

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra dopravního stavitelství

Vliv vybraných technologických činitelů na odolnost  
silničního betonu proti CHRL  
The influence of selected technological factors on the resistance of  
road concrete to CHRL

Student:  
Vedoucí bakalářské práce:

Luka Spanel  
Ing. Denisa Cihlářová, Ph.D.

Ostrava 2023

# Zadání bakalářské práce

Student:	<b>Luka Spanel</b>
Studijní program:	B0732A260001 Stavební inženýrství
Specializace:	S01 Dopravní stavby
Téma:	<b>Vliv vybraných technologických činitelů na odolnost silničního betonu proti CHRL</b> <b>The influence of selected technological factors on the resistance of road concrete to CHRL</b>
Jazyk vypracování:	čeština

## Zásady pro vypracování:

V rámci teoretické části bakalářské práce student shrne aktuální tuzemské poznatky na téma trvanlivost betonu vystaveného působení chemických rozmrazovacích látek (CHRL). V praktické části student provede laboratorní experiment na třech betonových směsích třídy C 30/37 XF4 v konzistenci S4 (160-210 mm dle normy ČSN EN 12350-2). Na každé směsi budou stanoveny základní zkoušky čerstvého betonu (konzistence, obsah vzduchu v čerstvém betonu, objemová hmotnost) a z každé betonové směsi budou odebrány 3 zkušební krychle (o hraně 150 mm) na pevnost v tlaku ztvrdlého betonu. Z každé jednotlivé směsi bude vyhotoveno 6 zkušebních krychlí, tři budou vibrované (stejně dlouhá doba vibrace u všech zkušebních těles) a tři propichované (25 vpichů ve třech vrstvách). Dále bude na každé jedné krychli z trojce vzorků upraven povrch tímto způsobem:

- 1 x uhlazení zednickou lžící
- 3 x uhlazení zednickou lžící
- 1 x uhlazení klikatým tahem latí

Závěrem bude provedeno porovnání a vyhodnocení dosažených výsledků.

## Seznam doporučené odborné literatury:

Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací: TKP 18 Betonové konstrukce a mosty  
ČSN EN 206+ A2 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda  
ČSN EN 12350-1 Zkoušení čerstvého betonu – Část 1: Odběr vzorků a zkušební zařízení  
ČSN EN 12350-2 Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím  
ČSN EN 12350-6 Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost  
ČSN EN 12350-7 Zkoušení čerstvého betonu – Část 7: Obsah vzduchu – Tlakové metody  
ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles  
ČSN EN 12390-7 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu  
ČSN 73 1326+Z1 Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Denisa Cihlářová, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2022

Datum odevzdání: 02.05.2023

Garant studijního programu: prof. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.

V IS EDISON zadáno: 21.10.2022 09:52:12

**Místopřísežné prohlášení**

*„Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.“*

*V Ostravě, dne*

---

Luka Spanel

Prohlašuji:

- Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užití své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne .....

## **Abstrakt:**

Tato bakalářská práce se věnuje rozdílům vlastností betonových povrchů s použitím různých metod úprav. Tyto rozdíly jsou vyhodnoceny pomocí zkoušek na zhotovených vzorcích. V první části práce jsou shrnuty tuzemské poznatky spojené se zkoušením odolnosti proti vodě a chemickým rozmrazovacím látkám, dále specifikace betonů v prostředí XF, teorie provzdušněných betonů a následně samotné stanovení odolnosti povrchu betonu proti působení vody a chemickým rozmrazovacím látkám. Také jsou rozebrány jednotlivé zkoušky čerstvého i ztvrdlého betonu.

V druhé části bude cílem vytvořit tělesa pro zkoušení různých povrchů, které budou podrobeny zkoušce na odolnost proti CHRL metodou A. Dalším cílem bude také stanovení základních zkoušek čerstvého i ztvrdlého betonu.

V závěru práce bude vyhodnocení a porovnání celého experimentu a shrnutí všech poznatků zkoušky odolnosti betonu proti CHRL.

## **Klíčová slova:**

beton, odolnost betonu, chemické a rozmrazovací látky, zkoušky čerstvého betonu, zkoušky ztvrdlého betonu

**Abstract:**

This bachelor thesis focuses on the differences in the properties of concrete surfaces using different treatment methods. These differences are evaluated by means of tests on fabricated samples. The first part of the thesis summarizes the domestic knowledge related to the testing of resistance to water and chemical deicing agents, the specification of concretes in XF environment, the theory of aerated concretes and then the actual determination of the resistance of concrete surfaces to water and chemical deicing agents. Individual tests for fresh and hardened concrete are also discussed.

In the second part, the aim will be to develop test fixtures for testing various surfaces for resistance to CHRL by Method A. Another objective will also be to establish the basic tests for both fresh and hardened concrete.

The thesis will conclude with an evaluation and comparison of the whole experiment and a summary of all the findings of the concrete resistance test against CHRL.

**Key words:**

concrete, concrete resistance, chemical and de-icing agents, fresh concrete tests, hardened concrete tests

## Obsah

Úvod.....	1
A. TEORETICKÁ ČÁST .....	2
1. PROBLEMATIKA STANOVENÍ ODOLNOSTI BETONU PROTI CHRL – POZNATKY .....	2
1.1. Problémy spojené se stanovením odolnosti betonu proti CHRL .....	2
1.1.1. Problémy při výrobě a ošetřování .....	2
1.1.2. Problémy se samotným zkoušením .....	3
1.1.3. Problémy s vyhodnocením .....	3
1.1.4. Závěr problematiky .....	3
1.2. Vliv CHRL na odolnost betonu.....	4
2. SPECIFIKACE BETONŮ V PROSTŘEDÍ XF .....	4
3. PROVZDUŠNĚNÉ BETONY.....	6
3.1. Výroba provzdušněných betonů.....	6
4. STANOVENÍ ODOLNOSTI POVRCHU BETONU PROTI PŮSOBENÍ VODY A CHRL .....	7
4.1. Metody zkoušení v České republice.....	7
4.1.1. A: Metoda automatického cyklování .....	8
4.1.2. B: Metoda ruční manipulace .....	9
4.1.3. C: Metoda automatického cyklování II.....	10
5. AUTOMATICKÉ ZAŘÍZENÍ KD 20 .....	10
6. ZKOUŠKY ČERSTVÉHO BETONU.....	12
6.1. Zkouška sednutím .....	12
6.2. Objemová hmotnost .....	14
6.3. Obsah vzduchu – tlakoměrná metoda .....	15
7. ZKOUŠKY ZTVRDLÉHO BETONU .....	16
7.1. Pevnost v tlaku .....	16
7.2. Odolnost betonu proti působení CHRL.....	17
B. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	18
8. Výroba.....	18
9. Naměřené hodnoty čerstvého betonu .....	19
9.1. Konzistence .....	19
9.2. Obsah vzduchu .....	21
10. Naměřené hodnoty ztvrdlého betonu .....	22



Bakalářská práce  
Vliv vybraných technologických činitelů na odolnost silničního betonu proti CHRL

---

10.1.	Pevnost v tlaku na krychlích .....	23
10.1.1.	Grafické vyhodnocení výsledků .....	23
10.2.	Odolnost betonu proti vodě a CHRL.....	26
10.2.1.	Výsledky zkoušky odolnosti proti vodě a CHRL.....	29
10.2.2.	Vyhodnocení zkoušky podle úpravy povrchu .....	31
11.	Závěr .....	35
12.	Seznam použitých zdrojů.....	36
	Literatura .....	36

## Seznam zkratk a proměnných

**CHRL**  
**ČSN**

**chemické rozmrazovací látky**  
**česká technická norma**

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma připevnění objímky na vzorek.....	9
Obrázek 3 Teplotní cyklus .....	10
Obrázek 4 Zařízení KD 20 .....	11
Obrázek 5 Počítač s dotykovým displejem .....	11
Obrázek 6 Grafické znázornění průběhu zkoušky Auto 1 .....	12
Obrázek 7 Měření sednutí (ČSN EN 12350-2) .....	13
Obrázek 8 Tvary sednutí (ČSN EN 12350-2) .....	13
Obrázek 9 Naplněná nádoba betonem.....	14
Obrázek 10 Tlakoměrná nádoba – počáteční hodnota tlaku, naměřená hodnota obsahu vzduchu .....	16
Obrázek 11 Krychle tlačena v lisu .....	17
Obrázek 12 Odběr betonové směsi a výroba těles .....	18
Obrázek 13 Úprava povrchu těles - 1 x uhlazení zednickou lžící, 3 x uhlazení zednickou lžící, klikatým tahem latí.....	19
Obrázek 14 Tělesa uložená na stavbě.....	19
Obrázek 15 Provedené zkoušky konzistence na třech směsích.....	20
Obrázek 16 Provedené měření zkoušky obsahu vzduchu na třech směsích.....	21
Obrázek 17 Vzorčky uložené v komoře.....	22
Obrázek 18 Nasazené vzorčky v zařízení KD 20.....	26
Obrázek 19 Vysušené odpady po zkoušce .....	27
Obrázek 20 Výsledný povrch a slitý odpad po zkoušce CHRL .....	27
Obrázek 21 Trojice úpravy na vzorcích po zkoušce CHRL.....	28
Obrázek 22 Trojice úpravy povrchu (shora) .....	28

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Stupně vlivu prostředí XF .....	4
Tabulka 2 Tab. F.1.1 Mezní hodnoty pro složení a vlastnosti betonu platné v ČR .....	5
Tabulka 3 Tab. F.1 – doporučené hodnoty pro mezní složení a vlastnosti betonu .....	5
Tabulka 4 Kritéria shody pro odolnost betonu vůči vlivu vody a CHRL (TKP 18).....	7
Tabulka 5 Naměřené hodnoty sednutí.....	20
Tabulka 6 Klasifikace konzistence podle sednutí kužele.....	20
Tabulka 7 Naměřené hodnoty obsahu vzduchu .....	21
Tabulka 8 Tab. F.1.2 (ČSN P 73 2404).....	22
Tabulka 9 Naměřené hodnoty pevnosti v tlaku na krychlích.....	23
Tabulka 10 Navážené odpady po zkoušce CHRL.....	29
Tabulka 11 Vyhodnocení zkoušky CHRL .....	30
Tabulka 12 Zatřídění povrchu dle ČSN 73 1326.....	31
Tabulka 13 Výsledné hodnoty odpadu povrchové úpravy 1 .....	32
Tabulka 14 Výsledné hodnoty odpadu povrchové úpravy 2.....	33
Tabulka 15 Výsledné hodnoty odpadu povrchové úpravy 3.....	34

## Seznam grafů

Graf 1 Naměřené hodnoty pevnosti v tlaku na první směsi .....	24
Graf 2 Naměřené hodnoty pevnosti v tlaku na druhé směsi .....	24
Graf 3 Naměřené hodnoty pevnosti v tlaku na třetí směsi .....	25
Graf 4 Výsledná průměrná měření tří směsí .....	25
Graf 5 Porovnání navážených odpadů po zkoušce CHRL .....	30
Graf 6 Porovnání množství odpadu po zkoušce CHRL .....	31
Graf 7 Porovnání výsledků úpravy povrchu 1 .....	32
Graf 8 Porovnání výsledků úpravy povrchu 2 .....	33
Graf 9 Porovnání výsledků úpravy povrchu 3 .....	34

## Úvod

Beton je kompozitní materiál ze směsi cementu, hrubého a drobného kameniva a vody, které vznikne ztvrdnutím cementové kaše (cementu a vody). Kromě těchto základních složek může obsahovat přísady nebo příměsi, které ovlivňují zpracovatelnost betonové směsi, ale i konečné vlastnosti betonů. Velkou výhodou betonu je dobrá tvarovatelnost a možnost recyklace. Proto je beton vhodný pro různá použití v pozemním i inženýrském stavitelství. Na provozní náklady se dává důraz i na trvanlivost. Tu nám udává norma ČSN EN 206 + A2 a ČSN P 73 2404.

