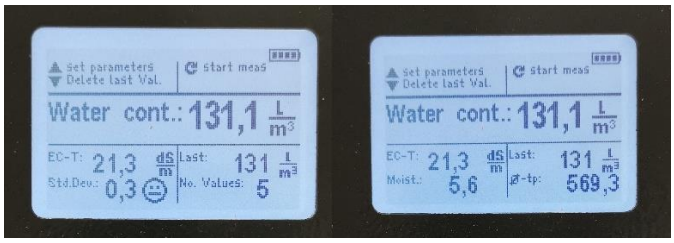
Nyní už je na řadě samotné měření pomocí přístroje SONO-WZ. Ze všeho nejdříve byly na zařízení SONO-DIS nastaveny všechny vstupní hodnoty (uvedeno v kapitole 5.1.2), parametr *G-Set* byl u všech měření dle doporučení výrobce nastaven na hodnotu -10 l/m^3. Objemovou hmotnost jsme si stanovili již v předchozím kroku a měření byla zaznamenávána pro všechny parametry C*HAR*, tedy: *normal*, *fine*, *special*, *coarse*. Z kolečka je odebrán promíchaný čerstvý beton do klasického plastového kýble (podle pokynů výrobce přístroje nesmí být používán kovový kýbl z důvodů nepřesnosti měření [21]). Následně se udělá potřebný počet měření (popsáno v kapitole 5.2.3). Sonda SONO-WZ se musí zastrčit celá do betonu pod úhlem 70° až 90° v blízkosti okraje kýble. Před začátkem samotného měření je ještě potřeba do kýble v místě umístění sondy lehce kopnout, aby na sondě nevznikaly žádné vzduchové mezery. V každém dalším měření, které provádíme, musí být sonda zastrčena do jiného místa než při přechozím měření, nesmí se stát, že bychom umístili sondu několikrát na jedno místo, neboť se snažíme o co nejpřesnější získanou hodnotu. Pokud by se měření provádělo na velmi tekutých betonových směsí, je vhodné používat přiloženou plastovou lopatku, která se nasadí na SONO-WZ. Lopatka během měření zajišťuje udržení větších zrn kameniva v okolí sondy, která by jinak „odtekla“ pryč a vzorek v okolí sondy by nebyl dostatečně reprezentativní.

Úhel, pod kterým se sonda strká do betonu je stejný jako v případě měření bez plastové lopatky 70° až 90°.

V průběhu měření jednoho vzorku se mi stalo, že se u několika měření objevil velmi rozdílný obsah vody a následně s ním i směrodatná odchylka, proto byla tato jednotlivá měření odstraněna a provedena nová, tak aby se zmenšila směrodatná odchylka na co nejmenší hodnotu.

Obr. 5.10: Měření SONO-WZ

Po provedení všech měření byly zaznamenány hodnoty (obr. 5.11) pro všechny křivky zrnitosti a další výsledky získané z přístroje (popsáno v kapitole 5.2.3).



Obr. 5.11: Naměřené hodnoty SONO-WZ

V této fázi byly již známé 2 hodnoty obsahu vody zjištěné pomocí záznamového zařízení z betonárny a SONO-WZ. Jelikož údaje z betonárny jsou pouze orientační je potřeba pro ověření funkčnosti zkoumaného zařízení stanovit třetí hodnotu, která by měla být zároveň nejpřesnější. Proto byl z každého kýble po dokončení měření odebrán vzorek o hmotnosti větší než 1500 g (obr 5.12). Před odebráním vzorku byl beton v kýblu promíchán, aby nedošlo k efektu, kdy voda z betonu utíká na povrch. Potom bychom zvláště u tekutých betonů odebrali nedostatečně reprezentativní vzorek pro měření v sušárně a dostali bychom velmi odlišnou hodnotu obsahu vody oproti skutečnému obsahu v celém kýblu.

Obr. 5.12: Vážení odebraného vzorku

Po zvážení byla zaznamenána hmotnost vzorku s obsahem vody a vzorek byl vložen do sušárny (obr. 5.13). Vzorek byl vysoušen po dobu 24 hodin při teplotě 105 °C. Následně byl vyndán ze sušárny a znovu zvážen, rozdíl hodnot je roven obsahu vody v daném vzorku, který byl následně přepočítán podle zaznamenané objemové hmotnosti na obsah vody v l/m^3 stejně jako u přístroje SONO-WZ a záznamového zařízení z betonárny.

Obr. 5.13: Sušení vzorků v sušárně

5.3.2 BETON Z LABORATOŘE

Jelikož v podstatě všechny zkoušené betony z betonárny byly klasickými transportbetony s konzistencí dle sednutí kužele S3 až S5 z důvodu zpracovatelnost na stavbě, rozhodl jsem se ověřit fungování zařízení SONO-WZ i na méně obvyklých konzistencí pro běžné betony jako jsou stupně S1 a S2.

Prvním krokem bylo stanovení složení záměsi, kterou jsem míchal v laboratoři a následně na ní provádět měření (tab. 5.1).

Tab. 5.1: Složení záměsi pro míchání betonu v laboratoři

Materiál	Množství [kg]
CEM I 42,5 R	8,1
Sika ViscoCrete 4035	0,0405
Kamenivo 0/4 Velká Černoc	20,925
Kamenivo 8/16 Velká Černoc	12,13
Kamenivo 16/22 Velká Černoc	7,29

Kamenivo, především frakce 0/4 bylo ponecháno dva dny rozprostřené na podlaze a tím prakticky vysušeno. Přesná znalost vlhkosti není potřebná, neboť se nejedná o velké číslo a výsledky budou ověřovány v sušárně. V tabulce není záměrně uvedeno množství záměsové vody, neboť voda byla postupně přidávána, aby bylo dosaženo všech stupňů konzistence dle sednutí kužele od S1 až po S5.

Obr. 5.14: Sypání naválených materiálů do míchačky

Nejdříve před samotným mícháním betonové směsi bylo nezbytné navážení jednotlivých frakcí kameniva a cementu podle vybraného složení (tab. 5.1) do jednotlivých plastových kýblů a následné sypání do míchačky (obr. 5.14). Do zapnuté míchačky byla přilévána voda v odhadovaném množství podle vizuální kontroly, aby konzistence betonu odpovídala stupni dle sednutí kužele S1. Stupeň konzistence byl následně ověřen zkouškou sednutí kužele popsanou v kapitole 4.2.1 (obr. 5.15).

Obr. 5.15: Zkouška sednutím kužele – meření sednutí – S1 (10 mm)

Obr. 5.16: Míchání betonové směsi v míchačce

Pokud stupeň konzistence odpovídal požadovanému, jako v tomto případě, byla následně zaznamenána teplota a provedeno měření obsahu vzduchu v čerstvém betonu popsané v kapitole 4.3.2. Dále následovalo měření obsahu vody pomocí přístroje SONO-WZ. Měření probíhalo stejně jako v kapitole 5.3.1 včetně odebrání vzorku betonu do sušárny ze stejného kýble. V několika měřeních nastala situace, že stupeň konzistence neodpovídal požadované hodnotě, sednutí bylo menší, potom byl beton vrácen zpět do míchačky (obr. 5.16) a v průběhu míchání přidána další voda. V opačném případě nevyhovující konzistence v důsledku většího sednutí, bylo postupováno stejně jako u požadované konzistence, jen byl vynechán jeden stupeň konzistence, neboť odebrání vody z betonové směsi není v krátkém čase možné. Tento postup s přiléváním vody pro vytvoření konzistence S1 až S5 byl opakován několikrát za sebou.

