

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
Fakulta stavební  
Katedra betonových a zděných konstrukcí



## **Odolnost povrchové vrstvy betonu proti agresivním látkám**

Diplomová práce

*Bc. Natálie Dejdarová*

Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb  
Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Petřík, Ph.D.

Praha, leden 2021

**Vedoucí diplomové práce:**

Ing. Martin Petřík, Ph.D.  
Katedra betonových a zděných konstrukcí  
Fakulta stavební  
České vysoké učení technické  
Thákurova 7  
166 29 Praha 6  
Česká Republika

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Dejdarová Jméno: Natálie Osobní číslo: 456211  
Zadávací katedra: K133 - Katedra betonových a zděných konstrukcí  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Odolnost povrchové vrstvy betonu proti agresivním látkám  
Název diplomové práce anglicky: Resistance of Concrete Surface against Aggressive Agents

Pokyny pro vypracování:

Zpracování rešerše zaměřené na problematiku odolnosti povrchových vrstev betonu.

Příprava zkušebních vzorků a provedení série experimentů zaměřených zejména na barevnou stálost při účinku agresivních látek. Porovnání různě ošetřených povrchů.

Závěrečné vyhodnocení a diskuze dosažených výsledků.

Seznam doporučené literatury:

COLLEPARDI, Mario. Moderní beton. 1. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2009.

Beton TKS 2001-2020

PAN, Xiaoying, et al. A review on concrete surface treatment Part I: Types and mechanisms. Construction and Building Materials, 2017, 132: 578-590.

PAN, Xiaoying, et al. A review on surface treatment for concrete Part 2: Performance. Construction and Building Materials, 2017, 133: 81-90.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Martin Petřík Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 28.9.2020

Termín odevzdání diplomové práce: 4.1.2021

*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 diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.*

29.9.2020

Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta(ky)

# Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma "Odolnost povrchové vrstvy betonu proti agresivním látkám" zpracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce Ing. Martina Petříka, Ph.D. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu citované literatury.

V Praze, leden 2021

.....  
Bc. Natálie Dejdarová

# Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá odolností povrchových vrstev betonu. Cílem je seznámení s problematikou úpravy povrchu betonu pro použití do interiérového prostředí, přehled možností mechanické úpravy a shrnutí poznatků v oblasti ochranných povrchových přípravků. V experimentální části byly zhotoveny zkušební destičky. Je zde poukázáno na různě upravené povrchy destiček, na kterých byla otestována odolnost proti agresivním látkám. K hodnocení testovaných povrchů po poškození agresivními látkami byl použit program Matlab.

Výsledky zkoušek prokazují, že účinnost ochranného přípravku závisí především na dodržení počtu aplikovaných vrstev, stejně jako úprava povrchu před aplikací ochranné vrstvy. Žádná z metod úpravy povrchu nevytváří dokonalou bariérovou ochranu. Můžeme ale říci, že při použití správného postupu úpravy povrchu, lze až z 99 % zabránit změnám barevnosti povrchu vzniklých krátkodobým působením chemických látek.

**Klíčová slova:** Beton, povrchová vrstva betonu, agresivní látky, povrchové úpravy betonu, sealer, broušení betonu, leptání kyselinou

# Abstract

This diploma thesis looks at the resistance of surface layers of concrete. The aim is to familiarise ourselves with the issue of concrete surface treatment for indoor use, an overview of the possibilities of mechanical treatment and a summary of the knowledge in the field of protective surface products. Test plates were made in the experimental part. Reference is made here to the differently treated wafer surfaces on which resistance to aggressive agents has been tested. A Matlab program was used to evaluate test surfaces after damage from aggressive agents.

Test results demonstrate that the effectiveness of the protective product depends primarily on adherence to the number of layers applied, as well as surface conditioning prior to the application of the protective layer.

None of the surface treatment methods produce perfect barrier protection. But we can say that using the correct surface treatment process, up to 99 % of changes in colour caused by short-term exposure to chemicals can be prevented.

**Keywords:** Concrete, surface layer of concrete, aggressive agents, surface treatment of concrete, sealer, grinding concrete, acid etching

# Poděkování

Chtěla bych především poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Martinu Petříkovi, Ph.D. za odborné vedení a rady při zpracování této práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Michaelu Frantové, Ph.D, Ing. Petru Štemberkovi Ph.D., D.Eng. a Mgr. Yulii Khmurovské, Ph.D. za rady během studia. Děkuji Ing. Matěji Míkovi za pomoc s odbornou korekturou textu.

Na závěr bych chtěla poděkovat své rodině a kamarádům za podporu, trpělivost a povzbuzení po celou dobu psaní práce, ale i celého dosavadního studia.

# Seznam tabulek

2.1	Příklad složení betonové směsi . . . . .	4
4.1	Vlastnosti polymerů [11] . . . . .	15
4.2	Názvy dostupných sealerů . . . . .	22
4.3	Vybrané vlastnosti sealerů . . . . .	23
5.1	Směs na výrobu zkušebních destiček . . . . .	25
5.2	Použité kombinace povrchových úprav betonu . . . . .	28
5.3	Destičky ručně zbrošené . . . . .	29
5.4	Hrubost brusných papírů . . . . .	30
5.5	Destičky poleptané kyselinou a jejich úprava . . . . .	30
5.6	Destičky s aplikací sealeru . . . . .	32
5.7	Postup míchání Gi.Gi. sealeru [14] . . . . .	33
5.8	Množství složek na jednotlivé nátěry na 1 $m^3$ . . . . .	33
5.9	Vizuální změny a absorpce sealeru při aplikaci jednotlivých vrstev sealeru . . . . .	35
5.10	Změna intenzity světlosti povrchu před a po aplikaci sealeru . . . . .	37
5.11	Aplikované agresivní látky na betonové destičky . . . . .	38
5.12	Vyhodnocení odolnosti povrchů při aplikaci látek na povrch destiček . . . . .	41
5.13	Výpočet směrodatné odchylky šumu destiček při skenování . . . . .	44
6.1	Procentuální změny světlosti na povrchu bez povrchové úpravy a povrchu s ručním broušením, leptání kyselinou a 4 vrstvami sealeru . . . . .	47
6.2	Počet vrstev sealeru na destičkách s povrchovou úpravou ručního broušení a leptání kyselinou . . . . .	56
6.3	Změna světlosti povrchu na destičce D2 vyjádřená v % . . . . .	56
6.4	Změna světlosti povrchu na destičce D3 vyjádřená v % . . . . .	57
6.5	Změna světlosti povrchu na destičce D4 vyjádřená v % . . . . .	57
6.6	Povrchová úprava destiček před aplikací sealeru . . . . .	58
6.7	Změna světlosti povrchu na destičce D6 vyjádřená v % . . . . .	59
6.8	Změna světlosti povrchu na destičce D7 vyjádřená v % . . . . .	60

# Seznam obrázků

2.1	Smršťování betonu [8]	8
3.1	Možnosti pískování betonu [13]	10
4.1	Typy povrchové úpravy [15]	15
5.1	Postup experimentální části	24
5.2	Distribuční křivka velikosti částic navrhované směsi z programu EMMA	26
5.3	Zhotovené bednění pro výrobu destiček	27
5.4	Vybetonované destičky v bednění	27
5.5	Betonové destičky ve vysoušecí komoře	27
5.6	Použité pomůcky pro ruční broušení betonu	30
5.7	Použité pomůcky na leptání povrchu kyselinou citrónovou	31
5.8	pH roztoku kyseliny citrónové	31
5.9	Destička D2 - povrch bez úpravy vs. povrch po ručním broušení a leptání kyselinou citronovou	32
5.10	Destička D7 - povrch bez úpravy vs. povrch po leptání kyselinou citronovou	32
5.11	Použité pomůcky na aplikaci sealeru	33
5.12	Skvrny na povrchu destičky D6 v porovnání s D7 po aplikaci druhé vrstvy sealeru	35
5.13	Aplikace 1. vrstvy sealeru na povrch D3 - ruční broušení a leptání kyselinou	36
5.14	Porovnání povrchu destiček D6 a D4 po aplikaci 4. vrstvy sealeru	36
5.15	Porovnání barevnosti povrchů destiček před a po aplikaci sealeru	37
5.16	Měření pH agresivních látek	38
5.17	Rozdělení destičky na oblasti pro aplikaci agresivních látek	40
5.18	Aplikace agresivních látek na destičky pomocí štětečků	41
5.19	Kalibrační karta	42
5.20	Grafické znázornění postupu k extrahování hodnot jasů pixelů z jednotlivých polí	45
5.21	Nalezení polí v programu Matlab	45
6.1	Změna stupňů šedi na destičkách D1 a D4 před a po aplikaci oleje	47
6.2	Barevné změny na destičkách D1 - bez povrchové úpravy a D4 - broušení, leptání a 4 vrstvy sealeru v časových intervalech před a po aplikaci oleje	47
6.3	Graf změny intenzity stupňů šedi před a po aplikaci agresivních látek na destičku D1 - bez povrchové úpravy	48
6.4	D1 - graf vyjádření změny světlosti v procentech	49
6.5	Porovnání povrchu betonu před aplikací a po aplikaci agresivních látek na destičce D1 - bez povrchové úpravy	50



6.6	Graf změny intenzity jasu šedi hydroxidů, make-up a oleje vynesené na stupnici šedi . . . . .	50
6.7	Povrch destičky D4 před a po povrchové úpravě . . . . .	51
6.8	Graf změny intenzity stupňů šedi před a po aplikaci agresivních látek na destičku D4 - ruční broušení, leptání kyselinou a 4 vrstvy sealeru . . . . .	51
6.9	D4 - graf vyjádření změny světlosti v procentech . . . . .	52
6.10	Rozdíl barevnosti povrchu před aplikací, po aplikaci make-upu po dobu 4 hodin a následné vyčištění odličovací vodou . . . . .	52
6.11	Porovnání povrchu betonu před aplikací a po aplikaci agresivních látek na destičce D4 - broušení, leptání a 4 vrstvy sealeru . . . . .	53
6.12	Graf změny intenzity stupňů šedi, make-up, oleje a octu vynesené na stupnici šedi . . . . .	53
6.13	Porovnání struktury povrchu destiček D1 - bez povrchové úpravy, D4 - s ručním broušením, leptáním a sealerem a D5 - zbroušení diamantem . . . . .	54
6.14	Porovnání povrchu betonu před aplikací a po aplikaci agresivních látek na destičce D5 - zbroušení diamantem . . . . .	54
6.15	Graf změny intenzity stupňů šedi před a po aplikaci agresivních látek na destičku D5 - broušení diamantem . . . . .	54
6.16	D5 - graf vyjádření změny světlosti v procentech . . . . .	55
6.17	Graf změny intenzity stupňů šedi před a po aplikaci agresivních látek na destičku D2 - ruční broušení a leptání kyselinou . . . . .	56
6.18	Graf změny intenzity stupňů šedi před a po aplikaci agresivních látek na destičku D3 - ruční broušení, leptání kyselinou a 2 vrstvy sealeru . . . . .	57
6.19	Graf změny intenzity stupňů šedi před a po aplikaci agresivních látek na destičku D6 - 4 vrstvy sealeru . . . . .	59
6.20	Graf změny intenzity stupňů šedi před a po aplikaci agresivních látek na destičku D7 - leptání kyselinou a 4 vrstvy sealeru . . . . .	59
B.1	Technický list Gi.Gi. Sealeru . . . . .	65
C.1	Změna barevnosti povrchu na destičce bez povrchové úpravy . . . . .	66
C.2	Změna barevnosti povrchu na destičce s broušením a leptáním . . . . .	67
C.3	Změna barevnosti povrchu na destičce s broušením, leptáním a 2 vrstvami sealeru . . . . .	67
C.4	Změna barevnosti povrchu na destičce s broušením, leptáním a 4 vrstvami sealeru . . . . .	68
C.5	Změna barevnosti povrchu na destičce zbroušené diamantem . . . . .	68
C.6	Změna barevnosti povrchu na destičce s 4 vrstvami sealeru . . . . .	69
C.7	Změna barevnosti povrchu na destičce s leptáním a 4 vrstvami sealeru . . . . .	69
D.1	Graf změny intenzity stupňů šedi povrchu destičky D1 - bez povrchové úpravy . . . . .	70
D.2	Graf změny intenzity stupňů šedi povrchu destičky D2 - ruční broušení a leptání kyselinou . . . . .	71
D.3	Graf změny intenzity stupňů šedi povrchu destičky D3 - ruční broušení, leptání kyselinou a 2 vrstvy sealeru . . . . .	71
D.4	Graf změny intenzity stupňů šedi povrchu destičky D4 - ruční broušení, leptání kyselinou a 4 vrstvy sealeru . . . . .	71
D.5	Graf změny intenzity stupňů šedi povrchu destičky D5 - zbroušení diamantem . . . . .	72

D.6 Graf změny intenzity stupňů šedi povrchu destičky D6 - 4 vrstvy sealeru . . . . .	72
D.7 Graf změny intenzity stupňů šedi povrchu destičky D7 - leptání kyselinou a 4 vrstvy sealeru . . . . .	72

# Obsah

<b>Abstrakt</b>	<b>v</b>
<b>Poděkování</b>	<b>vi</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>vii</b>
<b>Seznam obrázků</b>	<b>viii</b>
<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
1.1 Cíl práce . . . . .	2
<b>2 Beton</b>	<b>3</b>
2.1 Pohledový beton . . . . .	3
2.2 Návrh betonové směsi . . . . .	3
2.2.1 Složení betonové směsi . . . . .	4
2.2.2 Ošetřování a vytvrzování betonu . . . . .	7
<b>3 Úprava betonového povrchu</b>	<b>9</b>
3.1 Mechanická povrchová úprava . . . . .	9
3.1.1 Pískování . . . . .	10
3.1.2 Broušení . . . . .	11
3.1.3 Leptání kyselinou . . . . .	11
3.2 Faktory ovlivňující úpravy povrchu . . . . .	12
3.2.1 Voda . . . . .	12
3.2.2 Teplota . . . . .	12
3.2.3 Prach . . . . .	13
3.2.4 Čistota . . . . .	13
3.2.5 Aplikace nátěru . . . . .	13
<b>4 Ochrana povrchové vrstvy</b>	<b>14</b>
4.1 Organické látky na povrchovou úpravu . . . . .	15
4.1.1 Akryly . . . . .	16
4.1.2 Epoxidy . . . . .	16
4.1.3 Polyurethany . . . . .	17
4.1.4 Silany . . . . .	17
4.1.5 Siloxany . . . . .	17
4.1.6 Hydrofóbní impregnace . . . . .	18
4.2 Anorganické látky na povrchovou úpravu . . . . .	19
4.2.1 Látky blokuující póry . . . . .	19
4.3 Coatingy a sealery . . . . .	19

4.3.1	Coating . . . . .	20
4.3.2	Sealer . . . . .	21
<b>5</b>	<b>Experimentální část - testování odolnosti</b>	<b>24</b>
5.1	Návrh betonové směsi . . . . .	25
5.1.1	EMMA . . . . .	25
5.1.2	Postup míchání betonové směsi . . . . .	25
5.2	Výroba betonových destiček . . . . .	26
5.3	Úprava povrchové vrstvy destiček na testování odolnosti . . . . .	27
5.3.1	Broušení povrchu . . . . .	29
5.3.2	Leptání povrchu . . . . .	30
5.3.3	Sealer . . . . .	32
5.4	Látky aplikované na destičky . . . . .	37
5.5	Testování odolnosti . . . . .	39
5.5.1	Aplikace agresivních látek . . . . .	40
5.6	Převedení destiček do elektronické podoby . . . . .	42
5.6.1	Kalibrace destiček . . . . .	42
5.6.2	Postup zpracování výsledků v programu matlab . . . . .	43
<b>6</b>	<b>Výsledky odolnosti proti agresivním látkám</b>	<b>46</b>
6.1	Zpracování výsledků odolnosti povrchu betonu . . . . .	46
6.2	Vyhodnocení odolnosti povrchu a povrchové úpravy proti agresivním látkám	48
6.2.1	Povrch vykazující nejhorší výsledky odolnosti . . . . .	48
6.2.2	Povrch vykazující nejlepší výsledky odolnosti . . . . .	50
6.2.3	Destička zbroušena diamantem . . . . .	53
6.2.4	Vliv sealeru proti agresivním látkám . . . . .	55
6.2.5	Vliv povrchové úpravy na odolnost sealeru proti agresivním látkám	58
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>61</b>
<b>A</b>	<b>Matlab syntax</b>	<b>63</b>
<b>B</b>	<b>Technický list sealeru</b>	<b>64</b>
<b>C</b>	<b>Porovnání znečištění destiček</b>	<b>66</b>
<b>D</b>	<b>Grafy změny intenzity stupňů šedi povrchu</b>	<b>70</b>
	<b>Bibliography</b>	<b>74</b>

# Kapitola 1

## Úvod

Beton a železobeton se stal nejpoužívanějším stavebním materiálem současnosti. Betonové konstrukční prvky mohou mít nejrůznější tvary, a tak stále více architektů a konstruktérů používá tyto betonové prvky jako hlavní prostředky moderní architektury. V dnešní době se stalo trendem přenést beton i do interiérových aplikací, které člověk používá v běžném životě. Betonové dekorativní prvky jsou stále více populárnější jak v cizině, tak i u nás v Čechách.

Začalo se experimentovat s betonem na výrobu židlí, stolů, laviček či lehátek. V dnešní době se přistupuje i k výrobě menších výrobků, které přicházejí do kontaktu s potravinami a měly by být zdravotně nezávadné. V kuchyňských prostorách se beton v různé míře uplatňuje stále častěji, od betonových kuchyňských linek až po jednotlivé kusy nádobí, jako jsou například misky. V koupelnách se pak objevují betonová umyvadla, obložení či samostatné koupelnové desky. Prostředí kuchyně a koupelny s sebou nese jedno velké úskalí, které může mít negativní vliv na vzhled pohledového betonu. Vyskytuje se zde totiž mnoho agresivních látek, které mají rozdílné pH než samotný beton a mohou trvale poškodit povrchovou vrstvu daného výrobku. Důsledkem toho je snaha povrch betonu upravit tak, aby jej agresivní látky co nejméně poškodily povrch a výrobek stále vypadal z estetického hlediska podle požadavků výrobce.

Běžné zpracování povrchu předpokládá variace mechanického ošetření a dále utěsnění povrchu proti agresivnímu prostředí, tak aby nedocházelo k degradaci samotného materiálu a jeho vizuálního vzhledu.

Dlouhodobá výkonnost zvoleného ošetření je základní, ale náročným kritériem aplikovaným na jednotlivé úpravy a krycí materiály. Stejně důležitým kritériem je pak zajištění dlouhodobé životnosti základního cementového materiálu, na nějž byly ochranné prvky použity. [1]

## 1.1 Cíl práce

Odolnost betonového povrchu vůči agresivnímu prostředí je dle mého názoru jedním ze zásadních témat, kterými se producenti betonových výrobků musí zabývat. Správné a dostatečné know-how v této oblasti má totiž přímý vliv na životnost, odolnost a kvalitu jejich produktů, tím pádem i na spokojenost zákazníků a v konečném důsledku pak na celkovou ekonomickou bilanci. Lepší pochopení této problematiky by tedy mohlo být přínosem pro všechny zainteresované.

K tomuto tématu se váže mnoho otázek. Tato diplomová práce se zaměřuje na níže uvedené oblasti:

- Je možné zachovat původní strukturu povrchu?
- Lze získat povrch odolný agresivním látkám bez použití ochranného nátěru?
- Jaká je nejvhodnější povrchová úprava před aplikací ochranného nátěru?
- Lze zabránit ochranným sealerem proti pronikání agresivních látek?
- Ovlivní nedodržení doporučeného postupu aplikace sealeru od výrobce odolnost povrchu proti agresivním látkám?

Cílem této diplomové práce je tedy navrhnout a porovnat nejvhodnější úpravu povrchové vrstvy betonu, která je vhodná do koupelnového prostředí. Povrch musí splňovat estetické požadavky a neměly by na něm zůstat žádné skvrny po agresivních látkách, které se v koupelnovém prostředí běžně vyskytují. Praktickou částí práce je aplikace různých agresivních látek na vzorové betonové destičky a porovnání jejich působení v různých časových intervalech. Na základě vyhodnocení, v jaké míře se do povrchu prokreslily a jak daný povrch znehodnotily bude stanoveno, která povrchová úprava je nejvhodnější do daného prostředí a která z metod je neodolnější proti agresivním látkám. Finální povrchové vrstvy musí být zdravotně nezávadné, jelikož se jedná o zkoumání povrchu pro výrobky, u kterých může dojít ke kontaktu s pitnou vodou, potažmo trávicím ústrojím.

# Kapitola 2

## Beton

Jak již bylo zmíněno v úvodu, beton je v současnosti jedním z nejběžněji používaných stavebních materiálů. Jedná se o kompozitní materiál, který vzniká ztvrdnutím jeho základních složek. Nejčastěji používaným pojivem je cement a jako plnivo bývá obvykle použita směs kameniva různých frakcí. Název beton vychází z francouzského *béton* (hrubá malta) a uvádí se, že byl zaveden francouzským inženýrem B. F. Belidorem již v roce 1753. Beton je tedy stavební materiál, složený z pojiva, plniva, vody a přísad. [2]

### 2.1 Pohledový beton

Pohledový beton je beton, který se nezakrývá a je vidět. U konstrukční prvků, které se již nebudou zakrývat je kladen velký důraz na jejich vzhled či případnou úpravu povrchové vrstvy. Vzhled pohledového betonu může být velmi různorodý. Je mnoho aspektů, které mohou výsledný vzhled ovlivnit. Záleží na typu bednění, složení betonové směsi, ale hlavně na úpravě povrchové vrstvy pomocí speciálních technologií. Pohledový beton se v současné době využívá mnohem častěji a zejména v interiérovém designu je stále populárnější. Z betonu lze vytvořit nekonečné množství kombinací tvarů, textur a barev, tak aby bylo možné splnit estetické a praktické požadavky moderní architektury. [3], [4]

### 2.2 Návrh betonové směsi

Složky, ze kterých se beton skládá, jsou snadno dostupné. Rozdíl mezi kvalitním a nekvalitním betonem nespočívá ani tak ve volbě složek, ale spíše v tom, v jakém poměru jsou tyto složky smíchány. Volba dávek jednotlivých složek je stěžejní fází výroby kvalitního betonu jak v čerstvém, tak ztvrdlém stavu. Návrh směsi je vždy věcí požadavku pro konkrétní aplikaci. Při optimalizaci směsi lze dosáhnout betonu vyšších kvalit.

### 2.2.1 Složení betonové směsi

Beton vzniká smícháním cementu, kameniva, vody a přísad. Smícháním cementu s vodou se nastartuje chemická reakce a to hydratace. Betonová směs musí být správně navržena, aby zrna jednotlivých složek do sebe zapadla a vyplnil se prostor mezi velkými zrny kameniva a menšími částicemi jako je cement či mikrosilika. V tabulce 2.1 je uveden příklad složení betonové směsi. [5]

<b>Materiál</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Hmotností podíl [%]</b>
Cement	700	28,6
Kamenivo	1160	47,3
Křemičitý úlet	250	10,2
Voda	160	10,5
Plastifikátor	30	1,2

Tabulka 2.1: Příklad složení betonové směsi

#### Cement

Cement je hydraulické pojivo. Jedná se o jemně mletý anorganický materiál, který po smíchání s vodou vytváří kaši, která v důsledku chemické hydraulické reakce tuhne a tvrdne. Portlandský cement je základní složkou hydraulických pojiv. Základem výroby tohoto cementu je pálení směsi přírodních nebo průmyslových surovin jako vápenec, jíl, pyritové výpražky atd. Vziká tak slínek, který se dále mele v kulovém mlýně. Slínek se mísí s vhodným množstvím síranu vápenatého a díky tomu tuhne tak, jak má. Dle složení ho lze rozdělit do pěti základních skupin CEM I - CEM V.

Pro výrobu desek byl použit cement CEM I 52,5 R. Číslo 52,5 uvádí tlakovou pevnost cementu v MPa, která je zjišťována po 28 dnech. Symbol R za číslem se týká krátkodobé pevnosti cementu. Tento cement je charakteristický rychlým nárůstem pevnosti, vysokou celkovou konečnou pevností a rychlým, celkově vyšším vývinem hydratačního tepla.

#### Kamenivo

Kamenivo je zrnitý materiál, který je obvykle chemicky neaktivní. Zrna kameniva jsou rozptýlena v cementové matici hlavně proto, aby snížila cenu betonu, protože kamenivo je obvykle levnější než cement. Jelikož jeho zastoupení ve směsi jsou někdy dvě třetiny až tři čtvrtiny objemu, má celkově významnou roli.

Kamenivo musí mít vhodnou zrnitost, aby nejmenší zrna mohla vyplnit mezery mezi zrny většími. Mezery mezi kamenivem jsou vyplněny cementovým tmelem a po zatvrdnutí je vytvořen monolitický, tvrdý a pevný materiál.

Požadavky na kvalitu, granulometrii a barvu kameniva se řídí podle toho, jakou mírou



bude kamenivo vystupovat na betonové ploše, jestli bude zakryté vrstvou cementové malty anebo odkryté některou speciální technologií na úpravu povrchu. [6]

Požadavky na vlastnosti kameniva:

- na skladbu granulometrie,
- na barevnost kameniva,
- na čistotu kameniva,
- na technické vlastnosti – obrusnost a leštitelnost,
- na tvarový index zrna,
- na nasákavost kameniva,
- na mrazuvzdornost.

## Voda

Voda je společně s cementem a kamenivem jednou ze tří hlavních složek při výrobě betonu. Bez vody by cement nehydratoval a tedy ani netvrdnul.

Voda, která přijde do kontaktu s betonem se dělí dva typy. A to na záměsovou a ošetřovací.

**Záměsová voda** Voda v betonové směsi umožňuje hydrataci betonu a je rozhodující složkou v maltové části. Větší obsah vody v čerstvém betonu způsobuje větší pórovitost a světlejší barevný odstín pohledového betonu. Naopak cementový tmel s nižším obsahem vody je hutnější a tmavší.

Vhodné množství vody závisí na granulometrii kameniva, množství cementu, technologii výroby, požadavcích na vlastnosti betonové směsi a zatvrdlého betonu. [4]

**Ošetřovací voda** Voda používaná pro ošetření čerstvého a mladého betonu má dvě hlavní funkce. Jako první má nahradit vodu, která z betonu zmizela vlivem vysychání a druhá funkce je mírně ochladit povrch betonu. [4]

## Mikrosilika

Mikrosilika je také označována jako křemičitý úlet. Je to odpadní látka z hutních provozů, kde velmi jemné částice musí být zachytávány speciálními filtry tak, aby se nedostávaly do ovzduší.