Betonové povrchy jsou dnes velmi běžné. Mezi obávané vlivy, které na ně působí, je zejména působení mrazu a chemických rozmrazovacích látek. Jedná se zejména o pozemní komunikace, parkoviště, odstavné plochy, rampy, chodníky a dlážděné povrchy. [1] Negativní dopad z hlediska estetického je obnažení kameniva betonu nebo otevření celé struktury pro snadnější průnik negativních činitelů i vlhkosti. Dá se říct, že působením těchto mechanismů vzniká neustálý koloběh degradace betonů. Agresivní ionty v zimě snadno rozpustí náledí, ale zároveň vnikají i do betonu. Dochází k postupnému vydrolování částic až po kusy betonu. Může dojít také k vzniku trhlin, které nakonec proces ukončí rozpadem betonu. [1]

Betony odolné vůči působení mrazu a rozmrazování s rozmrazovacími prostředky nebo bez nich se používají jako provzdušněné. Samotný povrch a jeho úprava je důležitým aspektem u provzdušněných betonů. Aby bylo zamezeno všem nežádoucím jevům, používají se provzdušňovací přísady, které ovlivní mikrostrukturu betonu.

## **A. TEORETICKÁ ČÁST**

### **1. PROBLEMATIKA STANOVENÍ ODOLNOSTI BETONU PROTI CHRL – POZNATKY**

Odolnost betonu proti CHRL je velkým technologickým problémem, který řeší technologové, zkušebníci i projektanti již desítky let. Tuto odolnost zkoumáme především kvůli povrchovému odlupování, které sice neohrožuje kvalitu betonu uvnitř konstrukce, ale činí beton náchylný proti pronikání vody a agresivních látek do jeho struktury a tím ohrožuje jeho trvanlivost. [2]

Metoda zkoušení odolnosti betonu proti CHRL není jasně dořešena a výsledky zkoušení jsou různé. Postupy zkoušení by měly být lépe specifikované, aby se co nejvíce omezily vlivy okrajových podmínek. Problémy nastávají už při výrobě a ošetření těles, dále problémy se samotným zkoušením i problémy s vyhodnocováním. [2]

#### **1.1. Problémy spojené se stanovením odolnosti betonu proti CHRL**

##### **1.1.1. Problémy při výrobě a ošetřování**

Velkou roli hraje už samotné zhutnění, zejména délka a kvalita. Pokud dojde k převibrování, dojde k segregaci kameniva. Kamenivo sedá ke dnu a nahoře zůstává cementový tmel, což zkoušku CHRL zásadně negativně ovlivní. Důvodem je právě kvalita povrchové vrstvy, která např. pevnost v tlaku nijak zvlášť neovlivní. [2]

Problémem je i kvalita uhlazení. Norma říká, že by se měl povrch zarovnat pilovitým pohybem ocelového pravítka. Každý tuhle informaci může ale pochopit jinak. Přitom právě kvalita uhlazení má velký vliv na celkový výsledek zkoušky. [2]

Dalším důležitým faktorem je použití forem, zejména materiál a kvalita. Použití formy není nikde specifikováno a výrobců je několik. Formy mohou být ocelové, polypropylenové nebo polyuretanové. S formami souvisí i použití separačních prostředků. [2]

### **1.1.2. Problémy se samotným zkoušením**

Jako základní chemická rozmrazovací látka se používá 3% roztok NaCl. V normě ovšem není specifikováno, zda se jedná o technickou či kuchyňskou sůl. Také není uvedeno, zda použít pitnou nebo destilovanou vodu. Různou kombinací surovin lze získat roztok s různými vlastnostmi. [2]

Dalším problémem může být i nalití roztoku do misky se zkušebním tělesem. Nalítím se může stát, že roztok nezateče pod celou plochu zkušebního tělesa. Hrozí, že mezi miskou a zkušebním tělesem zůstanou vzduchové bubliny. Také kontrola výšky hladiny chemického roztoku je poměrně obtížná. [2]

Také zaplnění zmrazovacího boxu hraje roli při provádění zkoušky. Prostor plně zaplněný miskami může mít jinou tepelnou setrvačnost než prostor zaplněný například třemi miskami. [2]

### **1.1.3. Problémy s vyhodnocením**

Všechny předchozí problémy vedou k velmi různorodým výsledkům. Z normy je nejasný postup při výpočtu počtu zkušebních cyklů. Neuvádí totiž, zda se má vypočítat průměrný odpad v  $\text{g/m}^2$  ze tří krychlí, anebo vypočítat počet cyklů pro jednotlivou krychli a z nich potom vypočítat průměr. Výsledek se může lišit v závislosti na zvoleném postupu. [2]

### **1.1.4. Závěr problematiky**

Z výše uvedeného vyplývá, že zkouška stanovení odolnosti betonu proti CHRL má extrémně velkou variabilitu výsledků. V praxi bohužel často narážíme na spory ohledně výsledků zkoušek v desítkách  $\text{g/m}^2$ . Například, pokud odběratel požaduje odpad po 100 cyklech do  $1000 \text{ g/m}^2$  a betonárna provede zkoušky s odpadem  $950 \text{ g/m}^2$ , odběrateli se tento výsledek nemusí zdát a nechá si provést zkoušky v jiné akreditované laboratoři s výsledkem  $1050 \text{ g/m}^2$ . [2]

## 1.2. Vliv CHRL na odolnost betonu

Dalším problémem zkoušek odolnosti proti CHRL je vztah ke stylu namáhání konstrukce. Tento problém může nastat například při zkoušení CB krytů. U těchto konstrukcí se zkouší stejná část tělesa jako konstrukce, tzn. upravený povrch válce a pojížděný povrch vozovky. Oproti tomu u svislých konstrukcí v prostředí XF2 je namáhaná svislá plocha, tudíž plocha z bednění, která se nezkouší. [5]

Pokud odebereme jedno těleso jádrovým vývrtem z upraveného povrchu a druhé z boku vzorku z bednění, výsledky se budou lišit. Ve chvíli, kdy dojde k rozpadu upraveného povrchu, výrazně se zvýší rychlost porušování mrazovými cykly. Oproti tomu povrch z bednění má na počátku mírně vyšší porušení, ale po 50 cyklech dochází ke zmenšení rychlosti porušování. [5]

Výsledkem potom zjistíme, že tato „dobrá“ odolnost je dosažena pouze úpravou povrchu a s vlastní odolností nemá nic společného. Jednoznačně tedy víme, že zkoušení betonu na vodorovném povrchu nedává reprezentativní hodnoty pro plochy konstrukce z bednění. [5]

## 2. SPECIFIKACE BETONŮ V PROSTŘEDÍ XF

Prostředí XF je takové, kde na beton střídavě působí vnější vlivy v podobě mrazu a rozmrazování společně s chemickými a rozmrazovacími prostředky nebo bez nich. Jedná se o negativní vlivy zvyšující namáhání betonu a zároveň snižující jeho trvanlivost.

Beton v prostředí XF se v České republice navrhuje podle norem ČSN EN 206+A2 a ČSN P 73 2404. Tyto normy rozdělují prostředí do čtyř stupňů vlivů prostředí XF1 – XF4.

Tabulka 1 Stupně vlivu prostředí XF

XF1	Mírně nasycen vodou bez rozmrazovacích prostředků.	Svislé betonové povrchy vystavené dešti a mrazu.
XF2	Mírně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky.	Svislé betonové povrchy silničních konstrukcí vystavené mrazu a rozmrazovacím prostředkům rozptýleným ve vzduchu.
XF3	Značně nasycen vodou bez rozmrazovacích prostředků.	Vodorovné betonové povrchy vystavené dešti a mrazu.
XF4	Značně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky nebo mořskou vodou.	Vozovky a mostovky vystavené rozmrazovacím prostředkům. Betonové povrchy vystavené přímému ostříku rozmrazovacími prostředky a mrazu. Omývaná část staveb v moři vystavená mrazu.



Bakalářská práce  
Vliv vybraných technologických činitelů na odolnost silničního betonu proti CHRL

Po zatřídění betonové směsi do stupně vlivu prostředí udávají normy jednotlivé charakteristiky jako minimální pevnostní třída, minimální obsah cementu, minimální obsah vzduchu v čerstvém betonu, maximální průsak tlakovou vodou a maximální hmotnost odpadu při zkoušce odolnosti betonu proti CHRL.

Dle tabulky F.1.1 normy ČSN P 73 2404 je požadovaná minimální pevnostní třída v prostředí XF1 a XF3 o stupeň nižší než v tabulce F.1 normy ČSN EN 206+A2.

Tabulka 2 Tab. F.1.1 Mezní hodnoty pro složení a vlastnosti betonu platné v ČR

Stupně vlivu prostředí		Bez nebezpečí koroze nebo narušení	Koroze způsobená karbonatací					Koroze způsobená chloridy			Působení mrazu a rozmrazování				Chemicky agresivní prostředí		
								jiné chloridy než z moře									
			XC1	XC2	XC3	XC4	XC5	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Maximální vodní součinitel w/c	---	0,65	0,60	0,55	0,50	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45		
Minimální pevnostní třída <sup>a)</sup>	C12/15	C16/20	C16/20	C20/25	C25/30	C25/30	C25/30	C30/37 <sup>a)</sup>	C25/30	C25/30	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30 <sup>a)</sup>	C30/37 <sup>a)</sup>		
Minimální obsah cementu [kg/m <sup>3</sup> ] <sup>b)</sup>	---	260	280	280	300	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360		
Minimální obsah vzduchu v ČB při zkoušce podle ČSN EN 12350-7 pro beton [%]	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4,0 <sup>a)</sup>	4,0 <sup>a)</sup>	4,0 <sup>a)</sup>	---	---	---		
Jiné požadavky	Maximální průsak vody při zkoušce podle ČSN EN 12390-8 [mm <sup>3</sup> /s] <sup>c)</sup>	---	---	---	---	50	---	50	35	50	50	35	35	50	35	20	
	Odolnost betonu vůči zmrazování a rozmrazování, při zkoušce podle ČSN 73 1326 – metoda/počet cyklů/odpad [g/m <sup>2</sup> ] <sup>d)</sup>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	A/75/ 1250 C/50/ 1500		A/100/ 1000 C/75/ 1000	---	---	---	
										kamenivo podle ČSN EN 12620+A1 s dostatečnou mrazuvzdorností				cement podle Tabulka F.3 ČSN P 73 2404			

Tabulka 3 Tab. F.1 – doporučené hodnoty pro mezní složení a vlastnosti betonu

	Stupně vlivu prostředí																	
	Bez nebezpečí koroze nebo narušení	Koroze způsobená karbonatací				Koroze způsobená chloridy						Působení mrazu a rozmrazování				Chemicky agresivní prostředí		
						Z mořské vody			Jiné chloridy než z mořské vody									
		XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4			
Maximální vodní součinitel w/c <sup>a)</sup>	–	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Minimální pevnostní třída	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Minimální obsah cementu <sup>b)</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]	–	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Minimální obsah vzduchu [%]	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4,0 <sup>a)</sup>	4,0 <sup>a)</sup>	4,0 <sup>a)</sup>	–	–	–
Jiné požadavky	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	kamenivo podle EN 12620 s dostatečnou mrazuvzdorností				–	síranovzdorný cement <sup>c)</sup>	

### 3. PROVZDUŠNĚNÉ BETONY

Hlavním způsobem zajištění odolnosti betonu v prostředí XF je provzdušnění betonu. V České republice se rozlišují požadavky podle plánované životnosti betonu na 50 a 100 let, dle tabulky F.1 a F.2 normy ČSN EN 206+A2. Českou specialitou není jen předepisovat, jak má být beton navržen, ale i zkoušení ztvrdlého betonu na maximální průsak a odolnost vůči vodě a CHRL. U životnosti 100 let je navíc požadován minimální obsah mikropórů a maximální součinitel rozložení vzduchových pórů.

