

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

**Výroba umělého kamene pro  
dekorativní účely**

**Preparation of artificial stone used  
for decorative purposes**

Student:

Alena Pobežalová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Mec

Ostrava 2016

## Zadání bakalářské práce

Student: **Alena Pobežalová**

Studijní program: B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb

Téma: **Výroba umělého kamene pro dekorativní účely**  
**Preparation of artificial stone used for decorative purposes**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Popis problematiky, současné možnosti výroby umělého kamene. Problematika výroby umělého kamene u nás a ve světě.

Pomocí vybraných metod a materiálů budou připraveny vzorky umělého kamene. Na vzorcích budou studovány základní mechanicko fyzikální a vzhledové parametry. Metody přípravy budou porovnány a vyhodnoceny z hlediska složitosti přípravy a kvality výsledného produktu.

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN EN 14618, Umělý kámen – Terminologie a klasifikace, Český normalizační institut, 2010, Praha

KOTLÍK, P. Umělý kámen – materiál pro tmely, doplňky a kopie, Zpravodaj STOP –

svazek 12, Společnost pro technologie ochrany památek, Praha, 2010, 4 - 10


Stefanidou, M., Pachta, V., Papayianni, I.: Design and testing of artificial stone for the restoration of stone elements in monuments and historic buildings, Construction and building materials, 93, 2015, Elsevier

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Mec**

Datum zadání: 30.10.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Libor Židek  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

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

V Ostravě .....

### ***Poděkování***

*Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Pavlovi Mecovi, za jeho cenné rady, trpělivost při vedení mé bakalářské práce, za vstřícnost a pomoc při získávání potřebných informací a podkladů.*

## **Anotace**

Různé konstrukční části památek a historických budov byly založeny na kameni jako hlavním stavebním materiálem. Mnoho druhů kamene bylo rovněž použito pro dekorativní a architektonické prvky, jako jsou reliéfy, římsy, sloupy. V současné době vznikají potíže při restaurování prací, kdy je nutné vyplnění chybějících částí nebo nahrazení kamenných prvků. Je to zapříčiněno nedostupností specifických typů kamene, vysokých nákladů na dobývání a dopravu, a také dopadem na životní prostředí. Ekologicky šetrnější alternativou je použití umělého kamene, který je navržen podle požadavků a kritérií na základě zjištěných vlastností autentického kamene. Schopnost vyrábět materiál s vysokou pevností a odolností, který by byl zároveň esteticky elegantní, imitující přírodní kámen je v současné době rozsáhlá.

Tato bakalářská práce se zabývá způsoby přípravy umělého kamene. Práce představuje souhrn materiálů a metod vhodných pro přípravu umělého kamene. Dále také poukazuje na mechanické vlastnosti tohoto materiálu.

**Klíčová slova:** umělý kámen, stavební kámen, mechanické vlastnosti

## **Abstract**

Various components of monuments and historic buildings were set in stone as the main building material. Many kinds of stones was also used for decorative and architectural elements such as reliefs, cornices, columns. Currently, there are problems in the restoration work, it is necessary to fill in missing parts or replacement of stone elements. This is due to the unavailability of specific types of stone, high costs of extraction and transport, and also environmental impact. More environmentally friendly alternative is to use artificial stone, which is designed according to the requirements and criteria based on identified characteristics of authentic stone. The ability to produce material with high strength and toughness, which would also aesthetically elegant flagstone is currently extensive.

This bachelor work deals with the methods of preparing artificial stone. Work represents a summary materials and methods suitable for the preparation of artificial stone. It also points to the mechanical properties of this material.

**Keywords:** artificial stone, building stone, mechanical properties

# Obsah

Seznam použitého značení .....	9
1. Úvod.....	11
2. Umělý kámen .....	12
2.1 Základní suroviny .....	12
2.1.1 Plniva .....	12
2.1.2 Pojiva .....	14
2.1.3 Aditiva .....	17
2.2 Způsoby přípravy umělého kamene.....	18
2.2.1 Umělý kámen s epoxidovým pojivem .....	18
2.2.2 Umělý kámen na minerálním základě .....	20
2.2.3 Armování .....	20
2.3 Využití umělého kamene .....	21
2.3.1 Umělý kámen pro stavební účely .....	21
2.3.2 Výroba sanitárního zařízení.....	22
2.3.3 Kamenosochařská výroba a restaurátorství .....	22
3. Stavební a dekorační kámen.....	24
3.1 Historie kamene jako stavebního materiálu.....	24
3.2 Základní vlastnosti stavebního kamene .....	25
3.3 Technologie těžby a opracování kamene.....	27
3.4 Rozdělení stavebního kamene .....	28
3.5 Využití stavebního a dekoračního kamene .....	31
4. Praktická část.....	33
4.1 Použité materiály .....	33
4.2 Složení směsí .....	34
4.3 Příprava zkušebních vzorků.....	34