5.4 VÝSLEDKY

5.4.1 HODNOTY - BETONÁRNA

V následující tabulce 5.2 je ukázka hodnot obsahu vody naměřené pomocí SONO-WZ (byly uloženy hodnoty pro všechny křivky CHAR uvedené v kapitole 5.3.1). Celkem bylo z betonárny odebráno 40 vzorků čerstvého betonu, na kterých byla následně provedena měření popsaná v kapitole 5.3.1. Kompletní tabulka 5.2 s veškerými hodnotami je v příloze „*Měření betonárna*“ přiložena k bakalářské práci v digitální formě na CD.

Tab. 5.2: Naměřené hodnoty - betonárna SONO-WZ (ukázka)

číslo měření	SONO-WZ DIS							
	Nastavené hodnoty v SONO-DIS			Stanovené hodnoty SONO-DIS				
	Objemová hmotnost [kg/m³]	CHAR - Parametr	G-Set, Korekce vody	Celkový obsah vody [l/m³]	Směrodatná odchylka (<0,5)	Elektrická vodivost [dS/m]	Počet hodnot	Radar time tp
1_1	2180	normal	-10	187,3	0,1	27,0	5	641,5
1_2	2180	coarse	-10	177,3	0,1	27,0	5	641,5
1_3	2180	special	-10	172,3	0,1	27,0	5	641,5
1_4	2180	fine	-10	197,3	0,1	27,0	5	641,5
2_1	2225	normal	-10	177,1	0,1	28,8	5	630,7
2_2	2225	coarse	-10	167,1	0,1	28,8	5	630,7
2_3	2225	special	-10	162,1	0,1	28,8	5	630,7
2_4	2225	fine	-10	187,1	0,1	28,8	5	630,7
3_1	2220	normal	-10	183,3	0,1	21,6	5	640,8
3_2	2220	coarse	-10	173,3	0,1	21,6	5	640,8
3_3	2220	special	-10	168,3	0,1	21,6	5	640,8
3_4	2220	fine	-10	193,3	0,1	21,6	5	640,8
4_1	2275	normal	-10	191,0	0,2	20,9	5	659,4
4_2	2275	coarse	-10	181,0	0,2	20,9	5	659,4
4_3	2275	special	-10	176,0	0,2	20,9	5	659,4
4_4	2275	fine	-10	201,0	0,2	20,9	5	659,4
5_1	2270	normal	-10	198,4	0,1	21,0	5	670,5
5_2	2270	coarse	-10	188,4	0,1	21,0	5	670,5
5_3	2270	special	-10	183,4	0,1	21,0	5	670,5
5_4	2270	fine	-10	208,4	0,1	21,0	5	670,5

V následující tabulce 5.3 je ukázka hodnot získaných z vysušení čerstvého betonu v sušárně a ze záznamového zařízení na betonárně (záměsová voda). Dále je uveden rozdíl množství vody mezi přístrojem SONO-WZ a vysušením v sušárně. V tabulce je uveden i obsah vzduchu a sednutí kužele. Kompletní tabulka 5.2 s veškerými hodnotami včetně teplot, množství a druhu kameniva, cementu je v příloze „*Měření betonárna*“ přiložena k bakalářské práci v digitální formě na CD.

Tab. 5.3: Hodnoty ze sušárny a záznamového zařízení betonárny (ukázka)

číslo měření	Sušení v sušárně při 105 °C				Rozdíl v množství vody [l/m³]	Obsah vzduchu [%]	Sednutí kužele (Abrams) [mm]	Záměsová voda [l/m³]
	Hmotnost betonu před vysušením [g]	Hmotnost betonu po vysušení [g]	Rozdíl hmotností [g]	Množství vody [l/m³]				
1_1	1554	1410	144	202,0	-14,7	6,4	230	169,0
1_2	1554	1410	144	202,0	-24,7	6,4	230	169,0
1_3	1554	1410	144	202,0	-29,7	6,4	230	169,0
1_4	1554	1410	144	202,0	-4,7	6,4	230	169,0
2_1	1706	1586	120	156,5	20,6	6,2	200	169,0
2_2	1706	1586	120	156,5	10,6	6,2	200	169,0
2_3	1706	1586	120	156,5	5,6	6,2	200	169,0
2_4	1706	1586	120	156,5	30,6	6,2	200	169,0
3_1	1542	1426	116	167,0	16,3	4,8	190	166,0
3_2	1542	1426	116	167,0	6,3	4,8	190	166,0
3_3	1542	1426	116	167,0	1,3	4,8	190	166,0
3_4	1542	1426	116	167,0	26,3	4,8	190	166,0
4_1	1610	1482	128	180,9	10,1	1,5	160	170,2
4_2	1610	1482	128	180,9	0,1	1,5	160	170,2
4_3	1610	1482	128	180,9	-4,9	1,5	160	170,2
4_4	1610	1482	128	180,9	20,1	1,5	160	170,2
5_1	1550	1390	160	234,3	-35,9	1,4	190	170,2
5_2	1550	1390	160	234,3	-45,9	1,4	190	170,2
5_3	1550	1390	160	234,3	-50,9	1,4	190	170,2
5_4	1550	1390	160	234,3	-25,9	1,4	190	170,2

5.4.2 HODNOTY - LABORATOŘ

V laboratoři bylo provedeno celkem 19 měření zaměřených na různé konzistence betonu. V následující tabulce 5.4 je uvedena ukázka (jedna sada od konzistence S1 až po S5) hodnot naměřených pomocí SONO-WZ. Kompletní tabulka 5.4 s veškerými hodnotami je v příloze „*Měření betonárna*“ přiložena k bakalářské práci v digitální formě na CD.