Kombinace vody, mrazu a CHRL způsobuje pnutí a tah ve vnitřní struktuře betonu a tím dochází ke vzniku trhlin, zároveň také k poklesu pevnosti v tahu i v tlaku. Dochází také k porušení celého kompaktního systému, který se tak stává velmi náchylný k působení vnějších degradačních činitelů. Aby se tento problém co nejvíce eliminoval, používají se provzdušňovací přísady, které ovlivňují mikrostrukturu betonu. Tyto přísady tvoří malé mikropóry o velikosti od 25 do 300  $\mu\text{m}$ , které vytváří prostor pro vznikající led při zamrznání vody v betonu. Tímto procesem je sníženo tahové napětí, vůči kterému je beton špatně odolný. Druhým kritériem použití provzdušňovací přísady je eliminace negativních vlivů, které způsobuje používání chemických a rozmrazovacích látek v zimních měsících.

Obecně se použitím provzdušňovacích přísad získá 4–7 % celkového obsahu vzduchu, přičemž množství potřebných mikropórů zde tvoří 2–3 %. Obsah vzduchu se měří jak v čerstvém stavu, tak i na ztvrdlém betonu, jehož množství by mělo dosahovat hodnoty  $A \geq 4$  %. Dnešní běžně používané přísady jsou například na bázi mýdel, přírodních pryskyřic nebo syntetické neionogenní a anionogenní tenzidy. [6]

#### 3.1. Výroba provzdušněných betonů

Výroba těchto betonů se provádí v betonárnách, kde tvorba mikropórů závisí na dávkování provzdušňovací přísady, době účinku míchání a také na teplotě, kdy vyšší teploty docílí nižší provzdušnění a je nutné použít vyšší dávku přísady. Přísada se dávkuje spolu se záměsovou vodou, doba míchání by neměla klesnout pod 45 sekund a měla by být takto konstantně udržována po celou dobu výroby. Takto provzdušněný čerstvý beton je potřeba zpracovat do 90 minut od počátku výroby. [7]

## 4. STANOVENÍ ODOLNOSTI POVRCHU BETONU PROTI PŮSOBENÍ VODY A CHRL

Na odolnost betonu proti CHRL jsou kladeny požadavky normou ČSN EN 206 a zejména TKP 18. Norma v tab. 1 (stupně vlivu prostředí XF) uvádí, že odolnost betonu proti CHRL se týká stupně XF2 a XF4. Konkrétně stupeň XF2 je určen pro beton mírně nasycený vodou s rozmrazovacími prostředky a stupeň XF4 je určen pro beton značně nasycený vodou s rozmrazovacími prostředky nebo mořskou vodou. [2]

Zkušební tělesa se zhotovují přímo v místě betonáže po průchodu čerpadlem nebo z domíchávače, pokud není čerpadlo použito. Současně se na jednom vzorku provádí zkouška konzistence, obsahu vzduchu a objemové hmotnosti čerstvého betonu. [4]

Při hodnocení výsledků je zkouška vyhovující, jestliže vzorek nemá odolnost nižší, než je předepsáno v tabulce. [4]

Tabulka 4 Kritéria shody pro odolnost betonu vůči vlivu vody a CHRL (TKP 18)

Stupeň vlivu prostředí	Zkušební metoda	Průkazní zkoušky		Kontrolní zkoušky na lab. zkušebních tělesech nebo na vzorcích z konstrukce		
	ČSN 73 1326	Počet cyklů	Max. odpad (mezí hodnota) v g/m <sup>2</sup>	Počet cyklů	Max. odpad (mezí hodnota) v g/m <sup>2</sup>	Přípustná odchylka hodnoty odpadu a), b)
XF1	A	100	800	67	1250	+ 20 %
	C	75		50	1250	+ 20 %
XF2	A	150	800	100	1250	+ 20 %
	C	115		75	1250	+ 20 %
XF3	A	150	800	100	1250	+ 20 %
	C	115		75	1250	+ 20 %
XF4	A	150	600	100	1000	+ 20 %
	C	115		75	1000	+ 20 %

### 4.1. Metody zkoušení v České republice

Zkouška CHRL původně obsahovala dvě metody – metodu A: metoda automatického cyklování a metodu B: metoda ruční manipulace se vzorky. V roce 2003 byla vydána změna Z1, která přinesla novou metodu C: metoda automatického cyklování II. Dnes se využívají převážně metody A a C. [2]

### **Podstata zkoušky**

Při zkoušení se zkušební povrch tělesa ochladí z kladné teploty na zápornou teplotu. Na této teplotě je po předepsanou dobu udržován. Pak se zahřeje na kladnou teplotu a je na ní pak předepsanou dobu udržován. [11]

### **Zkušební vzorky**

Pro průkazní a kontrolní zkoušky se použijí minimálně 3 vzorky.

Tvary vzorků pro zkoušky:

- a) krychle o hraně 150 mm,
- b) válec o průměru 150 mm,
- c) hranol 40x40x160 mm (povolen používat pro zkoušení jemnozrnných betonů). [11]

Zkouší se horní povrch tělesa, který se neupravuje ale ponechává se tak, jak vznikl při výrobě.

Vyrobené zkušební vzorky se po vyjmutí z formy uloží do vlhkého prostředí na dobu 28 dnů. A to buď ve vodě o teplotě  $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  nebo v místnosti o teplotě  $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  a relativní vlhkosti  $\geq 95\%$ . Pak se uloží do normálního laboratorního prostředí a zahájí se jejich cyklování. [11]

#### **4.1.1. A: Metoda automatického cyklování**

Zkušební tělesa se umístí do misky z korozi-vzdorného materiálu horním povrchem betonového tělesa. Do misky se nalije 3% roztok NaCl tak, aby byl vzorek ponořen  $5 \pm 1$  mm.

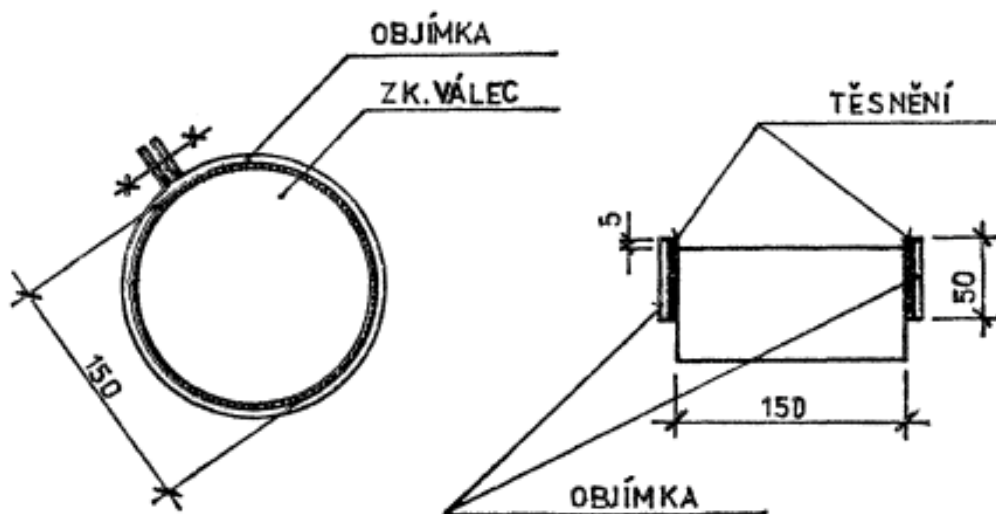
Tělesa jsou vždy umístěna zkušební plochou dolů. Misky se zkušebními tělesy se umístí do automatické zmrazovací skříně, která umožňuje kontrolovaně měnit teplotu. Minimální teplota je  $-15\text{ °C}$ , maximální  $+20\text{ °C}$ , přičemž ochlazování i ohřev musí proběhnout během 45 minut. Extrémní teploty jsou udržovány po dobu 15 minut, to znamená, že celkový čas jednoho cyklu je 120 minut. Celkový počet těchto cyklů je 25, po každém 25. cyklu se zkoušení přeruší a proudem vody ze stříčky se splaví uvolněné částice do misky. Odpad se poté vysuší při teplotě  $105\text{ °C}$  a následně se zjistí jejich hmotnost s přesností 0,1 g. [11]

#### 4.1.2. B: Metoda ruční manipulace

Zkušební tělesa se opatří objímkou tak, aby spojení objímky s tělesem bylo vodotěsné a nad zkušební plochou vznikl prostor minimálně 5 mm vysoký. Na povrch zkoušeného tělesa se nalije voda do výšky 2 mm. Při rozmrazování se v prvním cyklu tělesa zmrazují po dobu 16 hodin při teplotě  $-8\pm 1$  °C. Poté se led, který se vytvoří na deskách, nasype nebo nalije rozmrazovací látka. Při použití NaCl je to  $270 \text{ g/m}^2$ . [11]

Rozmrazování trvá po dobu 1 h. Poté se tělesa vyjmou a omyjí se vodou o teplotě  $20\pm 1$  °C po dobu 0,5 h. Další cykly musí mít dobu zmrazování minimálně 5 h, rozmrazování 1 h a omývání 0,5 h. [11]

Během zkoušky na povrchu tělesa se sleduje jeho stupeň narušení (nenarušený, malé povrchové odlupování, vylupování zrn kameniva, poškozený povrch). Odolnost povrchu se hodnotí podle výsledků zkoušek na základě požadovaného stavu povrchu těles při daném počtu cyklů. [11]

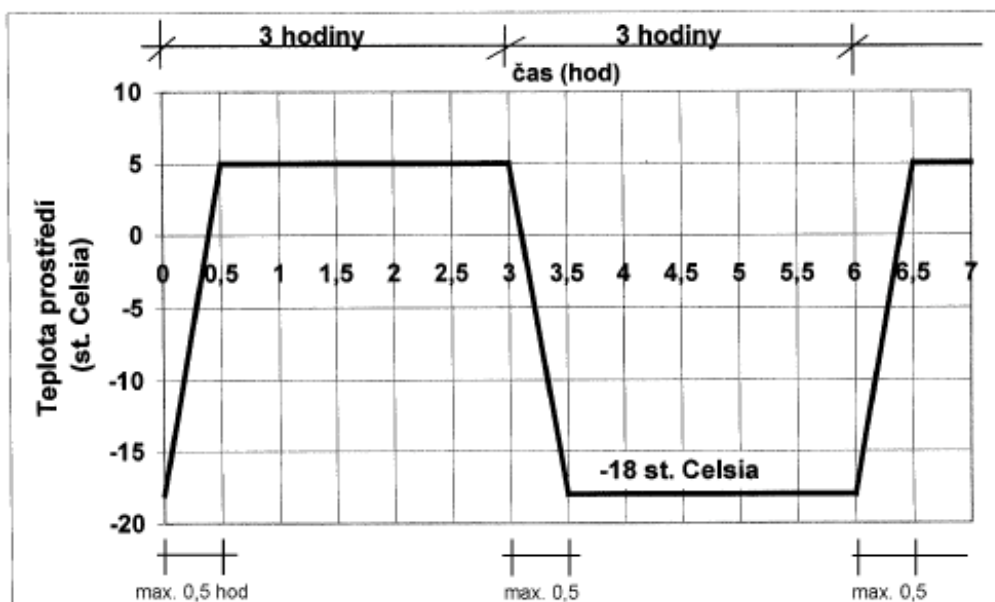


Obrázek 1 Schéma připevnění objímky na vzorek

### 4.1.3. C: Metoda automatického cyklování II

Tato zkušební metoda používá automaticky řízené cyklické střídání kladných a záporných hodnot. Základním zkušebním tělesem je 50 mm tlustý odřez horního povrchu betonu. Povrch je opatřen objímkou. Na celé zkušební těleso je nalit 3 % roztok NaCl do výšky 5 mm. Délka jednoho cyklu je 6 hodin. Teplota vzduchu se mění cyklicky 3 h ( $-18 \pm 1$ ) °C a 3 h ( $+5 \pm 1$ ) °C. [11]