4.4	Použité zkušební metody .....	35
4.4.1	Zkouška pevnosti v tahu za ohybu .....	36
4.4.2	Zkouška pevnosti v tlaku.....	37
4.4.3	Zkouška nasákavosti.....	37
4.4.4	Zkouška barevnosti.....	38
4.4.5	Zkouška zrnitosti kameniva – síťový rozbor .....	39
4.5	Zpracování a hodnocení získaných údajů .....	40
4.5.1	Výsledné pevnosti připravených kompozitů .....	40
4.5.2	Výsledné nasákavost kompozitů .....	45
4.5.3	Výsledná zrnitost použitých písků.....	51
4.6	Tvorba probarveného umělého kamene.....	53
5.	Závěr.....	54
6.	Seznam použitých zdrojů .....	55
	Seznam obrázků.....	59
	Seznam tabulek.....	61



## Seznam použitého značení

A	Plocha
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
apod.	A podobně
obr.	Obrázek
viz.	Lze vidět (z latinského videlicet)
tzv.	Tak zvaný
y	Podíl frakce
d	Průměr
D	Průměr největšího zrna
n	Koeficient
$n_{\max}$	Hmotnostní nasákavost
$R_c$	Pevnost v tlaku [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]
$R_f$	Pevnost v tahu za ohybu [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]
F	Zatěžovací síla v okamžiku porušení tělesa [N]
b	Šířka trámečku [mm]
h	Výška trámečku [mm]
l	Vzdálenost mezi podporami [mm]
NV	Nasákavost [%]
$m_s$	Hmotnost nasyceného vzorku [kg]
$m_d$	Hmotnost vysušeného vzorku [kg]

$R_i$	Hmotnost materiálu na jednotlivých sítích [kg]
$M_1$	Hmotnost vysušené zkušební navážky [kg]
$M_2$	Hmotnost zůstatku na sítu 0,063 mm [kg]
$P$	Hmotnost propadu jemných částic na dnu [kg]
$L^*$	Jas
$C^*$	Sytost
$h^*$	Odstín
(a, b)	Barvové osy
$\Delta E$	Barevná diference

# 1. Úvod

Použití umělého kamene má dlouholetou tradici a spektrum jeho využití je velice široké. Podle francouzského chemika profesora Josephova Davidovitse, byl umělý kámen používán již ve starověkém Egyptě pro stavbu pyramid. Touhle tou teorií se zabývá ve své knize s názvem „Why the Pharaohs built the pyramids with fake stones“. V průběhu historie se můžeme setkat s mnoha různými využitími tohoto materiálu, který byl zcela běžný. Z období gotiky se může jednat o sochy obsahující jako pojivo sádru. V baroku byl zase hojně využíván umělý mramor, který byl vhodný k obkládání prvků. Od 2. poloviny 19. století se začal umělý kámen uplatňovat i v restaurátorství. Umělý kámen měl důležité zastoupení také v moderním stavebním průmyslu a architektuře, kde včetně jeho funkčnosti byl brán v potaz také jeho estetický dojem [5,6,17].

Umělý kámen plně vyhovuje desénovým požadavkům, také se dá říct, že jde o materiál na míru. Jeho vzhled je totiž plně závislý na použitých surovinách a jeho způsobu použití. Lze říci, že umělý kámen můžeme použít všude, kde bychom použili kámen přírodní. Pomocí moderních materiálů a technologických postupů je možné dosáhnout mnohem lepších mechanicko-fyzikálních vlastností, ale také můžeme dosáhnout příjemnější ceny oproti přírodním materiálům [5,6,7].

Bakalářská práce je rozdělena do dvou hlavních částí, do části teoretické a praktické. První část se zabývá teoretickými informacemi o umělém kameni. Jsou v ní popsány základní suroviny pro výrobu umělého kamenem, způsoby jeho přípravy a také jeho využití. V této části jsou dále popsány teoretické informace o stavební a dekoračním kameni. Druhá, praktická část bakalářské práce se zaměřuje na způsob výroby umělého kamene a jeho vlastnosti. Konkrétně je u těchto vzorků stanovena pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku. Také je na těchto vzorcích zkoušena jejich barevnost a nasákavost. Vzorky byly v neposlední řadě podrobeny i zkoušce mrazuvzdornosti.

## 2. Umělý kámen

Pro průmyslovou přípravu výrobků z umělého kamene existuje od roku 2005 norma ČSN EN 14 618 Umělý kámen – terminologie a klasifikace. Výrobky z umělého kamene jsou zde definovány jako průmyslově vyráběné, a to zejména z hydraulického cementu, pryskyřice nebo jiných směsí, kamene a dalších přísad. Jedná se o výrobky vyráběné průmyslově v geometrických tvarech pomocí lisování [1].

Daná norma už ale nezahrnuje výrobky pro architektonické či sochařské použití, pro které je vedle prostých technických vlastností důležitá i estetická stránka. Jednotlivé postupy zkoušek pro stanovení technických vlastností zahrnuje norma ČSN EN 14 617 Umělý kámen – Zkušební metody [6].

### 2.1 Základní suroviny

Mezi základní složky umělého kamene patří plnivo, které tvoří vlastní hmotu materiálu (určuje vzhled, strukturu povrchu a často i barvu kamene). Další základní složkou je pojivo umožňující spojení jednotlivých zrn plniva, čímž se podílí na výsledné pevnosti. Mezi přídatnými složkami při přípravě směsi mohou být různá barviva nebo jiné látky, na základě kterých získá umělý kámen požadovaný vzhled. Případně se může jednat o látky upravující vlastnosti směsi, jako jsou například plastifikátory zlepšující zpracovatelnost [6,7].