Samotná výroba křemíku probíhá v obloukové peci za přítomnosti uhlí (palivo), a to chemickou redukcí. Během redukce vzniká plynný SiO, který se v horní části pece ochlazuje, následně dochází ke kondenzaci takto vzniklého plynu, a poté k oxidaci do formy

velmi malých částic  $\text{SiO}_2$ , které se zachytávají na filtrech. Mikrosilika je dnes základní složkou vysokopevnostních betonu, kde mají nezastupitelnou úlohu právě díky své jemnosti. Příměsi obsahující mikrosiliku vykazují nižší pórovitost, a tím zlepšení mechanických vlastností. [5]

### **Přísady**

Kromě zmíněných materiálů patří mezi složky betonu také chemické přísady. Přidávají se těsně před nebo v průběhu míchání betonu. Podle specifických funkcí, jež plní při zlepšování chování betonu, mohou být rozděleny do různých kategorií:

- urychlující přísady,
- zpomalující přísady,
- provzdušňující přísady,
- inhibitory koroze,
- přísady modifikující viskozitu betonu,
- hydrofobizační přísady,
- přísady zamezující smršťování betonu,
- přísady snižující obsah vody,
- superplastifikátory.

Plastifikační a superplastifikační přísady jsou dnes běžnou záležitostí u vysokohodnotných betonů. Díky nim lze docílit potřebnou konzistenci směsi při zachování nízkého vodního součinitele. Při přípravě betonové směsi bez použití plastifikačních přísad je nutné dodat více vody, nežli je pouze voda potřebná pro hydrataci cementových zrn. Vlivem povrchového elektrického náboje se zrna cementu po smísení s vodou shlukují do větších celků a dochází k uzavření části z celkového objemu molekul vody a tím dochází k jejich úplnému vyřazení z procesu hydratace. Takové částice jsou ve směsi nepotřebné a díky nim vzniká nežádoucí porézní struktura, která snižuje pevnostní charakteristiky a také ovlivňuje nepříznivě trvanlivost betonu. Shluky cementových částic navíc zvyšují viskozitu celé směsi a tím ovlivňují celkovou konzistenci. Směs, kde je chemicky vody nedostatek, tak připomíná pouze zavlhlý beton, se kterým by se bez užití plastifikačních a superplastifikačních přísad nedalo pracovat. [6], [7]

## 2.2.2 Ošetřování a vytvrzování betonu

Betonu by měl být po vybetonování ponechán dostatečný čas bez dalšího zásahu, který je nutný pro jeho správné vytvrzení. Tím se zajišťuje to, že cementová matrice zraje a vnitřní vlhkost je snížena na nízkou úroveň. Beton se musí ošetřovat a chránit zejména proto, aby se minimalizovalo plastické smršťování a aby se zajistila dostatečná pevnost povrchu. Cílem ošetření je zajistit dostatečnou trvanlivost povrchové vrstvy betonu.

Proces vytvrzování a celková tvrdost betonu do výsledné pevnosti je ovlivněna především výběrem cementu a skladbou kameniva. Tento proces trvá přibližně měsíc. V první dnech tuhne poměrně rychle, ale zůstává poměrně slabý. Na síle získává v následujících dnech a týdnech. Po zhruba třech týdnech nabývá 90 % své konečné pevnosti. Pro vytvrzování betonu je důležitá především teplota. Čím nižší teploty, tím je zrání betonu pomalejší. Teplota by měla být alespoň 5°C. Pokud klesne bod bod mrazu, dochází již ke znehodnocení betonu. Přísady dokáží vytvrzování také ovlivnit.

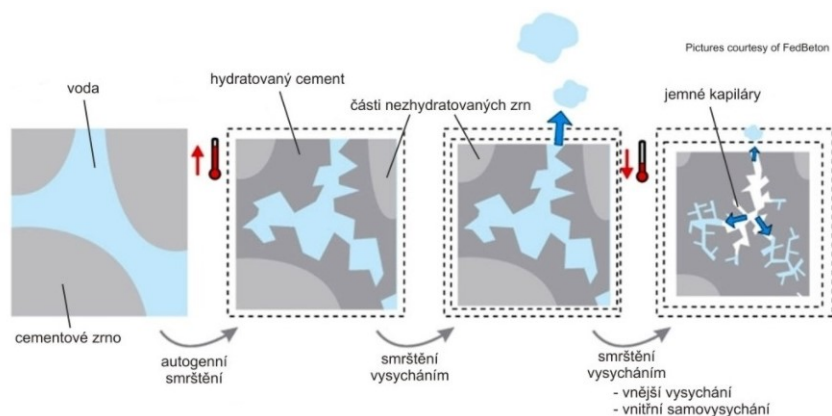
Hydratace a tuhnutí betonu během prvních tří dní je kritické období. Může dojít k rychlému vysušení a smrštění kvůli tlakovým vlivům. Může to vést ke zvýšenému tahovému pnutí v době, kdy ještě beton nezískal dostatečnou pevnost, což v závěru vede k většímu praskání následkem smrštění. Výsledná pevnost betonu může být zvýšena udržováním stále vlhkého povrchu.

K ošetřování betonu musí dojít co nejdříve po ukončení zhutňování a konečné úpravě povrchu betonu. Nejjednodušší způsob ošetření, pokud je to možné, je ponechat konstrukci v bednění. Dále je vhodné pokrýt volné povrchy betonu parotěsnými plachtami či fóliemi, které jsou po obvodu a v místech přesahů zabezpečeny proti odkrytí. Proti vysychání lze beton chránit i namočením (vhodné je mlžení nebo smáčení přes vrstvu tkaniny) a následně udržovat povrch betonu viditelně vlhký ošetřovací vodou. Pokud se jedná o prvky betonované v laboratořích i prvky menších rozměrů, může docházet k vytvrzování betonu pod vodou. Všeobecně platí, že čím déle se beton ošetřuje, tím lépe. Nicméně je nutné vzít v úvahu i náklady na toto ošetřování a jeho rentabilitu.

Při smršťování betonu dochází ke snížení jeho objemu. K tomuto jevu dochází u každého betonu a není možné mu zabránit, lze pouze tyto změny co nejvíce omezit. Důvody smršťování betonu mohou být u běžných betonů dva.

Prvním druhem smršťování je smršťování autogenní, označováno také jako chemické. To se projevuje v důsledku hydratace cementu. Objem složek před hydratací (pojivo a voda) je větší než výsledný objem ztvrdlého cementového tmelu a beton tak během hydratace smršťuje. Logicky k němu dochází tak dlouho, dokud probíhají hydratační reakce.

Ve druhém případě dochází k úniku vody z povrchu betonu odpařováním. Pokud k němu dochází před začátkem tuhnutí, označuje se tento jev jako plastické smršťování. Začíná



Obrázek 2.1: Smršťování betonu [8]

na povrchu betonu a je závislé především na vlhkosti okolního vzduchu a způsobu ošetřování. Případ, kdy voda uniká až po začátku tuhnutí a tvrdnutí betonu, je označován jako vysychání betonu. To je způsobeno úbytkem vody ve ztvrdlém betonu během odpařování záměsové vody. [6], [8]–[10]

# Kapitola 3

## Úprava betonového povrchu

Beton je porézní materiál. Pro vnitřní prostory to je ne vždy pozitivní vlastnost. Pokud je betonový povrch často vystavován kapalinám, mohou se do něj absorbovat a způsobit tak skvrny. Neošetřené betonové povrchy jsou náchylné na odírání, vznik skvrn a různá poškození. Bakterie, jako například Salmonella, Escherichia coli a další mohou najít pohodlný domov v pórech betonových desek, dřezů a jiných kuchyňských či koupelňových povrchů.

Problémy s životností betonových konstrukcí začínají často u rozpadu materiálu. Ze začátku nepůsobí žádné bezpečnostní problémy, ale postupně vytváří potenciální nebezpečí pro celou konstrukci. [11]

### 3.1 Mechanická povrchová úprava

Je velké množství možností, jak betonový povrch upravit. V této experimentální části jsem se rozhodla betonové desky upravit hned několika způsoby a porovnat, která z metod je nejvhodnější do agresivního prostředí koupelen.

Pro správnou aplikaci povrchového nátěru je důležité, aby byl povrch zbaven cementové pasty, která se vyskytuje na povrchu betonu při odbednění. Tato prachová vrstvička je nežádoucí, neboť zabraňuje dokonalému spojení nátěru s betonem. Pro správné spojení mezi jednotlivými materiály je důležité, aby byl porézní materiál byl zbaven této vrstvy a póry na povrchu byly otevřeny. Díky pórům může nátěr projít až do hloubky 5 mm a dokáže beton ochránit proti agresivním látkám.

Odstranění cementové vrstvy se můžeme dosáhnout hned několika způsoby. Konkrétní metody jsou popsány v následujících kapitolách 3.1.1 - 3.1.3, přičemž tyto metody mohou být použity jednotlivě, případně ve vzájemné kombinaci. Po úpravě požadované úpravě můžeme nanést povrchovou vrstvu ve formě coatingu či sealeru. Toto označení je již

běžné i v České republice a jeho doslovný překlad se nepoužívá, proto ho také v této diplomové práci používám bez překladu. Rozdíl mezi těmito pojmy je dále vysvětlen v kapitole 4.3 Coatingy a sealery. Volba mezi těmito materiály záleží na požadované finální funkci povrchu a do jakého prostředí bude výrobek usazen. Jednotlivé druhy a dělení povrchových nátěrů jsou popsány v kapitolách 4.1 a 4.2. Organické a anorganické látky na povrchovou úpravu. [1], [12]

Možnosti mechanické povrchové úpravy mohou být následující:

- Pískování
- Broušení
- Leptání.

### 3.1.1 Pískování

Pískování dokáže velmi rychle vrátit vzhled povrchu do původního stavu, ale také ho vyhladit nebo naopak zdrsnit a připravit pro nanášení nových vrstev materiálu. Může se také využít pro dosažení atraktivního vzhledu. Další možností je vytvořit malby, nápisy či strukturované vzory. Nejčastěji se využívá při renovaci budov a staveb. Vedle suchého pískování s různě hrubými zrny lze použít i další způsoby, např. vodní pískování nebo tryskání broky, užívané rovněž k čištění povrchů staveb. Pískování odstraňuje plošně cementový kámen, odhalí více pórů a změní povrchovou strukturu betonu na stejnoměrně „matnou“. Samotné pískování se pro úpravu betonového povrchu nedoporučuje. V odborné literatuře [12] není doporučováno pískování před nanášením povrchového nátěru. Může dojít k tomu, že se v pórech usadí drobné částice, které se nevymyjí ani při oplachování povrchu čistou (destilovanou) vodou. Tyto prachové částice mohou mít vliv na přilnavost povrchového nátěru. [13]



Obrázek 3.1: Možnosti pískování betonu [13]

### 3.1.2 Broušení

#### Broušení diamantovou bruskou

Broušení diamantovou bruskou se často provádí proto, aby se odkryl kamenný nebo skleněný agregát. Broušení strojem lze provádět pomocí orbitální brusky, nebo profesionálnější metodou, jíž je použití mokré leštičky.

K broušení betonu slouží speciální brusné diamantové kotouče, kterým se říká čelní nebo hrncové. Tyto brusné kotouče s diamantovými segmenty se dají použít buď ve speciálním brousícím stroji nebo v úhlové brusce. Použití je možné na stavbě nebo při domácích pracích.

Pokud se povrch vyleští až na jemnost 3000, měl by povrch by měl vykazovat nejen velký lesk, ale také vysokou odolnost proti pronikání agresivních látek. [9]

#### Ruční broušení

Snadným a hlavně účinným způsobem, jak povrch lehce opracovat, odstranit vosk nebo nežádoucí zbytky na povrchu z bednění, je ruční broušení. Požadavkem je odstranění nežádoucího materiálu, tak aby nedošlo k odkrytí zrn kameniva. Ruční broušení se provádí suchým nebo mokřým způsobem za použití brusného papíru. Používá se brusný papír zrnitosti mezi 100 - 400. Hrubší brusný papír může zanechat na povrchu škrábance, které jsou náchylnější k pronikání agresivních látek. Jemnější brusný papír může zabránit následovnému uchycení povrchového nátěru jak již bylo zmíněno výše. Postup, který se doporučuje je broušení za mokra. Broušení za mokra se provádí za účelem zabránění poškrábání betonového povrchu částicemi, které vznikají při samotném broušení. Je to snadný způsob jak odstranit povrchové zbytky a lehce vyhladit povrchovou vrstvu betonu. [9]

### 3.1.3 Leptání kyselinou

Leptání kyselinou umožňuje zdrsňit povrch a zbavit jej veškerého balastního materiálu, který může zabránit sealeru či coatingu v úplném proniknutí a ulpívání.

Kyselinou lze upravovat pouze povrchy prefabrikovaných betonových prvků. Proces úpravy vyžaduje ponoření tvrdého a vodou nasyceného povrchu betonového prvku do nádrže s kyselinou a jeho následné oplachování velkým množstvím vody. Pomocí kyseliny je z povrchu prvku odstraňován cementový kámen a jemné složky. Díky tomu jsou odhalovány hrubší složky směsi kameniva do požadované hloubky. Hloubka opracování kyselinou je ovlivněna kvalitou složek směsi, koncentrací kyseliny a dobou působení. Hloubka opracování bývá obvykle asi 0,5 mm, ale je možné ovlivnit i mělčí nebo naopak hlubší

vrstvy. Vápenec reaguje na kyselinu mnohem rychleji než jiné druhy kameniva. Pro stejnoměrný výsledek opracování není vhodné míchat složky kameniva (hrubých i jemných frakcí) různého mineralogického složení.

Kyselina se musí vždy použít v roztoku s vodou. Vhodným poměrem pro leptání je například 1 díl kyseliny chlorovodíkové přidáný k 10 dílům vody. Musí se dbát na dodržení postupu mísení, kdy se přidává kyselina do vody, nikoli naopak. Nejčastěji se tedy používá 10% nebo 20% roztok kyseliny chlorovodíkové. Pokud je však použití chloridů nevhodné, vzhledem k dlouhodobému účinku na ocelovou výztuž, lze uvažovat o 15% roztoku kyseliny fosforečné. Zředěná kyselina se nanáší na vlhký beton a následně se jeho povrch asi minutu drhne speciální podložkou. Druhou možností jak bylo zmíněno je ponoření celého prvku do roztoku. Poté se povrch opláchne dostatečným množstvím čisté vody. Pro zajištění dokonalého leptání může být potřeba více opakování. [9], [12], [14]

## 3.2 Faktory ovlivňující úpravy povrchu

Pokud vybroušený povrch chceme dále upravovat, musí se odstranit všechny zbytky, které na povrchu zůstaly z broušení diamantovým kotoučem či ručního broušení. Lze použít k tomu určené přípravky, speciální houbičky, nebo opláchnutí čistou vodou.

Důležité faktory jsou i teplota a čistota povrchu. [9]

### 3.2.1 Voda

Důležité je, aby byl beton před nanesením nátěru byl zcela suchý. Suchý beton umožňuje penetraci těsnícího prostředku do betonu, zatímco vlhký penetraci neumožní. Vlhký beton zpomalí vytvrzování a ovlivní výkon sealeru či coatingu.

Po nasycení sealerem by měla být časová prodleva mezi jednotlivými vrstvami minimálně 12 hodin. Záleží také informacích, které uvádí výrobce použitého sealeru v technickém listu.

### 3.2.2 Teplota

Důležitá je teplota prostředí, ve které probíhá nanášení jednotlivých vrstev. Přijatelné teploty pro aplikaci by měly být v rozmezí 18° - 32°C. Záleží na typu výrobku, který je použit. Teplota by neměla klesnout pod 16°C. Při takové teplotě se může zpomalit odpařování, čímž se výrazně prodlouží vytvrzování těsnícího materiálu. Někteří výrobci udávají, že se vytvrzování dokonce úplně zastaví.

Pokud je samotný ošetřovaný betonový výrobek studený a jeho teplota je mezi 16° - 18°C, tak je doporučeno použít teplou destilovanou vodu na zředění sealeru, než ohřívat



samotný beton. Doporučuje se teplota vody přibližně 50°C. Tímto je zajištěna energie k efektivnějšímu průběhu chemická reakce a sealer nemusí obětovat velkou část své vlastní energie, kterou potřebuje k přilnutí k povrchu a vytvrdnutí. [9], [14]

### 3.2.3 Prach

Prostředí, ve kterém se provádí aplikace nátěru, by nemělo být zaprášené. V ideálním případě by mělo být zabráněno vzniku jakýchkoliv prachových částic. Ty by se mohly usadit v pórech betonu připraveného k aplikaci coatingu či sealeru. Před vlastní aplikací je tedy důležité vyvarovat se jakékoli činnosti, která by mohla vést k šíření prachu, například: zametání podlahy, řezání dřeva, vážení cementu a podobně.

### 3.2.4 Čistota

Čistý povrch je dalším důležitým faktorem před aplikací povrchových nátěrů. Těsně před nanesením nátěru, je dobré povrch betonu otřít hadříkem, který nepouští žádná vlákna, napuštěným acetonem. Vhodné je použít hadřík z mikrovláken. Musí se dbát na to, aby byl aceton zcela odpařen z povrchu. Aceton také pomáhá odstranit jakoukoli povrchovou kontaminaci, jako je prach a mastnota z otisků prstů. Aceton může být 100% nebo zředěný vodou v poměru 1:3, musí se však jednat o průmyslový aceton, nikoli odlakovač. [9]

### 3.2.5 Aplikace nátěru

Pro dosažení co nejvyšší účinnosti nátěru je většinou třeba přistoupit k aplikaci ve více vrstvách. Časové intervaly mezi jednotlivými vrstvami nátěru by se měly řídit pokyny výrobce daného výrobku.

Sealer se obecně ředí vodou, přičemž první vrstva je nejvíce zředěná a poslední nejméně. První vrstva je nasávána do betonu a proniká do největší hloubky. Po zaschnutí první vrstvy se vytvoří takzvaná hranice, do které budou moci pronikat zbývající vrstvy těsnícího prostředku. V následujících nátěrech absorpce klesá a u posledního nátěru proniká těsnící prostředek ve srovnání s první vrstvou již velmi pomalu.

Časová prodleva mezi vrstvami umožňuje, tak aby byla ukončena chemická reakce, která probíhá s každou vrstvou, a tím došlo k zablokování jakéhokoli průniku pod úroveň předchozí vrstvy. Pokud nejsou předchozí vrstvy dostatečně vytvrzené, dojde ke zředění, jehož důsledkem může být neúplné dozrání. [14]

# Kapitola 4

## Ochrana povrchové vrstvy

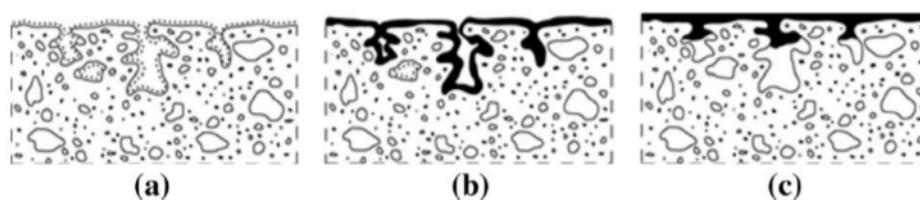
Jak již bylo zmíněno v kapitole 3, tak je velké množství možností, jak daný povrch upravit. Po mechanické povrchové úpravě lze využít ochranný nátěr.

Jedním z dalších způsobů, jak oddálit degradaci a zvýšit životnost betonové konstrukce, je snížit poréznost. Existuje několik způsobů, jak snížit poréznost. Může to být například snížení poměru vody a betonu nebo použití chemických příměsí.

Často se v literatuře diskutuje o výhodách a nevýhodách každého ošetření, jakož i o faktorech ovlivňujících ochranné účinky ošetření povrchu betonu, jako je propustnost vzduchu, pevnost pojiva a odolnost proti trhlinám. Důležité je hlubší pochopení chemických a fyzikálních reakčních mechanismů, a to na mikroskopické úrovni.

Aby se předešlo předčasnému rozkladu, je třeba použít povrchovou úpravu. Podle složení se povlakové materiály dělí na organické a anorganické. Nejčastěji používaným postupem je pak použití organického materiálu, a to zejména díky faktu, že vykazují vyšší míru ochranného účinku. Naproti tomu nejčastějším zástupcem anorganické povrchové úpravy je křemičitan sodný, neboli „vodní sklo“. Roztok křemičitanu se může vyskytovat i v jiných sloučeninách jako křemičitan draselný, křemičitan litný, případně fluorokřemičitan. Ačkoli anorganické materiály vykazují lepší trvanlivost, nebyla jim v rámci výzkumu věnována taková pozornost, a to zejména z hlediska interakce a reakce s betonovým povrchem a hloubkou průniku. V závislosti na účinku a interakci s povrchovým substrátem lze povrchové úpravy rozdělit do tří typů podle normy EN 1504-2, které jsou na obrázku 4.1 a) hydrofobní impregnace, která tvoří film schopný odpuzovat vodu, ale nezaplňuje celý pórový prostor, b) impregnace, která zaplňuje celé póry nebo jejich části, a nakonec c) vrstvení, které tvoří souvislou ochrannou vrstvu podél celého betonového povrchu. [11], [15]–[18]

Některé z těchto nátěrů jsou schopny proniknout dovnitř a reagovat se cementovými produkty, čímž snižují poréznost a zvyšují pevnost povrchu. V některých případech vytvořená



Obrázek 4.1: Typy povrchové úpravy [15]

souvislá fólie slouží jako bariéra chránící povrch betonu před environmentálními faktory. V posledních letech jsou častěji používanými impregnačními látkami sloučeniny na bázi silanů a siloxanů (odpuzovače vody) a na bázi křemičitanů (blokátory pórů, známé jako „vodní sklo“). Podstatou prvního typu impregnace je vytvoření tenké hydrofobní vrstvy na povrchu, zatímco v případě silikátu dochází k chemické reakci mezi činidlem a betonovým povrchem, čímž dochází k zesílení povrchu. [15]

## 4.1 Organické látky na povrchovou úpravu

Epoxidové pryskyřice, akryláty a polyurethany jsou považovány za tradiční ochranné materiály, které se již mnoho let používají ve stavebním průmyslu. Vlastnosti těchto látek s polymerovým povlakem jsou uvedeny v tabulce 4.1.

Látka	Výhody	Nevýhody
Epoxid	Snadno opravitelný, malé smrštění, dobrá přilnavost, dobrá chemická odolnost	Nízká lomová energie, nízký dopad na pevnost, špatná hydrofobicita, nízká tepelná stabilita, malá odolnost vůči iniciaci a šíření trhlin
Akryl	Vysoká odolnost vůči hydrolyze a ultrafialovému záření, dobrá alkalická odolnost	Nízká pevnost vazby, špatná tažnost, nepoužívá se pro prvky stále ponořené do vody
Polyurethan	Vysoká odolnost vůči zvětrávání, samoléčení, žádné smrštění	Nízká odolnost vůči mechanickým deformacím a rozkladu při vysoké teplotě

Tabulka 4.1: Vlastnosti polymerů [11]

Hlavními problémy na rozhraní polymer-beton jsou:

- puchýře
- trhliny
- díry
- odlupování

Puchýřkování může vést ke ztrátě adheze v důsledku osmotického tlaku. Zmenšení betonu smrštěním může způsobit vznik trhlin v důsledku změn teploty nebo praskání cementového substrátu. Povlaková vrstva může dokonce způsobit otvory a póry, které pak mohou zvýšit propustnost. Loupání je způsobeno ztrátou přilnavosti povlaku k povrchu, což může vyvolat průnik agresivních látek mezi polymerní činidlo a cementový substrát. [11], [19]

#### 4.1.1 Akryly

Akrylové pryskyřice vytvářejí na povrchu filmotvornou membránu. Sealery na bázi akrylu mají tendenci se rychleji opotřebovávat než epoxidy či polyurethany. Jejich výhodou je, že schnou poměrně rychle. Většina akrylových materiálů zaschne na dotek do hodiny. Mají menší odolnost, která je však dostatečná proti kapalinám a nečistotám. Oproti epoxidům mají větší alkalickou odolnost, odolnost proti oxidaci a odolnost proti povětrnostním vlivům.

K dispozici jsou akrylové materiály na bázi vody i rozpouštědel, které jsou cenově dostupné a obecně snadno použitelné. Důležité je zmínit, že akrylové sealery na bázi rozpouštědla obecně zvýrazňují barvu. Akryl je běžně dostupný v různých barvách.

Tmely jsou dobře známé pro zvýšení vnímaného vizuálního zlepšení (někdy označované jako „mokrý vzhled“) a mohou poskytovat dobrou UV ochranu barevných podkladů. [11], [16], [20], [21]

#### 4.1.2 Epoxidy

Epoxidy tvoří silný, odolný, otěruvzdorný a vodě odolný povrch. Na rozdíl od akrylových pryskyřic mají lepší přilnavost k povrchu. Některé druhy epoxidových výrobků mohou po vystavení UV záření žloutnout. Proto není vhodné využít epoxidové nátěry pro oblasti, na které dopadá slunečním svit i přes okna. Mnoho epoxidů je zbarveno do řady barev, tudíž je lze využít jako ochranný nátěr a barevný nátěr zároveň. U nátěrů epoxidového charakteru většinou není potřeba základního nátěru, takzvaného primeru. Epoxidy se nejčastěji využívají na prostory s vysokým provozem, zejména na podlahy v garážích. Tento typ

není vhodný pro interiérové doplňky. Některé polyurethany lze také použít také na podlahy v garážích, ale obecně se doporučují epoxidy pro jejich vynikající trvanlivost, kvalitu a schopnost odolávat proti skvrnám. [11], [20], [21]

### 4.1.3 Polyurethany

Jsou mnohem odolnější než akrylové materiály. Jejich pevnost je téměř dvojnásobná. Polyurethany poskytují chemicky a otěruvzdornou povrchovou úpravu. Mají vysokou odolnost proti působení kyselin, ve vysoce zásaditém prostředí jsou však nestabilní. Jsou běžné v prostorách s výskytem agresivních látek a těžkým provozem. Jejich aplikací dochází k zabránění odírání a znečištění. Stejně jako akryláty jsou polyurethany k dispozici v řadě lesků a mohou změnit odstíny barevného betonu. Je vhodné je používat na betony u kterých už nedochází ke smršťování. Hlavní monomery polyuretanu, isokyanáty, jsou škodlivé a nebezpečné pro lidské zdraví. [11], [20], [21]

### 4.1.4 Silany

Silany jsou bezbarvé hydrofobní materiály, které jsou chemicky známy jako alkyltrialkylalkoxisilan. Díky svým malým rozměrům o průměru  $1,0 \times 10^{-6} - 1,5 \times 10^{-6}$  mm mohou proniknout i do povrchu s vysokou hustotou. Silan je tedy nejmenší molekulární sloučenina mezi běžně dostupnými penetračními těsnicími materiály. Chemicky silan vytváří v porézním materiálu kovalentní vazbu, která koaguluje povrchové póry.