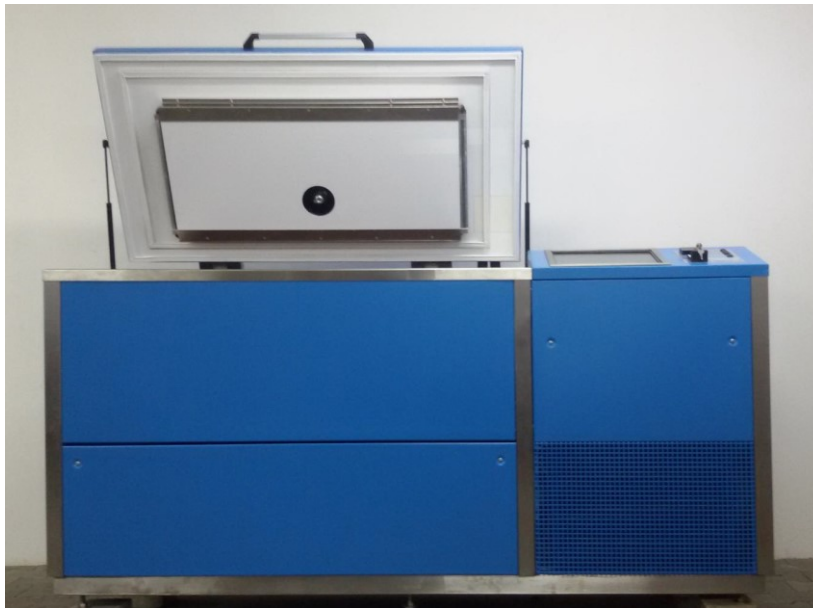
Roztok se slije pomocí stříčky a uvolněné částice se slíjí do misky. Odpad se vysuší při teplotě 105 °C a zváží s přesností na 0,1 g. [11]



Obrázek 2 Teplotní cyklus

## 5. AUTOMATICKÉ ZAŘÍZENÍ KD 20

KD 20 je mrazící zařízení, které umožňuje cyklické zkoušky stavebních materiálů. Toto zařízení sestává z tepelně izolované vany o rozměrech 1200 x 600 x 400 mm (d x š x v). Zkušební prostor je vyhříván i chlazen kondenzačním agregátem. Pod dnem a ve víku jsou umístěny výměníky tepla a ventilátor pro cirkulaci vzduchu ve zkušebním prostoru. Ve spodní části je umístěna nádrž na vodu s čerpadly, které zajišťují napouštění a vypouštění vody. [3]



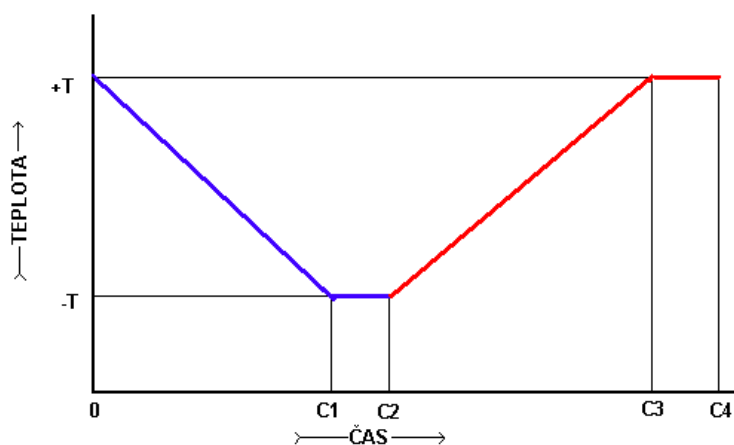
Obrázek 3 Zařízení KD 20

Zkušební zařízení je vybaveno a řízeno počítačem a aktuální hodnoty zkušebního cyklu jsou zobrazeny na displeji.



Obrázek 4 Počítač s dotykovým displejem

V zařízení jsou přednastaveny režimy Auto 1 – Auto 7 dle ČSN a EN pro zjednodušené ovládání a režim konstantní teploty. Rovnoměrný přenos tepla mezi dnem zkušebního prostoru a miskami se zkušebními vzorky a chemickou rozmrazovací látkou je zajišťován vrstvou vody (ledu). [3]



Obrázek 5 Grafické znázornění průběhu zkoušky Auto 1

Jeden cyklus se skládá z teploty  $+T$  ( $+20\text{ °C}$ ) na teplotu  $-T$  ( $-15\text{ °C}$ ), prodleva na teplotě  $-T$  ( $-15\text{ °C}$ ), ohřev teploty  $-T$  na teplotu  $+T$  ( $+20\text{ °C}$ ) a prodleva na teplotě  $+T$  ( $+20\text{ °C}$ ).

## 6. ZKOUŠKY ČERSTVÉHO BETONU

### 6.1. Zkouška sednutím

#### Podstata zkoušky

Čerstvý beton se zhutní ve formě tvaru komolého kužele. Po zvednutí komolého kužele nahoru se změří vzdálenost, o kterou poklesl beton. Zkouška se provádí podle normy ČSN EN 12350-2.

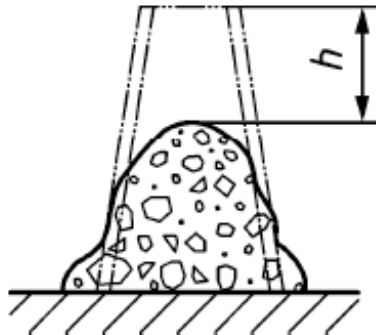
#### Zkušební postup

Kužel i podkladní deska se navlhčí a kužel se položí na vodorovnou podkladní desku. Během plnění musí být kužel přichycen k podkladní desce přišlápnutím dvou příložek, aby beton nevylezl spodem. [8]

Plní se ve třech vrstvách, každá přibližně do jedné třetiny výšky kužele. Každá vrstva se zhutní 25 vpichy propichovací tyčí. První vrstva se zhutňuje přes celou svou výšku, ale tyč nesmí narážet na dno. Další dvě vrstvy se hutní přes celou svou výšku. Při plnění vrchní vrstvy se před zhutňováním přeplní beton nad horní okraj kužele. Přebytečný beton se odstraní zednickou lžící. [8]



Kužel se opatrně odstraní směrem nahoru, a to během 2 až 5 sekund rovnoměrně. Ihned po zvednutí formy se měří sednutí  $h$  rozdílem výšky formy a nejvyšším bodem sednutého betonu. [8]



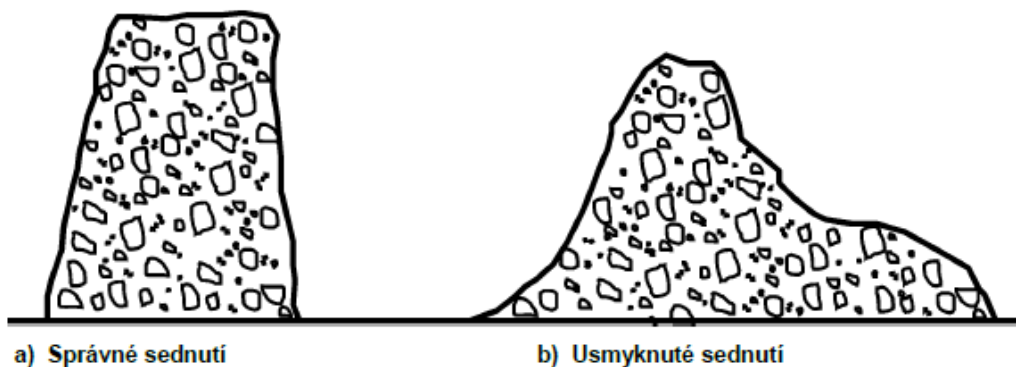
Obrázek 6 Měření sednutí (ČSN EN 12350-2)

### Výsledek zkoušky

Výsledek zkoušky je platný pouze tehdy, pokud beton zůstane neporušen. Jestliže se kužel zborstí, musí se odebrat jiný vzorek a zkoušku opakovat.

Jestliže i u následné zkoušky dojde k usmýknutí betonu, pak má beton nedostatečnou plasticitu a soudržnost a je nevhodný pro zkoušku sednutím kužele.

Zaznamenává se skutečné sednutí  $h$  s přesností na 10 mm. [8]



Obrázek 7 Tvary sednutí (ČSN EN 12350-2)

## 6.2. Objemová hmotnost

### Podstata zkoušky

Čerstvý beton se zhutní v tuhé a vodotěsné nádobě známého objemu a hmotnosti. Zkouška se provádí podle normy ČSN EN 12350-6.

### Zkušební postup

V závislosti na konzistenci betonu a metodě zhutňování se nádoba plní v tolika vrstvách, kolik je třeba, aby se dosáhlo úplného zhutnění. Beton se zhutňuje ihned po vložení do nádoby tak, aby se dosáhlo úplného zhutnění betonu bez nadměrné segregace a bez odlučování vody. [9]

Po zhutnění horní vrstvy se zarovná povrch betonu do roviny s horním okrajem nádoby ocelovou zednickou lžící nebo hladítkem. Přebytečný beton se odstraní a nádoba se na vnějším povrchu očistí. [9]

Naplněná nádoba se zváží, aby se zjistila její hmotnost ( $m_2$ ) a tato hodnota se zaokrouhlí na 0,01kg. [9]



Obrázek 8 Naplněná nádoba betonem

### Výpočet objemové hmotnosti

Objemová hmotnost se vypočítá ze vzorce:

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

kde:

- $D$  objemová hmotnost čerstvého betonu, v kg/m<sup>3</sup>  
 $m_1$  hmotnost prázdné nádoby, v kg  
 $m_2$  hmotnost naplněné nádoby se zhutněným betonem, v kg  
 $V$  objem nádoby, v m<sup>3</sup>

Objemová hmotnost čerstvého betonu se zaokrouhlí na nejbližších 10 kg/m<sup>3</sup> [9]

## 6.3. Obsah vzduchu – tlakoměrná metoda

### Podstata zkoušky

Známy objem vzduchu o známém tlaku je propojen v uzavřené nádobě s neznámým objemem vzduchu ve vzorku betonu. Kruhová stupnice tlakoměru je nastavena v procentním podílu vzduchu ve vzorku betonu. Zkouška se provádí podle normy ČSN EN 12350-7.