#### 2.1.1 Plniva

Jako plniva se tradičně používají drcené, případně mleté přírodní horniny. Mezi další možná plniva patří také čistý křemičitý písek a průmyslově vyráběný vápenec. Dříve se jako plnivo používal drcený přírodní kámen, který si kameníci pro své potřeby upravovali sami. Kvůli mnoha problémům při přípravě přírodních hornin, jako je drcení či mletí surovin, kde je nutné dosáhnout vysoké stupně jemnosti, je dnes používán především přírodní praný sklářský písek, popřípadě průmyslově mletý vápenec. Výběr plniva hraje významnou roli v tom, jak má výsledný produkt vypadat a jaké má mít vlastnosti [6,7].

Využívají se také alternativní plniva vyráběná průmyslově. Jde většinou o případy, kdy se nedají použít klasická pojiva z důvodů statických a estetických. V poslední době se stále více v restaurátorství používají duté kuličky mikroskopických rozměrů. Jedná

se o sférické duté útvary ze skla, keramiky či polymerních látek. Pro tyto útvary se pomalu vžívá český název „mikrokuličky“, které jsou v zahraničí známy pod různými názvy a jsou většinou chráněny ochrannou známkou. Svým názvem vystihují jejich materiálové vlastnosti, jako je například: microballoons, microspheres, extendospheres nebo armospheres apod.). Mezi jejich největší výhody patří nízká objemová hmotnost, která se pohybuje v rozmezí 0,1 až 0,7 g/cm<sup>3</sup> při velikostech částic 5 až 350 μm. Na počátku 90. let došlo k první aplikaci alternativního pojiva na památkovém objektu v Čechách. Jednalo se o Kohlovu kašnu na 2. nádvoří Pražského hradu, kde se jednalo o plastickou retuš a také o aplikaci na kopii sousoší Madony se sv. Dominikem a T. Akvinským na Karlově mostě (obr. 1), kde šlo o faksimile ruky [8].



**Obr. 1:** Kohlova kašna a sousoší Madony se sv. Dominikem a T. Akvinským [18]

Dostatečnou péči vyžaduje také zastoupení jednotlivých frakcí, protože nevhodné granulometrické složení plniva zhoršuje nejen vzhled, ale i mechanické vlastnosti, také zvyšuje spotřebu pojiva, čímž se umělý kámen pak prodražuje. Použije-li se příliš jemné kamenivo, spotřebuje se velké množství pojiva na obalení a spojení jednotlivých zrn, díky jejich většímu měrnému povrchu. Při použití pouze větších zrn z jedné frakce, se opět spotřebuje větší množství pojiva na vyplnění prostoru mezi zrny. Ideální způsob je použití plniva se širší distribucí zrn, kdy menší zrna vyplní prostor větších zrn, čímž se snižuje množství pojiva. Snižováním množství pojiva je ovlivněna příznivě pórovitost, nasákavost a také cena výsledného produktu.

Optimální vyplnění prostoru zrny je například možno dosáhnout distribucí zrn podle Fullerova vztahu:

$$y = \left(\frac{d}{D}\right)^n \times 100\% \quad (1)$$

kde  $y$  (% hm.) je podíl frakce o průměru  $d$ ,  $D$  je průměr největšího zrna a  $n$  je exponentem, dle Fullera  $n = 0,5$  [7,9].

## 2.1.2 Pojiva

Směsi pro přípravu umělého kamene v zásadě můžeme rozdělit do dvou skupin – na směsi s použitím anorganického pojiva, obvykle s hydraulickým pojivem, a na směsi s organickými pojivy, kam řadíme různé typy pryskyřic [6,7].

### 2.1.2.1 Anorganická pojiva

Do skupiny anorganických pojiv pro výrobu umělého kamene patří hydraulická pojiva – cement a hydraulické vápno. Pro použití v interiéru se hodně využívají směsi pojené sádrou.

Pro rozmíchání anorganických pojiv je důležité použití vody, která je v systému nutná pro hydrataci pojiv a zpracovatelnost směsi. Použití vody u anorganických pojiv bývá považováno za výhodu, kvůli snadnému dosažení požadované konzistence. Výhodou organických pojiv je také relativně dobrá zpracovatelnost i při teplotách blízcích se k 0°C. Ve srovnání s organickými materiály je v některých případech snazší dosažení požadovaného vzhledu. Další velkou výhodou je levnější cena těchto pojiv.

Naopak mezi nevýhody těchto anorganických pojiv patří jejich horší přídržnou neboli adheze k podkladu. Tahle nevýhoda se hlavně projevuje v restaurátorské praxi. Další nevýhodou je nutnost zajištění dostatečného přísunu vody v tvrdnoucím tmelu. Vyschnutí směsi by mělo za následek nedokonalou hydrataci pojiva, která by poté vedla k poklesu výsledných pevností a k nežádoucím hydratačním objemovým změnám vedoucím k tvoření trhlin. Nevýhodou je také poměrně dlouhá doba potřebná k dosažení požadovaných pevností, která se pohybuje v rozmezí několika týdnů. Neméně důležitou vlastností je menší odolnost anorganických pojiv proti kyselému prostředí [6,7].