Tab. 5.4: Naměřené hodnoty - laboratoř SONO-WZ (ukázka)

číslo měření	SONO-WZ DIS							
	Nastavené hodnoty v SONO-DIS			Stanovené hodnoty SONO-DIS				
	Objemová hmotnost [kg/m³]	CHAR - Para-metr	G-Set, Korekce vody	Celkový obsah vody [l/m³]	Směrodatná odchylka (<0,5)	Elektrická vodivost [dS/m]	Počet hodnot	Radar time tp
101_1	2360	normal	-10	141,2	0,4	20,7	5	590,5
101_2	2360	coarse	-10	131,2	0,4	20,7	5	590,5
101_3	2360	special	-10	126,2	0,4	20,7	5	590,5
101_4	2360	fine	-10	151,2	0,4	20,7	5	590,5
102_1	2340	normal	-10	143,3	0,3	22,5	5	591,4
102_2	2340	coarse	-10	133,3	0,3	22,5	5	591,4
102_3	2340	special	-10	128,3	0,3	22,5	5	591,4
102_4	2340	fine	-10	153,3	0,3	22,5	5	591,4
103_1	2300	normal	-10	170,7	0,2	25,5	5	630,0
103_2	2300	coarse	-10	160,7	0,2	25,5	5	630,0
103_3	2300	special	-10	155,7	0,2	25,5	5	630,0
103_4	2300	fine	-10	180,7	0,2	25,5	5	630,0
104_1	2280	normal	-10	171,1	0,2	26,4	5	628,5
104_2	2280	coarse	-10	161,1	0,2	26,4	5	628,5
104_3	2280	special	-10	156,1	0,2	26,4	5	628,5
104_4	2280	fine	-10	181,1	0,2	26,4	5	628,5
105_1	2275	normal	-10	192,9	0,1	27,0	5	662,2
105_2	2275	coarse	-10	182,9	0,1	27,0	5	662,2
105_3	2275	special	-10	177,9	0,1	27,0	5	662,2
105_4	2275	fine	-10	202,9	0,1	27,0	5	662,2

V následující tabulce 5.5 jsou uvedeny hodnoty obsahu vody získané ze sušárny a pří míchání betonu v míchačce (záměsová vod). Kompletní tabulka 5.5 s veškerými hodnotami včetně teplot, množství a druhu kameniva, cementu je přiložena jako příloha „*Měření laboratoř*“ přiložena k bakalářské práci v digitální formě na CD.

Tab. 5.5: Hodnoty ze sušárny a odměřené při míchání betonu (ukázka)

číslo měření	Záměsová voda [l/m³]	Sušení v sušárně při 105 °C				Rozdíl v množství vody [l/m³]	Obsah vzduchu [%]	Sednutí kužele (Abrams) [mm]
		Hmotnost betonu před vysušením [g]	Hmotnost betonu po vysušení [g]	Rozdíl hmotností před a po vysušení [g]	Množství vody [l/m³]			
101_1	103,2	1514	1425	89	138,7	2,5	3,0	10
101_2	103,2	1514	1425	89	138,7	-7,5	3,0	10
101_3	103,2	1514	1425	89	138,7	-12,5	3,0	10
101_4	103,2	1514	1425	89	138,7	12,5	3,0	10
102_1	120,9	1525	1426	99	151,9	-8,6	4,0	60
102_2	120,9	1525	1426	99	151,9	-18,6	4,0	60
102_3	120,9	1525	1426	99	151,9	-23,6	4,0	60
102_4	120,9	1525	1426	99	151,9	1,4	4,0	60
103_1	144,2	1611	1494	117	167,0	3,7	4,4	110
103_2	144,2	1611	1494	117	167,0	-6,3	4,4	110
103_3	144,2	1611	1494	117	167,0	-11,3	4,4	110
103_4	144,2	1611	1494	117	167,0	13,7	4,4	110
104_1	165,4	1588	1470	118	169,4	1,7	3,9	160
104_2	165,4	1588	1470	118	169,4	-8,3	3,9	160
104_3	165,4	1588	1470	118	169,4	-13,3	3,9	160
104_4	165,4	1588	1470	118	169,4	11,7	3,9	160
105_1	186,4	1625	1480	145	203,0	-10,1	2,0	220
105_2	186,4	1625	1480	145	203,0	-20,1	2,0	220
105_3	186,4	1625	1480	145	203,0	-25,1	2,0	220
105_4	186,4	1625	1480	145	203,0	-0,1	2,0	220

6 ZÁVĚR

6.1 VYHODNOCENÍ

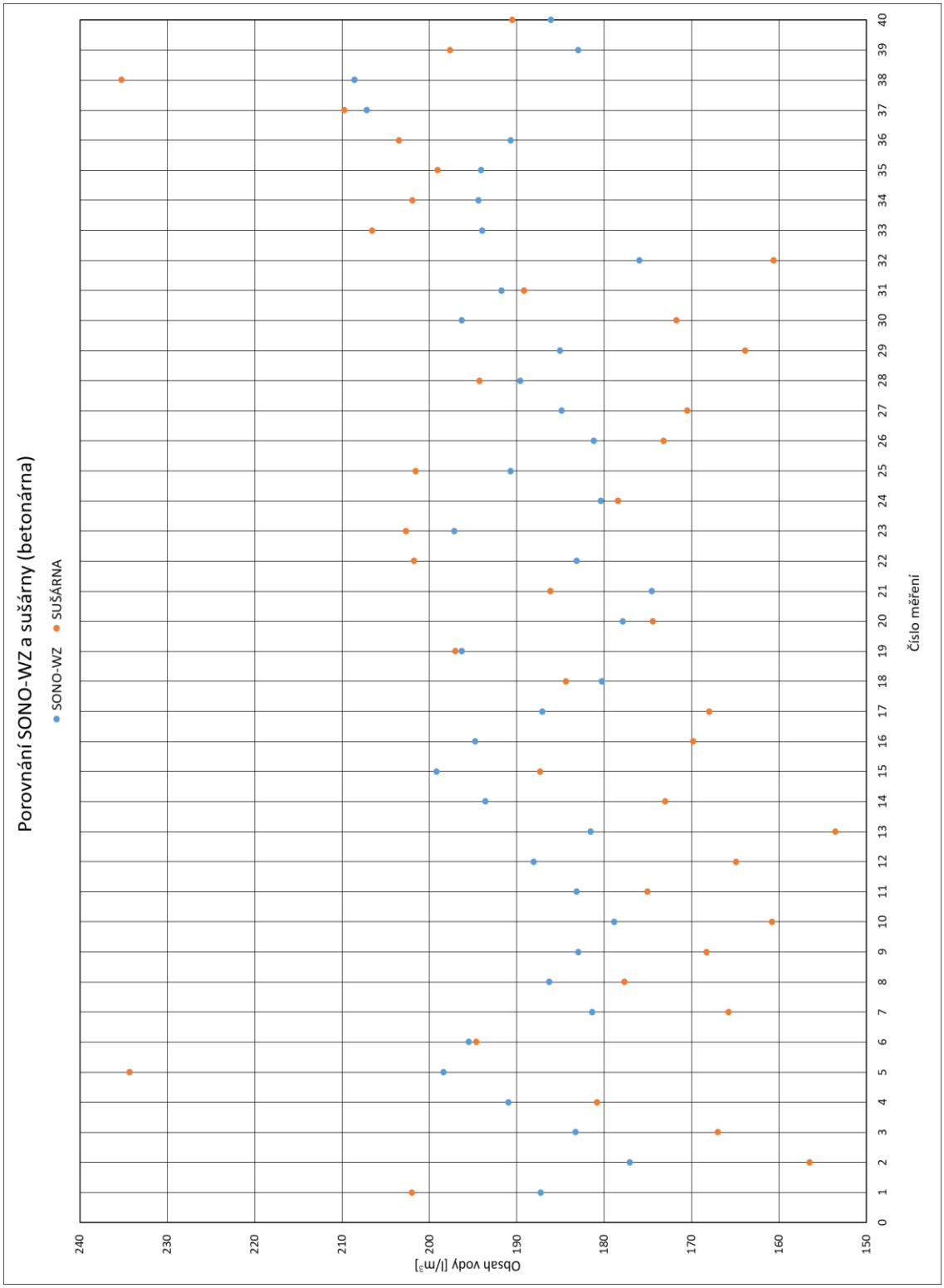
K vyhodnocení přístroje byly použity výsledky, které jsem sám naměřil (59) - viz ukázka v kapitole 5.4 „výsledky“ a kompletní výsledky v přílohách: „*Měření betonárna“* (čísla vzorků 1 až 40) a „*Měření laboratoř“* (čísla vzorků 101 až 119). Dále jsem použil naměřené výsledky, které byly poskytnuty laboratoří BETOTECH v Berouně. Konkrétně se jedná o 22 měření provedených a jsou přiloženy jako příloha „*Převzaté hodnoty BETOTECH*“ (čísla vzorků 201 až 222),