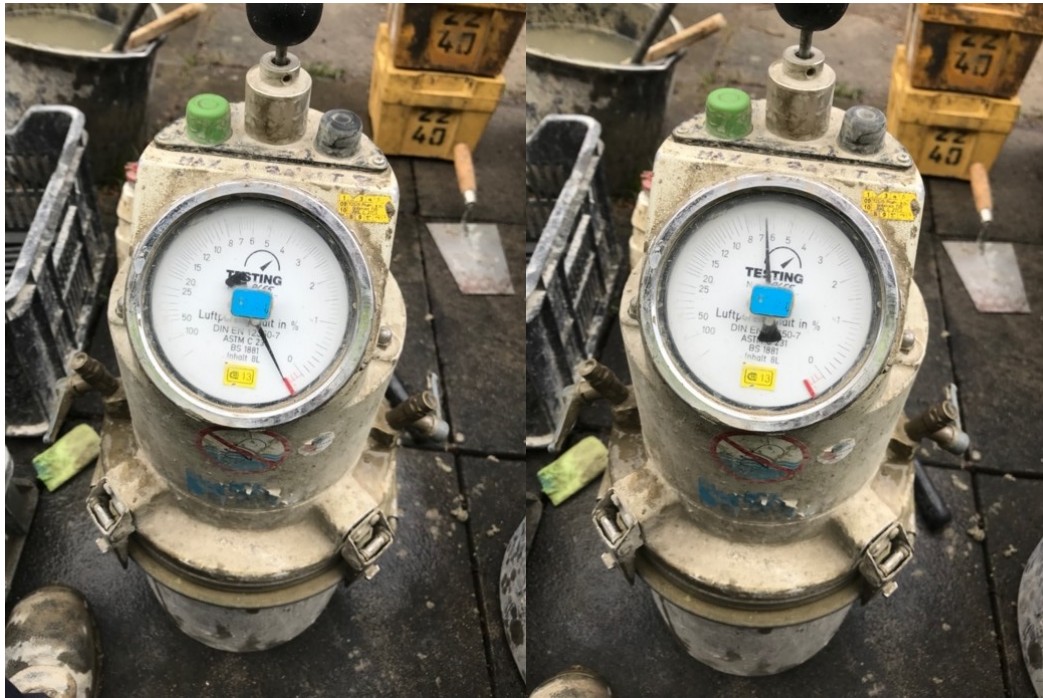
### Zkušební postup

Před zkouškou se zvlhčí tlaková nádoba. Nádoba se naplní betonem buď v jedné vrstvě nebo ve více vrstvách, na základě konzistence betonu a metody zhutnění. Obvykle pro beton s konzistencí S3 postačí pouze jedna vrstva. [10]

Zhutněný beton v nádobě se zarovná a povrch se uhladí ocelovým hladítkem. Příruba nádoby a víka se důkladně očistí vlhkým hadříkem. Víko se neprodyšně připevní k nádobě svorkami. Hlavní ventil pro přívod vzduchu se uzavře a otevřou se ventily A a B. Jedním ventilem vstříkujeme vodu tak dlouho, dokud nezačne voda vytékat ventilem druhým. Zavřeme oba ventily a přístroj lehce poklepeme paličkou, aby se odstranily vzduchové bubliny. [10]

Do vzduchové komory napumpujeme vzduch, dokud ručička tlakoměru neukazuje počáteční hodnotu tlaku. Pokud je to nutné upustíme nebo připumpujeme vzduch. Vzduch se nechá po několik sekund stlačený, aby se vyrovnala jeho teplota s okolní teplotou vzduchu.

Otevře se hlavní ventil vzduchu a odečte se hodnota tlaku na tlakoměru. Hodnota odpovídá objemu obsahu vzduchu v procentech, zaokrouhlených na nejbližších 0,1 %. Před sejmutím víka se oba ventily otevřou, aby se uvolnil tlak. [10]



Obrázek 9 Tlakoměrná nádoba – počáteční hodnota tlaku, naměřená hodnota obsahu vzduchu

## 7. ZKOUŠKY ZTVRDLÉHO BETONU

### 7.1. Pevnost v tlaku

Zkouška se provádí podle normy ČSN EN 12390-3. Zkušební tělesa jsou zatěžována až do porušení ve zkušebním lisu. Z maximálního zatížení se vypočte pevnost betonu v tlaku.

Před každou zkouškou se tělesa zváží a změří ze všech stran. Těleso se umístí na střed spodní desky lisu. Zkušební tělesa mohou být krychle, válce nebo vývrty. [12] V mém případě byla pevnost v tlaku zkoušena na krychlích o hraně 150 mm. Krychle se do lisu osadí tak, aby směr zatěžování byl kolmý na směr ukládání betonu.

Pevnost v tlaku je dána vzorcem:

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

kde:

$f_c$             pevnost v tlaku, v MPa

$F$              maximální zatížení při porušení, v N

$A_c$             průřezová plocha zkušebního tělesa, v mm<sup>2</sup>

Pevnost v tlaku se zaokrouhlí na nejbližších 0,1 MPa. [12]



Obrázek 10 Krychle tlačena v lisu

## 7.2. Odolnost betonu proti působení CHRL

Odolnost působení proti působení CHRL byla stanovena metodou A. Popis této metody lze nalézt v kapitole 4.1.1.

## B. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část popisuje výrobu zkušebních těles, zkoušení a vyhodnocení výsledků. Úkolem bylo vyrobit betonové krychle o hraně 150 mm na třech betonových směsích třídy C 30/37 v prostředí XF4 s konzistencí S4. Na každé směsi byly provedeny základní zkoušky čerstvého betonu (konzistence, obsah vzduchu, objemová hmotnost). Zároveň z každé této směsi byly vyrobeny 3 krychle na pevnost v tlaku ztvrdlého betonu.

Z každé směsi bylo vyrobeno dohromady 6 krychlí, tři byly vibrované a tři propichované. Každý povrch trojice těles byl upraven jiným způsobem. První způsob byl 1 x uhlazení zednickou lžící, druhý 3 x uhlazení zednickou lžící a třetí povrch byl upraven 1 x klikatým tahem latí.

Všechny tyto vzorky byly poté uloženy na 28 dní do vlhkého prostředí. Po uplynutí této doby se uložily do zařízení KD 20 a sledovala se odolnost proti CHRL metodou A.

### 8. Výroba

Tělesa byla vyrobena přímo na stavbě. Z každého autodomíchávače se odebralo potřebné množství pro výrobu vzorků. Každé zkušební těleso se hutnilo ve dvou vrstvách. Z každé směsi byly tři tělesa hutněna na vibračním stolku a tři tělesa hutněna 25 x propichováním tyčí. Každý povrch trojice vzorků byl upraven jiným způsobem. Po zatvrdnutí byly vzorky převezeny do laboratoře.



Obrázek 11 Odběr betonové směsi a výroba těles



Obrázek 12 Úprava povrchu těles - 1 x uhlazení zednickou lžící, 3 x uhlazení zednickou lžící, klikatým tahem latí



Obrázek 13 Tělesa uložena na stavbě

## 9. Naměřené hodnoty čerstvého betonu

Zkoušky na čerstvém betonu byly prováděny ihned po příjezdu autodomíchávače na stavbu. Všechny zkoušky byly provedeny normovými postupy.

### 9.1. Konzistence

Konzistence čerstvého betonu byla měřena pomocí zkoušky Abramsova kužele podle normy ČSN EN 12350-2. Naměřené hodnoty třech směsí jsou vyobrazeny na fotografiích.



Obrázek 14 Provedené zkoušky konzistence na třech směsích

Všechna měření sednutí jsou zaznamenány v tabulce 5. Všechny měřené směsi vyhověly normovému rozmezí konzistence S4 (tab. 6).

Tabulka 5 Naměřené hodnoty sednutí

vzorek	sednutí [mm]
1	180
2	210
3	200

Tabulka 6 Klasifikace konzistence podle sednutí kužele

Stupeň	Zkouška sednutím podle EN 12350-2 mm
S1	10 až 40
S2	50 až 90
S3	100 až 150
S4	160 až 210
S5 <sup>a</sup>	≥ 220



## 9.2. Obsah vzduchu

Obsah vzduchu byl měřen tlakoměrnou metodou podle normy ČSN EN 12350-7. Výsledky zkoušek jsou vyobrazeny na fotografiích.



Obrázek 15 Provedené měření zkoušky obsahu vzduchu na třech směsích

V tabulce jsou zaznamenány naměřená procenta vzduchu v čerstvém betonu. Všechny naměřené hodnoty vzduchu odpovídají tabulce F.1.2 normy ČSN P 73 2404 pro beton v prostředí XF4 s velikostí zrna kameniva  $D_{max}$  22 mm (rozmezí 4,0 – 7,0 %).

Tabulka 7 Naměřené hodnoty obsahu vzduchu

vzorek	obsah vzduchu [%]
1	6,5
2	5,2
3	6,6

Tabulka 8 Tab. F.1.2 (ČSN P 73 2404)

Stupně vlivu prostředí															
	Bez nebezpečí koroze nebo narušení	Koroze způsobená karbonatací				Koroze způsobená chloridy			Působení mrazu a rozmrazování				Chemicky agresivní prostředí		
						jiné chloridy než z moře									
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2
Maximální vodní součinitel w/c	---	0,65	0,60	0,55	0,50	0,55	0,50	0,45	0,55 <sup>h)</sup>	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Doplňková specifikace min. pevnostní třídy betonu	C12/15	C20/25	C25/30	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30	C30/37 <sup>m)</sup>	C25/30	C25/30	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30 <sup>g)</sup>	C30/37 <sup>g)</sup>
Minimální obsah cementu při návrhu složení betonu [kg/m <sup>3</sup> ] <sup>n) o)</sup>	---	260	280	280	300	300	300	320	300	300 <sup>d)</sup>	320 <sup>d)</sup>	340 <sup>d)</sup>	300	320	360
Minimální obsah vzduchu v ČB při zkoušce podle ČSN EN 12350-7 pro beton se zmitostí do (%) <sup>e)</sup>	8 mm	---	---	---	---	---	---	---	---	4,5 <sup>f)</sup>	5,0 <sup>a)</sup>	5,5 <sup>a)</sup>	---	5,5 <sup>b)</sup>	5,5 <sup>b)</sup>
	16 mm	---	---	---	---	---	---	---	---	3,5 <sup>f)</sup>	4,0 <sup>a)</sup>	4,5 <sup>a)</sup>	---	4,5 <sup>b)</sup>	4,5 <sup>b)</sup>
	22-32 mm	---	---	---	---	---	---	---	---	3,0 <sup>f)</sup>	3,5 <sup>a)</sup>	4,0 <sup>a)</sup>	---	4,0 <sup>b)</sup>	4,0 <sup>b)</sup>
Minimální obsah mikropórů A <sub>300</sub> ve ztvrdlém betonu při zkoušce podle ČSN EN 480-11 [%] <sup>l)</sup>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1,0 <sup>i)</sup>	1,0 <sup>i)</sup>	1,8 <sup>l,m)</sup>	---	---	---
Maximální součinitel rozložení vzduchových pórů (L) při zkoušce podle ČSN EN 480-11 [mm]	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,24 <sup>j)</sup>	0,24 <sup>j)</sup>	0,20 <sup>l,m)</sup>	---	---	---
Maximální průsak vody při zkoušce podle ČSN EN 12390-8 [mm] <sup>e)</sup>	---	---	---	50	50	50	50	20	50	35	20	20	50	35	20
Odolnost betonu vůči zmrazování a rozmrazování, při zkoušce podle ČSN 73 1326 – metoda/počet cyklů/odpad [g/m <sup>2</sup> ]	---	---	---	---	---	---	---	---	A/67/1250 C/50/1250	A/100/1250 C/75/1250	A/100/1250 C/75/1250	A/100/1000 C/75/1000	---	---	---
Jiné požadavky													cement podle tabulky F.3 ČSN P 73 2404 <sup>o)</sup>		

## 10. Naměřené hodnoty ztvrdlého betonu

Zkoušky na ztvrdlém betonu probíhaly v akreditované zkušební laboratoři. Všechny vzorky byly uloženy ve vlhkém prostředí o teplotě  $\pm 20$  °C a relativní vlhkosti  $\geq 95$  % po dobu 28 dní.



Obrázek 16 Vzorky uložené v komoře

## 10.1. Pevnost v tlaku na krychlích

Pevnost v tlaku byla měřena na krychlích o hraně 150 mm. Krychle se zkoušely ve stáří 28 dní. Z každé směsi byly zkoušeny tři krychle na pevnost v tlaku. Postup zkoušení byl proveden dle normy ČSN EN 12390-3.

Všechny vzorky byly nejprve zváženy a změřeny, poté zatěžovány do maximální dosažené síly až do porušení.

V tabulce jsou zaznamenány a vypočteny všechny výsledné hodnoty. Všechny krychle dosáhly po 28 dnech hodnot nad požadovanou krychelnou pevnost v tlaku (37 MPa).