Protože se v mnoha případech jedná o světlé směsi, používá se jako anorganické pojivo pro umělý kámen bílý cement. Obsahuje nízký podíl barvicích oxidů ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 <$

0,15% a  $\text{MnO} < 0,15\%$ ). Pro výrobu bílého portlandského cementu se vybírají pouze čistě bílé vápence, které mají minimální obsah sloučenin železa pohybující se v rozmezí 0,2-0,5%. Maximální podíl obsahu těchto sloučenin je 1,0%. Hydrauličnost těchto cementů je vyvolána jemně rozptýleným oxidem křemičitým, nebo přidavkem kaolinu, prakticky téměř postrádá kalciumferoalumináty ( $< 1,4\%$ ). Barva bílého cementu se někdy zlepšuje přidavkem vápencové moučky (10 až 40%) nebo jinými bělicími přísady. Na bílé portlandské cementy jsou kladeny požadavky jako na portlandské cementy příslušných tříd, kterým musí svými vlastnostmi odpovídat [9].

Velmi významným pojivem z historického hlediska je hydraulické vápno. Vápno obsahuje hydraulické oxidy ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Po smíchání s vodou se poté chová do jisté míry jako portlandský cement.

Mezi anorganická pojiva se také řadí i vodní sklo – vodné roztoky alkalických křemičitanů. K nevýhodám vodního skla patří nezanedbatelný obsah alkálií, který způsobuje výkvěty [9].

#### **2.1.2.2 Organická pojiva**

Nejvíce používaným organickým pojivem pro výrobu umělého kamene je v dnešní době epoxidová pryskyřice. První použití těchto epoxidových pryskyřic je spojeno s rozvojem syntetických polymerů v 60. letech 20. století. V tehdejší době začaly být používány pro své některé vlastnosti (zejména mechanické vlastnosti a vysokou pevnosti spojů) k lepení, přípravě tmelů a konsolidaci. Organická pojiva byla používána v památkové péči či v architektonické praxi pro zaplňování trhlin, ale také pro lepení nejrůznějších materiálů včetně kovů a keramiky. Ve stavebnictví se používala organická pojiva k zaplňování trhlin nebo k injektáži.

Přibližně od 2. poloviny 20. století byla u nás i v zahraničí (například ve Švýcarsku, v Polsku) zhotovována faksimile kamenosochařských děl, kde byla pojivem právě epoxidová pryskyřice (obr. 2). Tyto výdusky zhotovené ze směsi pryskyřice a drceného kamene nebo písku vznikaly často jako náhrada kamenných soch umístěných v exteriéru namísto originálních děl uchovaných v lapidáriích nebo galeriích.

Důvodem využívání těchto organických pojiv bylo pravděpodobně všeobecné nadšení z moderních syntetických materiálů, které v 60. a 70. letech panovalo. Hodně se využívaly v kamenosochařském průmyslu a v restaurátorství. Nicméně v současné době

se ve výrobě umělého kamene s použitím epoxidových pryskyřic ustupuje a navrácí se k anorganickým pojivům [10].



*Obr. 2: Kopie sochy M. B. Brauna Onufrius z Nového lesa u Kuksu [19]*

Ve srovnání s anorganickými pojivy mají organická pojiva některé důležité výhody. Jednou z výhod epoxidových pryskyřic je jejich dobrá odolnost vůči kyselému prostředí a taky krátká doba nutná k dosažení konečné pevnosti. K neméně důležité vlastnosti zejména v restaurátorství je velmi výborná přídržnou k podkladovému materiálu.

Naopak k nevýhodám organických pojiv patří jejich pomalejší vytvrzování při teplotách pohybujících se pod 15°C. Vytvrzování je zpomalené nebo úplně zastaveno v přítomnosti vlhkosti. V praxi to znamená použití uměle vysušeného plniva a v případě restaurování soch či architektonických objektů také dokonale vysušit podkladní lůžko. Je-li povrch umělého kamene pojeného epoxidovou pryskyřicí vystaven UV záření, existuje možnost jejich zbarvení (zažloutnutí).

Jako organické pojivo se používají také polyesterové pryskyřice. Díky jejich horší zpracovatelnosti a nepříjemnému zápachu nacházejí uplatnění především v průmyslové



výrobě, kde se zpracovává odpadní dřev pro přípravu tzv. konglomerovaných směsí používaných pro výrobu dlažebních nebo obkladových desek [6,7,9].

Mezi další typy organických pojiv mohou patřit další typy polymerů, jako jsou kapalné kaučuky nebo akrylátový kopolymer. V minulosti se jako pojivo používala směs tvarohu a hydroxidu vápenatého – tzv. kaseinát vápenatý. Tato směs se používala hlavně pro vytváření malých doplňků a zvláště k lepení. Dalším druhem pojiva, který se používal především pro doplňování mramorů a i k lepení ulomených částí je šelak. Ojediněle se můžeme také setkat ještě s umělým kamenem vytvořeným z přírodní pryskyřice získané z jehličnatých stromů [6,7].