Je známo, že silan je hydrofobní a oleofobní (odpuzující olejové látky) a bude se opotřebovávat pouze tehdy, když je opotřebovaný betonový povrch. Další vlastností silanů je jejich nízká viskozita. Silany se obecně aplikují pouze na plně vytvrzený stávající beton.

Komerční výrobky jsou obvykle ve vysoce koncentrovaném roztoku a reagují s materiály na bázi oxidu křemičitého nebo oxidu hlinitého. Silany jsou velmi těkavé sloučeniny, díky své nízké molekulární struktuře. [16], [22]

### 4.1.5 Siloxany

Siloxany nejsou vysoce reaktivní, ale chemicky tvoří vazbu v porézním materiálu vazbu, která koaguluje povrchové póry. Siloxany jsou také hydrofobní jako silany. Často se používají k utěsnění vnějšího betonu, pórobetonových bloků a pórovitých cihel. Siloxan se obecně aplikuje pouze na plně vytvrzený stávající beton.

Siloxany jsou bezbarvé látky, chemicky známé jako alkylalkoxisiloxany. Siloxany mají ve srovnání se silany větší molekuly, průměr je přibližně  $1,5 \times 10^{-6} - 7,5 \times 10^{-6}$  mm. Jsou to největší molekulární sloučeniny mezi běžně dostupnými sealery, které jsou stále schopny

proniknout do betonu. Vysoká chemická reaktivita s hlinitokřemičitými substráty zaručuje dlouhou trvanlivost a vysokou míru hydrofobizace povrchu betonu. Takto ošetřený hydrofobní povrch má životnost přes 10 let a není snadné jej odstranit. Výhodou siloxanů je, že mohou být aplikovány na vlhký povrch a jsou méně těkavé.

Obecně platí, že silany a siloxany mají podobný mechanismus reakce s povrchem substrátu. V první řadě pronikají do betonových pórů, pak vytvářejí hydrofobní vrstvu, čímž chrání povrch před průnikem vody, zároveň ale umožňují vniknutí vodní páry nebo její výstup, což umožňuje dýchání betonového materiálu. [16], [23]

### 4.1.6 Hydrofóbní impregnace

Nejčastěji používanou hydrofobní impregnací je silan, siloxan a směs těchto dvou složek. Díky malé molekulární struktuře mohou silany a siloxany snadno a účinně proniknout betonovými póry. Jedná se o proces kapilárního odsávání, což je nenasycený transportní proces, který je řízen kapilárními silami. Kapilární síla je vyjádřena funkcí povrchového napětí mokré kapaliny a jejího kontaktního úhlu s pórem o poloměru  $r$ . Kapilární síla je definována podle Young-Laplaceovy rovnice. [20]

$$\Delta P = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{r}$$

Hydrofobní impregnace funguje tak, že proniká do betonových pórů a zvětšuje kontaktní úhel. Povrch se stane hydrofobním, je-li kontaktní úhel větší než  $90^\circ$ . Hydrofobní impregnace tak může bránit průniku vody a iontů, které jsou ve vodě, ale umožňuje průnik vodní páry nebo její výstup. Z termodynamického hlediska, pokud tento úhel je  $\theta < 90^\circ$ , dojde k molekulární přitažlivosti mezi kapalinou a substrátem a vzniku kapilárního vzrůstu a konkávního menisku. Naopak, pokud je úhel  $\theta > 90^\circ$ , způsobí to vznik vrstvy odpuzující vodu, která zabrání vniknutí vlhkosti. Právě tohoto účinku lze dosáhnout použitím silanů k ošetření betonových konstrukcí.

Hydrofobní látky jsou citlivé na ultrafialové záření. Nicméně UV paprsky je zasažen pouze povrch a nedochází k jejich dalšímu průniku betonovým substrátem. V důsledku toho je pro dosažení vysoce účinného vodu odpuzujícího efektu potřebné minimální množství pronikavé hydrofobní látky. Na porézních podkladech, jako jsou keramické cihly, lze snadno kontrolovat průběh aplikace a dosáhnout tak požadované hloubky průniku, což neplatí pro betonový povrch, který se vyznačuje mnohem nižší porézností. Odolnější a hustší betony také vyžadují speciální metody, které jsou schopny zajistit proniknutí do malých pórů. Povrch musí být nejméně 28 dní starý nebo starší, tak aby bylo zajištěno téměř úplné

dokončení procesu hydratace. Účinnost hydrofobního přípravku aplikovaného na čerstvý povrch je velmi nízká.[11]

## 4.2 Anorganické látky na povrchovou úpravu

Tato část se zabývá anorganickými látkami používanými na povrchovou úpravu.

### 4.2.1 Látky blokující póry

Křemičitan vápenatý  $SiO_4$  obsažený v ošetřujícím přípravku reaguje s rozpustnými ionty  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  uvnitř malty a vytváří nerozpustný koloidní křemičitan. Křemičitan sodný je jedním z nejběžnějších prostředků pro úpravu povrchu pórů. Může zlepšit trvanlivost betonu, zejména v kombinaci s následným ošetřením kationtovou povrchově aktivní látkou. Reakce křemičitanu sodného a hydroxidu vápenatého navíc vede ke vzniku  $NaOH$ , což zvyšuje pravděpodobnost reakce alkalických křemičitanů.

Povrchové úpravy blokující póry se používají k zacelení otevřených pórů v betonu. Tím se zvyšuje tvrdost a snižuje propustnost povrchové vrstvy. Jako účinné látky, které prokazatelně blokují kapiláry pórů, se nejčastěji používají roztoky na bázi křemičitanů. Mezi nejčastěji používanými pak patří křemičitan lithný, křemičitan vápenatý, křemičitanu sodný, křemičitanu draselný a fluorokřemičitanu. [11], [18]

Křemičitany patří mezi nízkomolekulární sloučeniny. Chemicky tvoří křemičitany krystaly hydrátu a křemičitanu vápenatého, které mohou ztuhnout betonové povrchy, dají se vyleštit a mohou tak vytvořit lesklou povrchovou úpravu.

Je známo, že křemičitany jsou hydrofobní a oleofobní a k jejich opotřebení dojde pouze v případě opotřebení samotného betonového povrchu. Často se používají k leštění betonových podlah ve velkých průmyslových nebo komerčních zařízeních.

Křemičitany lze aplikovat na nový i stávající beton. Jsou to molekulární sloučeniny střední velikosti. Chemicky tvoří silikáty odpuzující zesilující membránovou bariéru na povrchu pórobetonu a jiného zdiva.[11]

## 4.3 Coatingy a sealery

Z hlediska typů nátěrů, které zajišťují fyzickou bariéru na betonovém povrchu, lze provést ošetření povrchu pomocí coatingu nebo sealeru. Hlavním rozdílem mezi těmito dvěma typy ochrany je, že sealer se penetruje do povrchu a chrání povrchovou vrstvou, zatímco coating zanechává na povrchu film, který zabraňuje pronikání látek do samotného betonu. Výběr správného nátěru závisí na typu konkrétního projektu, který obvykle určuje, zda je nejlepší volbou povrchový coating nebo penetrační sealer.

Oba tyto typy nátěrů obsahují látky organického původu, tudíž spadají do kategorie Organické látky na povrchovou úpravu.

### 4.3.1 Coating

Coating tvoří souvislý polymerový film, který působí jako fyzikální bariéra zabraňující pronikání agresivních látek do cementového tmelu.

Existuje několik typů povrchových coatingů, mezi něž patří tradiční polymerové coatingy, nanokompozitní polymero-jílové coatingy a cementové coatingy. Tradiční nátěr polymeru a nanokompozitní nátěry polymer-jíl vytvářejí na betonovém povrchu hustý polymerní film o tloušťce asi 0,1 – 1 mm. Naproti tomu cementový nátěr působí tak, že vytváří nízkou propustnou vrstvu o tloušťce přibližně 2 – 10 mm.

Coatingy mohou mít tloušťku od 100  $\mu\text{m}$  do několika milimetrů. K dosažení plné funkce musí existovat pevné pouto mezi povrchem betonu a povrchovou úpravou. To znamená, že se povrch musí zdrsnit, což umožní využití některé z mechanických úprav povrchu. Povrchové vady, nebo póry tedy ovlivňují přilnavost a jsou přirozeným poutem mezi coatingem a povrchem.

Vždy by měla být věnována pozornost tomu, zda a v jaké míře se v betonu vyskytuje voda. Ať už ve formě kapaliny nebo páry při různém stupni relativní a absolutní vlhkosti, mělo by být vždy detekováno její množství a tomu pak přizpůsobena vlastní aplikace coatingu. Vlhkost je totiž přítomna nejen na povrchu betonu, ale i ve vzduchu, půdě a v neposlední řadě také uvnitř betonu, který má být chráněn. Ochranné nátěry jsou většinou založeny na organických sloučeninách, zatímco beton je anorganický. Existuje mezi nimi jen velmi malá fyzikální nebo chemická příbuznost. Coating obvykle přeruší a zastaví rovnovážné reakce, pokud jde o „výměnu“ vody mezi betonem blízkým povrchu a okolním vzduchem. Výsledkem je zvýšení obsahu vlhkosti na rozhraní pod coatingem, které může způsobit nedostatečné vytvrzení nátěru a následnou ztrátu adheze. [1].

#### Cementové coatingy

Polymerem modifikované cementové coatingy jsou nejběžnější cementové nátěry používané pro ochranu betonu. Vyrábějí se spojením polymeru s cementem a velmi jemným kamenivem. Přidání polymeru výrazně zlepšuje pevnost, odolnost, přilnavost, chemickou odolnost a nepropustnost cementové pasty.

Existují čtyři hlavní důvody, proč polymerové cementové nátěry mohou poskytnout betonu dodatečnou ochranu. Za prvé, polymer tvoří v tvrzené cementové hmotě síťovou strukturu, což zvyšuje tuhost hmoty, a tím se může snížit četnost povrchových mikrotrhliny. Za druhé je třeba poznamenat, že struktura pórů v polymerových cementových



povlacích se navíc liší od struktury běžné cementové malty. Studie ukazují, že počet pórů větší než 100 nm se v polymerně modifikované maltě snižují, zatímco počet pórů menších než 100 nm se zvyšuje. Třetím důvodem je schopnost polymerově modifikovaných cementových coatingů zmírnit zmenšování hmoty betonu. Upravené cementové coatingové hmoty vykazují navíc dobrou prodyšnost a značnou schopnost přemostování trhlin díky svému nízkému elastickému modulu. Za čtvrté můžeme uvést, že polymerově modifikované malty mají oproti polymerovým coatingům vyšší odolnost vůči ultrafialovému světlu. Proto se důrazně doporučují pro použití na beton s výskytem trhlin, protože mohou stávající jemné trhlinky uzavřít, zacelit a zachovat si tak ochranný účinek po dlouhou dobu. U většiny výrobků se vyžaduje, aby byl povrch betonu důkladně navlhčen vodou. Tento fakt zabraňuje vysátí vlhkosti z povrchu, což by bránilo správné hydrataci cementových materiálů v coatingu. Při aplikaci štětcem se druhý nátěr nanáší pod úhlem 90° C oproti směru nanášení prvního nátěru. [1], [11]

### 4.3.2 Sealer

Těsnění betonu je zásadním faktorem pro vytvoření hygienicky udržitelného povrchu s dlouhou životností. Zabraňuje proniknutí tekutin a nečistoty a chrání povrch před běžným opotřebením. Těsnění betonu se nanáší na beton za účelem dosažení co nejvyššího stupně ochrany před poškozením povrchu, korozí a znečištěním.

Hlavním funkčním mechanismem je uzavírání pórů na povrchu, tak aby se snížila absorpce vody a minerálních solí, které poškozují povrch. Otázkou zůstává, jaký typ tmelu je pro daný účel na vnitřní použití ten nejvhodnější.

Sealery lze aplikovat na suché nebo mokré povrchy a musí správně odpovídat pórovitosti podkladu tak, aby účinně pronikly do jeho struktury a správně reagovaly. Je-li konkrétní sealer vhodný na suché nebo mokré povrchy je definován výrobcem.

Chemická reakce váže aktivní složky v substrátu, což minimalizuje povrchovou vlhkost. Penetrační tmely obecně významně nemění vzhled povrchu.

### Sortiment

Vybrané dostupné sealery, které se běžně používají a dají se v dnešní době zakoupit, jsou vypsány v tabulce 4.2. Jejich vybrané vlastnosti jdou popsány v tabulce 4.3. Všechny jsou odolné proti UV záření a po čase nežloutnou. Častý faktor pro výběru sealeru je výsledný povrchový vzhled. Nejčastěji se vyrábí v matu. Jeden z požadavků může být ovlivnění výsledné barvy. Steinfix plus lehce ztmavuje. Cerbero Base, Omega Concrete Countertop Sealer, Ovation Concrete Countertop Sealer a Concrete Countertop Sealer Food Safe Semi-Gloss uvádí mírné zbarvení barvy betonu. High solid seal uvádí ve svých

parametrech vyšší ztmavení betonu.

Rozdílný je počet vrstev, které je potřeba na 100% účinnost výrobku. Požadovaný počet je uveden v tabulce 4.3.

Další kritériem je zápach. U některých výrobků nebyl dohledatelný a výrobce ho neuvádí ani v technickém listě. Výskyt těkavých látek je u většiny výrobků velmi nízký, nebo žádný. Větší množství těkavých látek má pouze Steinfix Plus. Sealery, které připadají v úvahu použít do prostředí koupelen jsou ty, které jsou potravinářsky nezávadné.

Oficiální název sealeru	
1	Cerbero Base
2	Steinfix Plus
3	Gi.Gi. Sealer
4	High solid seal
5	V-seal 101 Multi.surface
6	PS101 Siliconate Multi-Surface (Smooth) WB Penetrating Sealer
7	Omega Concrete Countertop Sealer
8	Ovation Concrete Countertop Sealer
9	Cheng Concrete Sealer 500 ml
10	Concrete Countertop Sealer Food Safe Semi-Gloss and Matte Finishes XS-327

Tabulka 4.2: Názvy dostupných sealerů

Sealer	Vzhled	Zbarvení	Počet vrstev	Zápach	Těkavé látky	Potraviný	Čas schnutí/ uvedení do provozu	Odolnost proti
Cerbero Base	Mat	Ano	1-2	Ano	Ano	Ne	2hod/24hod	Voda, chemické látky
Steinfix Plus	Lesk	Ano	1-2	Ano	Ne	-	2hod/24hod	Chemické látky, vysoké teploty
Gi.Gi. Sealer	Mat	Ne	4	Ano	Ano	Ano	3hod/24hod	Oleje, oděr
High solid	Lesk	Ano	2-3	-	Ano	Ne	8hod/48hod	Poškrábání, nečistoty, chemické soli
V-seal 101	Mat	Ne	2	Ano	Ano	Ne	4hod/24hod	Nízké teploty, nečistoty
PS101	Mat	Ne	2	Ne	Ne	Ne	3hod/12hod	Kyselé deště, alkálie
Omega	Mat	Ano	5	-	Ano	Ano	15min/hod24	Kyseliny, skvrny
Ovation	Satén	Ano	4	-	Ano	Ano	60min/24hod	Kyseliny, skvrny
Cheng	Lesk	Ne	6	-	Ne	Ano	30min/24hod	Oděr
Semi-Gloss	Mat	Ano	2	Ne	Ano	Ano	24hod/7dní	Poškrábání, chemické látky, vysoké teploty

Tabulka 4.3: Vybrané vlastnosti sealerů

# Kapitola 5

## Experimentální část - testování odolnosti

Experimentální část je věnována popisu návrhu betonové směsi na výrobu betonových destiček a převážně testování jejich odolnosti proti agresivním látkám. Destičky byly upraveny několika způsoby, které jsou popsány v předchozích kapitolách. Cílem této experimentální části je porovnat jednotlivé povrchové úpravy a zjistit, která povrchová úprava neboli metoda je obecně nejvhodnější a nejodolnější do agresivního prostředí. Na obrázku 5.1 je zobrazeno schéma postupu práce. Metody a postupy, které byly využity jsou popsány v kapitolách níže.



Obrázek 5.1: Postup experimentální části

## 5.1 Návrh betonové směsi

Na výrobu zkušebních betonových desek byl použit jeden typ betonové směsi, jejíž složení navrhl Ing. Martin Petřík, Ph.D. viz tabulka 5.1. Složení betonové směsi bylo navrženo s použitím programu EMMA.

<b>Materiál</b>	<b>Poměr (:cem)</b>
CEM I 52,5 R	1,00
Pálený kaolin	0,37
Metakaolin	0,17
Mletý vápenec	0,17
Mikrosilika	0,05
Slévárenský písek 0,063-0,63	1,54
Mikromletý písek	0,18
Voda	0,45
MasterGlenium ACE 442	0,0515
MasterMatrix SDC 100	0,0088
w/c	0,45
w/p	0,25

Tabulka 5.1: Směs na výrobu zkušebních destiček

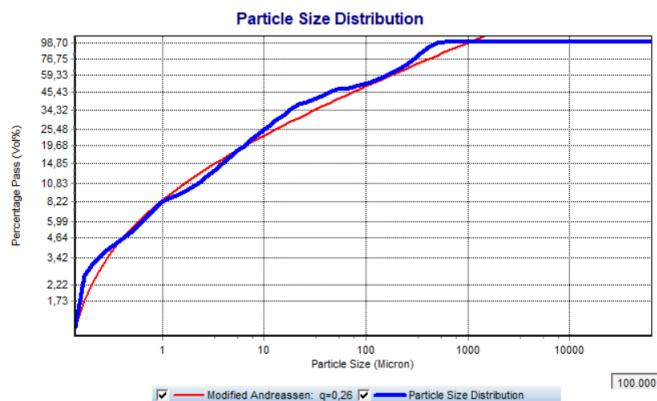
### 5.1.1 EMMA

EMMA (Elkem Material Mixture Analyzer) je program, který vypočítává a zobrazuje distribuci velikosti částic složek směsi. Program byl vyvinut ve společnosti Elkem a byl přijat ke zkoumání různých velikostí částic a kombinace materiálů různých stavebních výrobků včetně betonu.

Do programu se nahrají velikosti částicové distribuce jednotlivých složek. Po zadání množství použitých materiálů ve směsi, program zobrazí graf, který znázorňuje křivku zrnitosti směsi. Příklad křivky zrnitosti v programu EMMA je znázorněn na obrázku 5.2.

### 5.1.2 Postup míchání betonové směsi

Směs byla zhotovena následujícím způsobem. Jako první se po dobu 5 minut smíchaly sypké složky. K sypkým složkám se přidalo 70% vody, ve které byl důkladně promíchán stabilizátor. Mísení probíhalo 2 minuty. Zbýlých 30%, ve které byl promíchán plastifikátor se přidalo do směsi a po dobu 5 - 8 minut se směs míchala. Před vylitím směsi do bednění, se nechala zakrytá odpočinout 1 - 2 minuty.



Obrázek 5.2: Distribuční křivka velikosti částic navrhované směsi z programu EMMA

## 5.2 Výroba betonových destiček

Pro betonové destičky se nejprve zhotovilo bednění. Na bednění byla použita MDF deska. MDF deska je dřevovláknitá deska s velmi homogenní strukturou. Díky jemné struktuře je možné z MDF desky frézovat třídimenzionální profily. Vlákna je získávána z dřevěné kulatiny, která je za pomoci lepidla, velkého tlaku a tepla slisována dohromady.

Do desky byly vyfrézovány inverzní tvary destiček. Použit byl CNC router. CNC je zkratka pro Computer Numerical Control. Původně jen NC stroje byly takové stroje, které oproti ručnímu ovládání byly ovládány řídicím programem z alfanumerických znaků na paměťovém médiu. Jako první takové médium se používaly děrné štítky. Tento program je vytvářen odděleně od výrobního stroje. Dnešní CNC obráběcí stroje se dají charakterizovat jako stroje schopné manipulovat s obráběcím nástrojem kolem několika os, obvykle jde o tři nebo o pět os. Tyto stroje jsou řízeny přímo počítačem. Jde o jeden ze dvou přímých způsobů výroby objektů na základě 3D modelu vytvořeného v počítači. [24], [25]

Po vyfrézování se MDF deska navoskovala. Maleninová deska byla použita jako podkladní deska pro dno bednění. Deska se nastříkala odbedňovacím přípravkem. Po nastříkání a voskování byly do desky vybetonovány destičky. Na obrázku 5.3 je zobrazeno, jak vypadala forma z MDF desky. Následující obrázek 5.4 ukazuje, již vybetonované destičky v bednění. Po vytvrzení betonu se desky odbednily a nechaly se vytvrzovat ve vodě. Vytvrzování betonu ve vodě má výhodu v menším smršťování a nižší tvorbě mikrotrhlin. Po týdnu ve vodě, se desky přesunuly do sušárny viz. obrázek 5.5, kde byla zajištěna stálá vlhkost a stálá teplota vzduchu. Připravené desky byly následně upraveny různými způsoby.



Obrázek 5.3: Zhotovené bednění pro výrobu destiček



Obrázek 5.4: Vybetonované destičky v bednění



Obrázek 5.5: Betonové destičky ve vysoušecí komoře

### 5.3 Úprava povrchové vrstvy destiček na testování odolnosti

Celkem bylo zhotoveno 8 zkušebních destiček. Nejprve se všechny destičky naskenovaly společně s kalibrační kartou. Jednotlivé destičky byly dále upraveny různými metodami a jejich kombinacemi, jež byly popsány v kapitole 3.1 Mechanická povrchová úprava a kapitole 4. Ochrana povrchové vrstvy. Metody a kombinace, které byly na destičkách použity jsou uvedeny v tabulce 5.2.

Označení destičky	Úprava povrchu destičky
D1	Bez povrchové úpravy
D2	Ruční broušení + leptání kyselinou
D3	Ruční broušení + leptání kyselinou + 2 vrstvy sealeru
D4	Ruční broušení + leptání kyselinou + 4 vrstvy sealeru
D5	Broušení diamantem
D6	4 vrstvy sealeru
D7	Leptání kyselinou + 4 vrstvy sealeru
D8	Rezervní destička

Tabulka 5.2: Použité kombinace povrchových úprav betonu

### **D1 - Destička bez povrchové úpravy**

Tato destička byla ponechána bez jakékoli povrchové úpravy a povrchové impregnace. Byla pouze připravena k aplikaci jednotlivých látek.

### **D2 - Destička s ručním broušením a leptáním kyselinou**

Tato destička byla zbroušena a poleptána kyselinou. Destička se nechala před nalepením PVC pásky a aplikací testovaných látek vyschnout při pokojové teplotě. Díky tomu se přebytečná voda po oplachování kyseliny přirozeně odpařila a destička byla suchá.

### **D3 - Destička s ručním broušením, leptáním kyselinou a 2 vrstvami sealeru**

Broušení destičky bylo provedeno stejným způsobem jako u destičky D2. Rozdílem byla aplikace sealeru. Na destičku byly nanесeny pouze dvě první vrstvy sealeru. Tudíž dvě nejzřetelnější vrstvy. Povrch tedy nebyl zcela uzavřen poslední vrstvou.

### **D4 - Destička s ručním broušením, leptáním kyselinou a 4 vrstvami sealeru**

Broušení destičky bylo provedeno stejným způsobem jako u destičky D2. Aplikace sealeru byla stejná jako u předchozí destičky D3. Rozdíl byl v počtu vrstev. Výrobce Gi.Gi. sealeru uvádí v návodu aplikaci čtyř vrstev, které zde byly aplikovány. V předchozím případě D2 byly použity vrstvy pouze dvě. Důvod bylo zjištění účinnosti sealeru při nedodržení požadovaného počtu vrstev.

### **D5 - Destička zbroušená diamantem**

Tato destička byla zbroušena v Dílně 2.0 Ing. Martin Petříkem, Ph.D. Broušení probíhalo pomocí elektrické brusky na kámen osazené diamantovými brusnými kotouči. Samotné broušení probíhalo mokrou metodou stejně jako u ručního broušení. Povrch byl dokonale vybroušen a nepotřebuje žádnou další povrchovou úpravu jako je leptání slabým roztokem



kyseliny citrónové či povrchového nátěru. Destička D5 byla vyhlazena do jemnosti diamantu p3000. Díky jemné hrubosti dostala destička vysoký leskl, což je častý požadavek u prvků, které se používají v interiéru.

#### **D6 - Destička se 4 vrstvami sealeru**

Destička D6 byla bez jakéhokoli broušení. Byly na ni nanесeny pouze 4 vrstvy sealeru, stejně jako u destičky D4.

#### **D7 - Destička poleptaná kyselinou a 4 vrstvy sealeru**

Destička D7 byla poleptána kyselinou. U všech destiček, které mají toto ošetření byl dodržen stejný časový interval leptání. Po leptání kyselinou byl na destičku aplikován sealer ve čtyřech vrstvách jako u destičky D4 a D6.

#### **D8 - Rezervní destička**

Tato destička sloužila pouze jako rezervní. Rezerva při rozbití nebo poškození některé z destiček. Na povrch byla testována aplikace látek před aplikací na ostatní povrchy. Výsledky z této destičky nebyly zaznamenány a nebyly pro testování důležité.

### **5.3.1 Broušení povrchu**

Ruční broušení destiček se provádí buď suchým nebo mokrým způsobem. Vhodnější a doporučenější způsob je mokré broušení. V tomto případě tak bylo učiněno u všech destiček (D2, D3, D4), u kterých bylo ruční broušení aplikováno.

Pomůcky, které byly použity k broušení jsou zobrazeny na obrázku 5.6. Použity byly různé

Označení destičky	Úprava destičky
D2	Ruční broušení + leptání kyselinou
D3	Ruční broušení + leptání kyselinou + 2 vrstvy sealeru
D4	Ručním broušení + leptání kyselinou + 4 vrstvy sealeru

Tabulka 5.3: Destičky ručně zbroušené

hrubosti brusného papíru, podložka pro ruční broušení Mirka a rozprašovač s destilovanou vodou. Na povrch se rozprašovačem nanесla vrstva destilované vody. Destilovaná voda byla použita pro to, aby byla zajištěna vždy stejná kvalita vody. Nejprve byla použita hrubost brusného papíru s nejmenším číslem a to 100. Na brusný blok značky Mirka byl osazen brusný papír a krouživými pohyby byl povrch betonových destiček broušen. Pokud byla destička sušší, tak se aplikovalo další množství destilované vody. Hrubost brusných



Obrázek 5.6: Použité pomůcky pro ruční broušení betonu

papírů se postupně snižovala. Použité brusné papíry jsou uvedeny v tabulce 5.4. Destičky se nakonec celé opláchly destilovanou vodou.