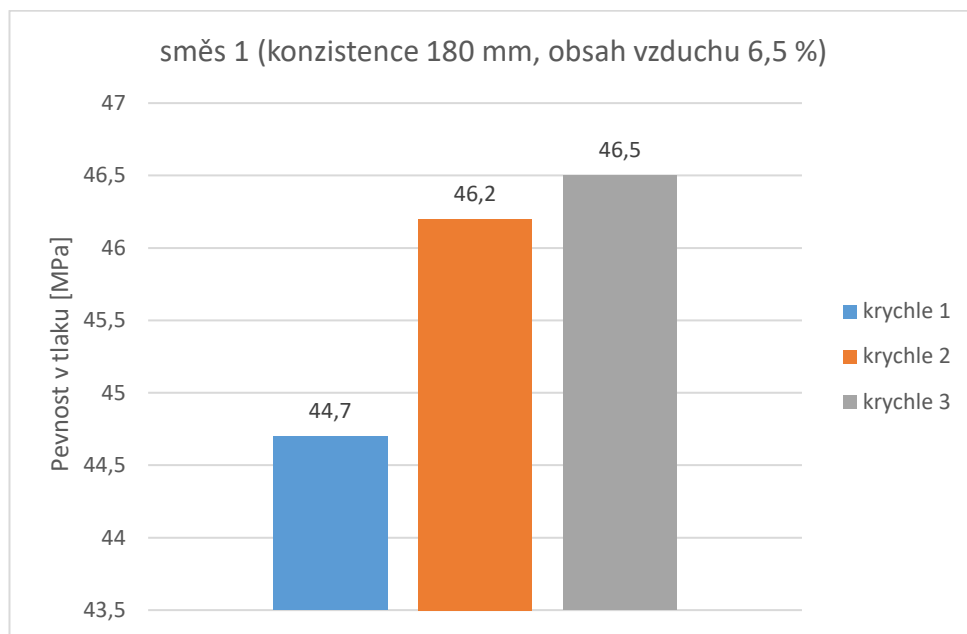
Tabulka 9 Naměřené hodnoty pevnosti v tlaku na krychlích

vzorek	krychle	hmotnost [kg]	výška [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	max. dosažená síla [kN]	pevnost v tlaku jednotlivě [MPa]	pevnost v tlaku průměrná [MPa]
1	1	7,714	151,0	150,2	150,4	2260	1013	44,7	45,8
	2	7,630	149,0	150,5	150,1	2270	1036	46,2	
	3	7,598	148,9	149,9	150,0	2270	1039	46,5	
2	1	7,624	149,9	150,0	149,9	2260	1262	56,1	53,7
	2	7,650	150,5	150,1	150,1	2260	1224	54,2	
	3	7,676	150,3	150,0	150,3	2270	1147	50,9	
3	1	7,540	149,3	149,5	149,6	2260	1033	46,3	47,3
	2	7,676	149,8	150,3	150,1	2270	1093	48,5	
	3	7,578	149,7	150,2	150,1	2250	1062	47,2	

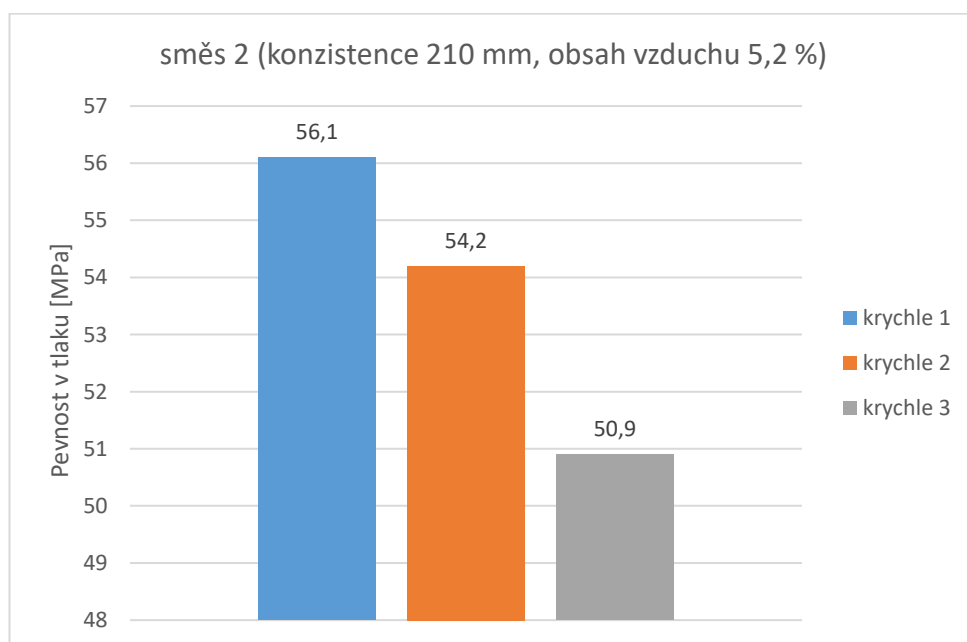
### 10.1.1. Grafické vyhodnocení výsledků

Všechny zkoušené krychle na pevnost v tlaku odpovídaly betonu C 30/37, tzn. krychelná pevnost v tlaku nad 37 MPa. Nejnížší naměřená pevnost byla 44,7 MPa.

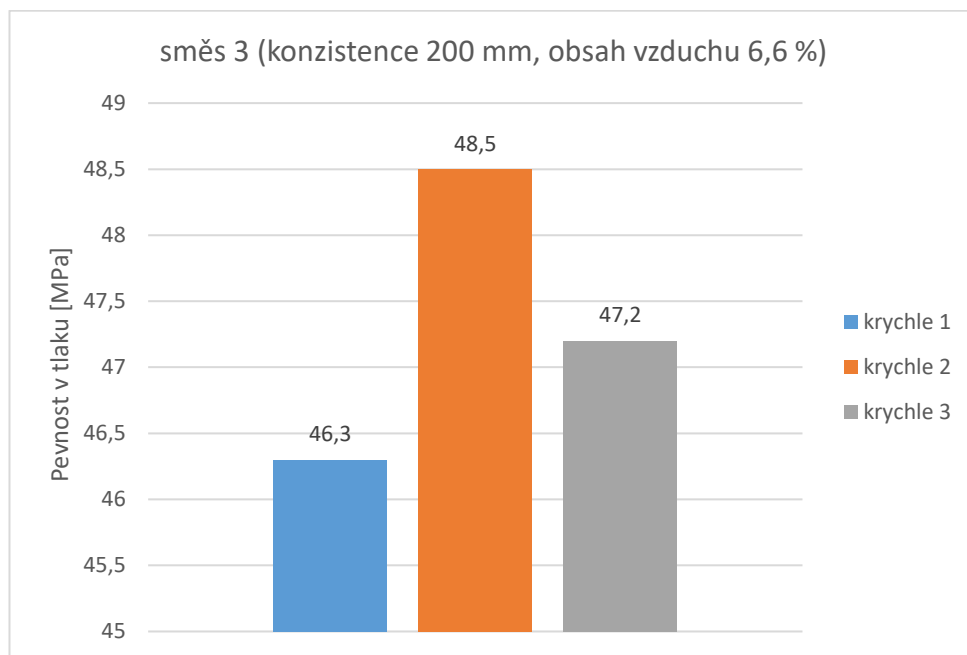
V grafech jsou vidět všechny naměřené hodnoty pro jednotlivé směsi a také celkové průměrné hodnoty všech tří směrů. Nejlépe dopadla směs z druhého autodomíchávače a to směs s naměřenou konzistencí 210 mm a obsahem vzduchu 5,2 %.



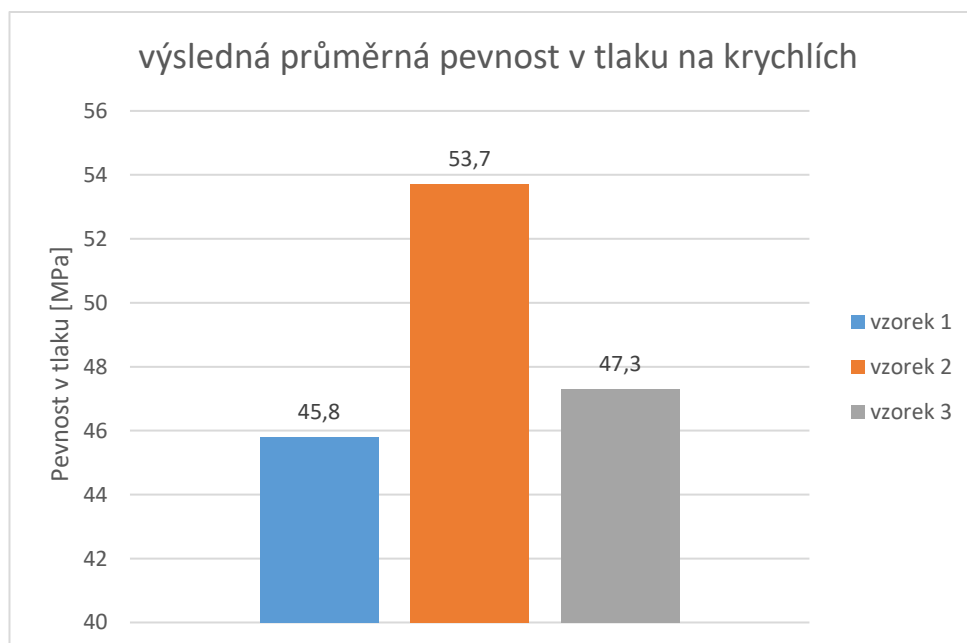
**Graf 1** Naměřené hodnoty pevnosti v tlaku na první směsi



**Graf 2** Naměřené hodnoty pevnosti v tlaku na druhé směsi



**Graf 3 Naměřené hodnoty pevnosti v tlaku na třetí směsi**



**Graf 4 Výsledná průměrná měření tří směsí**

## 10.2. Odolnost betonu proti vodě a CHRL

Všechny vzorky byly zkoušeny v laboratoři metodou automatického cyklování A, podle normy ČSN 73 1326.

Vzorky uložené v komoře ve vlhkém prostředí byly převezeny a následně nasazeny do mrazícího zařízení KD 20. V každé misce byl nalit 3 % roztok NaCl. Vzorků bylo celkem 18, tzn. Plně zaplněný zkušební prostor.



Obrázek 17 Nasazené vzorky v zařízení KD 20

Zkušební přístroj KD 20 byl nastaven na 25 cyklů a po každém 25. cyklu byl odebrán odpad. Takto byla zkouška provedena čtyřikrát, celkově tedy 100 cyklů. Po každém dokončeném cyklování se odebraný odpad vložil do sušárny o teplotě 105 °C a vysušený vzorek se poté zvažil s přesností 0,1 g.