### 2.1.3 Aditiva

Aditiva jsou látky, které se přidávají během přípravy pro zlepšení nebo ovlivnění některých vlastností jak směsi, tak i konečného výrobku. U výrobků z umělého kamene se nejčastěji přidávají přísady ovlivňující zpracovatelnost nebo výsledný vzhled či mechanické vlastnosti výrobku [6].

Výroba ze směsí pojených epoxidovými pryskyřicemi bývá často doprovázena problémy s nedostatečnou plasticitou – tedy že směsi mají omezenou schopnost podržet si svůj tvar v syrovém stavu. Zvýšení plasticity je možno dosáhnout přidáním plastifikátorů. Pro zvýšení plasticity se do směsi přidávají jemné částice, jako je například oxid křemičitý, mastek a podobně. Množství plastifikačních přísad ve směsi se pohybuje do 3% hmotnosti směsi. Tyto látky zároveň působí, jako matovala, jejich přídavek snižuje riziko vzniku nepřírodných lesklých ploch na povrchu větších oblých zrn. Směsi pojené cementem nevyžadují zpravidla přídavek plastifikátorů.

Pigmenty se do směsi umělého kamene přidávají pro úpravu barevnosti směsi. Díky alkalickému prostředí anorganických a organických pojiv, je důležité vybírat barviva zachovávající si v takovém prostředí svoji stálou barevnost.

Z přírodních barviv se osvědčili zejména okry, získané upravením barevných hlín bez přidání syntetických látek. Z umělých barviv jsou to pak železité pigmenty na bázi oxidů železa, které se do směsi přimíchávají pro dosažení žlutých, červených nebo hnědých odstínů. Pro dosažení zelené barvy bývá naopak používán oxid chromitý [6,7].

Z laboratorních testů se prokázalo, že přídavky pigmentu vyšší než 0,5% celkové hmotnosti směsi se neprojeví na sytosti výsledného barevného odstínu [6].

Výrobkům na bázi hydraulického pojiva bývá přičítána nestálost použitého pigmentu. Pravým důvodem však mohou být výkvětovité soli na povrchu výrobku. V kamenosochařství bývají výrobky často dodatečně upravovány (přesekávány). Použije-li se pro přípravu směsi umělého kamene bílý křemičitý písek, výsledný odstín po přeseknutí zesvětlá.

Mezi aditiva zlepšující vzhled umělého kamene, aby se co nejvíce podobal přírodnímu kameni, patří drcená slída, drcené skořápky (například skořápky mořských živočichů) a podobně [7].

Velice důležitým aditivem používaným hlavně v posledních letech u směsí s hydraulickými pojivy jsou polymerní disperze nebo redispergovatelné polymerní prášky, někdy nazývané jako suché disperze. Přídavek těchto látek zvyšuje adhezi umělého kamene k původnímu materiálu. Tyto látky rovněž zlepšují mechanické vlastnosti výrobku, podporují správné tvrdnutí především v tenkých vrstvách. V přítomnosti vhodného rozpouštědla, například toluenu, bobtná a tím klesá pevnost tmelu.

Mezi aditiva řadíme i tzv. spojovací látky zvyšující adhezi epoxidové pryskyřice k anorganickému plnivu. Příkladem těchto látek, může být  $\gamma$ -amino-propyl-triethoxysilan, který se váže jednou částí molekuly na povrch křemenných zrn a druhou částí se váže do polymerní sítě epoxidové pryskyřice. Smočí-li se zrna písku v roztoku s touto látkou, dojde ke zvýšení konečné pevnosti v tlaku umělého kamene až o 50%. Optimální množství těchto aditiv se pohybuje kolem 3% [6,7].

## **2.2 Způsoby přípravy umělého kamene**

Způsoby přípravy umělého kamene se volí na základě výsledného produktu a na základě vlastností pojivových materiálů. Při výrobě výrobků pro použití ve stavebnictví, restaurátorství či v kamenosochařské výrobě se liší také výrobními postupy [7].

### **2.2.1 Umělý kámen s epoxidovým pojivem**

Prvním krokem při přípravě umělého kamene pojeného epoxidovou pryskyřicí je příprava suché směsi (vlhkost snižuje pevnost umělého kamene), tedy vhodné určení

frakce plniva v závislosti na požadovaném produktu. Pro zvýšení plasticity směsi se podle potřeby přidávají plastifikátory, například oxid křemičitý. K dosažení požadovaného barevného odstínu dosáhneme přidáním sybkých pigmentů do směsi. Je třeba počítat se změnou barevnosti v průběhu míchání směsi a jednak v průběhu zrání směsi. Barevný odstín se volí světlejší než původní zbarvení a počítá se s konečnou úpravou po vytvrzení, kdy se provádí retuš.