Všechny závěry byly stanoveny na základě porovnání hodnot naměřených přístrojem SONO-WZ a hodnot získaných ze sušárny.

6.1.1 NASTAVENÍ DLE DOPORUČENÍ VÝROBCE

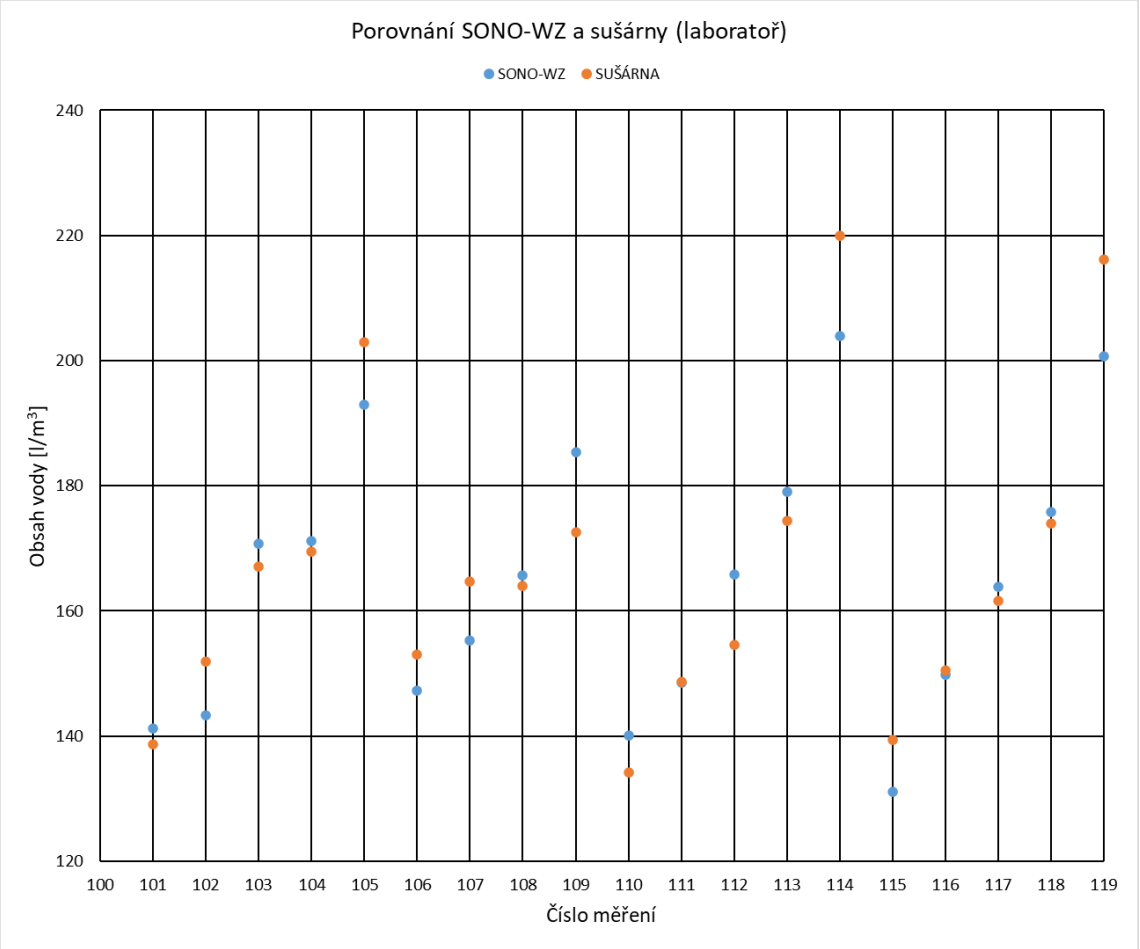
Při vyhodnocování funkčnosti přístroje byla použita nastavení doporučená od výrobce (*G-Set* na hodnotu -10 a *CHAR* parametr na *normal*), podrobněji uvedeno v kapitole 5.2.2. Pro vyhodnocení byly použity všechny hodnoty naměřené na běžném transportbetonu odebraném z betonárny (40 hodnot - obr. 6.1).

Z hodnot uvedených na obrázku 6.1 lze určit odchylku mezi hodnotami získanými z jednotlivých měření. Z veškerých hodnot byla vypočtena průměrná odchylka přístroje SONO-WZ od hodnot získaných vysušením vzorku v sušárně. Hodnota průměrné odchylky obsahu vody v čerstvém betonu je rovna ± 12,6 l/m^3. Po stanovení průměrného obsahu vody v čerstvém betonu ve všech měřených vzorcích, který je roven 184,9 l/m^3, lze stanovit průměrnou odchylku hodnot přístroje od hodnot ze sušárny. Tato odchylka je rovna 6,95 %.