Obrázek 18 Vysušené odpady po zkoušce



Obrázek 19 Výsledný povrch a slitý odpad po zkoušce CHRL



Obrázek 20 Trojice úpravy na vzorcích po zkoušce CHRL



Obrázek 21 Trojice úpravy povrchu (shora)



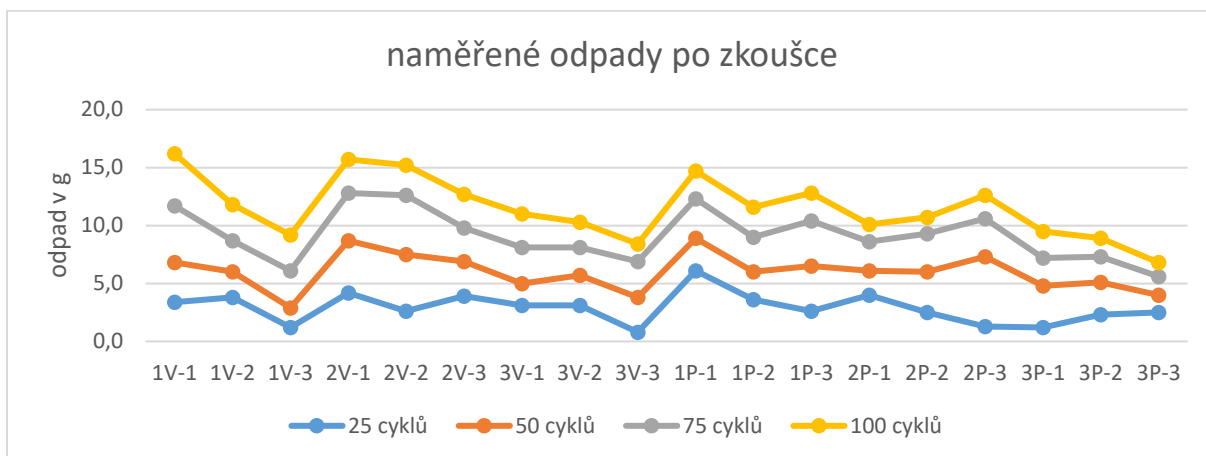
### 10.2.1. Výsledky zkoušky odolnosti proti vodě a CHRL

Tabulka ukazuje všechny navážené odpady jednotlivých zkušebních vzorků v g. Celkem bylo zkoušeno 18 krychlí, z toho 9 vibrovaných a 9 propichovaných tyčí. Vzorky označené písmenem V jsou vibrované a vzorky označené P jsou propichované tyčí.

V tabulce jsou barevně vyznačeny nejmenší a největší hodnoty jednotlivých cyklů. Po konečných 100 cyklech nejlépe dopadl vzorek propichovaný na směsi 3 (konzistence 200 mm, obsah vzduchu 6,6 %), naopak nejhůře dopadl vzorek vibrovaný na směsi 1 (konzistence 180 mm, obsah vzduchu 6,5 %).

Tabulka 10 Navážené odpady po zkoušce CHRL

vzorek	25 cyklů	50 cyklů	75 cyklů	100 cyklů
1V-1	3,4	6,8	11,7	16,2
1V-2	3,8	6,0	8,7	11,8
1V-3	1,2	2,9	6,1	9,2
2V-1	4,2	8,7	12,8	15,7
2V-2	2,6	7,5	12,6	15,2
2V-3	3,9	6,9	9,8	12,7
3V-1	3,1	5,0	8,1	11,0
3V-2	3,1	5,7	8,1	10,3
3V-3	0,8	3,8	6,9	8,4
1P-1	6,1	8,9	12,3	14,7
1P-2	3,6	6,0	9,0	11,6
1P-3	2,6	6,5	10,4	12,8
2P-1	4,0	6,1	8,6	10,1
2P-2	2,5	6,0	9,3	10,7
2P-3	1,3	7,3	10,6	12,6
3P-1	1,2	4,8	7,2	9,5
3P-2	2,3	5,1	7,3	8,9
3P-3	2,5	4,0	5,6	6,8

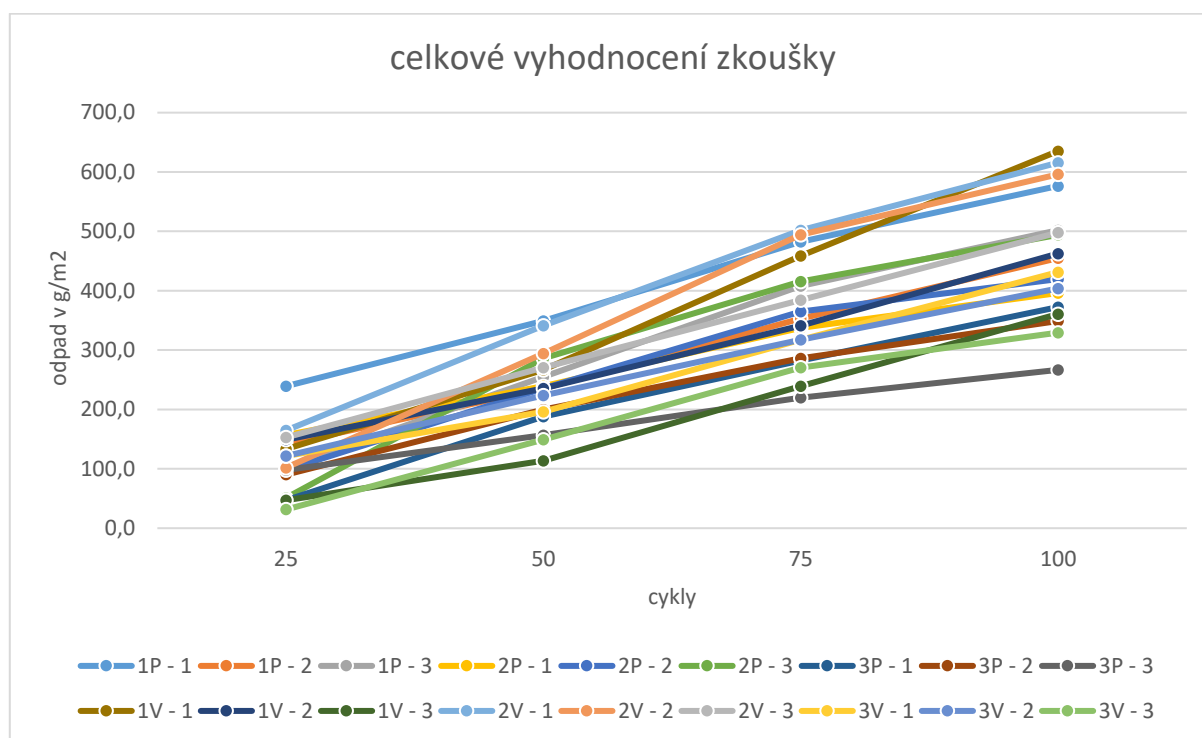


Graf 5 Porovnání navážených odpadů po zkoušce CHRL

Navážené odpady po každém cyklu byly poté přepočteny na hodnoty odpadu v  $\text{g/m}^2$  a zaznamenány do tabulky. Celkový průměr všech vzorků byl stanoven na  $453,6 \text{ g/m}^2$ . Tento odpad byl zatříděn jako stupeň porušení 2 – slabě narušený, tzn. odpad do  $500 \text{ g/m}^2$  (tabulka 12). Nejmenší naměřená hodnota byla stanovena u směsi 3, propichované s úpravou 1 x uhlazení klikatým tahem latí s hodnotou  $266,7 \text{ g/m}^2$ .

Tabulka 11 Vyhodnocení zkoušky CHRL

Vzorek číslo:	1P - 1	1P - 2	1P - 3	2P - 1	2P - 2	2P - 3	3P - 1	3P - 2	3P - 3	1V - 1	1V - 2	1V - 3	2V - 1	2V - 2	2V - 3	3V - 1	3V - 2	3V - 3	průměr	
velikost zk. povrchu: [ $\text{m}^2$ ]	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	
odpad po cyklech na vzorku: [g]	25	6,1	3,6	2,6	4,0	2,5	1,3	1,2	2,3	2,5	3,4	3,8	1,2	4,2	2,6	3,9	3,1	3,1	0,8	2,9
	50	8,9	6,0	6,5	6,1	6,0	7,3	4,8	5,1	4,0	6,8	6,0	2,9	8,7	7,5	6,9	5,0	5,7	3,8	6,0
	75	12,3	9,0	10,4	8,6	9,3	10,6	7,2	7,3	5,6	11,7	8,7	6,1	12,8	12,6	9,8	8,1	8,1	6,9	9,2
	100	14,7	11,6	12,8	10,1	10,7	12,6	9,5	8,9	6,8	16,2	11,8	9,2	15,7	15,2	12,7	11,0	10,3	8,4	11,6
	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
odpad po cyklech na vzorku: [ $\text{g.m}^2$ ]	25	239,2	141,2	102,0	156,9	98,0	51,0	47,1	90,2	98,0	133,3	149,0	47,1	164,7	102,0	152,9	121,6	121,6	31,4	113,7
	50	349,0	235,3	254,9	239,2	235,3	286,3	188,2	200,0	156,9	266,7	235,3	113,7	341,2	294,1	270,6	196,1	223,5	149,0	235,3
	75	482,4	352,9	407,8	337,3	364,7	415,7	282,4	286,3	219,6	458,8	341,2	239,2	502,0	494,1	384,3	317,6	317,6	270,6	359,7
	100	576,5	454,9	502,0	396,1	419,6	494,1	372,5	349,0	266,7	635,3	462,7	360,8	615,7	596,1	498,0	431,4	403,9	329,4	453,6
	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Graf 6 Porovnání množství odpadu po zkoušce CHRL

Tabulka 12 Zatržení povrchu dle ČSN 73 1326

ZATRŽDĚNÍ POVRCHU ZKUŠEBNÍCH PLOCH

Stupeň porušení	(g/m <sup>2</sup> )
1 - nenarušený	do 50
2 - slabě narušený	do 500
3 - narušený	do 1000
4 - silně narušený	do 3000
5 - rozpadlý	přes 3000

### 10.2.2. Vyhodnocení zkoušky podle úpravy povrchu

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit, která metoda úpravy vychází nejlépe, a proto jsou dále podrobně znázorněny výsledky jednotlivé úpravy.

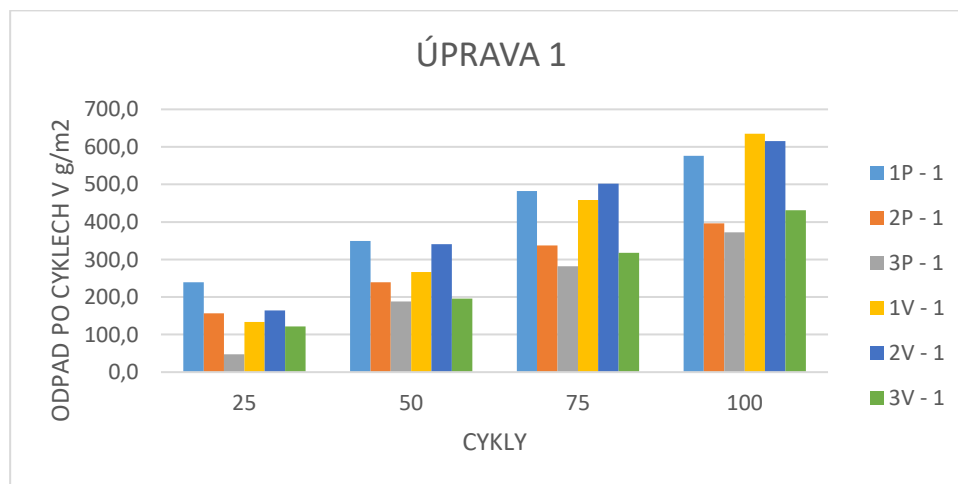
První úprava povrchu byla metodou 3 x uhlazení zednickou lžící, druhá úprava byla metodou 1 x uhlazení zednickou lžící a třetí úprava metodou 1 x uhlazení klikatým pohybem latí. Následující tabulky a grafy znázorňují všechny tyto úpravy jednotlivých betonových směsí.

Z výsledků první metody úpravy povrchu vychází, že průměrný odpad po 100 cyklech byl **504,6 g/m<sup>2</sup>**. Podle zatřídění povrchu dle normy vychází stupeň narušení 3 – narušený (do 1000 g/m<sup>2</sup>). Nejlépe vychází směs 3 s konzistencí 180 mm a obsahem vzduchu 6,5 %.