Příprava tvárné směsi spočívá ve smíchání sybkých materiálů společně s odměřeným množstvím směsi epoxidové pryskyřice a tužidla. Po homogenizaci je směs připravena k aplikaci. Zpracovatelnost této směsi se pohybuje okolo 0,5 až 2 hodin v závislosti na okolní teplotě. Poměrně dlouhé míchání směsi mění její konzistenci na těstovitou, která se poté nepříjemně modeluje a dusá.

Tvárná směs se zpracovává dusáním v několika vrstvách do sádrových, kovových nebo kaučokových forem. Formy musí být před naplněním upraveny vhodným separačním prostředkem. Umělý kámen je vzhledem k dostatečné pevnosti možno zpevňovat armaturou. Je tak možno zhotovovat složité a rozměrné plastiky s tenkou stěnou. Takle skutečnost je vhodná při rekonstrukci památkových objektů. Pro armatury se mohou použít armovací ocelové dráty nebo pletivo. Tyto materiály se před uložením do formy musí opatřit nátěrem z epoxidové pryskyřice, kvůli lepšímu přilnutí k pojivovému systému. V případě potřeby je dodatečně umělý kámen zpevnit koncentrovanějším roztokem epoxidové pryskyřice. Výrobek je možné dodatečně obarvit pigmenty rozptýlenými v lihu [11].

Na mechanických vlastnostech umělého kamene pojeného epoxidovou pryskyřicí má rozhodující vliv poměr pojiva a plniva. Obvyklý poměr epoxidové pryskyřice : písku bývá 1:10. V případě dobrého zhutnění a vhodné distribuce zrn je možné snížit množství polymerního pojiva na 1:15 až 1:12. Tam kde nelze směs dostatečně zhutnit, kvůli složitosti formy, je nutné množství pryskyřice zvýšit na 12%, někdy až 15% hmotnosti suché směsi [7].

První použití umělého kamene pro doplňování pískovcových kamenických prvků bylo asi před 50 lety na zámku v Roztokách a na hradě Jenštejně. První faksimilí byl tympanon nad vchodem v ohradní zdi kostela Panny Marie Sněžné v Praze (obr. 3). Mezi snad nejznámější příklady faksimile z umělého pískovce je soubor Braunových soch

Ctností a neřestí v Kuksu. Mezi další aplikace s epoxidovou pryskyřicí jsou vázy ve Vrthovské zahradě nebo soubor vaz na atice Rudolfiny v Praze (obr. 4).



*Obr. 3: Tympanon kostela P. M. Sněžné v Praze [19]*



*Obr. 4: Soubor vaz na atice Rudolfiny v Praze [19]*

### 2.2.2 Umělý kámen na minerálním základě

Příprava umělého kamene na minerálním základě je obdobná jako příprava umělého kamene s epoxidovou pryskyřicí, kde je rozdíl v míchání suché směsi. U umělého kamene na bázi minerální směsi je suchá směs míchána společně s pojivovým materiálem a následně s vodou a případnými aditivami. Nejčastěji se tato směs nalévá do forem a následně hutní. Zpracovatelnost směsi závisí na zvoleném pojivu. Tato doba lze prodloužit nebo zkrátit pomocí aditiv (retardéry nebo urychlovače tuhnutí a tvrdnutí) [12].

Optimální poměr cementového pojiva s pískem je okolo 1:4. U anorganických pojiv je třeba brát v potaz také množství záměsové vody, která se výrazně podílí na výsledných vlastnostech. Ideální množství záměsové vody je do 10% hmotnosti [6,7].

### 2.2.3 Armování

Armování se často používá při doplňování větších objemů nebo tenkých profilů. Armovací materiál musí odolávat alkalickému prostředí a měl by mít tepelnou roztažnost blízkou teplotní roztažnosti tmelu. Samozřejmě by měl mít také dostatečnou pevnost.

V praxi se můžeme setkat s ocelí, mědí, mosazí, nerezovou ocelí, ale také s použitím hliníkových drátů a podobně. Nevýhodou oceli je její sklon ke korozi, hlavně pak v kyselém prostředí. Ke korozi dochází také u mosazi nebo mědi. Korozní produkty mědi mohou být navíc vyplavovány na povrch umělého kamene a způsobovat tak nežádoucí skvrny [7].

## 2.3 Využití umělého kamene

Použití umělého kamene je velice široké. Dá se říct, že umělý kámen je možné využít všude, kde se běžně používá přírodní kámen. Své uplatnění si našel jak ve stavebnictví, kde se používá v exteriéru i interiéru, tak v kamenosochařském průmyslu a v restaurování. Mezi jeho výhody patří nižší cena výrobku, výhodnější podmínky a v poslední době také dosti ceněná vlastnost – „design na míru“.

### 2.3.1 Umělý kámen pro stavební účely

Umělý kámen je možné využít ve stavebnictví všude tam, kde se používá kámen přírodní. Z umělého kamene se dají vytvářet obklady určené pro vnitřní i venkovní použití (obr. 5). Vyrábějí se i tvarovky pro samotnou výstavbu. U těchto výrobků se používají anorganická pojiva, hlavně cement, proto je velká část těchto výrobků klasifikována jako výrobek z betonu. Směs umělého kamene obsahující plniva, pojiva, aditiva se nalije do měkké formy, která dokonale imituje povrch přírodního kamene. V dnešní době je téměř nemožné rozeznat přírodní kámen od umělého a každá výrobní společnost má své vlastní výrobní technologie a formy [6,20].