Obr. 6.1: Porovnání výsledků SONO-WZ a sušárny u vzorků z betonárny

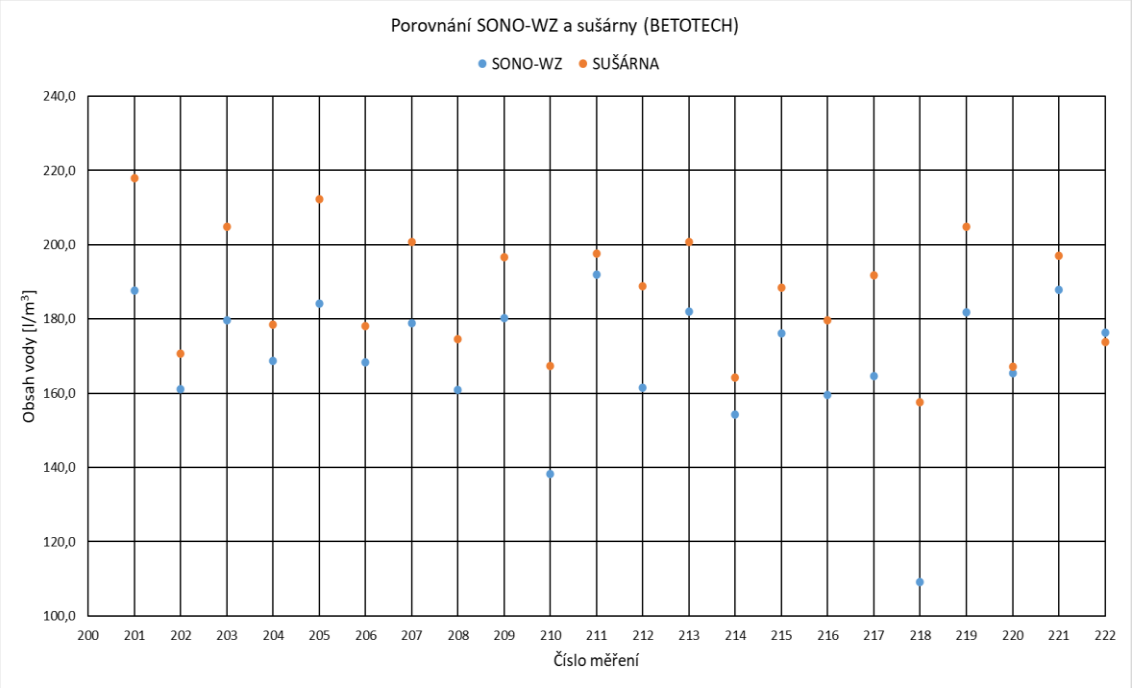
Na obrázku 6.2 je uvedeno porovnání hodnot mezi přístrojem SONO-WZ a sušárnou naměřených pro beton míchaný v laboratoři (19 hodnot).



Obr. 6.2: Porovnání výsledků SONO-WZ a sušárny u vzorků z laboratoře

Stejně jako v případě stanovení odchylky mezi hodnotami naměřenými na betonárně lze určit také na hodnotách betonu míchaného v laboratoři. Průměrná odchylka obsahu vody přístroje SONO-WZ od hodnot získaných ze sušárny je ± 6,7 l/m^3 a průměrný obsah vody ve všech měřených vzorcích je 166,2 l/m^3. Průměrná odchylka je rovna 4,05 %.

Jako poslední je na obrázku 6.3 vidět porovnání hodnot mezi přístrojem SONO-WZ a sušárnou, které jsem převzal od laboratoře BETOTECH (22 hodnot).



Obr. 6.3: Porovnání výsledků SONO-WZ a sušárny u vzorků BETOTECH

Průměrná odchylka obsahu vody přístroje SONO-WZ od hodnot získaných ze sušárny je ± 17,7 l/m^3 a průměrný obsah vody ve všech měřených vzorcích je 187 l/m^3. Průměrná odchylka je rovna 9,47 %.

Odchylky, jak je vidět na obrázku 6.1, 6.2 a 6.3, jednotlivých měření jsou náhodné a počet měření se zápornou (47) odchylkou je podobný jako počet hodnot s kladnou odchylkou (34). Z tohoto zjištění plyne, že korekce vody G-Set, která byla nastavena na hodnotu -10, při jiné hodnotě nezměnila celkovou přesnost všech měření. U směrodatné odchylky se dá poznamenat, že v rozmezí 0,0 až 0,4 u jednotlivých měření, je jedno jaké hodnoty nabývá, neboť nijak neovlivňuje výsledky měření (hodnoty s menší směrodatnou odchylkou nejsou přesnější než hodnoty s větší směrodatnou odchylkou).

Měření pomocí SONO-WZ prováděná na betonu míchaném v laboratoři byla s odchylkou měření oproti sušárně se 4 % přesnější než měření provedená na betonu odebraném z betonárny s odchylkou 6,95 %.

Celkově byla na všech 81 měřeních stanovena odchylka přístroje SONO-WZ oproti sušárně 6,95 %, což odpovídá přesnosti ± 12,5 l/m^3.

6.1.2 PŘESNOST DLE KONZISTENCE

Jako první jsou vyhodnoceny dle konzistence hodnoty naměřené na běžném transportbetonu (tab. 6.1), které byly jako celek vyhodnoceny v kapitole 6.1.1 s průměrnou odchylkou 6,95 %.

Tab. 6.1: Odchylka hodnot obsahu vody dle konzistence - betonárna

Beton z betonárny	
KONZISTENCE S3	
Průměrný obsah vody [l/m^3]	195,3
Průměrná odchylka vody [l/m3]	11,7
Průměrný obsah plastifikační přísady [kg/m^3]	0,078
Počet hodnot	11
Průměrná odchylka	5,98 %
KONZISTENCE S4	
Průměrný obsah vody [l/m^3]	181,5
Průměrná odchylka vody [l/m3]	13,3
Průměrný obsah plastifikační přísady [kg/m^3]	0,587
Počet hodnot	23
Průměrná odchylka	7,33 %
KONZISTENCE S5	
Průměrný obsah vody [l/m^3]	178,5
Průměrná odchylka vody [l/m3]	15,1
Průměrný obsah plastifikační přísady [kg/m^3]	1,523
Počet hodnot	6
Průměrná odchylka	8,44 %

Z tabulky 6.1 je patrné, že přístroj SONO-WZ dosahoval nejmenší odchylky u betonu s konzistencí S3 a nejvyšší u konzistence S5. U konzistence S4 bylo provedeno nejvíce měření, a proto se dá tato odchylka považovat jako nejvíce vypovídající. Ovlivňujícím faktorem mohla být plastifikační přísada, která se nacházela u jednotlivých vzorků betonu v různém množství.

V tabulce 6.2 jsou uvedeny hodnoty naměřené na betonu vyráběném v laboratoři, tato měření byla prováděna pro ověření funkčnosti přístroje SONO-WZ na různých konzistencích betonu (více uvedeno v kapitole 5.3.2). Celková průměrná odchylka, která byla hodnocena v kapitole 6.1.1, všech těchto měření byla 4,05 %.

Tab. 6.2: Odchylka hodnot obsahu vody dle konzistence - laboratoř

Beton z laboratoře	
KONZISTENCE S1	
Průměrný obsah vody [l/m^3]	141,3
Průměrná odchylka vody [l/m3]	5,6
Průměrný obsah plastifikační přísady [kg]	0,0405
Počet hodnot	4
Průměrná odchylka	3,96 %
KONZISTENCE S2	
Průměrný obsah vody [l/m^3]	150,3
Průměrná odchylka vody [l/m3]	3,1
Průměrný obsah plastifikační přísady [kg]	0,0405
Počet hodnot	3
Průměrná odchylka	2,08 %
KONZISTENCE S3	
Průměrný obsah vody [l/m^3]	162,0
Průměrná odchylka vody [l/m3]	6,6
Průměrný obsah plastifikační přísady [kg]	0,0405
Počet hodnot	4
Průměrná odchylka	4,08 %
KONZISTENCE S4	
Průměrný obsah vody [l/m^3]	170,5
Průměrná odchylka vody [l/m3]	2,5
Průměrný obsah plastifikační přísady [kg]	0,0405
Počet hodnot	4
Průměrná odchylka	1,44 %
KONZISTENCE S5	
Průměrný obsah vody [l/m^3]	202,9
Průměrná odchylka vody [l/m3]	13,6
Průměrný obsah plastifikační přísady [kg]	0,0405
Počet hodnot	4
Průměrná odchylka	6,70 %

Z tabulky 6.2 vyplývá, že nejlépe pro beton míchaný v laboratoři vyšla konzistence S4. Zavlhlý beton konzistence S1 a S2 nevykazuje žádné horší výsledky oproti konzistencím S3 až S5. Lze tedy poznamenat, že s ohledem na získané výsledky z laboratoře nemá konzistence větší vliv na přesnost zařízení SONO-WZ.