Číslo	Hrúbost brusného papíru
1	100
2	150
3	180
4	220

Tabulka 5.4: Hrúbost brusných papírů

### 5.3.2 Leptání povrchu

Leptání kyselinou citronovou bylo aplikováno na čtyři destičky D2, D3, D4, D7.

Označení destičky	Úprava destičky
D2	Ruční broušení + leptání kyselinou
D3	Ruční broušení + leptání kyselinou + 2 vrstvy sealeru
D4	Ruční broušení + leptání kyselinou + 4 vrstvy sealeru
D7	Leptání kyselinou + 4 vrstvy sealeru

Tabulka 5.5: Destičky poleptané kyselinou a jejich úprava

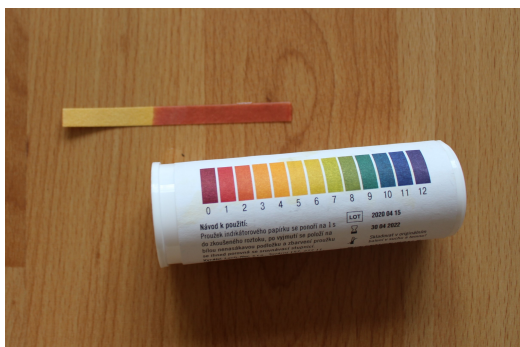
Destičky s povrchovou úpravou broušením, byly nejprve zbroušeny a poté až poleptány kyselinou. U všech destiček, které mají tuto úpravu byl dodržen stejný časový interval leptání. Co způsobuje leptání kyselinou bylo popsáno v kapitole 3.1.3 Leptání. Pomůcky, které byly použity při leptání jsou zobrazeny na obrázku 5.7.

Pro leptání destiček byla použita krystalická kyselina citronová a destilovaná voda. Pro každou destičku se zhotovil nový roztok. Vždy do stejného množství vody se dalo stejné



Obrázek 5.7: Použité pomůcky na leptání povrchu kyselinou citrónovou

množství krystalické kyseliny citronové a změřilo se pH tak, aby byly zajištěny stejné podmínky pro leptání všech destiček. Změřené pH roztoku bylo 2, viz.obrázek 5.8.



Obrázek 5.8: pH roztoku kyseliny citrónové

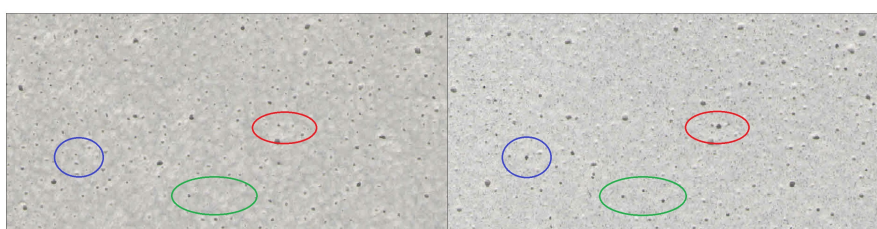
Leptání roztokem kyseliny citronové mělo pro každou destičku vždy stejný časový interval a to 30 s. Po uplynutí časového intervalu leptání následovalo opláchnutí destičky v čisté destilované vodě.

Vizuální změnou po leptání bylo otevření nových pórů. Tyto póry byly vidět i lidským okem. U všech destiček došlo ke zdrsnění povrchu i na omak. Póry u destičky, která byla ručně zbroušena, byly zaneseny cementovým tmelem. Pouze část pórů byla viditelně vyčištěna leptáním, ale většina jich byla stále zanesena, viz obrázek 5.9.

U destičky D7, kde nebyla žádná povrchová úprava před leptáním, byla i poté vidět struktura bednění. Vytvořily se nové póry na povrchu a některé původní se rozšířily, Viz obrázek 5.10



Obrázek 5.9: Destička D2 - povrch bez úpravy vs. povrch po ručním broušení a leptání kyselinou citronovou



Obrázek 5.10: Destička D7 - povrch bez úpravy vs. povrch po leptání kyselinou citronovou

### 5.3.3 Sealer

Sealer se aplikoval na tři destičky ve čtyřech vrstvách a na jednu destičku pouze ve dvou. Destičky s povrchovým nátěrem jsou uvedeny v tabulce 5.6.

Označení destičky	Úprava destičky
D3	Ruční broušení + leptání kyselinou + 2 vrstvy sealeru
D4	Ruční broušení + leptání kyselinou + 4 vrstvy sealeru
D6	4 vrstvy sealeru
D7	Leptání kyselinou + 4 vrstvy sealeru

Tabulka 5.6: Destičky s aplikací sealeru

Postup míchání sealeru, který je převzat z [14], je uveden v tabulce 5.7.

Gi.Gi. sealer je směs dvou komponentů a to A a B. Důležité pro míchání sealeru je, aby se na jednotlivé složky používaly vždy oddělené odměrky, tj. jedna odměrka na komponent A a druhá odměrka na komponent B.

Plocha všech destiček, která se ošetřovala, byla pouze  $0,104 \text{ m}^3$  (4 destičky o rozměrech  $0,2 \text{ m} \times 0,13 \text{ m}$ ). Pro snadnější míchání bylo použito množství na  $0,2 \text{ m}^3$ , jelikož u menšího

Promíchání složky A protřepáním v nádobě	2 minuty
Odměření složky A jednou odměrkou	-
Nalítí složky A do míchací nádoby a mechanické míchání	2 minuty
Odměření složky B druhou odměrkou	-
Přidání složky B do míchací nádoby a mechanické míchání	3 minuty
Odpočinek	5 minut
Odměření destilované vody 50°C	-
Přidání vody do míchací nádoby a mechanické míchání	2 minuty
Odpočinek	5 minut
<b>Celkový čas</b>	<b>19 minut</b>

Tabulka 5.7: Postup míchání Gi.Gi. sealeru [14]

množství může dojít k nedokonalému promíchání. V tabulce 5.8 je uvedené potřebné množství složek pro jednotlivé vrstvy na ošetření desky o ploše  $1 \text{ m}^2$ . Pomůcky, které byly použity při míchání a aplikaci sealeru na destičky, jsou zobrazeny na obrázku 5.11. Pro míchání sealeru byly vytisknuty metly na míru na 3D tiskárně.

Nátěr	Složka A [ml]	Složka B [ml]	Voda [ml]	Celkem [ml]
1	9	5	96	110
2	9	4	77	90
3	7	3	50	60
4	6	3	39	48

Tabulka 5.8: Množství složek na jednotlivé nátěry na  $1 \text{ m}^2$ 

Obrázek 5.11: Použité pomůcky na aplikaci sealeru

Teplota destilované vody, která byla do směsi přidána byla vždy  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Nižší teplota by způsobila, že by sealer za účelem svázání s podkladem spotřeboval vlastní tepelnou energii, která je potřebná ke správnému průběhu reakce mezi sealerem a betonem vedoucí ke správnému vytvrdnutí nátěru. Tím by se snižovala jeho účinnost. Alternativou pro teplou vodu je ohřátí samotného betonu, ale mnohem snazší je použití teplé vody. Přibližně

polovina vody byla použita z rychlovarné konvice a druhá polovina pokojové teploty. Teplota byla změřena teploměrem tak, aby bylo dosaženo vždy stejné teploty vody u dalších vrstev. Použitím destilované vody se zaručila stejná kvalita vody pro všechny vrstvy sealeru.

Sealer se na destičku nanášel pomocí pěnového válečku s co největší hustotou. Aplikace jedné vrstvy se provádí přibližně 15 minut do té doby, než beton nepřestane do sebe absorbovat tekutinu. Válečkem se stále nanášela další tekutina a po cca 15 minutách nebo konečné absorpci, se z válečku vymáčkala přebytečná tekutina. Z povrchu destičky se odsál zbytek sealeru vymáčkáním válečkem. Díky tomu mohla další vrstva dostatečně proniknout do povrchu betonu a nevytvořila se na něm nepropustná povrchová vrstva. Další vrstva se aplikovala, když byl povrch na dotek už suchý. Doba schnutí trvala přibližně 3 - 4 hodiny při běžné pokojové teplotě.

První vrstva je nejvíce zředěná a proniká nejhluběji do betonu. Když začne tuhnout nebo tvrdnout, uzamkne hloubku, do které mohou proniknout další vrstvy sealeru. Tj. první vrstva vytvoří hranici v betonu, pod kterou neprojdou další vrstvy. V následujících vrstvách absorpce klesá. S každou vrstvou je složení sealeru s menším obsahem podílu vody, jak je uvedeno v tabulce 5.8. Složení sealeru je s každou vrstvou koncentrovanější. Po aplikaci všech vrstev sealeru bylo zapotřebí dostatečné vytvrdnutí sealeru. Lehký provoz po nanesení všech vrstev je možný po 16 - 24 hodinách. Plná zátěž je možná po 24 - 48 hodinách. Požadovanou odolnost sealer získá v prvních dnech po aplikaci, ale plné dozrání nastane až po 10 dnech. V tomto experimentu sealer vytvrzoval 15 dní a poté se na ochráněný povrch aplikovaly agresivní látky.

Vy pozorované jevy během aplikace jednotlivých vrstev sealeru jsou shrnuty v tabulce 5.9.

Obrázek 5.12 zobrazuje skvrny na povrchu destičky D6 v porovnání s D7 po aplikaci druhé vrstvy sealeru. Na povrchu zůstala světlá místa, ale po uschnutí se povrch sjednotil a skvrny zmizely.

Povrch destičky D3 do sebe nejrychleji absorboval první vrstvu, jak je uvedené v tabulce 5.9 a na obrázku 5.13 je zobrazena aplikace této vrstvy.

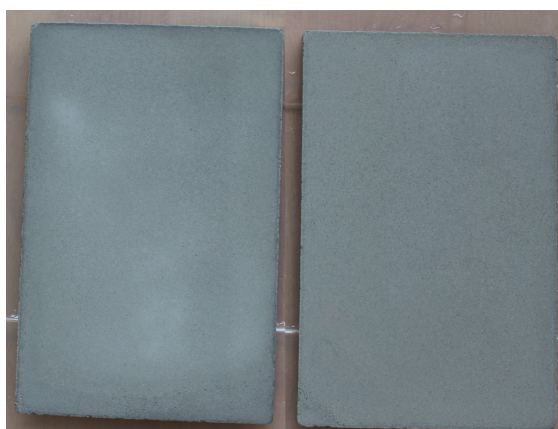
Během aplikace sealeru byly zajištěny barevné rozdíly povrchů i rozdílné absorpce sealeru do povrchu. Rozdíl u destičky, která před aplikací sealeru neměla žádnou povrchovou úpravu a zbrúšené destičky s poleptáním kyseliny po aplikaci 4 vrstev sealeru (D6 a D4) je zobrazen na obrázku 5.14. Destička D6 měla povrch nepřirozený a na dotek byl umělý.

První vrstva se nejlépe absorbovala do povrchu, který byl zbrúšen a poleptán kyselinou

**D3 - broušení a leptání D4 - broušení a leptání D6 - bez úpravy D7 - leptání**

Destička	D3	D4	D6	D7
Počet vrstev sealeru	2	4	4	4
1. vrstva	Největší absorpce, nejsvětlejší	Největší absorpce, nejsvětlejší	Nejhorší absorpce, nejtmavší	Tmavý povrch
2. vrstva	Největší absorpce, nejsvětlejší	Největší absorpce, nejsvětlejší	Dlouhá absorpce, skvrny na povrchu	Tmavý povrch
3. vrstva	-	Nejtmavší povrch	Nejsvětlejší, dlouhá absorpce, lesklý povrch i na omak	Na povrchu stále vidět póry, světlý
4. vrstva	-	Nejtmavší povrch, největší absorpce	Umělý lesk, nejsvětlejší	Světlý

Tabulka 5.9: Vizuální změny a absorpce sealeru při aplikaci jednotlivých vrstev sealeru



Obrázek 5.12: Skvrny na povrchu destičky D6 v porovnání s D7 po aplikaci druhé vrstvy sealeru

(D3 a D4). Povrch, který nebyl upraven žádnou úpravou (D6), absorboval sealer nejméně a zároveň během aplikace vykazoval nejtmavší zbarvení povrchu.

Druhá vrstva se chovala podobně jako první. Na D6 vznikaly barevné skvrny, ale po celkové době aplikace se sjednotily a vznikl tak ucelený povrch.

Třetí vrstva se aplikovala pouze na tři destičky. Barevnost povrchů se změnila. Povrch D4, který byl nejsvětlejší při aplikaci první a druhé vrstvy, byl nejtmavší. Naopak povrchy destiček D6 a D7 byly nejsvětlejší. Barevnost byla nepatrně změněna i po vytvrzení vrstev.

Čtvrtá vrstva se chovala podobně jako vrstva třetí. Povrch D4 vykazoval stále největší míru absorpce sealeru. Výsledný vzhled D6, kde otisk povrchu z bednění nebyl zbrúšen ani poleptán, měl nejvíce umělý povrch. Gi.Gi. sealer zůstává na povrchu v matném pro-



Obrázek 5.13: Aplikace 1. vrstvy sealeru na povrch D3 - ruční broušení a leptání kyselinou



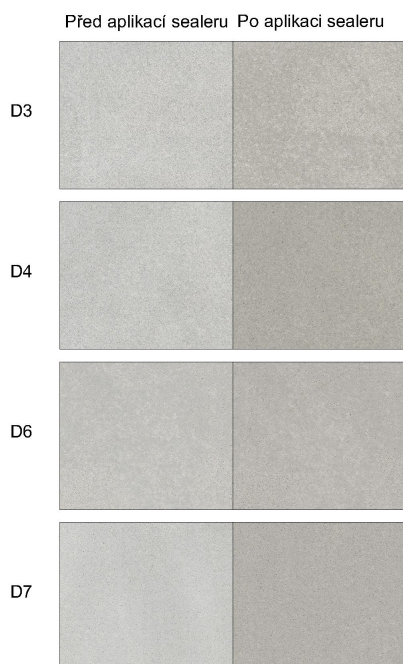
Obrázek 5.14: Porovnání povrchu destiček D6 a D4 po aplikaci 4. vrstvy sealeru

vedení, ale na D6 se nepatrně lesknul. Povrch D4 byl nejpřírozenější. Výsledná změna povrchu byla nejméně znatelná.

Rozdíly po uschnutí jednotlivých vrstev byly minimální. Skvrny a barevné nestálosti byly vyzorované především během aplikace sealeru. Výsledné ztmavení povrchů před a po aplikaci Gi.Gi. sealeru je uvedeno na obrázku 5.15. V tabulce 5.10 jsou uvedené hodnoty jasů před a po aplikaci sealeru. Jsou vždy uvedené střední hodnoty - medián stupňů šedi celé destičky.

Největší změna nastala na povrchu, který byl jen poleptán kyselinou a byly na něm aplikovány 4 vrstvy sealeru - D7. Povrch ztmavnul o 10,59%. Na povrchu D4 - broušení, leptání a 4 vrstvy sealeru došlo také k výraznému ztmavení povrchu, a to o 8,63%. Povrch destičky D6 - 4 vrstvy sealeru bez žádné předchozí povrchové úpravy dosahoval nejmenší barevné změny. Tento povrch měl být oproti ostatním nejméně přirozený oproti ostatním, viz obrázek 5.14.





Obrázek 5.15: Porovnání barevnosti povrchů destiček před a po aplikaci sealeru

Destička	Před aplikací sealeru	Po aplikaci a vytvrzení sealeru	Změna intenzity světlosti
D3 - broušení, leptání, 2 vrstvy	196	182	14
D4 - broušení, leptání, 4 vrstvy	197	175	22
D6 - 4 vrstvy	192	182	10
D7 - leptání, 4 vrstvy	205	178	27

Tabulka 5.10: Změna intenzity světlosti povrchu před a po aplikaci sealeru

## 5.4 Látky aplikované na destičky

Výběr látek byl uzpůsoben tak, aby byly zastoupeny látky různého chemického charakteru, které se mohou vyskytovat v prostředí koupelen. Pro výběr nebyly použity nejčastější látky, které se v koupelnovém prostředí vyskytují. Některé jsou méně časté, ale jejich výběr byl uzpůsoben tak, že pokud destičky s určitou povrchovou úpravou odolají i těmto nejvíce agresivním látkám, které byly vybrány, tak odolají i látkám méně agresivního charakteru. Jednotlivé látky a jejich pH, které byly změřené pomocí lakmusového papírku jsou uvedeny v tabulce 5.11.

Zbarvení lakmusového papírku a přiřazení k jednotlivým látkám je uvedeno na obrázku 5.16.

Aplikovaná látka	pH
Hydroxid sodný	11
Make-up	7
Olej	5
Ocet	3
Mýdlo	6-7
Sanytol	7-8

Tabulka 5.11: Aplikované agresivní látky na betonové destičky



Obrázek 5.16: Měření pH agresivních látek

### Hydroxid sodný

Hydroxid sodný je velmi silná zásaditá anorganická sloučenina. Značí se chemickým názvem NaOH. Označení hydroxidu může být také louh či natron. V čistém stavu je to pevná bílá látka ve formě malých perliček, silně hygroskopická a pohlcující oxid uhličitý ze vzduchu. Je silná žíravina a zdraví škodlivá látka. Proto je třeba dbát na velkou opatrnost při manipulaci. Při poleptání zásadou se musí pokožka neustále omývat vodou (ředit) či neutralizovat místo slabou kyselinou (zředěný ocet, zředěná kyselina citronová).

Při smíchání hydroxidu s horkou vodou vzniká vysoce exotermická reakce. Na destičku byl hydroxid aplikován vždy z roztoku vroucí vody a granulí hydroxidu sodného v poměru 40 ml vody na 1 lžičku hydroxidu. Pro každý časový úsek byl zhotoven nový roztok hydroxidu, aby byl na povrch desky nanášen ve stejné teplotě. [26]

### Make-up

Make-up byl vybrán jako látka barevného charakteru. Je to látka, která se využívá v kosmetice. Složení může být různé - přírodního, chemické či minerální. Hodnota pH takovýchto látek musí být, vzhledem k tomu, že je používán na pokožku, neutrální. Většina výrobků se nedá odstranit samotnou vodou. Je potřeba použít čističe k tomu přímo určené.

## Olej

Olej byl vybrán z důvodu mastného charakteru. Mastný neboli olejový výrobek se nedá odstranit samotnou vodou, obecně je potřeba použít prostředky, které rozpouští tuky či jiné olejové látky. Pro aplikaci na povrch destičky byl použit slunečnicový olej.

## Ocet

Ocet je potravinářská přísada a konzervační činidlo, jehož hlavní složkou je kyselina octová v koncentraci podle druhu octa od asi 4% do 18%. Pro aplikaci byl použit ocet lihový (kvasný) 8%, který se běžně vyskytuje v kuchyni a lze s ním umýt nebo dezinfikovat různé plochy. Tato látka se jako desinfekce může vyskytnout i v prostředí koupelny.

## Mýdlo

Mýdlo je směs organických látek v pevné nebo kapalně formě, působící jako anionický tenzid, tedy látka, hromadící se ve fázovém rozhraní a snižující povrchové napětí vodných roztoků. Je používáno jako prostředek osobní hygieny, pro čištění povrchů (zejména odmašťování) a k praní prádla. Pro aplikaci na destičku bylo použito bezbarvé tekuté mýdlo značky DM essential. [27]

## Sanytol

Sanytol je dezinfekce, která neobsahuje chlór. Je určen k odstraňování bakterií, plísní a virů. Důkladně čistí všechny druhy povrchů bez jejich poškození. Tento čistící prostředek byl zvolen jako šetrný prostředek, kterým se čistí nejen prostory koupelny. Je to neutrální látka, která by neměla zanechávat skvrny.

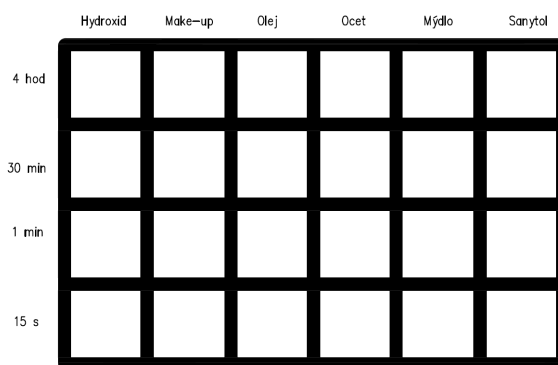
## 5.5 Testování odolnosti

Testování odolnosti probíhalo následujícím postupem. Na každé destičce bylo vytvořeno 24 polí pomocí PVC (elektrikářské) pásky. Červená barva pásky byla záměrně vybrána pro snazší selekci v programu Matlab. Výhodou byla matná barva pásky, která při skenování neodrážela světlo a nezpůsobila žádná světlá místa. Matný charakter pásky ušetřil v matlabu několik operací. Šířka pásky byla 5 mm. Podstatou rozdělení polí v dostatečné vzdálenosti od sebe bylo zamezení pronikání agresivních látek porézním materiálem mezi jednotlivými oblastmi. Při aplikaci pásky i jakékoli manipulaci s destičkami byly použity gumové rukavice. Ty zabránily tomu, aby se na destičky dostala nežádoucí mastnota, která by zkreslila výsledky. Díky manipulaci s destičkami v rukavicích nebylo potřeba

použít aceton, který povrch odmastí.

### 5.5.1 Aplikace agresivních látek

Látky již uvedené v tabulce 5.11 byly aplikovány na zkušební destičky v různých intervalech. Pro měření byly stanoveny 4 časové úseky. Vyhodnocení působení agresivních látek na destičky bylo v časech 4 hodiny, 30 minut, 1 minuta a 15 s. Rozdělení desky s jednou povrchovou úpravou na jednotlivé oblasti s ohledem na časové úseky a aplikované látky je zobrazeno na obrázku 5.17.

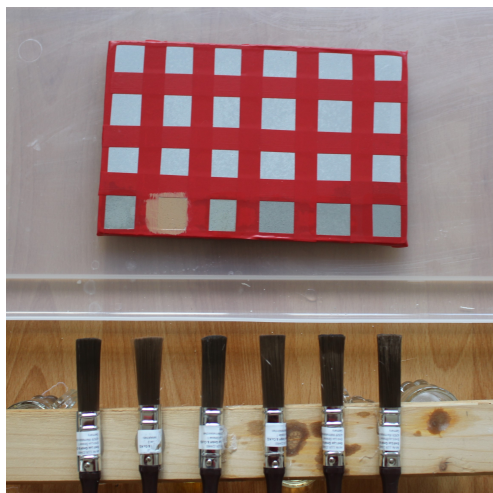


Obrázek 5.17: Rozdělení destičky na oblasti pro aplikaci agresivních látek

Pro dodržení stejných časových podmínek pro všechny látky na jednotlivá pole se připevnilly štětečky na pomocnou dřevěnou laťku. Najednou se namočily do všech látek (1 štěteček = 1 agresivní látka) a aplikovaly se na destičku. Zajistilo se tím, že pro každé pole, byl stejný daný interval působení látky. Aplikace látek na destičky je zobrazena na obrázku 5.18. Látka byla vždy nanesena na čistý a suchý povrch.

Látky na povrch působily po dobu různých časových úseků. Začalo se 4 hodinovým úsekem, poté 30 minutovým, minutovým a pak následoval 15 sekundový úsek. Po uplynutí jednotlivých časových úseků se z destiček odstranil zbytek látek suchým hadříkem z mikrovláken, pokud bylo třeba. Následně byl povrch otřen vlhkým hadříkem. Destička byla opláchnuta destilovanou vodou a osušena čistým papírovým ubrouskem.

Během aplikace byl pozorován rozdíl, zda se jednalo o destičku bez povrchové úpravy, se sealerem či zbrúšením pomocí diamantového kotouče. Destička bez žádné povrchové úpravy ihned nasála veškerou tekutinu a po 15 minutách na poli, kde látka měla působit, byla veškerá tekutina absorbovaná do povrchu a oblast byla suchá. Destička D4 se sealerem byla poměrně odolnější proti vsakování. Některá tekutina se na destičce vyskytovala



Obrázek 5.18: Aplikace agresivních látek na destičky pomocí štětečků

i po 40 minutách. Při aplikaci na pole na D4, kde měla působit látka pouze půl hodiny, byla tekutina, která se nestihla vsáknout ani odpařit.

Tento fakt neplatil pro sanytol, jakožto látka zastoupená z čistících prostředků. Sanytol se pokaždé jako první odpařil (absorboval) ze všech testovaných látek. Průměrná doba jeho vstřebání byla 5 minut. Tudíž rozdíl mezi působením 4 hodinami a půl hodinou byl minimální.

V tabulce 5.12 je vyhodnocení aplikace látek na destičku s různou povrchovou úpravou. Hodnocení je subjektivní. Je vyzorované během aplikace látek na povrchy destiček. Hodnocení je znázorněno pomocí hvězdiček, kde jedna hvězdička \* odolává nejhůře a pět hvězdiček \* \* \* \* \* odolává nejvíce během aplikace agresivní látky na povrch destičky s různou povrchovou úpravou.

Úprava destičky	Hydroxid	Make-up	Olej	Ocet	Mýdlo	Sanytol
Bez úpravy	*	*	**	*	**	*
Broušení a leptání	*	*	**	*	**	*
Broušení, leptání a 2 vrstvy sealeru	* * *	* * *	**	* * *	* * *	* * *
Broušení, leptání a 4 vrstvy sealeru	* * * *	* * * **	* * * **	* * * **	* * * **	* * * * **
Broušení diamantem	* * * *	* * * **	* * * **	* * * **	* * * **	* * * * **
4 vrstvy sealeru	* * * *	* * * **	* * * *	* * * **	* * * *	* * * **
Leptání a 4 vrstvy sealeru	* * * *	* * * **	* * * *	* * * **	* * * *	* * * **

Tabulka 5.12: Vyhodnocení odolnosti povrchů při aplikaci látek na povrch destiček

Rozdíl byl pozorován u otírání destiček od přebytečných tekutin. Destička zbrošená diamantem, která byla nejvíce vyhlazena, se otírala nejsnáze. Pokud byl na destičku aplikován sealer se čtyřmi vrstvami, otření mokrým hadříkem se dalo srovnat s destičkou zbrošenou diamantem. Všechny látky šly snadno odstranit. Olej a make-up jsou látky, které nejdou rozpustit nebo odstranit pouhou vodou. Je třeba použít různé prostředky. I přes to jejich odstranění probíhalo nejsnáze. Rozdíl v odstraňování látek byl u destičky s povrchovou úpravou s dvěma vrstvami sealeru. Sealer byl penetrován do hloubky betonu, ale nezacelil jeho povrch dokonale. Vzhled povrchu byl rozdílný a látky se prokreslily do betonu více než do povrchu se čtyřmi vrstvami sealeru. Otření mokrým hadříkem více drhlo a nedošlo k úplnému odstranění testované látky. Hlavním cílem nebylo z destičky dostat všechny přebytky, ale to aby byly dodrženy stejné podmínky a daly se poté vyvodit výsledky znečištění.