*Obr. 5: Venkovní obklad z umělého kamene – břidlice [21]*

### 2.3.2 Výroba sanitárního zařízení

Pro výrobu sanitárních zařízení je vhodným materiálem umělý mramor neboli litý mramor. Kvůli jeho vysokým tepelně-izolačním vlastnostem, jsou z něj dokonalé vany, sprchové kouty i koupelnový nábytek (obr. 6) a doplňky do koupelny. Jde o směs z minerálních plniv (mikromleté vápence, sklářské písky), polyesterové pryskyřice jako pojiva a pigmentů. Takto připravená směs se odlévá do kovových popřípadě laminátových forem. Povrch výrobku tvoří vysoce lesklá ochranná vrstva z polyesterové pryskyřice, která zabraňuje jejich poškození.

Umělý mramor je v porovnání s přírodním mramorem odolnější proti mechanickému a chemickému poškození. Dále vyniká svými tepelně-izolačními vlastnostmi. Díky tomu, například při výrobě van nebo sprchových koutů, voda v těchto výrobcích chladne mnohem pomaleji [22].



*Obr. 6: Umyvadlo z litého mramoru [24]*

### 2.3.3 Kamenosochařská výroba a restaurátorství

Umělý kámen se k restaurátorským účelům začal používat přibližně od poloviny 19. století. Jedním z prvních restaurátorských děl je Brokofovo sousoší sv. Kajetána na Karlově mostě v Praze (obr. 7), které proběhlo v roce 1855. Umělý kámen při restaurování sochařských děl plní jednak funkci estetickou, výtvarnou, ale v některých případech plní také funkci ochranou. Výtvarná funkce umělého kamene při restaurování sochařského díla spočívá v tom, aby se pomocí tmelů dosáhlo srozumitelnosti starého výtvarného sdělení pro současného diváka. Ochranná funkce umělého kamene při použití v restaurátorství spočívá v zatmělení určitých míst sochařské památky, které by bez uzavření byly dále napadány povětrnostními vlivy a docházelo by tak k další degradaci.

Při použití umělého kamene pro doplnění sochařského díla je nutné dodržovat v první řadě „zásadu minimálního zásahu do původního díla“. Dalším požadavkem je, že tmel z umělého kamene by se měl omezit pouze na doplnění poškozeného místa a že by neměl překrývat okolní kámen. Barevnost a charakter povrchu tmeleného místa by měl odpovídat jak barevností, tak i strukturou povrchu okolnímu autentickému kamennému materiálu.



**Obr. 7:** *Sousoší sv. Kajetána na Karlově mostě v Praze [18]*

Pro určení vlastností vytvářeného umělého kamene, který bude používán k doplnění poškozených míst kamenosochařské památky, je nutné znát vlastnosti původního kamene. Jedná se o pevnost, nasákavost, teplotní roztažnost, propustnost a materiálové složení původního kamene. Složení umělého kamene by mělo mít zhruba 20-60% pevnosti původního kamene, 50-150% teplotní roztažnosti původního kamene a 50-100% nasákavosti a paropropustnosti původního kamene. Jednou z důležitých vlastností umělého kamene je jeho přilnavost k původnímu kameni, která by měla tvořit asi jen 50-80% přilnavosti (soudržnosti) původního materiálu. Je důležité tyto fyzikální vlastnosti umělého kamene dodržovat, protože v případě, že má umělý kámen jiné parametry, dochází často k ohrožení a poškození původní kamenné hmoty kamenosochařského díla [13].

### 3. Stavební a dekorační kámen

Stavební a dekorační kámen je hornina vhodných fyzikálních, mechanických i technologických vlastností. Jedná se o horniny, které byly záměrně člověkem vytěženy z přirozeného prostředí a použity jako konstrukční prvek ve stavbách v původní nebo opracované formě [14,24].

Patří sem všechny druhy pevných hornin jak magnetického, sedimentárního tak i metamorfního původu, které jsou blokově dobyvatelné. Horniny svými vlastnostmi vyhovují hrubé kamenické výrobě (obrubníky, dlažební kostky, krajníky a podobně) nebo ušlechtilé výrobě (kamenosochařské práce, leštěné nebo broušené kamenické výrobky). Hrubou kamenickou výrobu určuje mineralogicko-petrografické složení, fyzikálně-mechanické vlastnosti horniny, také její struktura, textura a podobně. Kdežto u hornin pro ušlechtilou výrobu se hodnotí blokovitost, vzhled, berevnost, trvanlivost a leštitelnost [24].

#### 3.1 Historie kamene jako stavebního materiálu

Kámen pro stavební účely se používá už mnoho tisíciletí. Během své doby se měnila nejen jeho úloha ale i význam.

V pravěku se původně stavělo z kamenů o menších rozměrech, které byly kladeny na sucho bez pojiva vedle sebe. Jako stavivo se používaly většinou neopracované úlomky a valouny. Vznikaly tak různé ochranné zdi nebo pohřební mohyly. U megalitických staveb (obr. 8) jako jsou menhiry, dolmeny či kromlechy, se začala objevovat snaha vyvolávat představy o závažnosti společenských staveb použitím kamenů značných rozměrů [14,24].