V tabulce 6.3 uvedeny převzaté hodnoty od laboratoře BETOTECH, které byly jako celek vyhodnoceny v kapitole 6.1.1 s celkovou odchylkou 9,47 %.

Tab. 6.3: Odchylka hodnot obsahu vody dle konzistence - laboratoř BETOTECH

Beton BETOTECH	
KONZISTENCE S4	
Průměrný obsah vody [l/m^3]	194,2
Průměrná odchylka vody [l/m3]	20,3
Průměrný obsah plastifikační přísady [kg]	0,0108
Počet hodnot	15
Průměrná odchylka	10,45 %
KONZISTENCE S5	
Průměrný obsah vody [l/m^3]	171,5
Průměrná odchylka vody [l/m3]	13,6
Průměrný obsah plastifikační přísady [kg]	0,0405
Počet hodnot	7
Průměrná odchylka	7,94 %

Tabulka 6.3 je spíše informativní, neboť obsahuje pouze výsledky pro konzistence S4 a S5. Z tabulky vyplývá, že výsledné odchylky jsou u konzistence S5 podobné odchylkám v předešlých tabulkách 6.1 a 6.2 a odchylky u konzistence S4 jsou vyšší.

Pokud se udělá průměr jednotlivých konzistencí napříč všemi tabulkami, největší odchylky by dosáhly konzistence betonu S4 a S5. Závěr ovšem není tak jednoduchý, neboť u betonu z betonárny tyto konzistence obsahovaly nejvíce plastifikačních přísad, což mohlo negativně ovlivnit výsledky, celkově také bylo provedeno mnohem více měření na konzistencích S4 a S5. Proto byla prováděna měření v laboratoři a jako nejvíce vypovídající porovnání mezi jednotlivými konzistencemi lze použít tabulku 6.2, ve které jsou hodnoty z měření prováděných pro beton stejného složení, pouze s jiným množstvím záměsové vody. Z těchto měření je patrná největší odchylka u konzistencí S5, ve kterých

byl velký obsah záměsové vody. Nejlépe ovšem vyšla konzistence S4, proto se nedá z naměřených hodnot lehce usoudit, že čím tekutější je konzistence, tím větší jsou odchylky při používání SONO-WZ.

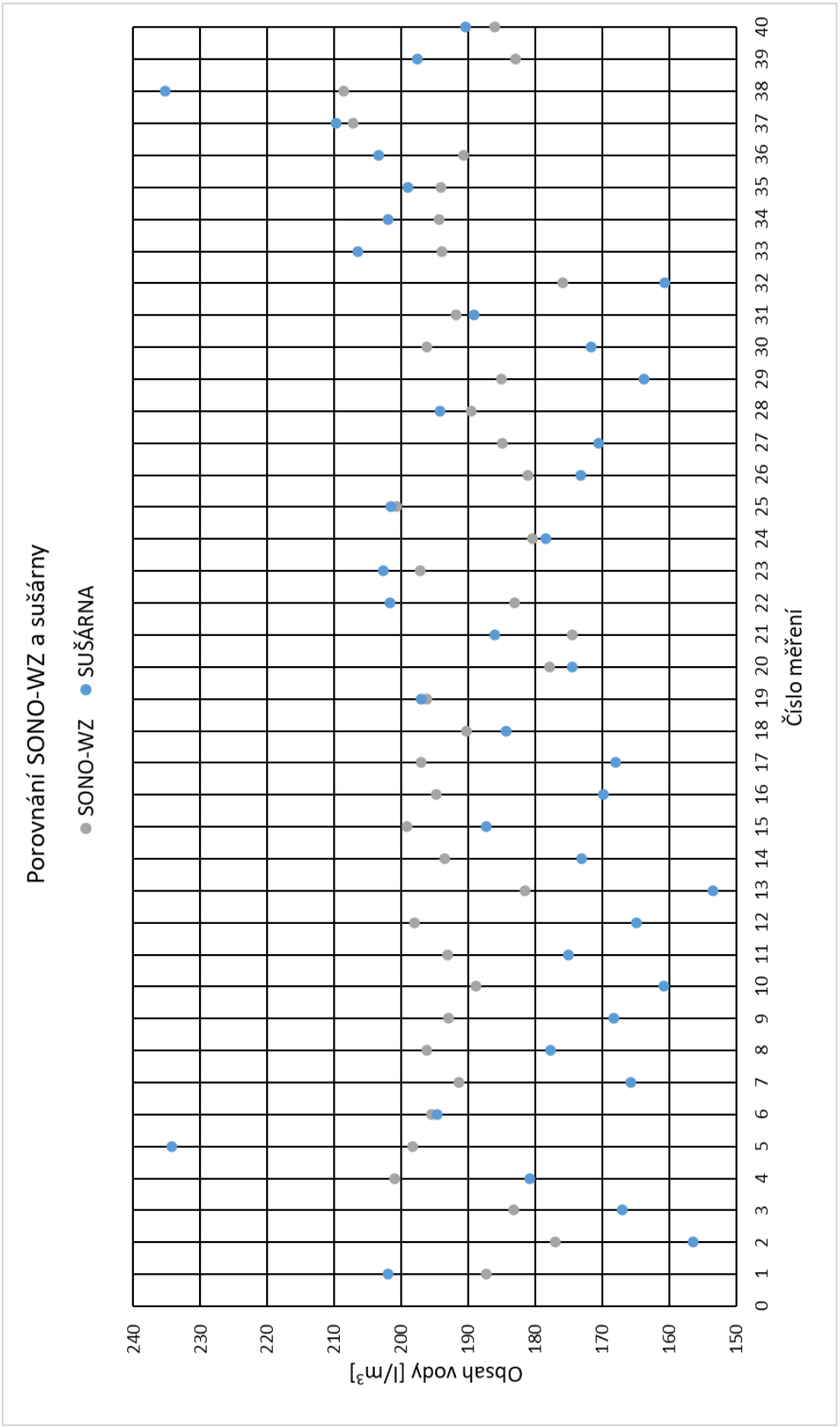
Přesnost přístroje především z tabulky 6.2 pro jednotlivé konzistence betonu lze tedy považovat za velmi podobnou.