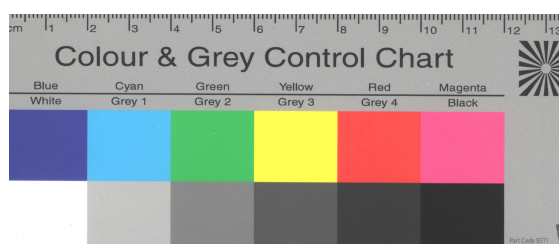
Dalším vyzpozorovaným výsledkem bylo, že destičky s povrchovou úpravou se čtyřmi vrstvami sealeru nebo zbrošením diamantovou bruskou, nebylo potřeba nechat oschnout po otření mokrým hadříkem. Destičky bez těchto dvou zmíněných povrchových úprav zůstaly dlouho mokré a muselo se čekat na vyschnutí vody z povrchu betonu.

## 5.6 Převedení destiček do elektronické podoby

V tomto experimentu byly jednotlivé výsledky načteny do elektronické podoby pomocí skeneru. Skener byl díky trojrozměrným destičkám zcela otevřen a pro zajištění stálých světelných podmínek byla tiskárna umístěna do místnosti, kde se dal zatemnit celý prostor.

### 5.6.1 Kalibrace destiček

Pro kalibraci obrázků destiček před aplikací a po aplikaci agresivních látek byla společně s jednotlivými deskami naskenována kalibrační karta. Karta slouží pro přesnou reprodukci barev a tónů. Naskenované zkušební destičky byly v programu Adobe Photoshop upraveny dle kalibrační kartičky, viz. obrázek 5.19. Díky této kartě se odstranil i vliv šumu při jejich samotném skenování.



Obrázek 5.19: Kalibrační karta

Obrazový šum je tvořen náhodnými cizorodými obrazovými body, které nejsou součástí detailů obrazu. Nepříznivě ovlivňuje kvalitu obrazu. Šum může být způsoben fotografováním s vysokým nastavením ISO na digitálním fotoaparátu nebo fotografováním na tmavém místě s dlouhou dobou expozice. Skenované obrazy mohou obsahovat šum způsobený snímačem skeneru.

Šum se v obraze může vyskytnout ve dvou formách.

- Luminační šum
- Barevný šum.

Luminační šum (odstíny šedé) způsobuje zrnitý nebo skvrnitý vzhled obrazu, Barevný šum je obvykle viditelný jako barevné artefakty v obraze.[28]

Pro výpočet směrodatné odchylky byla vybrána destička, která byla naskenována pro vyhodnocení 5 krát. Hodnoty jasu jednotlivých polí byly zaznamenány do tabulky. Z těchto naměřených hodnot byla vypočtena směrodatná odchylka. Směrodatná odchylka vypovídá o tom, nakolik se od sebe navzájem typicky liší jednotlivé hodnoty. Prvky byly navzájem podobné, díky zjištěné malé směrodatné odchylce. Její maximální hodnota dosahovala 1,36, viz tabulka 5.13. Barevná změna díky šumu byla nepatrná, ale nemohla se zanedbat. Pro odstranění vlivu šumu sloužila již zmiňovaná kalibrační karta.

Po načtení destiček do počítače s rozlišením dpi 1200 a úpravou v programu Adobe Photoshop, se obrázky načety do programu Matlab.

Funkce `imread` z Image Processing Toolboxu jednotlivé obrázky převádí do matic. Pokud pracujeme s RGB, tak pracujeme se 3 maticemi a každá může nabývat číselných hodnot od 0 do 255.

Pro zjednodušení vyhodnocení výsledků byly převedeny matice na stupně šedi a vyhodnocoval se poté jeden aspekt. Výsledkem bylo nalezení určitého pole a extrahování hodnot jasu pixelů v tom samém poli. Hodnoty byly převedeny na medián. Výsledky se zaznamenaly pro všechna pole na destičce. Vyvinutý algoritmus umožňující segmentaci obrazu a výpočet parametrů pro destičku je uveden v příloze A. Pro každou destičku byl použit stejný postup. Pro vytvoření grafů byly použity rozdíly mediánů destiček před aplikací a po aplikaci agresivních látek.

### 5.6.2 Postup zpracování výsledků v programu matlab

Postup v programu Matlab je uveden v příloze A. Na následujících obrázcích jsou zobrazeny kroky, které probíhaly při zpracování v programu. Nejprve se obrázek načetl do prostředí a převedl se do stupňů šedi. Následovalo nalezení 24 polí, pro které bylo nejprve

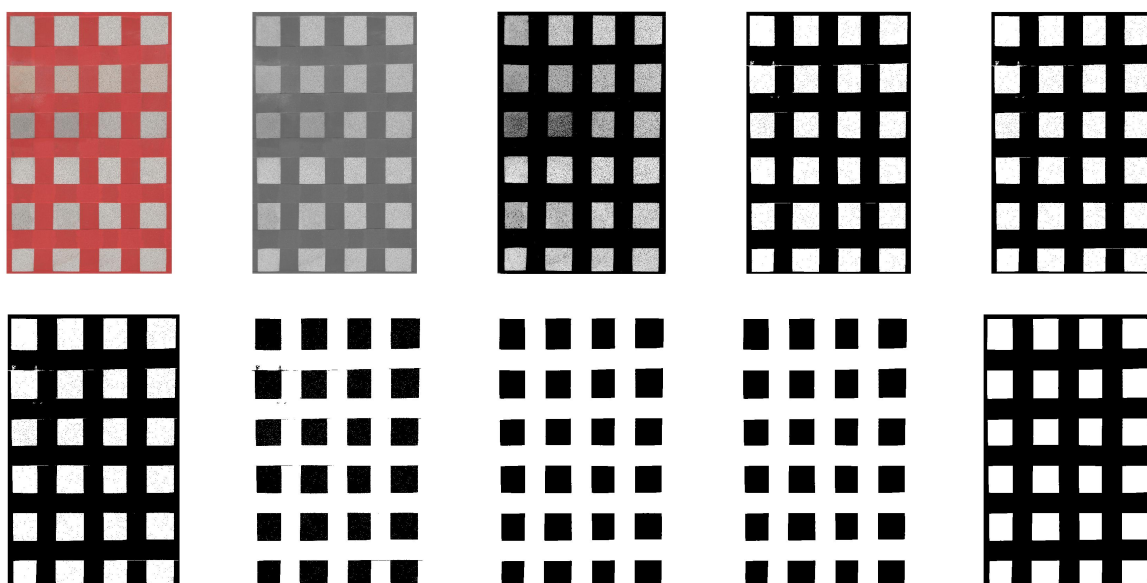
Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Směrodatná odchylna	Zkalibrované hodnoty
167	168	168	170	171	1,02	170
185	186	187	188	189	1,02	188
150	150	150	152	153	0,80	152
193	193	194	197	196	1,17	196
181	182	193	184	185	1,02	184
188	188	189	189	191	0,49	190
183	184	184	185	186	1,02	186
181	182	182	183	186	0,63	184
193	193	193	195	197	0,98	196
184	85	185	188	188	0,75	187
175	175	175	177	179	0,98	178
154	155	155	157	159	0,98	157
174	175	175	176	177	1,02	177
194	195	195	196	196	0,75	197
181	183	183	185	183	0,80	184
189	189	190	191	190	0,75	192
190	190	191	191	193	0,49	192
187	188	187	190	191	1,17	190
188	189	189	191	191	1,02	191
189	190	189	192	192	<b>1,36</b>	192
189	190	190	191	193	0,75	192
193	194	193	195	196	1,17	196
179	181	180	182	183	1,02	182
182	183	182	184	186	0,89	185

Tabulka 5.13: Výpočet směrodatné odchylny šumu destiček při skenování

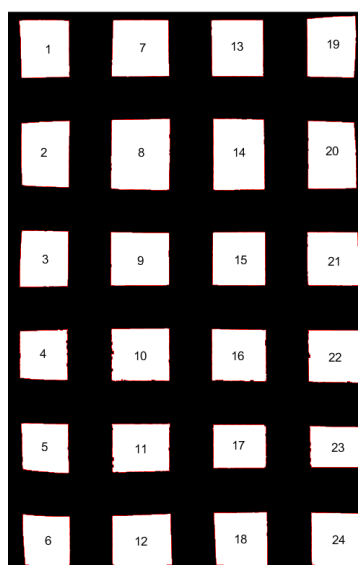
potřeba obrázků převést do binární soustavy a různými funkcemi upravit matici tak, aby vznikla maska, díky které se mohlo vyjmout z obrázku, převedeného do stupňů šedi, jen jedno pole, ze kterého se zjistil medián jeho histogramu.

Díky přiřazení číselných hodnot bylo možné z matice extrahovat pro jednotlivá pole hodnoty jasu pixelů a z nich následně vypočítat medián. Medián byl potřeba pro vyhodnocení výsledků změny světlosti povrchu po aplikaci agresivních látek.





Obrázek 5.20: Grafické znázornění postupu k extrahování hodnot jasu pixelů z jednotlivých polí



Obrázek 5.21: Nalezení polí v programu Matlab

# Kapitola 6

## Výsledky odolnosti proti agresivním látkám

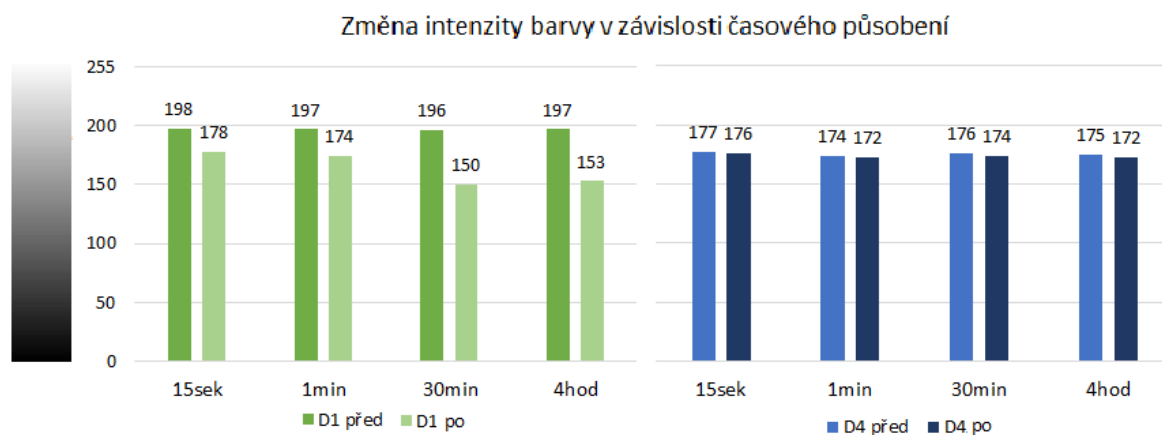
### 6.1 Zpracování výsledků odolnosti povrchu betonu

Výsledky byly zpracovány do grafů a tabulek pro lepší přehlednost, díky kterým jsem mohla mezi sebou porovnávat a vyhodnocovat různé povrchové úpravy mezi sebou. Hodnoty z histogramů každého pole jsou vyneseny do grafů, které jsou upravené pro snadnější a lepší interpretaci. Graf na obrázku 6.1 ukazuje změnu intenzity jasu pro destičku bez povrchové úpravy D1 a destičku s ručním broušením, leptáním a čtyřmi vrstvami sealeru D4 jako nejméně a nejvíce odolné povrchy proti agresivním látkám. Dále jen D1 a D4. Histogram je typ sloupcového grafu pro číselné hodnoty. Číselné hodnoty jsou hodnoty jasu pixelů, které jsou vyneseny do grafu jako hodnota mediánu každého pole. Hodnoty jasu se pohybují od 0 do 255. Na obrázku 6.2 jsou zobrazené barevné změny na destičkách D1 a D4 před aplikací a po aplikaci agresivní látky. Na ukázkou byla vybrána agresivní látka, která měla největší znehodnocení povrchu u různých povrchových úprav a to olej. Pokud jsou změny světlosti udány v procentech, jedná o absolutní hodnoty. Zda se povrch zesvětlil či ztmavnul není u grafů změny intenzity barevnosti vyjádřeno. Jde pouze o míru znehodnocení povrchu.

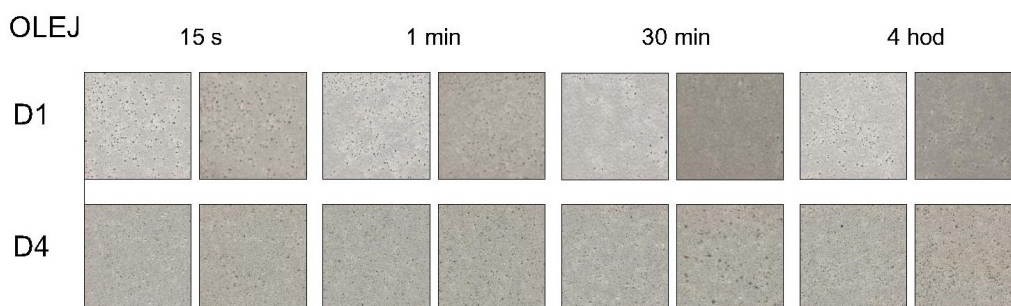
Pro lepší představu změny světlosti je přiložena stupnice šedi vedle grafu 6.1 na které se všechny hodnoty vyskytují. Hodnoty u všech ostatních destiček se pohybovaly v rozmezí 150-210.

V tabulce 6.1 jsou uvedeny procentuální změny světlosti povrchu.

Následující grafy mají svislou osu intenzity jasu upravenou tak, aby byly výsledky lépe vidět. Podle předpokladu byly největší změny zaznamenány na destičce D1, tedy bez povrchové úpravy.



Obrázek 6.1: Změna stupňů šedi na destičkách D1 a D4 před a po aplikaci oleje [29]



Obrázek 6.2: Barevné změny na destičkách D1 - bez povrchové úpravy a D4 - broušení, leptání a 4 vrstvy sealeru v časových intervalech před a po aplikaci oleje

	Olej D1				Olej D4			
	15 s	1 min	30 min	4 hod	15 s	1 min	30 min	4 hod
Hydroxid	9,79	11,86	16,06	19,29	0,58	0,58	1,16	1,16
Make-up	9,74	10,15	19,69	20,41	0,56	1,16	1,73	2,30
Olej	10,10	11,68	22,28	22,34	0,56	1,14	1,15	1,70
Ocet	2,54	3,57	6,67	7,11	0,57	1,16	1,70	1,70
Mýdlo	8,21	11,46	12,63	15,38	0,00	0,00	0,57	1,14
Sanytol	8,21	9,38	10,94	12,69	0,00	0,58	0,58	1,13

Tabulka 6.1: Procentuální změny světlosti na povrchu bez povrchové úpravy a povrchu s ručním broušením, leptání kyselinou a 4 vrstvami sealeru

## 6.2 Vyhodnocení odolnosti povrchu a povrchové úpravy proti agresivním látkám

V následujících částech 6.2.1 - 6.2.5 jsou uvedeny výsledky hodnocení odolnosti povrchů destiček. Jsou zde popsány projevy agresivních látek na jejich površích a vliv odolnosti povrchové úpravy proti vniknutí látek do povrchu. Dále je stanoveno, které varianty úpravy povrchů, odolávaly agresivním látkám nejlépe a které nejhůře.

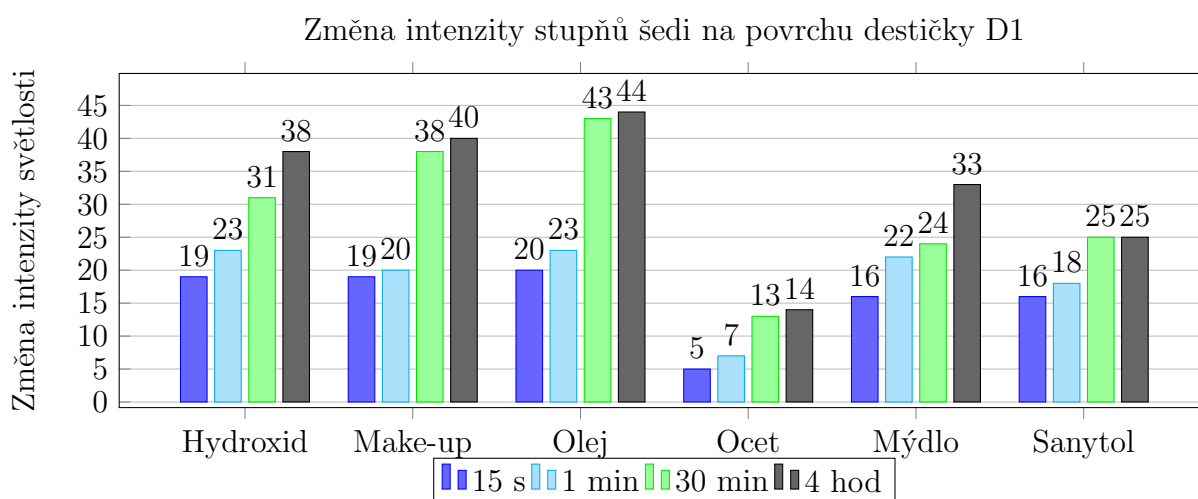
### 6.2.1 Povrch vykazující nejhorší výsledky odolnosti

Nejhorších výsledků dosahovala destička č. 1 neboli D1 bez povrchové úpravy.

Označení destičky	Úprava destičky
D1	Bez povrchové úpravy

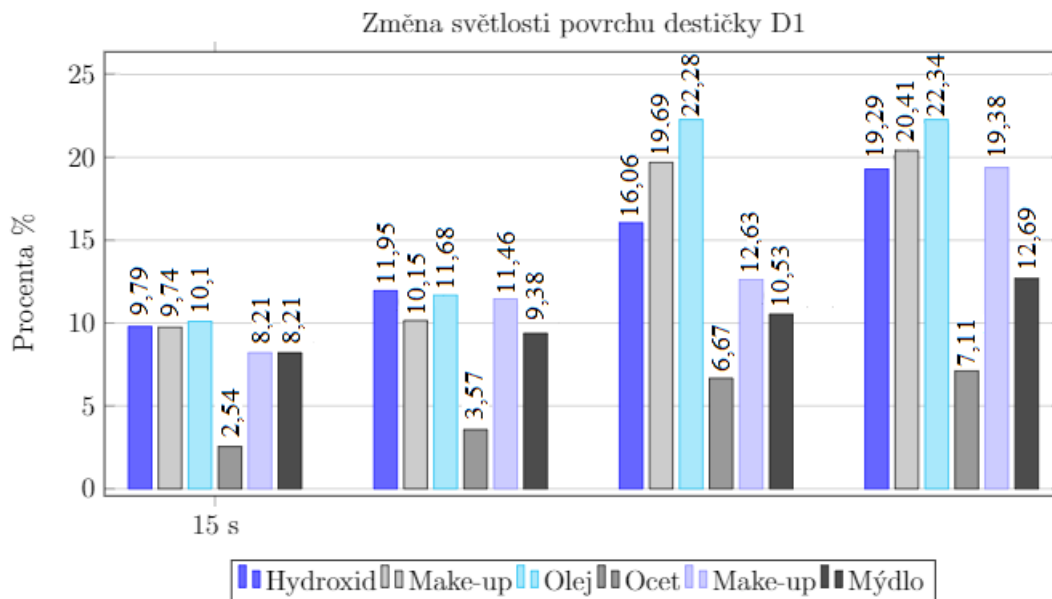
Během aplikace agresivních látek se do povrchu tekutiny okamžitě vsakovaly. V grafu 6.3 je znázorněna změna intenzity stupňů šedi po aplikaci agresivních látek na povrch. Na první pohled je znatelné, že všechny látky způsobily velký rozdíl na stupnici šedi. Povrch betonu se výrazně změnil. Procentuální rozdíl změny barevnosti povrchu je uveden na obrázku 6.4.

V případě kdy byly hydroxid, make-up a olej byly na destičku aplikovány déle než 30



Obrázek 6.3: Graf změny intenzity stupňů šedi před a po aplikaci agresivních látek na destičku D1 - bez povrchové úpravy

minut, nabyly největšího rozdílu jasu okolo 22%. Látky měly dostatečný čas absorbovat se do povrchu i mezi jednotlivé póry. Tyto látky nelze odstranit vlhkým hadříkem, ale je



Obrázek 6.4: D1 - graf vyjádření změny světlosti v procentech

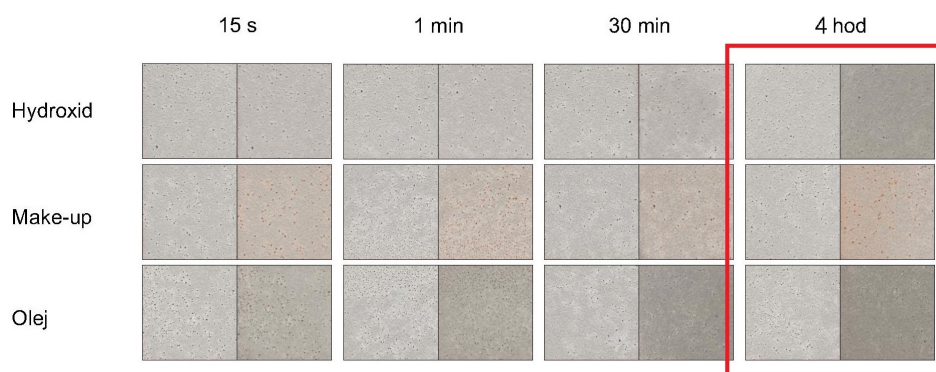
zapotřebí použití čističů, který je odstraní. Na obrázku 6.5 je zvýrazněn rozdíl povrchu s největší pozorovatelnou změnou.

Mýdlo a sanytol dosahovaly menšího zbarvení oproti předchozím látkám. Procentuální změna po 4 hodinách působení mýdla dosahovala 15,38 % a sanytol při stejném časovém působení 12,69 %. Procentuální změna světlosti ostatních testovaných látek je znázorněna na grafu 6.5.

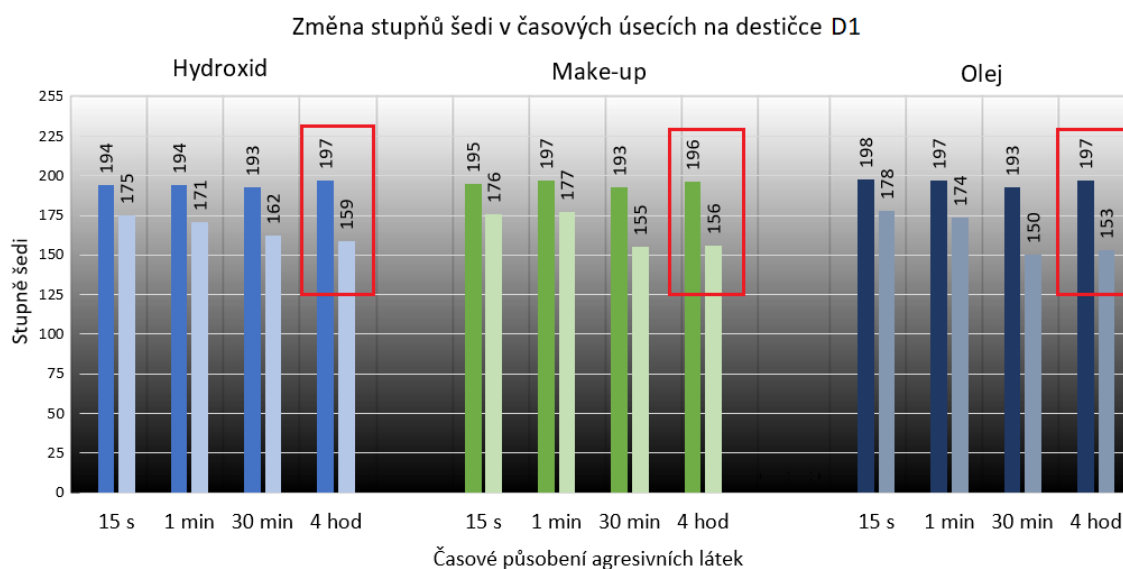
Všechny látky dosahovaly přibližně stejné změny světlosti povrchu při působení po dobu 15 sekund. Při aplikaci octa na destičku bylo pozorováno okamžité zesvětlení povrchu. Změna světlosti povrchu při jeho působení 4 hodin byla oproti ostatním látkám nejmenší. Procentuální změna povrchu byla 7,11 %.

Na obrázku 6.5 jsou zobrazeny tři agresivní látky s největší pozorovatelnou změnou. Tyto tři látky vykazovaly největší změny hodnot stupňů šedi. Naměřené hodnoty jsou znázorněny na obrázku 6.6. Graf je podložen obrázkem stupňů šedi. Dosahovaná hodnota odpovídá světlosti na podložené stupnici.

Tato varianta povrchu bez povrchové úpravy se nedoporučuje do agresivního prostředí. Povrch betonu by neměl zůstat bez jakékoli povrchové úpravy. Znehodnocení povrchu je znatelné i po jeho vyčištění čistícími prostředky.



Obrázek 6.5: Porovnání povrchu betonu před aplikací a po aplikaci agresivních látek na destičce D1 - bez povrchové úpravy



Obrázek 6.6: Graf změny intenzity jasu šedi hydroxidu, make-up a oleje vnesené na stupnici šedi

## 6.2.2 Povrch vykazující nejlepší výsledky odolnosti

Nejlépejších výsledků odolnosti povrchu dosahovala destička č. 4 neboli D4 s povrchovou úpravou ručního broušení, leptání kyselinou a čtyřmi vrstvami sealeru.