Tabulka 13 Výsledné hodnoty odpadu povrchové úpravy 1

ÚPRAVA 1 - 1 x UHLAZENÍ ZEDNICKOU LŽÍCÍ

Vzorek číslo :		1P - 1	2P - 1	3P - 1	1V - 1	2V - 1	3V - 1	průměr
odpad po cyklech na vzorku: [ g ]	25	6,1	4,0	1,2	3,4	4,2	3,1	3,7
	50	8,9	6,1	4,8	6,8	8,7	5,0	6,7
	75	12,3	8,6	7,2	11,7	12,8	8,1	10,1
	100	14,7	10,1	9,5	16,2	15,7	11,0	12,9
odpad po cyklech na vzorku: [g.m <sup>-2</sup> ]	25	239,2	156,9	47,1	133,3	164,7	121,6	143,8
	50	349,0	239,2	188,2	266,7	341,2	196,1	263,4
	75	482,4	337,3	282,4	458,8	502,0	317,6	396,8
	100	576,5	396,1	372,5	635,3	615,7	431,4	504,6



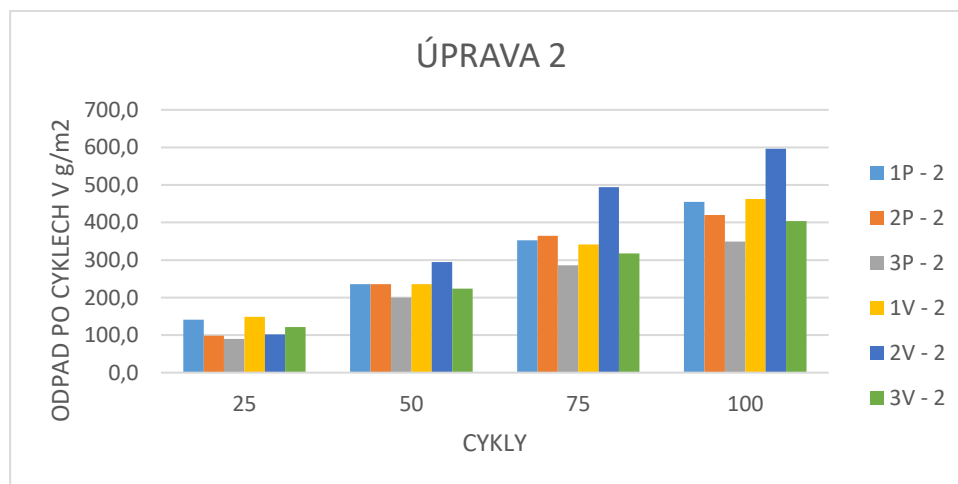
Graf 7 Porovnání výsledků úpravy povrchu 1

Z výsledků druhé metody úpravy povrchu vychází, že průměrný odpad po 100 cyklech byl **447,7 g/m<sup>2</sup>**. Podle zatřídění povrchu dle normy vychází stupeň narušení 2 – slabě narušený (do 500 g/m<sup>2</sup>). Nejlépe také vychází metoda směs 3 s konzistencí 180 mm a obsahem vzduchu 6,5 %.

Tabulka 14 Výsledné hodnoty odpadu povrchové úpravy 2

ÚPRAVA 2 - 3 x UHLAZENÍ ZEDNICKOU LŽÍCÍ

Vzorek číslo :	1P - 2	2P - 2	3P - 2	1V - 2	2V - 2	3V - 2	průměr	
odpad po cyklech na vzorku: [ g ]	25	3,6	2,5	2,3	3,8	2,6	3,1	3,0
	50	6,0	6,0	5,1	6,0	7,5	5,7	6,1
	75	9,0	9,3	7,3	8,7	12,6	8,1	9,2
	100	11,6	10,7	8,9	11,8	15,2	10,3	11,4
odpad po cyklech na vzorku: [g.m <sup>-2</sup> ]	25	141,2	98,0	90,2	149,0	102,0	121,6	117,0
	50	235,3	235,3	200,0	235,3	294,1	223,5	237,3
	75	352,9	364,7	286,3	341,2	494,1	317,6	359,5
	100	454,9	419,6	349,0	462,7	596,1	403,9	447,7



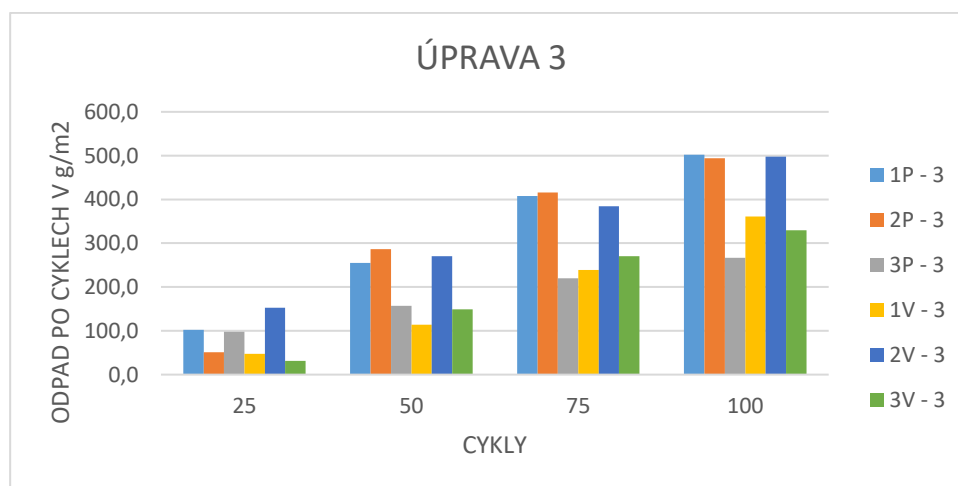
Graf 8 Porovnání výsledků úpravy povrchu 2

Z výsledků třetí metody úpravy povrchu vychází, že průměrný odpad po 100 cyklech byl **408,5 g/m<sup>2</sup>**. Podle zatřídění povrchu dle normy vychází stupeň narušení 2 – slabě narušený (do 500 g/m<sup>2</sup>). Nejlépe opět vychází metoda směs 3 s konzistencí 180 mm a obsahem vzduchu 6,5 %.

Tabulka 15 Výsledné hodnoty odpadu povrchové úpravy 3

ÚPRAVA 3 - 1 x UHLAZENÍ KLIKATÝM TAHE, LATÍ

Vzorek číslo :	1P - 3	2P - 3	3P - 3	1V - 3	2V - 3	3V - 3	průměr	
odpad po cyklech na vzorku: [ g ]	25	2,6	1,3	2,5	1,2	3,9	0,8	2,1
	50	6,5	7,3	4,0	2,9	6,9	3,8	5,2
	75	10,4	10,6	5,6	6,1	9,8	6,9	8,2
	100	12,8	12,6	6,8	9,2	12,7	8,4	10,4
odpad po cyklech na vzorku: [g.m <sup>-2</sup> ]	25	102,0	51,0	98,0	47,1	152,9	31,4	80,4
	50	254,9	286,3	156,9	113,7	270,6	149,0	205,2
	75	407,8	415,7	219,6	239,2	384,3	270,6	322,9
	100	502,0	494,1	266,7	360,8	498,0	329,4	408,5



Graf 9 Porovnání výsledků úpravy povrchu 3

## 11. Závěr

Cílem teoretické části této bakalářské práce bylo popsat aktuální poznatky a problémy spojené s tématem odolnosti betonu vůči CHRL.

Praktická část bakalářské práce se zabývá porovnáním metod úpravy povrchu třemi způsoby na třech betonových směsích C 30/37 v prostředí XF4 s konzistencí S4 a to normovým i nenormovým zkušebním postupem pro stanovení odolnosti betonu proti vodě a chemickým rozmrazovacím látkám.

Na čerstvém betonu byla zkoušena objemová hmotnost, konzistence a obsah vzduchu v čerstvém betonu. Následně byla na ztvrdlém betonu provedena zkouška na objemovou hmotnost, pevnost v tlaku a odolnost vůči CHRL s různou úpravou povrchu betonu. Jednotlivé výsledky byly vyhodnoceny a graficky bylo znázorněno vzájemné porovnání těchto výsledků.

Jako vzorek s nejnižším odpadem odolnosti vůči CHRL vyšel vzorek 3 propichovaný tyčí, u kterého byl povrch hlazen 1 x uhlazením klikatým tahem latí. Nelze však tímto způsobem direktivně říct, že se jedná o nejvhodnější obecný způsob úpravy povrchu vzorku před zkouškou CHRL.

Problematika CHRL je obecně velmi diskutované téma, které se řeší od vzniku normy ČSN 73 1326 v roce 1948, stejně tak i její změny Z1 v roce 2003. Na odolnost vůči CHRL má vliv celá řada faktorů, které mají za příčinu různorodé výsledky. Experiment v této bakalářské práci jen poukazuje na tento problém, neukazuje řešení zkušebního postupu této zkoušky.

Je třeba si uvědomit, že Evropská norma ČSN EN 206+A2 udává pouze doporučené parametry na minimální obsah vzduchu v čerstvém betonu. Chybí zde konkretizace obsahu vzduchu, konkrétně: množství mikroskopického vzduchu do 300 mikrometrů a součinitel rozložení vzduchových pórů. Přitom tyto parametry jsou velmi důležité pro kvalitní provzdušnění betonů. Zároveň zde chybí jakékoliv parametry týkající se množství odpadu při porovnání odolnosti vůči CHRL.

Vzhledem k tomu, že v zemích EU není jedna standardizovaná metoda pro stanovení odolnosti vůči CHRL, je potřeba neustále rozvíjet zkušenosti a poznatky týkající se problematiky CHRL.

## 12. Seznam použitých zdrojů

### Literatura

- [1] *Sekundární ochrana pro zvýšení odolnosti betonu proti společnému působení mrazu a chemických rozmrazovacích látek*[online]. Ing. Jiří Grošek, Ph.D. a kolektiv řešitelů, 2019 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://silnice-zeleznice.cz/materialy-a-technologie/sekundarni-ochrana-pro-zvyseni-odolnosti-betonu-proti-spolecnemu-pusobeni-mrazu-a-chemickychem-romrazovacich-latek-15>
- [2] MISÁK, P., T. VYMAZAL, T. KOMÁRKOVÁ a R. HALAMOVÁ. Stanovení odolnosti povrchu betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek – metody, praxe, problémy. *Beton TKS*. 2017, **2017**(2), 42-47.
- [3] *Technická specifikace zkušebního zařízení KD 20* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.ekofrost.cz>
- [4] *TKP 18 Betonové konstrukce a mosty*. Praha: Ministerstvo dopravy, 2016, 190 s. Dostupné také z: [https://pjpgk.rsd.cz/data/USR\\_001\\_2\\_6\\_TKP/TKP\\_18.pdf](https://pjpgk.rsd.cz/data/USR_001_2_6_TKP/TKP_18.pdf)
- [5] ING. ROBERT COUFAL, PH.D. Odolnost betonu v prostředí s mrazovými cykly. *Materiály pro stavbu*. 2013, (4), 32-37.
- [6] KLAUDOVÁ, Dana. *Shrnutí problematiky a zkoušení provzdušněných betonů v letech 2000–2010 v ČR a ve světě*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Adam Hubáček, Ph.D.
- [7] PYTLÍK, Petr. *Technologie betonu*. 2. vyd. Brno: VUTIUM, 2000. Učebnice (Vysoké učení technické), sv. 1. ISBN 80-214-1647-5.



**Normy:**

[8] ČSN EN 12350-2 *Zkoušení čerstvého betonu – část 2: Zkouška sednutím*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020, 12 s.

[9] ČSN EN 12350-6 *Zkoušení čerstvého betonu – část 7: Objemová hmotnost*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020, 12 s.

[10] ČSN EN 12350-7 *Zkoušení čerstvého betonu – část 7: Obsah vzduchu – Tlakové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020, 24 s.

[11] ČSN 73 1326 *Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek*. Praha: Český normalizační institut, 2003, 12 s.

[12] ČSN EN 12390-3 *Zkoušení ztvrdlého betonu – část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020, 20 s.