6.1.3 NASTAVENÍ DLE SLOŽENÍ

V této části vyhodnocení je postupováno stejně jako v kapitole 6.1.1. Jedinou změnou je uvažování parametru CHAR podle složení kameniva v jednotlivých vzorcích betonu. Posuzované jsou pouze výsledky z betonárny, neboť hodnoty betonu míchaného v laboratoři mají stejně jako hodnoty převzaté od laboratoře BETOTECH zrnitost kameniva odpovídající křivce NORMAL a zhodnocení těchto výsledků je uvedeno v kapitole 6.1.1. U tohoto nastavení byla očekávána vyšší přesnost přístroje, neboť je parametr CHAR vybírán podle nejvhodnější křivky zrnitosti kameniva dle zastoupení jednotlivých frakcí.

Na obrázku 6.4 jsou zobrazeny odchylky od vybraných hodnot (hodnoty jsou uvedeny v příloze „*Měření betonárna“*) z přístroje SONO-WZ vůči hodnotám ze sušárny.

Z hodnot uvedených na obrázku 6.4 lze určit odchylku mezi hodnotami získanými jednotlivými měřeními. Z veškerých hodnot byla vypočtena průměrná odchylka přístroje SONO-WZ od hodnot získaných vysušením vzorku v sušárně. Hodnota průměrné odchylky obsahu vody v čerstvém betonu je rovna ± 14,5 l/m^3. Po stanovení průměrného obsahu vody v čerstvém betonu ve všech měřených vzorcích, který je roven 184,9 l/m^3, lze stanovit průměrnou odchylku hodnot přístroje od hodnot ze sušárny. Tato odchylka je rovna 7,83 %.



Obr. 6.4: Porovnání výsledků CHAR SONO-WZ a sušárny vzorky z betonárny

Jednotlivé odchylky, jak je vidět na obrázku 6.4, jsou náhodné a stejně jako v kapitole 6.1.1 nelze upravit parametr G-Set pro získání menší odchylky, případně větší přesnosti. Při nastavení podle použitého kameniva byly očekávány lepší výsledky oproti standardnímu nastavení dle doporučení výrobce, což nebylo naplněno.

Celkový výsledek ovšem může být mírně zkreslený, neboť většina odebraných vzorků odpovídala křivce zrnitosti *normal* a jen pár vzorků obsahovalo kamenivo odpovídající křivce *fine*. Křivky *coarse* a *special* se v měřených vzorcích betonu nenacházely.

Pro zkoušené typy betonu je tedy nejvhodnější použít nastavení dle doporučení výrobce *CHAR* parametr *normal* a *G-Set* nastavit na hodnotu -10.

Díky rychlému stanovení obsahu vody je SONO-WZ vhodné používat především pro kontrolu obsahu vody v čerstvém betonu konzistence S3 až S5 (běžné transportbetony). Pro kontrolu je dle výsledků nejvhodnější používat nastavení přístroje dle doporučení výrobce (kapitola 6.1.1). Ovšem odchylka množství vody v celém autodomíchávači by dle výsledků dosahovala hodnoty 7 %, což odpovídá při běžné obsahu vody v betonu (150-170 l/m^3) a objemu dopravovaného betonu 8 m^3 přibližně 90 l/m^3. Vhodnějším způsobem kontroly by mohlo být změření obsahu vody v čerstvém betonu na betonárně a dále změřit obsah vody ve stejném betonu na stavbě za čerpadlem. Pokud by bylo vše v pořádku a během transportu by nebyla přidána žádná vody, potom by tato dvě měření měla vykazovat podobné hodnoty.

6.2 DOPORUČENÍ

Pro přesnější vyhodnocení funkčnosti přístroje by bylo vhodné provést další měření zaměřené především na betony s kamenivem odpovídajícím křivkám zrnitosti *coarse* a *special*, neboť tyto křivky nebyly v žádném odebraném vzorku z betonárny ani míchaném v laboratoři.

Dále by bylo dobré zjištěnou celkovou odchylku všech měření 6,95 % odpovídající přesnosti ± 12,5 l/m^3 přidat další měření zejména s konzistencí S3 až S5, neboť tyto konzistence jsou nejčastěji používány pro běžné transportbetony a právě pro kontrolu těchto betonů může sloužit zařízení SONO-WZ.

Pro kontrolu trasnportbetonů metodou měření nejdříve obsahu vody na betonárně, a potom za čerpadlem na stavbě by bylo vhodné ověřit podobnost obou hodnot

Také nelze opomenout provzdušněné betony, které jak uvádí výrobce, ovlivňují naměřené výsledky přístroje. Provzdušněné betony nebyly porovnávány, nejsou součástí této bakalářské práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Normy:

[1] 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. Praha, 2003.

[2] ČSN EN 12350-2. Zkoušení čerstvého betonu - Část 2: Zkouška sednutím. Praha, 2009.

[3] ČSN EN 12350-3. Zkoušení čerstvého betonu - Část 3: Zkouška Vebe. Praha, 2009.

[4] ČSN EN 12350-4. Zkoušení čerstvého betonu - Část 4: Stupeň zhutnitelnosti. Praha, 2009.

[5] ČSN EN 12350-5. *Zkoušení čerstvého betonu - Část 5: Zkouška rozlitím.* Praha, 2009.

[6] ČSN EN 12350-6. *Zkoušení čerstvého betonu - Část 6: Objemová hmotnost.* Praha, 2009.

[7] ČSN EN 12350-7. *Zkoušení čerstvého betonu - Část 7: Obsah vzduchu – Tlakové metody*. Praha, 2009.

[8] ČSN EN 12350-8. *Zkoušení čerstvého betonu - Část 8: Samozhutnitelný beton-Zkouška sednutí-rozlitím.* Praha, 2009.

[9] ČSN EN 206+A1 *Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha, 2018.

Knihy, skripta a odborné časopisy:

[10] CIKRLE, Petr, KOCÁB, Dalibor a POSPÍCHAL, Ondřej. *Zkoušení betonu ultrazvukovou impulsovou metodou*. Beton TKS [online]. 2013(3), 74-79 [cit. 2020-02-22]. ISSN 1213-3116. Dostupné z: http://www.betontks.cz/sites/default/files/2013-3-74_0.pdf

[11] CIKRLE, Petr a VYMAZAL Tomáš. *Nedestruktivní metody zkoušení železobetonu*. Beton university: informace o betonu [online]. 2014 [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: http://www.betonuniversity.cz/stahnout-soubor?id=1671

[12] JÁNSKÝ, Jan. *Ultrazvuková defektoskopie* [online]. In: . 2004, s. 1-18 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: http://www.cdm.cas.cz/czech/hora/vyuka/tdk/sem2004/UZ_JANSKY.pdf

[13] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. 571 s. ISBN 978-80-7204-591-4

[14] SCHMID, Pavel. *ZKUŠEBNICTVÍ A TECHNOLOGIE: MODUL BI02-M02 STAVEBNÍ ZKUŠEBNICTVÍ* [online]. [cit. 2020-02-23]. ISBN neuvedeno. Dostupné z: http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BI02-Zkusenictvi%20a%20technologie/Zkusebnictvi%20a%20technologie%20M02-Stavebni%20zkusebnictvi.pdf

[15] VESELÝ, Vladimír, SMIŘICKÝ Stanislav, BLIŽKOVSKÝ Václav, PEŘEK Lukáš a KLEČKA Tomáš. Příručka technologa BETON: Českomoravský beton [online]. 1. 2013 [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: http://www.transportbeton.cz/stahnout-soubor?id=3203