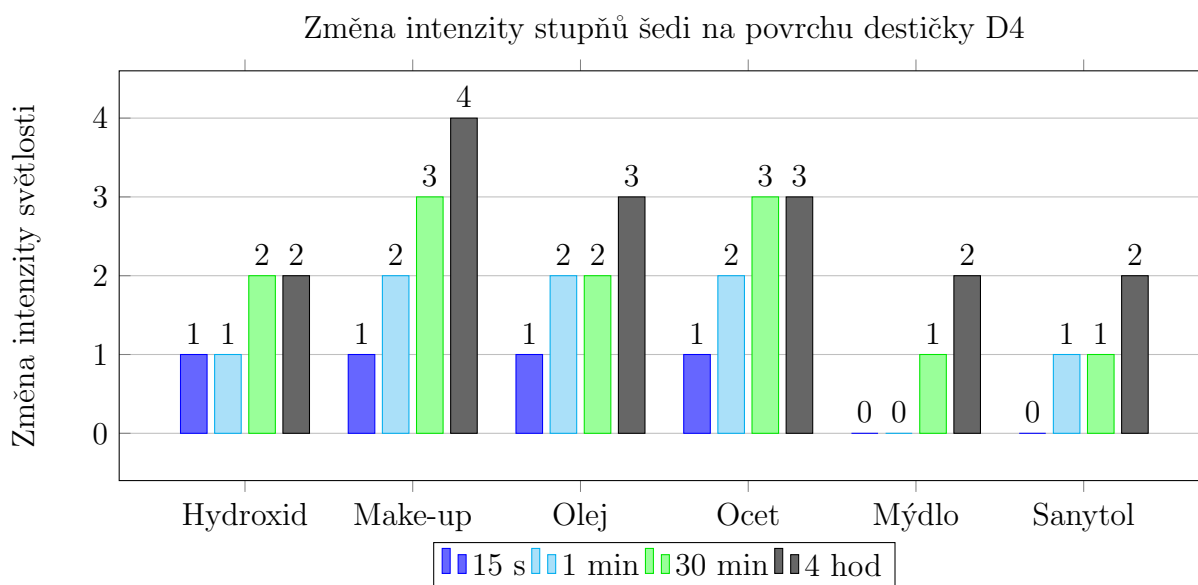
Označení destičky	Úprava destičky
D4	Ruční broušení + leptání kyselinou + 4 vrstvy sealeru

Obrázek 6.7 znázorňuje změnu povrchu po povrchové úpravě. Povrch ztmavnul převážně díky sealeru, který je tím charakteristický. Na obrázku 6.8 je znázorněna změna intenzity stupňů šedi po aplikaci agresivních látek. Na první pohled je zřejmé, že rozdíl oproti destičce bez povrchové úpravy, jsou hodnoty jasu nižší. Povrch betonu se po aplikaci

agresivních látek nijak výrazně nezměnil.



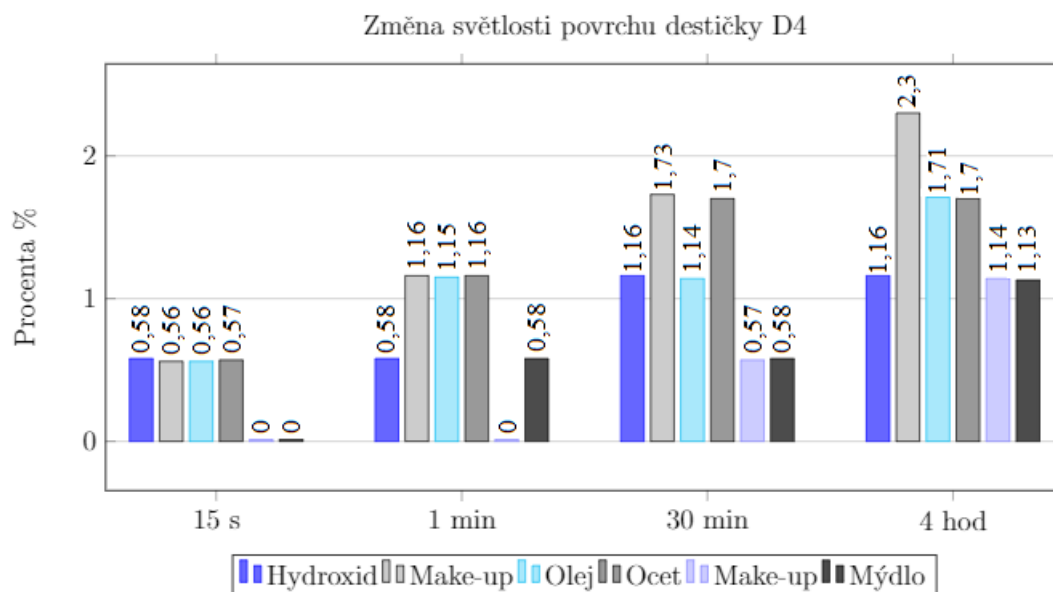
Obrázek 6.7: Povrch destičky D4 před a po povrchové úpravě



Obrázek 6.8: Graf změny intenzity stupňů šedi před a po aplikaci agresivních látek na destičku D4 - ruční broušení, leptání kyselinou a 4 vrstvy sealeru

Nejvyšších výsledků dosahoval make-up. Procentuální změna světlosti povrchu dosahovala pouze 2,30%. Make-up zůstal v pórech, které nebyly dokonale zaceleny sealerem. Pouhým navlhčeným hadříkem se zbytky látky neodstranily a tím byl povrch barevně změněn. Make-up byl zkušebně odstraněn pomocí odličovací vody a hadříku z mikrovlákna. Většina pórů byla viditelně vyčištěna. Při opětovném skenování byla zjištěna nižší hodnota. Změna světlosti povrchu byla 1,40%. Porovnání povrchu před a po aplikaci látky a po vyčištění je zobrazeno na obrázku 6.10.

Druhá látka, která nejvíce znehodnotila povrch byl olej. Olej se dostal do pórů destičky a tím se vytvořily malé tmavé skvrny na povrchu. Při působení oleje po dobu čtyř hodin byla změna hodnot stupňů šedi 1,70%.



Obrázek 6.9: D4 - graf vyjádření změny světlosti v procentech



Obrázek 6.10: Rozdíl barevnosti povrchu před aplikací, po aplikaci make-upu po dobu 4 hodin a následné vyčištění odličovací vodou

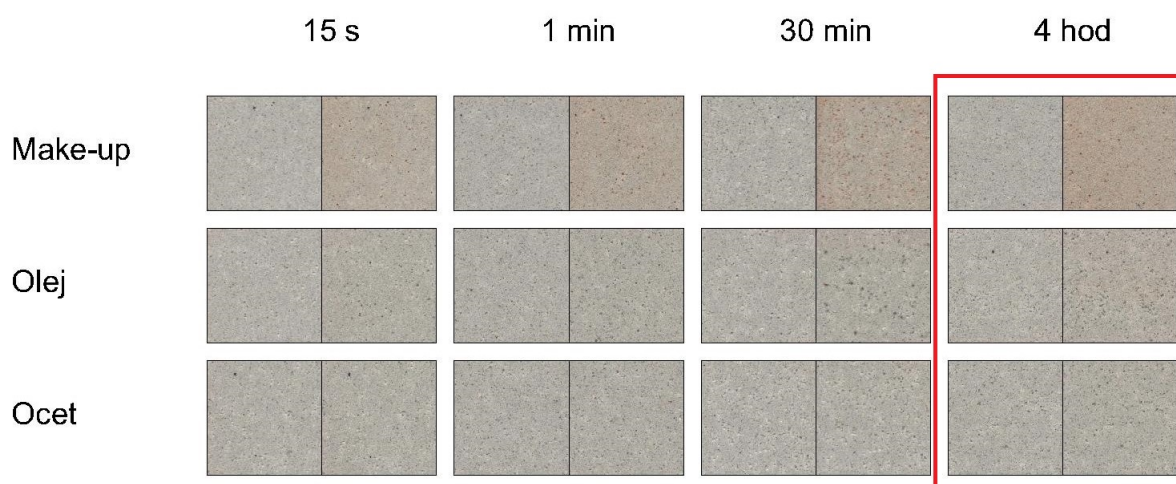
Třetí látka, která znehodnotila povrch byl ocet a to s hodnotou 1,70%. Dle stupňů šedi se povrch destičky zesvětlil. Pouhým okem zesvětlení povrchu nebylo pozorováno.

Ostatní testované látky povrch nijak významně neovlivnily jak po vizuální stránce tak empiricky. Změny na povrchu jsou vyjádřeny procentuálně na obrázku 6.9.

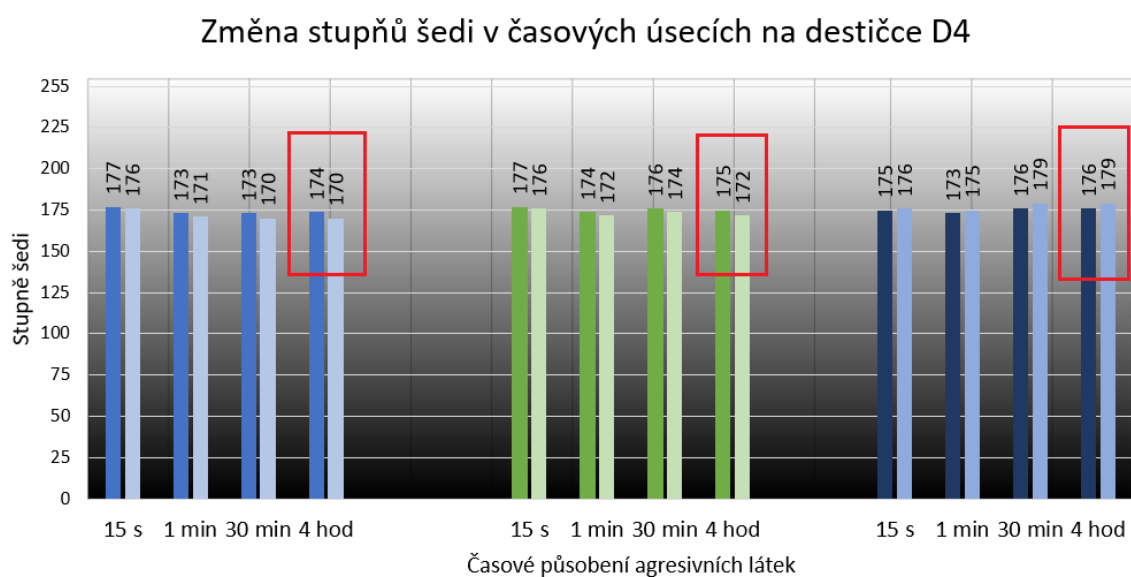
Na obrázku 6.11 jsou zobrazeny tři agresivní látky s největší pozorovatelnou změnou. Tyto tři látky vykazovaly největší změny hodnot stupňů šedi na povrchu D4. Naměřené hodnoty jsou znázorněny na obrázku 6.12. Graf je podložen obrázkem stupňů šedi. Dosahovaná hodnota odpovídá barevnosti na podložené stupnici.

Dle výsledků tato destička se čtyřmi vrstvami sealeru odolala ze všech destiček nejlépe vybraným aplikovaným agresivním látkám. Oproti povrchu bez povrchové úpravy se látky nijak viditelně nevsakovaly. Během aplikace byla vidět bariéra mezi povrchem a aplikovanou látkou. Tato varianta povrchové úpravy byla vyhodnocena jako nejlepší z testovaných úprav do prostředí, kde se vyskytují agresivní látky.





Obrázek 6.11: Porovnání povrchu betonu před aplikací a po aplikaci agresivních látek na destičce D4 - broušení, leptání a 4 vrstvy sealeru



Obrázek 6.12: Graf změny intenzity stupňů šedi, make-up, oleje a octu vnesené na stupnici šedi

### 6.2.3 Destička zbrošena diamantem

Destička D5 byla zbrošena diamantovým kotoučem o jemnosti 3000.

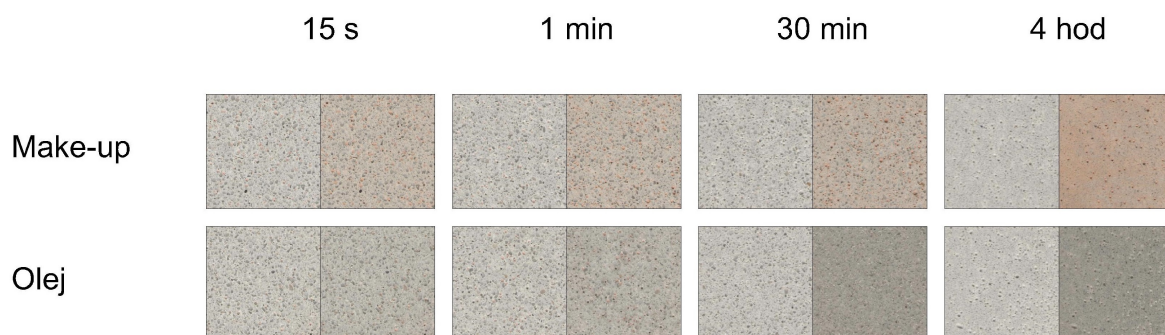
Označení destičky	Úprava destičky
D5	Broušení diamantem

Její povrch je velmi lesklý a hladký. Na povrchu je vidět struktura jemného kameniva, které bylo ve směsi použito, viz obrázek 6.13. Na tento povrch nebyla použita žádná další

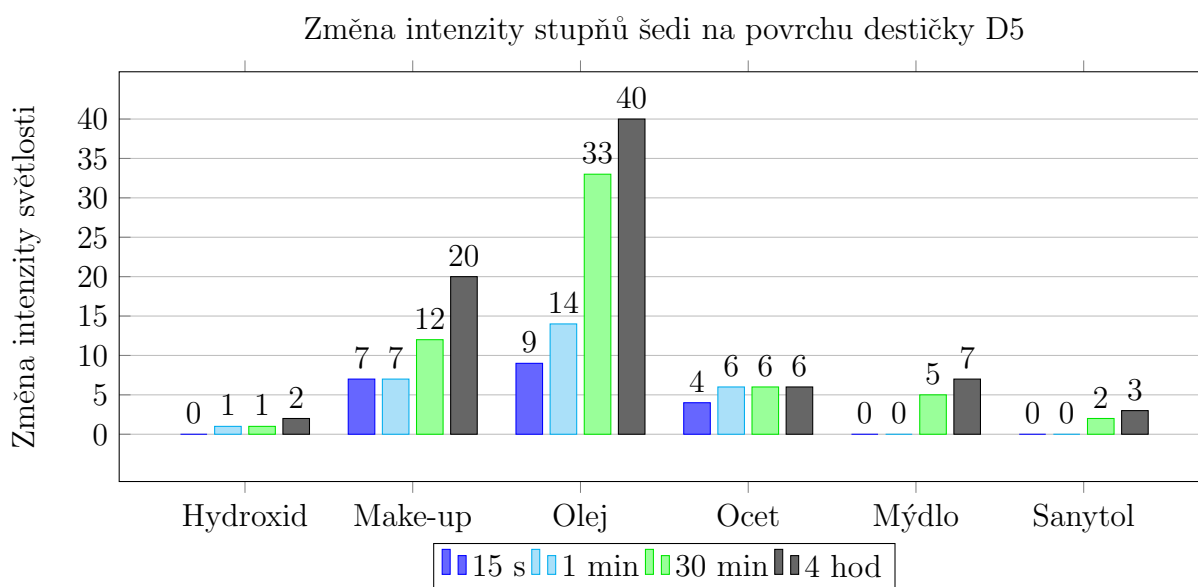
povrchová úprava.



Obrázek 6.13: Porovnání struktury povrchu destiček D1 - bez povrchové úpravy, D4 - s ručním broušením, leptáním a sealerem a D5 - zbroušení diamantem



Obrázek 6.14: Porovnání povrchu betonu před aplikací a po aplikaci agresivních látek na destičce D5 - zbroušení diamantem



Obrázek 6.15: Graf změny intenzity stupňů šedi před a po aplikaci agresivních látek na destičku D5 - broušení diamantem

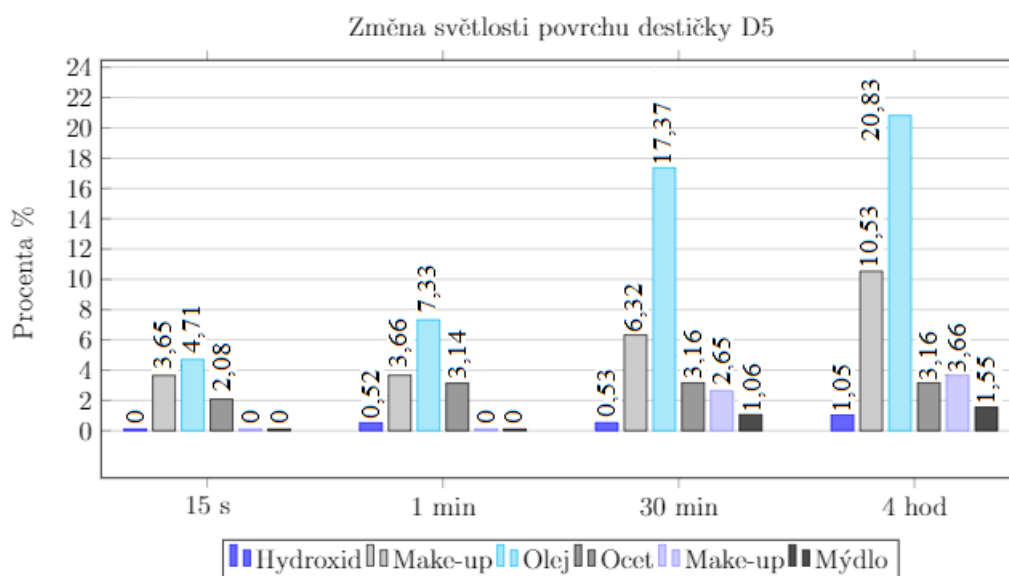
Výsledky odolnosti byly u některých látek srovnatelné s destičkou D4 ručně zbroušenou, poleptanou kyselinou a čtyřmi vrstvami sealeru. Změny stupňů šedi jsou vyjádřeny v grafu 6.15.

Odolnost sanytolu a hydroxidu byla velmi vysoká. Hydroxid způsobil změnu světlosti 1,05 % při čtyř hodinovém působení a sanytol 1,55 %.

Ocet a mýdlo změnilo povrch jen o něco více než předchozí látky. Ocet povrch zesvětlil o 3,16 %. V časovém úseku do 1 minuty se mýdlo neprojevovalo. Změna nastala až při delším působení látky. Dosahovala při čtyř hodinovém působení 3,66 %.

Make-up se na povrchu při delším působení projevil více než zmiňované látky. Změna při čtyř hodinovém působení make-upu byla 10,53 %. Díky velmi lesklému a hladkému povrchu lze při použití čistícího prostředku dosáhnout menší změny. Make-up byl viditelně odstraněn a po empirické stránce došlo ke změně na 6,45 % stupňů šedi.

Nejhorsích výsledků dosahoval povrch, na který byl aplikován olej. Zůstal v pórech destičky, které nebyly uzavřené žádným ochranným nátěrem. Olej znehodnotil destičku ve stejné míře jako povrch destičky, který neměl žádnou povrchovou úpravu.



Obrázek 6.16: D5 - graf vyjádření změny světlosti v procentech

#### 6.2.4 Vliv sealeru proti agresivním látkám

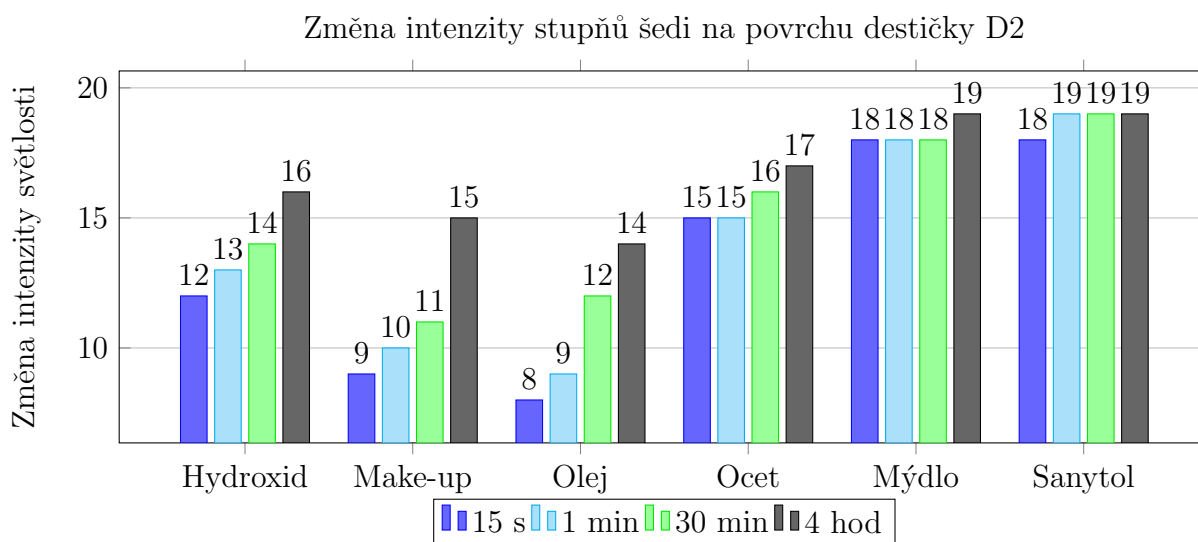
Vliv sealeru s různým počtem vrstev na stejně upravených destičkách D2, D3 a D4, které byly ručně zbroušené a poté poleptány kyselinou jsou zobrazeny v následujících obrázcích a grafech. V tabulce 6.2 je uveden počet vrstev sealeru, které byly na destičky aplikovány.

Na obrázcích 6.17, 6.18 a 6.8 je znázorněna změna intenzity stupňů šedi na destičkách

Počet vrstev sealeru	
D2	0
D3	2
D4	4

Tabulka 6.2: Počet vrstev sealeru na destičkách s povrchovou úpravou ručního broušení a leptání kyselinou

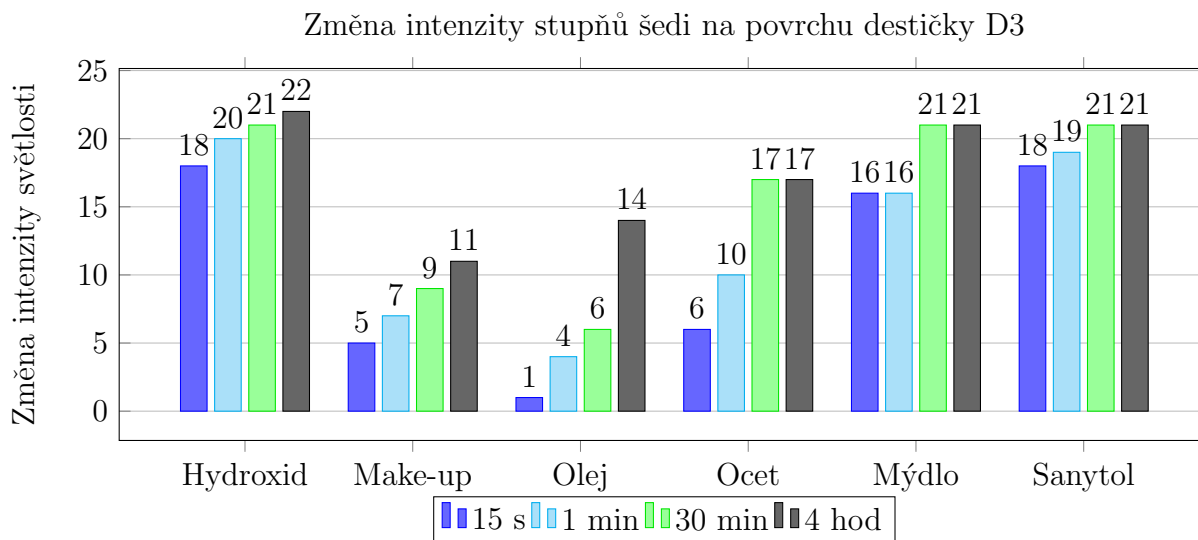
s povrchovou úpravou ručního broušení a leptání kyselinou. Rozdílné jsou počty vrstev, které na destičky byly aplikovány. Znehodnocení povrchu se projevilo převážně na D2 a D3 u každé z aplikovaných látek.



Obrázek 6.17: Graf změny intenzity stupňů šedi před a po aplikaci agresivních látek na destičku D2 - ruční broušení a leptání kyselinou

D2 - broušení a leptání				
	15 s	1 min	30 min	4 hod
Hydroxid	6,06	6,74	7,29	8,12
Make-up	4,64	5,24	5,73	7,73
Olej	4,12	4,69	6,15	7,22
Ocet	7,73	7,58	8,08	8,67
Mýdlo	9,18	9,05	9,09	9,55
Sanytol	9,94	10,61	10,61	10,44

Tabulka 6.3: Změna světlosti povrchu na destičce D2 vyjádřená v %



Obrázek 6.18: Graf změny intenzity stupňů šedi před a po aplikaci agresivních látek na destičku D3 - ruční broušení, leptání kyselinou a 2 vrstvy sealeru

<b>D3 - broušení, leptání a 2 vrstvy sealeru</b>				
	15 s	1 min	30 min	4 hod
Hydroxid	9,89	11,30	11,86	12,29
Make-up	2,70	3,85	5,03	6,29
Olej	0,53	2,17	3,31	7,95
Ocet	3,23	5,46	9,19	9,50
Mýdlo	8,84	8,74	11,67	11,73
Sanytol	9,78	10,33	11,60	11,29

Tabulka 6.4: Změna světlosti povrchu na destičce D3 vyjádřená v %

<b>D4 - broušení, leptání a 4 vrstvy sealeru</b>				
	15 s	1 min	30 min	4 hod
Hydroxid	0,58	0,58	1,16	1,16
Make-up	0,56	1,16	1,73	2,30
Olej	0,56	1,14	1,15	1,71
Ocet	0,57	1,16	1,70	1,70
Mýdlo	0,00	0,00	0,57	1,14
Sanytol	0,00	0,58	0,58	1,13

Tabulka 6.5: Změna světlosti povrchu na destičce D4 vyjádřená v %

Odolnost proti látkám různého chemického charakteru je u destičky D2 bez sealeru a D3 se dvěma vrstvami sealeru je poměrně nízká ve srovnání s D4 se čtyřmi vrstvami sealeru. Rozdíl, zda je na povrch aplikován sealer jen ve dvou vrstvách má vliv především na krátkodobou odolnost (15 sekund a 1 minuta).

Při časovém úseku 4 hodin olej znehodnotil povrch destiček D2 a D3 podobně. Sealer omezil pouze rychlost absorbování této látky do povrchu. Pokud se jedná o kratší časové

úseky jako 15 sekund a 1 minuta, tak D3 se sealerem odolává oleji až 8 krát více v úseku 15 sekund a 2 krát více v časovém úseku 1 minuty, než D2 bez sealeru. Odolnost 2 vrstev sealeru velmi prudce klesá s časem.

V případě, kdy byl ocet aplikován na povrch v časovém úseku 15 sekund, tak odolnost povrchu bez sealeru byla 2,5 krát nižší než odolnost povrchu s dvěma vrstvami sealeru a 15 krát nižší než u povrchu se čtyřmi vrstvami sealeru.

Odolnost proti agresivním látkám s počtem vrstev sealeru se zvyšuje u většiny zkoumaných látek. Gi.Gi. sealer, který byl na destičky aplikován, se nanáší ve čtyřech vrstvách. Každá vrstva má jiné poměrové složení. Účinnost sealeru je výrobcem garantována až při nanesení všech čtyřech vrstev.

### 6.2.5 Vliv povrchové úpravy na odolnost sealeru proti agresivním látkám

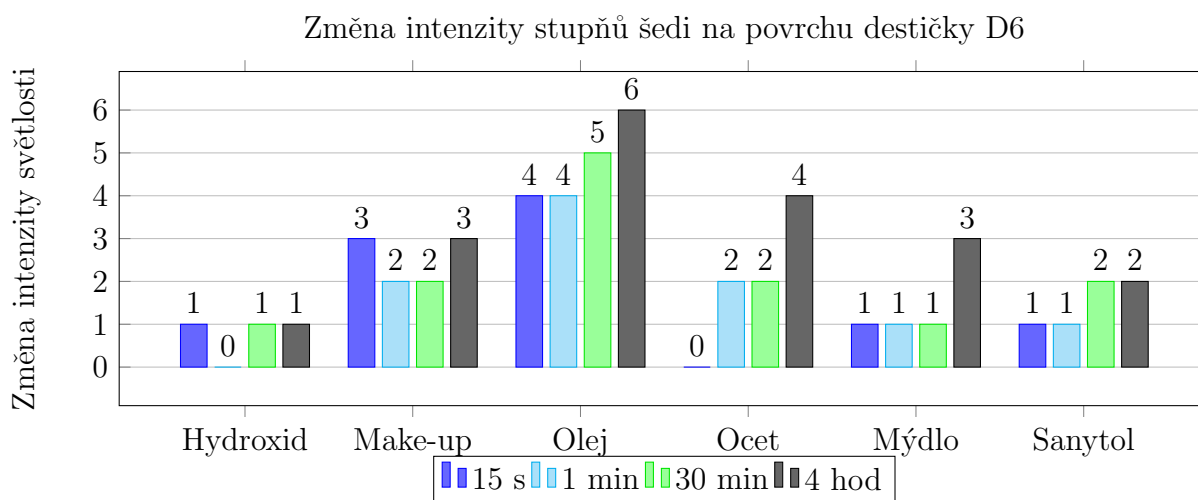
Vlivy povrchové úpravy před aplikací čtyř vrstev sealeru na destičkách D4, D6 a D7 jsou znázorněny na následujících obrázcích 6.8, 6.19 a 6.20. Rozdílné jsou povrchové úpravy, které se na destičkách prováděly. V tabulce 6.6 jsou uvedeny úpravy před aplikací sealerem.

Povrchová úprava destičky	
D4	Ruční broušení + leptání kyselinou
D6	Bez povrchové úpravy
D7	Leptání kyselinou

Tabulka 6.6: Povrchová úprava destiček před aplikací sealeru

Odolnost destičky D6 proti hydroxidu byla až 4 krát vyšší oproti destičce D7 a to ve všech časových intervalech.

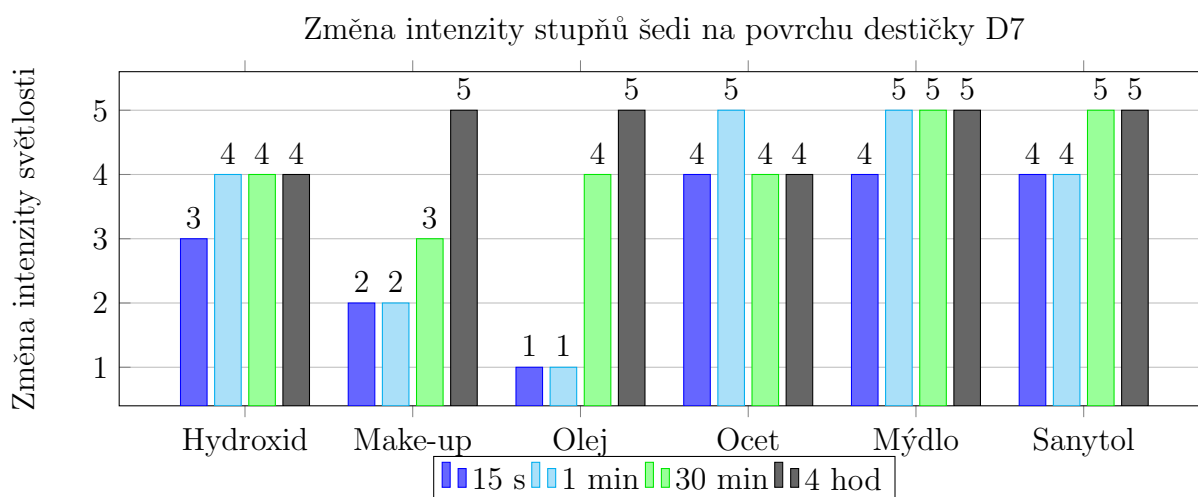
Povrch D6 odolával octu v kratších časových intervalech, ale pokud působil ocet na destičku 4 hodiny, respektive se všechn ani nestihl během experimentu odpařit, či vsáknout, tak dosahoval stejného zesvětlení jako povrch na D7. Make-up, mýdlo i sanytol na D6 a D7 měly v průběhu testování přibližně stejné zbarvení a znehodnocení povrchu. U těchto látek není velký rozdíl, pokud látka působí na povrch kratší dobu, či delší. Destička D4 vykazovala nejlepší hodnoty. Vyhodnocení změn je popsáno v samostatné kapitole.



Obrázek 6.19: Graf změny intenzity stupňů šedi před a po aplikaci agresivních látek na destičku D6 - 4 vrstvy sealeru

D6 - 4 vrstvy sealeru				
	15 s	1 min	30 min	4 hod
Hydroxid	0,55	0,00	0,55	0,56
Make-up	1,66	1,09	1,09	1,66
Olej	2,16	2,17	2,69	3,26
Ocet	0,00	1,08	1,09	2,20
Mýdlo	0,55	0,56	0,56	1,66
Sanytol	0,55	0,55	1,11	1,12

Tabulka 6.7: Změna světlosti povrchu na destičce D6 vyjádřená v %



Obrázek 6.20: Graf změny intenzity stupňů šedi před a po aplikaci agresivních látek na destičku D7 - leptání kyselinou a 4 vrstvy sealeru

Procentuální změny dosahovaly nízkých hodnot u všech třech porovnávaných destiček. Odolnost destičky bez povrchové úpravy se čtyřmi vrstvami sealeru měla srovnatelné

<b>D7 - leptání kyselinou a 4 vrstvy sealeru</b>				
	15 s	1 min	30 min	4 hod
Hydroxid	1,69	2,27	3,41	2,26
Make-up	1,13	1,13	1,70	2,81
Olej	0,56	0,56	2,22	2,79
Ocet	2,25	2,79	2,22	2,23
Mýdlo	2,26	2,81	2,81	2,81
Sanytol	2,26	2,26	2,81	2,82

Tabulka 6.8: Změna světlosti povrchu na destičce D7 vyjádřená v %

hodnoty s destičkou D4, která byla vyhodnocena jako nejodolnější. Hlavní rozdíl mezi těmito destičkami je vizuální hodnocení. Povrch destičky D6 měl gumový vzhled. Rozdíl je zobrazen na obrázku 5.14. Povrch nepůsobí přirozeně a je na něm stále vidět povrch bednění, ve kterém bylo zhotoveno. Pokud by byl záměr výrobce mít speciální vzorek na povrchu z určitého typu bednění, tak lze doporučit tuto variantu jako byla použita zde na D6, tedy pouze nanesení 4 vrstev sealeru bez žádné předchozí mechanické úpravy. Otázkou stále zůstává, jak moc je povrch D6 odolný proti mechanickému namáhání. Díky úpravě před nanesením vrstev sealeru se může nátěr do povrchu penetrovat a ochránit tak nejen samotný povrch, ale povrch dosahující až 5 mm pod povrch.



# Kapitola 7

## Závěr

Jelikož jsou v posledních letech na betonové konstrukce a výrobky kladeny větší požadavky a to zejména na jejich trvanlivost, začíná se používání ochranných nátěrů stále více rozšiřovat. Jeden z hlavních důvodů pro používání této technologie je ochrana proti vnikání agresivních látek do povrchu.

V rámci diplomové práce byly shrnuty poznatky o povrchových úpravách betonu jako jsou mechanické úpravy a povrchové ochranné nátěry. Uveden byl postup zhotovení při vybraných povrchových úpravách betonu. Závěrem experimentální části bylo zhodnocení odolnosti jednotlivých metod úprav povrchů proti agresivním látkám.

Povrch, který není upraven po odbednění, není vhodný do agresivního prostředí. Znehodnocení povrchu je okamžité i po 15 sekundách a proto není vhodný do koupelnového prostředí.

Povrch pouze zbroušený diamantem do jemnosti 3000 bez ochranného sealeru zamezí pronikání mnoha agresivních látek i v delším časovém úseku. Ale díky porézní struktuře betonu nelze všechny póry vyhladit a olej i přesto znehodnotí povrch podobně jako povrch bez povrchové úpravy.

Jako nejlepší a nejodolnější variantou proti agresivním látkám byla stanovena kombinace broušení betonu pomocí smirkového papíru na konečnou hrubost 220, leptání roztokem kyseliny citronové a aplikací ochranného Gi.Gi. sealeru ve čtyřech vrstvách. Kombinace těchto úprav byla otestována proti působení agresivních látek v různých časových úsecích. Změna světlosti dosahovala pouhé 2,3 % při 4 hodinovém působení látky make-up. Po odstranění čistícím prostředkem změna světlosti povrchu byla jen 1,4 %.

Dodržení počtu vrstev je velmi důležité. Pokud se při doporučeném počtu čtyř vrstev sníží počet na polovinu, tak odolnost klesá u některých látek až o 10 %.

Povrchová úprava před aplikací sealeru nemá takový vliv na odolnost. Změny světlosti jsou v rámci 2 %. Otázkou stále zůstává, zda by tato odolnost dosahovala stejných výsledků i po mechanickém opotřebení, což však bylo mimo rámec této diplomové práce.

Žádná z kombinací nezabrání 100% ochranně proti agresivním látkám. Ochranný sealer jejich pronikání jen výrazně omezí.

Testované povrchy se nedoporučuje používat do exteriéru jako obklady fasád, zahradní nábytek, či jiný doplňkový sortiment. Testování povrchu bylo zaměřené na povrch koupelnového prostředí. Provedené zkoušky odolnosti proti agresivním látkám byly zhotoveny pouze na zkušebních vzorcích. K použití do provozu je třeba zhotovit a otestovat výrobek v měřítku 1:1.

# Příloha A

## Matlab syntax

---

**Algorithm 1:** Matlab pseudokód

---

```
if no initial setting then
  Read image from graphic file
  Crop the image according to the measured part
  Convert image from RGB to grayscale
  Convert image to binary image, based on threshold
  Filter image for the 24 objects with the largest areas
end if
for all 24 the largest area do
  if there are isolated pixels then
    Remowes isolated pixels
  end if
  Reverse black and white in binary image
  Performs morphological opening on the binary image and returning the opened
  image
  Dilates binary image and returning the dilated image
  Reverse black and white in binary image
end for
for k=1:24 do
  Create k trace region boundaries in binary image
  Labell the region k in the middle a number
end for
for all boundary do
  Use created boundary on the grayscale image and extract the pixels
  Calculate median for every extracted pixels
end for=0
```

---

# Příloha B

## Technický list sealeru

# Gi. Gi. Sealer

## MATNÝ ODOLNÝ SEALER

**Gi. Gi. Sealer je povrchová ochrana určená pro cementové stěrky Ercole, Microbond a betonové povrchy. Je k dispozici v matném provedení.**

**Gi. Gi. Sealer je bezbarvý a nežloutnoucí. Vytváří ochrannou vrstvu na povrchu, zvyšuje trvanlivost a chrání před poškrábáním. Inhibuje průnik olejů a znečišťujících látek.**

**Gi. Gi. Sealer je dvousložkový a snadno použitelný výrobek.**

### Vlastnosti

- Matný.
- Nanáší se postříkem nebo aplikátorem z mikrovlákna.
- Bez rozpouštědel.
- Bez zápachu.
- Velmi trvanlivý, a to i v provozu.
- Odolný vůči UV záření, nežloutnoucí.
- Brání poškrábání.
- Brání pronikání olejů.
- Neobyčejná odolnost proti oděru.

### Použití

Gi. Gi. Sealer se používá jako povrchová úprava a ochrana betonových povrchů a tenkovrstvých cementových stěrek jako je Ercole a MicroBond.

### Technická specifikace

Orientační vydatnost	25 m <sup>2</sup> / malá sada / jedna vrstva
Vzhled	Mléčná kapalina
Zápach	Charakteristický
Skladování	12 měsíců, v originálním balení

Před aplikací se seznámte s bezpečnostním listem dostupným na [www.izolace-ecobeton.cz/cementove-sterky](http://www.izolace-ecobeton.cz/cementove-sterky)

Internetová prezentace:  
[www.izolace-ecobeton.cz](http://www.izolace-ecobeton.cz)

Technická podpora:  
[info@izolace-ecobeton.cz](mailto:info@izolace-ecobeton.cz)

### Aplikace

Gi. Gi. Sealer aplikujte na suchý a porézní povrch. Smíchejte jednu část Komponentu B, dvě části Komponentu A a míchejte důkladně po dobu tří minut. Poté přidejte šest dílů čisté vody a opět důkladně promíchejte míchadlem. Doba zpracovatelnosti se pohybuje od 45 do 90 min.

První vrstvu Gi. Gi. Sealeru doporučujeme aplikovat vždy nízkotlakým nebo ručním postříkovačem. Sealer aplikujte rovnoměrně a v tenké vrstvě. Dbějte na to, aby na povrchu nezůstávaly přebytky produktu. První vrstva je zásadní pro úspěšnou aplikaci a je vhodné ji aplikovat v co nejslabší vrstvě. Na aplikaci první vrstvy nikdy nepoužívejte váleček (je zde riziko, že na povrchu zůstanou pruhy).

Druhou vrstvu doporučujeme aplikovat mikrovláknovým aplikátorem „Snappy“, „Smoother“ nebo „T-BAR“, případně utěrkou z mikrovlákna nebo válečkem s krátkým vlasem. Před aplikací se ujistěte, že předešlá vrstva je již suchá a bez nečistot. Druhou a každou další vrstvu můžete aplikovat již vydatněji než první vrstvu. Dvě vrstvy Gi. Gi. Sealeru jsou na běžné povrchy (podlahy, stěny) obvykle dostačující. V koupelnách nebo na kuchyňských linkách doporučujeme aplikovat 3-4 vrstvy.

Gi. Gi. Sealer ztmavuje povrch. Pokud požadujete, aby povrch nezměnil odstín, aplikujte před Gi. Gi. Sealerem jednu vrstvu sealeru Steinfix Plus.

Gi. Gi. Sealer by měl být aplikován při teplotě od 5 do 30 stupňů. Po nanesení první vrstvy vyčkejte, až bude povrch suchý na dotek, obvykle 45-180 minut v závislosti na teplotě a větrání, poté mohou být aplikovány další vrstvy.

Další vrstvy vyžadují ke schnutí obvykle 3-8 hodin v závislosti na teplotě a větrání. Po aplikaci nástroje omyjte mýdlovou vodou a lihem. Lehký provoz je možný po 16-24 hodinách, plné zatížení po 24-48 hodinách. Sealer získá požadovanou odolnost v prvních dnech po aplikaci, plně vyzraje po 7-10 dnech. Chraňte před mrazem a vlhkostí po dobu 12-36 hodin po aplikaci. Ujistěte se, že povrch je před použitím suchý.

Ecobeton Italy® je držitelem certifikátu ISO 14001 - systém environmentálního managementu.

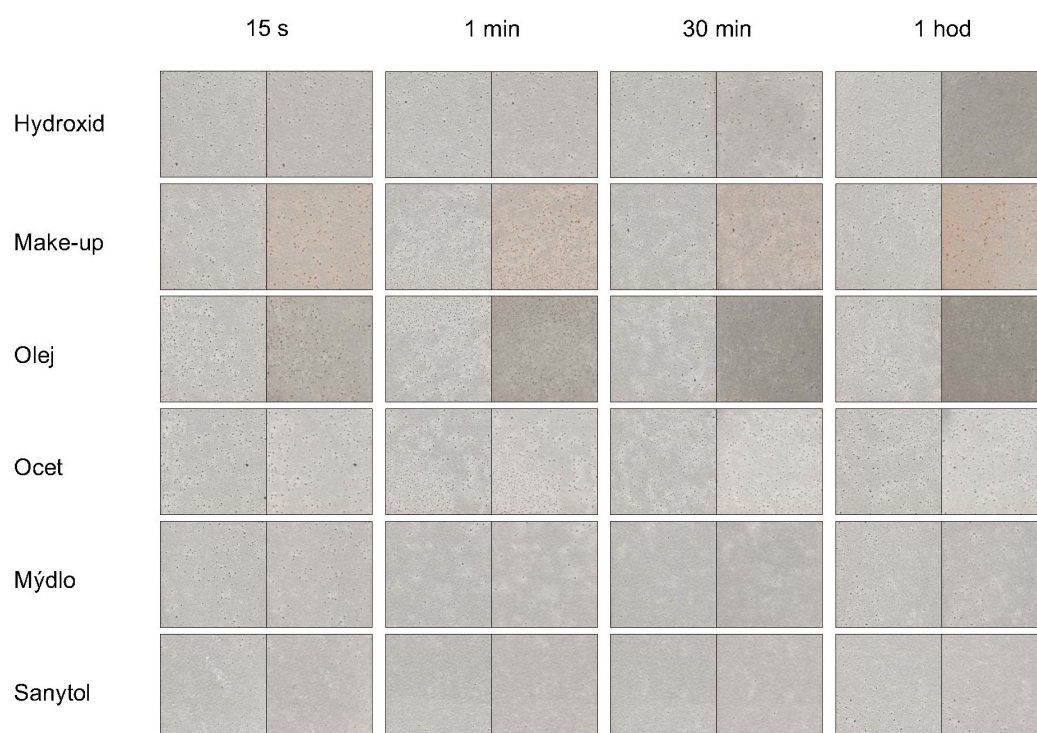
## ecobeton

VEEM TRADING, s.r.o.  
Dobrovského 4  
612 00 Brno

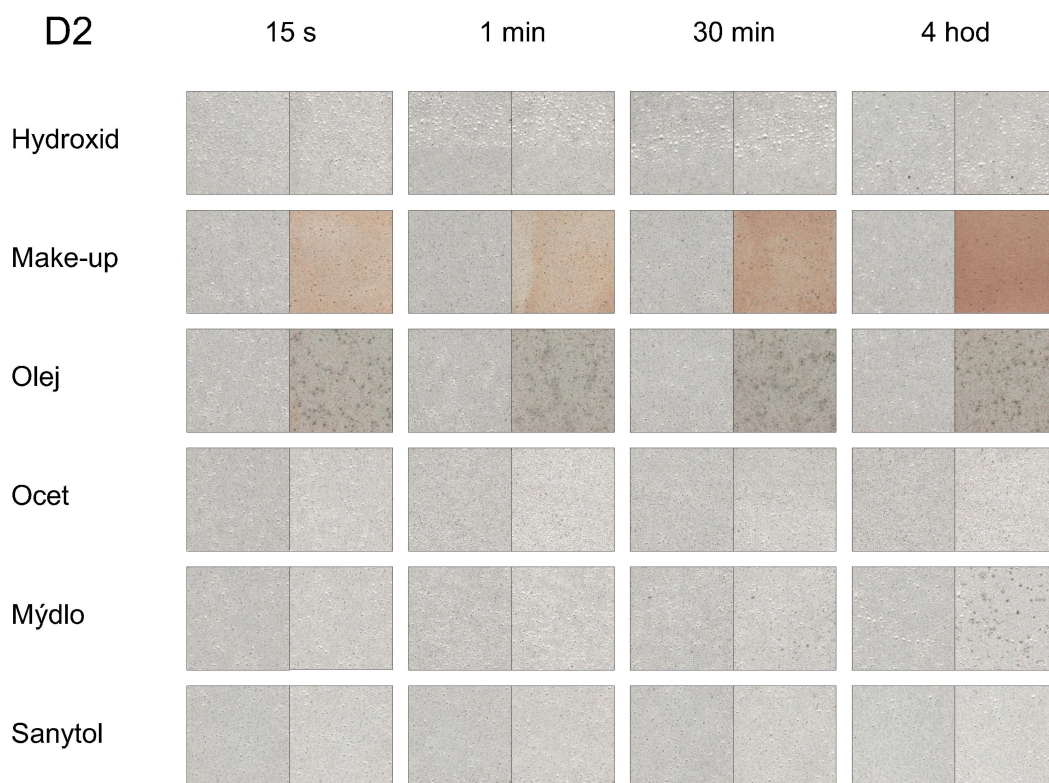
T (+420) 545 222 322  
F (+420) 545 222 701  
I [www.izolace-ecobeton.cz](http://www.izolace-ecobeton.cz)

# Příloha C

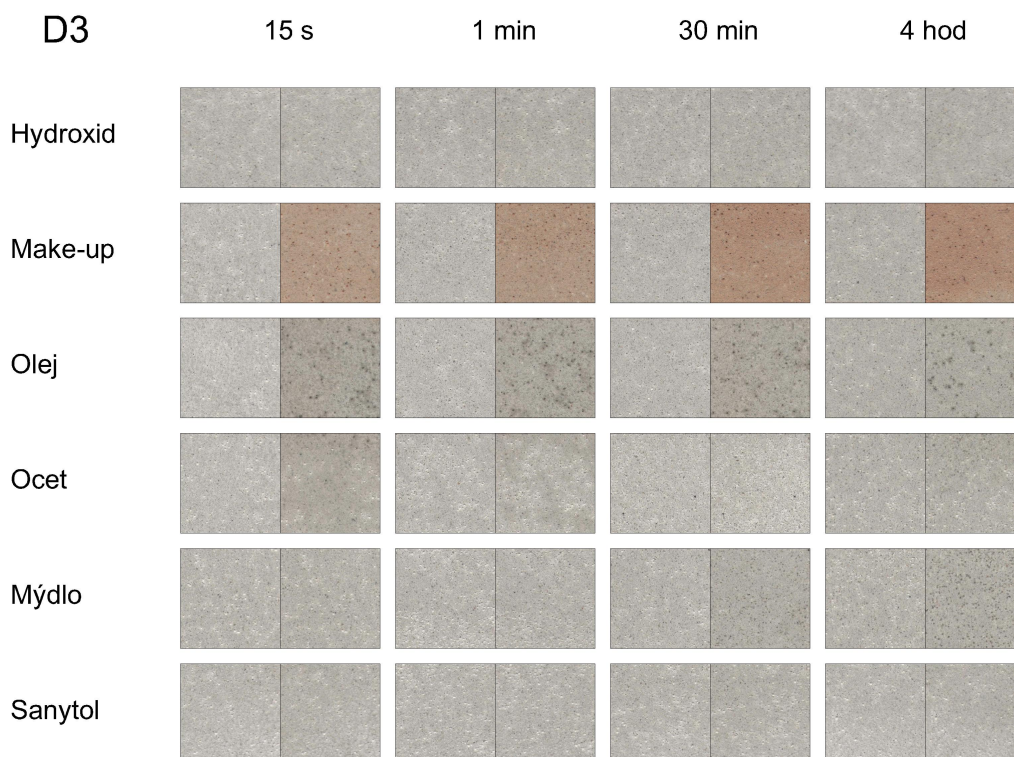
## Porovnání znečištění destiček



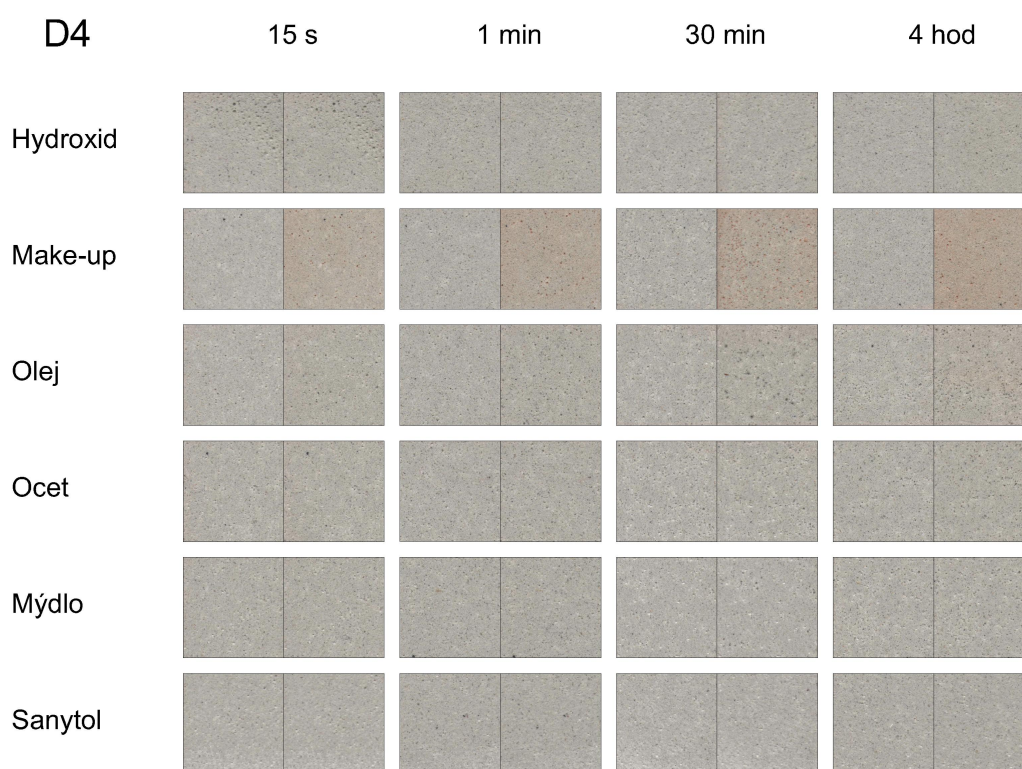
Obrázek C.1: Změna barevnosti povrchu na destičce bez povrchové úpravy