[16] VESELÝ, Vladimír. *Zásady správného ošetřování betonu*. *TRANSPORTBETON* [online]. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: http://www.transportbeton.cz/zasady-spravneho-osetrovani-betonu.html

[17] VINKLER, Marek. *Voda v betonu*. Beton TKS [online]. 2018 [cit. 2020-02-23]. ISSN 1213-3116. Dostupné z: http://www.betontks.cz/sites/default/files/2018-2-49.pdf

Webové stránky:

[18] *Betonárna Beroun*. Transportbeton [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: http://www.transportbeton.cz/ceskomoravsky-beton-a-s/betonarna-beroun.html

[19] *Informace o překladech zkušebních norem řady ČSN EN 12350 a 12390: Svaz výrobců betonu ČR* [online]. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: http://www.svb.cz/assets/pdf/SVB_InformaceOPrekladechZkusebnichNorem.pdf

[20] Konzistence betonu. *Ebeton: stránky o betonu* [online]. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: http://www.ebeton.cz/pojmy/konzistence-betonu

[21] *Manual SONO-WZ* [online]. 2017 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://www.imko.de/wp-content/uploads/2018/12/Manual_SONO-WZ-DIS.pdf

[22] *Stanovení obsahu vzduchu v čerstvém betonu* [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: http://dk.spsopava.cz:8080/docs/pdf/stavebni_laborator/cviceni/27_stanoveni_obsahu_vzduchu_v_cerstvem_betonu.pdf

[23] *TRIME Technology*. MESA Systems *CO.* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: http://mesasystemsco.com/2017/08/04/trime-technology/

[24] Ultrazvuk. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrazvuk

[25] Zkoušení betonu. Ebeton.cz: stránky o betonu [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: http://www.ebeton.cz/pojmy/zkouseni-betonu

[26] *Zkoušení čerstvého betonu: část 2: zkouška sednutím* [online]. [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/206/Laborator/Downloads/Stav/Cviceni/Cvi9/zkouskasednutim.pdf

[27] *Zkoušení čerstvého betonu: Část 3: Zkouška Vebe* [online]. [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/206/Laborator/Downloads/Stav/Cviceni/Cvi8/vb.pdf

[28] *Zkoušení čerstvého betonu: Část 4: Stupeň zhutnitelnosti* [online]. [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/206/Laborator/Downloads/Stav/Cviceni/Cvi9/stupenzhutnitelnosti.pdf

[29] *Zkoušení čerstvého betonu: část 5: Zkouška rozlitím* [online]. [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/206/Laborator/Downloads/Stav/Cviceni/Cvi8/rozliti.pdf

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1: Ultrazvuk ve stavebnictví 12
Obr. 3.1: Závislost pevnosti betonu na vodním součiniteli [17] 16
Obr. 4.1: Abramsův kužel a stanovení sednutí h (převzato z [2]) 19
Obr. 4.2: Tvary sednutí [123] 20
Obr. 4.3: Rozměry formy (převzato z [5]) 20
Obr. 4.4: Měření rozlití (převzato z [5]) 21
Obr. 4.5: Podkladní deska - vyznačený Ø 500 a Ø 210 23
Obr. 4.6: Přístroj Vebe [19] 24
Obr. 4.7: Druhy sednutí dle Vebe [19] 25
Obr. 4.8: Beton v nádobě před zhutněním a po zhutnění 26
Obr. 4.9: Přístroj pro metodu vodního sloupce [19] 27
Obr. 4.10: Tlakový hrnec 28
Obr. 5.1: SONO WZ Analyzer 32
Obr. 5.2: Vstupní hodnoty 33
Obr. 5.3: Parametr CHAR v závislosti na křivce zrnistosti [21] 34
Obr. 5.4: Rozsah měřených hodnot EC_{TRIME} [21] 35
Obr. 5.5: Betonárna ČMB Beroun 36
Obr. 5.6: Odebírání betonu z autodomíchávače 37
Obr. 5.7: Měření teploty betonu 37
Obr. 5.8: Měření obsahu vzduchu 38
Obr. 5.9: Zkouška sednutí kužele 39
Obr. 5.10: Měření SONO-WZ 40
Obr. 5.11: Naměřené hodnoty SONO-WZ 40
Obr. 5.12: Vážení odebraného vzorku 41
Obr. 5.13: Sušení vzorků v sušárně 41
Obr. 5.14: Sypání navážených materiálů do míchačky 42
Obr. 5.15: Zkouška sednutím kužele – meření sednutí – S1 (10 mm) 43
Obr. 5.16: Míchání betonové směsi v míchačce 43
Obr. 6.1: Porovnání výsledků SONO-WZ a sušárny u vzorků z betonárny 50
Obr. 6.2: Porovnání výsledků SONO-WZ a sušárny u vzorků z laboratoře 51
Obr. 6.3: Porovnání výsledků SONO-WZ a sušárny u vzorků BETOTECH 52
Obr. 6.4: Porovnání výsledků CHAR SONO-WZ a sušárny vzorky z betonárny 57

SEZNAM TABULEK

Tab. 4.1: Klasifikace dle sednutí kužele (převzato z [9]) 19
Tab. 4.2: Klasifikace dle rozlití (převzato z [9])..... 21
Tab. 4.3: Třídy konzistence rozlitím kužele (převzato z [9]) 22
Tab. 4.4: Klasifikace konzistence dle času Vebe (převzato z [9])..... 23
Tab. 4.5: Klasifikace dle zhutnitelnosti (převzato z [9]) 26
Tab. 5.1: Složení záměsi pro míchání betonu v laboratoři 42
Tab. 5.2: Naměřené hodnoty - betonárna SONO-WZ (ukázka)..... 45
Tab. 5.3: Hodnoty ze sušárny a záznamového zařízení betonárny (ukázka)..... 46
Tab. 5.4: Naměřené hodnoty - laboratoř SONO-WZ (ukázka) 47
Tab. 5.5: Hodnoty ze sušárny a odměřené při míchání betonu (ukázka)..... 48
Tab. 6.1: Odchylka hodnot obsahu vody dle konzistence - betonárna 53
Tab. 6.2: Odchylka hodnot obsahu vody dle konzistence - laboratoř..... 54
Tab. 6.3: Odchylka hodnot obsahu vody dle konzistence - laboratoř BETOTECH..... 55

SEZNAM PŘÍLOH

[1] Měření betonárna

V příloze jsou uvedeny všechny naměřené hodnoty pro beton odebíraný z betonárny. Jedná se o vzorky označené čísly 1 až 40.

[2] Měření laboratoř

V příloze jsou uvedeny všechny naměřené hodnoty pro beton míchaný v laboratoři. Jedná se o vzorky označené čísly 101 až 119.

[3] Převzaté hodnoty BETOTECH

V příloze jsou uvedeny všechny převzaté hodnoty laboratoře BETOTECH. Jedná se o vzorky označené čísly 201 až 222.

Přílohy jsou uloženy v digitální podobě na přiloženém CD