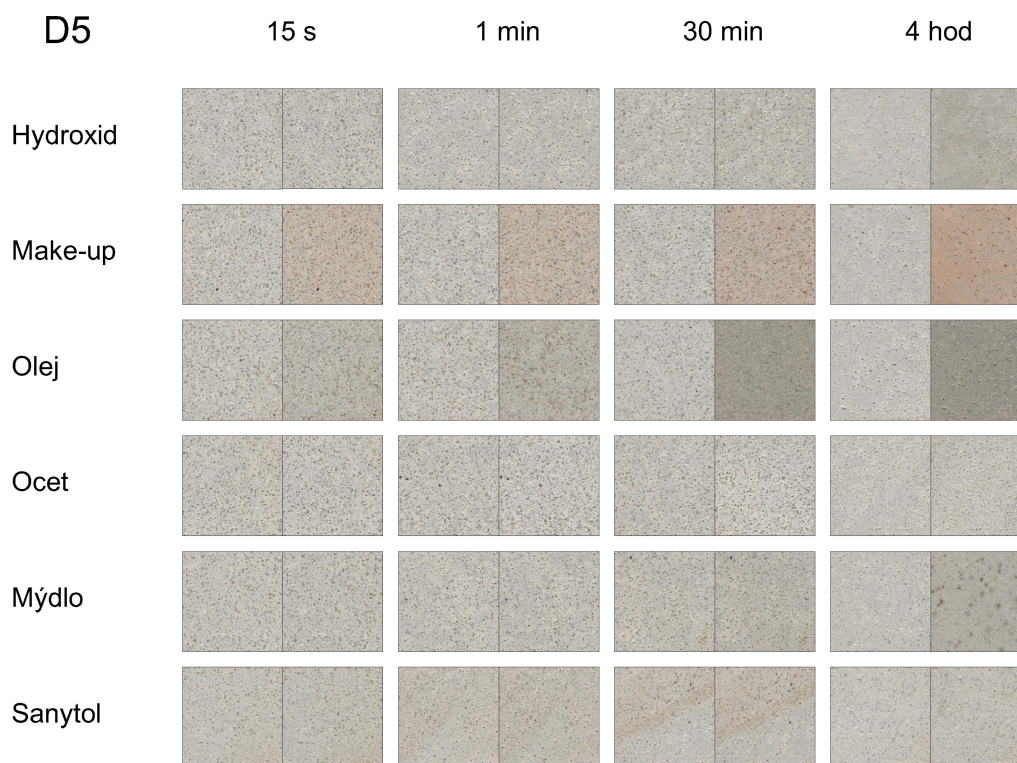
Obrázek C.2: Změna barevnosti povrchu na destičce s broušením a leptáním



Obrázek C.3: Změna barevnosti povrchu na destičce s broušením, leptáním a 2 vrstvami sealeru

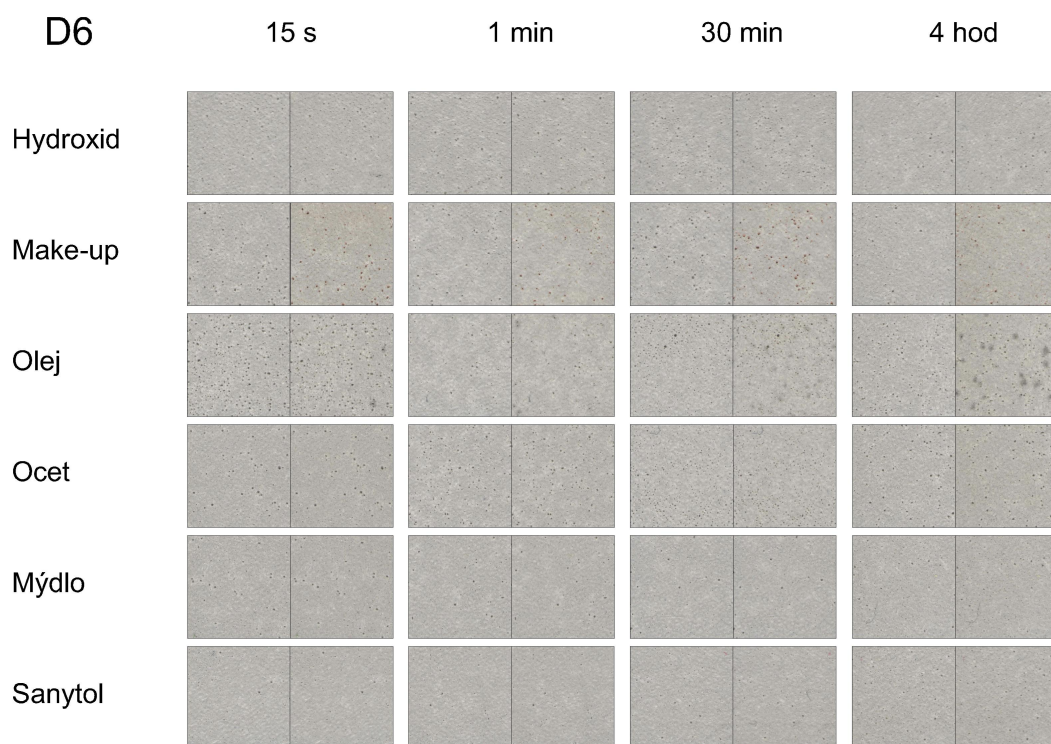


Obrázek C.4: Změna barevnosti povrchu na destičce s broušením, leptáním a 4 vrstvami sealeru

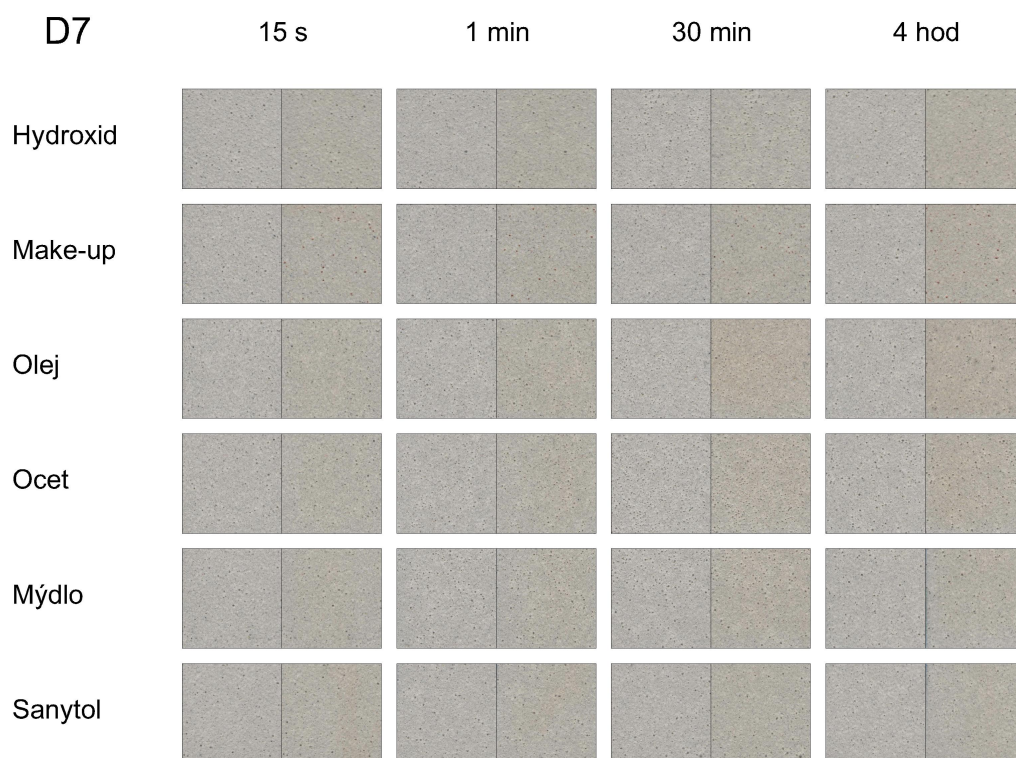


Obrázek C.5: Změna barevnosti povrchu na destičce zbrošené diamantem





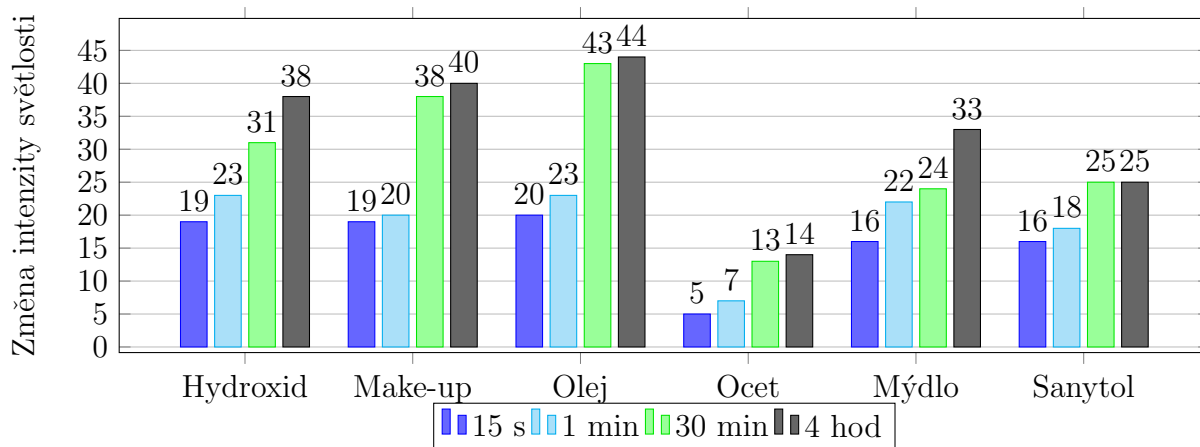
Obrázek C.6: Změna barevnosti povrchu na destičce s 4 vrstvami sealeru



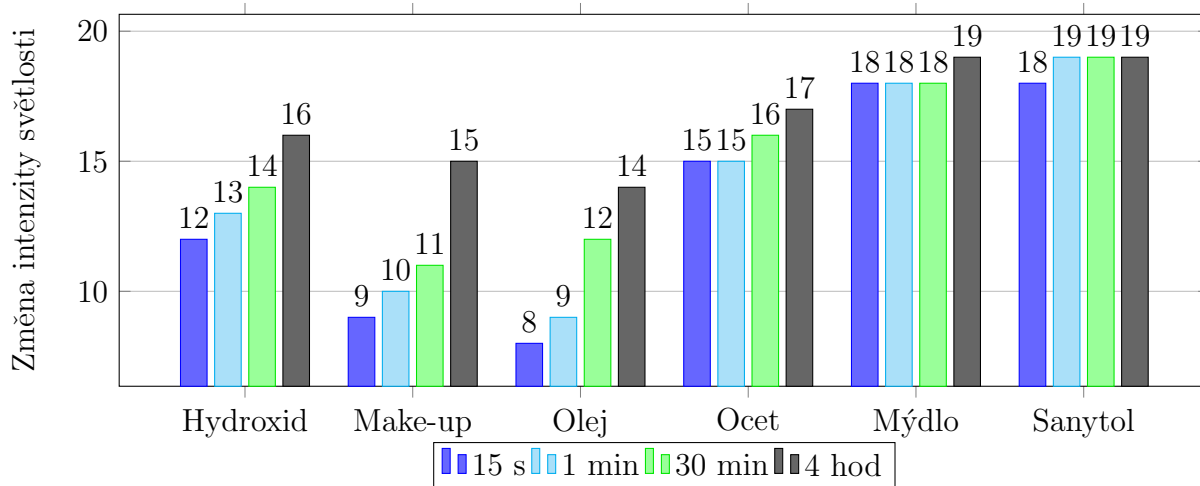
Obrázek C.7: Změna barevnosti povrchu na destičce s leptáním a 4 vrstvami sealeru

## Příloha D

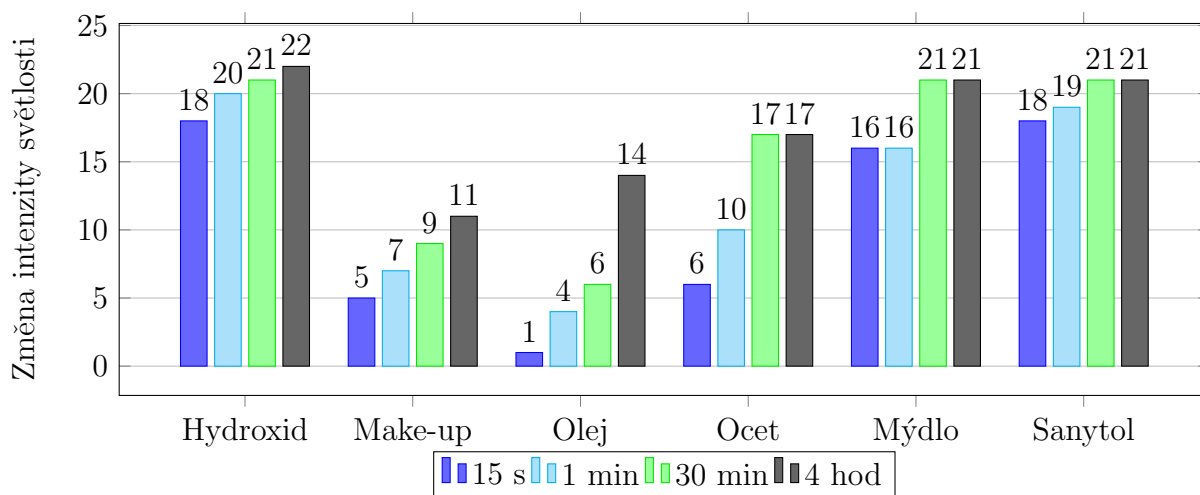
### Grafy změny intenzity stupňů šedi povrchu



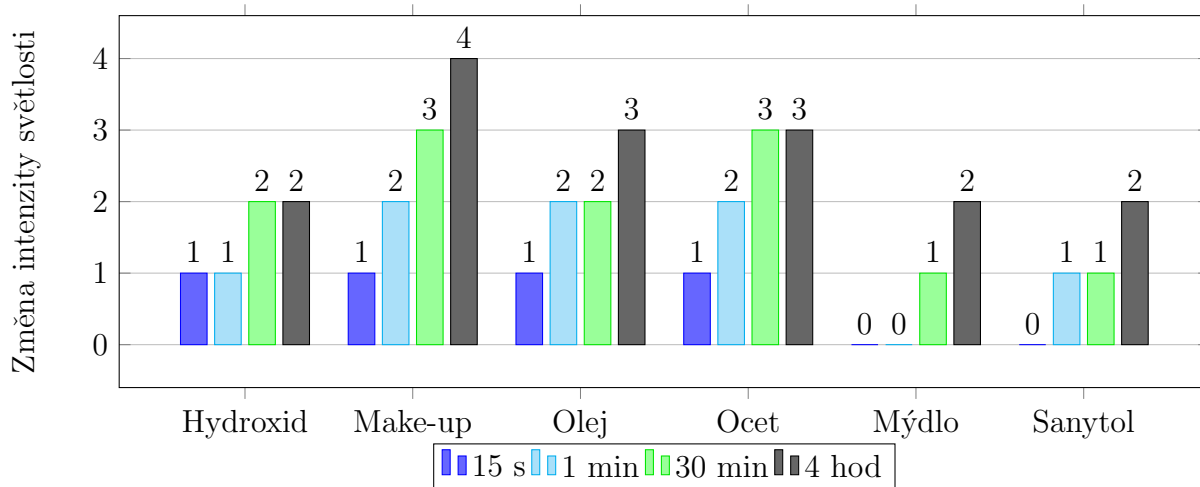
Obrázek D.1: Graf změny intenzity stupňů šedi povrchu destičky D1 - bez povrchové úpravy



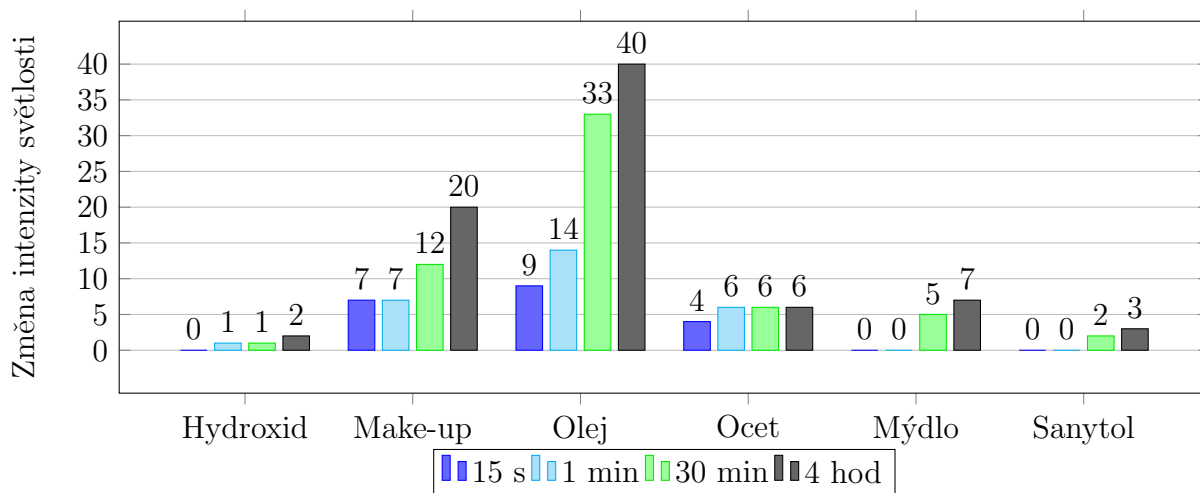
Obrázek D.2: Graf změny intenzity stupňů šedi povrchu destičky D2 - ruční broušení a leptání kyselinou



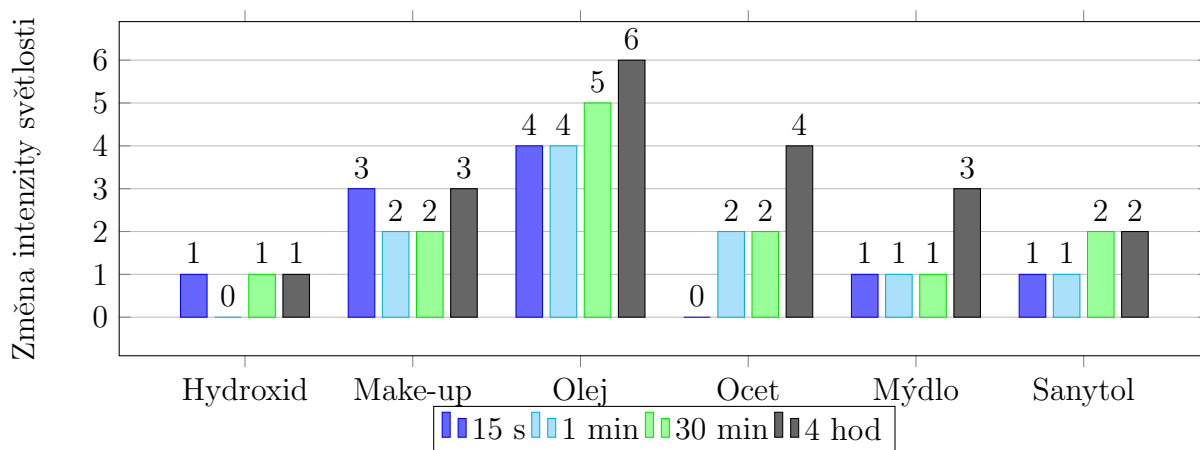
Obrázek D.3: Graf změny intenzity stupňů šedi povrchu destičky D3 - ruční broušení, leptání kyselinou a 2 vrstvy sealeru



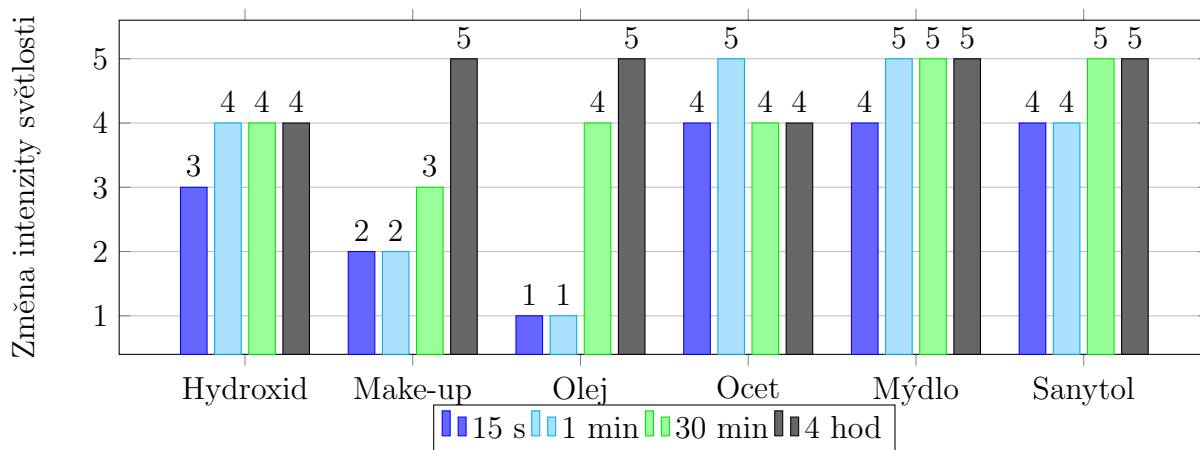
Obrázek D.4: Graf změny intenzity stupňů šedi povrchu destičky D4 - ruční broušení, leptání kyselinou a 4 vrstvy sealeru



Obrázek D.5: Graf změny intenzity stupňů šedi povrchu destičky D5 - zbrúšení diamantem



Obrázek D.6: Graf změny intenzity stupňů šedi povrchu destičky D6 - 4 vrstvy sealeru



Obrázek D.7: Graf změny intenzity stupňů šedi povrchu destičky D7 - leptání kyselinou a 4 vrstvy sealeru

# Bibliografie

- [1] B. T. Benn, „The influence of curing and surface preparation on the adhesion of protective coatings on concrete“, *PhD thesis*, roč. 120, pros. 2010.
- [2] s. CZ SVB, „Cement“, *EBeton*, WWW: [ebeton.cz/pojmy/beton](http://ebeton.cz/pojmy/beton) (cit. 15. 11. 2020).
- [3] J. Margoldová, „Pojem pohledový beton“, *Příloha časopisu Beton TKS*, 2008. WWW: [betontks.cz/sites/default/files/POVRCHY.pdf](http://betontks.cz/sites/default/files/POVRCHY.pdf) (cit. 15. 11. 2020).
- [4] R. H. P. F. a. V. L. KASAL Pavel, *Pohledový beton: technická pravidla ČBS 03, přepracované vydání*. raha: Česká betonářská společnost ČSSI, 2018, ISBN: 978-80-906759-3-3.
- [5] P. Pytlík, *Technologie betonu*. Brno, 2000, ISBN: 978802416475.
- [6] M. Colleparidi, *Moderní beton*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2009, ISBN: 8087093755.
- [7] A. Neville, *Properties of concrete*. England: Pearson Education Limited, 2004, ISBN: 0-582-23070-5.
- [8] s. CZ SVB, „Smršťování betonu“, *EBeton*, WWW: [ebeton.cz/pojmy/smrstovani-betonu](http://ebeton.cz/pojmy/smrstovani-betonu) (cit. 08. 11. 2020).
- [9] „How to prepare the concrete countertop surface for sealer“, *The concrete countertop institute*, říj. 2018.
- [10] I. V. Veselý, „Zásady správného ošetřování betonu“, *ASB-portal*, říj. 2015. WWW: [asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hruba-stavba/betonaz/zasady-spravneho-oseetrovani-betonu](http://asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hruba-stavba/betonaz/zasady-spravneho-oseetrovani-betonu) (cit. 08. 11. 2020).
- [11] C. S. T.-C. L. N. L. Xiaoying Pan Zhenguo Shi, „A review on concrete surface treatment Part I: Types and mechanisms“, *Construction and Building Materials, Elsevier*, s. 13, květ. 2016.
- [12] D.-. ASTM, *Standard Guide for Preparation of Concrete Surfaces for Adhered (Bonded) Membrane Waterproofing System*. Annual Book of ASTM Standards, 1992.
- [13] I. V. Veselý, „Přehledný návod na pískování betonu a betonových povrchů“, *Pískovačka.cz*, říj. 2019.
- [14] „How To Make A Polished Concrete Worktop“, *Concrete Lab*, říj. 2020. WWW: [concretelab.co.uk/pages/how-to-make-a-concrete-worktop](http://concretelab.co.uk/pages/how-to-make-a-concrete-worktop).
- [15] L. B. S. L. P. R. R. Correia, „Surface skin protection of concrete with silicate-based impregnations: Influence of the substrate roughness and moisture“, *Composites Science and Technology 70 (2014): 191-200*, čvc 2014.
- [16] Becosan, „Concrete sealers, all you need to know“, *Becosan, concrete floors - made better*, s. 1, čvc 2020.

- [17] „A review on surface treatment for concrete – Part 2: Performance“, *Construction and Building Materials*, Elsevier, s. 10, květ. 2016.
- [18] D. G. S. Moon Han Young a D. S. Choi, „Evaluation of the durability of mortar and concrete applied with inorganic coating material and surface treatment system“, *Construction and Building Materials* 21.2 (2007): 362-369, srp. 2005.
- [19] M. Medeiros a P. Helene., „Efficacy of surface hydrophobic agents in reducing water and chloride ion penetration in concrete“, *Materials and Structures* 41.1 (2007): 59-71., led. 2007.
- [20] Z. Liu a W. Hansen., „Effect of hydrophobic surface treatment on freezethaw durability of concrete“, *Cement and Concrete Composites* 2016.69 (2016): 49-60., ún. 2016.
- [21] „How to choose indoor concrete sealer“, *Intermountain concrete specialities*, est. 1950, s. 1, čvc 2020.
- [22] R. e. a. WOO, „Barrier performance of silane–clay nanocomposite coatings on concrete structure“, *Composites Science and Technology* 68.14, říj. 2007.
- [23] X. e. a. Xue, „A systematic investigation of the waterproofing performance and chloride resistance of a self-developed waterborne silane-based hydrophobic agent for mortar and concrete“, *Composites Science and Technology* 155 (2017): 939-946, červ. 2017.
- [24] P. Koblása, „CNC stroje a jejich programování při výuce na středních odborných školách“, dis, Univerzita Hradec Králové, Pedagogická fakulta, 2016.
- [25] B. F. Fencl, „Návrh technologie výroby a výroba betonových kanoí s využitím digitální fabrikace“, dis, 2019.
- [26] P. Sova, „Alternativní vyhřívání budov za pomoci chemie“, dis, 2015.
- [27] E. P. Marika Benešová, *Odmaturuj! z chemie*. Didaktis, 2015.
- [28] C. Doc.RNDr. Roman Kubínek, „Šum v obraze CT - lékařská přístrojová fyzika“, *EBeton*, WWW: [apfyz.upol.cz/ucebnice/details/sum\\_v\\_obraze\\_CT.pdf](http://apfyz.upol.cz/ucebnice/details/sum_v_obraze_CT.pdf) (cit. 18.12.2020).
- [29] TheAILearner, „Greyscale and Color Image“, *TheAILearner*, lis. 2020. WWW: [theailearner.com/2018/10/22/color-image](http://theailearner.com/2018/10/22/color-image).