*Obr. 8: Megalitický areál Stonehenge v Jižní Anglii [24]*



Z kamenných staveb pocházejících ze starověku jsou nejznámější egyptské pyramidy. Mezi nejznámější pyramidy patří pyramidy v Gíze – Chufewova, Ráchefova a Menkauréova. Tyto pyramidy se vyznačují značnými rozměry, přičemž v porovnání s objemem stavebního kamene je jejich vnitřní prostor zanedbatelný. Stavební kameny jsou přibližně krychlového tvaru o hraně 1m. Kameny jsou velmi dobře opracované a kladeny bez použití jakéhokoliv pojiva.

Ve srovnání s pyramidami se v chrámech vytvářely hlavně vnitřní prostory. Z přírodního kamene byly tvořeny veškeré konstrukce, jako jsou zdi, sloupy ale i zastřešení. Stropy byly tvořeny kamennými deskami uloženými na architrávech.

Řekové a Římané začali používat mnoho nových stavebních technik. Zatím co pro řecké stavitelství je typický architrákový systém, Římané začali používat klenutí. První klenby se začaly používat u mostů a akvaduktů, poté také k zaklenutí obrovských vnitřních prostorů jako je například Pantheon. Kámen začali opracovávat železnými nástroji, kdy byl kámen často ve zdivu provázán a spojen na rybinu, čep, dlab, popřípadě byly použity kovové skoby nebo hmoždíky. V antice se hojně používaly obklady z kvádrů nebo desek, zdi a podlahy byly často pokryty kamennou mozaikou.

Velký rozkvět ve využití kamene a v rozvoji konstrukčních technik přinesla gotika. V gotice začínají být budovány z přírodního kamene vysoké katedrály. Konstrukční systém těchto katedrál dokázal jako první využít základních vlastností kamene jako je vysoká pevnost v tlaku.

V novodobé architektuře nemá kámen už jako konstrukční materiál takový význam jako dříve, svými vlastnostmi nemůže konkurovat oceli nebo betonu. Pokud jde o vyjádření vznešenosti a závažnosti stavby, je však dodnes nenahraditelný [14,24].

### 3.2 Základní vlastnosti stavebního kamene

Stavební kámen pro stavební použití a pro zdivo se vyrábí a dodává ve třech třídách jakosti

I. třída	pevnost v tlaku	$R_{c,min} = 110 \text{ MPa}$
	hmotnostní nasákavost	$n_{max} = 1,5$
II. třída	pevnost v tlaku	$R_{c,min} = 80 \text{ MPa}$
	hmotnostní nasákavost	$n_{max} = 3,0$

III. třída	pevnost v tlaku	$R_{c,min} = 40 \text{ MPa}$
	hmotnostní nasákavost	$n_{max} = 5,0 [22]$

Podle normy ČSN 72 1800 jsou horniny v kamenické výrobě rozděleny do tří skupin podle povrchových úprav:

- skupina I – horniny magmatické (vyvěřelé)
  - hlubinné světlé – horniny světlejšího zbarvení (granitoidy, syenitoidy) s objemovou hmotností menší než  $2,8\text{g.cm}^{-3}$
  - hlubinné tmavé – horniny tmavší barvy s objemovou hmotností větší než  $2,8\text{g.cm}^{-3}$
  - výlevné hutné – objemová hmotnost větší než  $2,5\text{g.cm}^{-3}$
  - výlevné pórovité – objemová hmotnost do  $2,5\text{g.cm}^{-3}$
- skupina II – horniny sedimentární (usazené)
  - klastické hutné – objemová hmotnost větší než  $2,5\text{g.cm}^{-3}$
  - klastické pórovité – objemová hmotnost do  $2,5\text{g.cm}^{-3}$
- skupina III – horniny metamorfované (karbonátové horniny, břidlice, silikátové horniny) [14,26]

*Tabulka 1 Přehled běžných hornin používaných ve stavebnictví a jejich vlastnosti*

Hornina	Objemová hmotnost ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	Tvrdość dle Mohse	Pevnost v tlaku (MPa)	Pevnost v ohybu (MPa)	Nasákavost (%)
<b>Magmatické horniny</b>					
Žula	2600 – 2800	6 – 7	120 – 240	10 – 35	0,2 – 1,2
Diorit	2700 – 3000	6 – 7	135 – 215	20 – 40	0,2 – 0,7
Gabro	2800 – 3100	6 – 7	150 – 225	25 – 60	0,2 – 0,5
Syenit	2500 – 2900	6 – 7	150 – 200	10 – 20	0,2 – 0,5
Čedič	2050 – 3000	6	250 – 400	15 – 20	0,1 – 0,3
Trachyt	2400 – 2900	6 – 7	60 – 70		1 – 2
Diabas	2800 – 2980	6	120 – 220	20 – 45	0,1 – 0,8
Porfyr	2550 – 2650	6 – 7	70 – 210	15 – 30	0,2 – 1,5
<b>Sedimentární horniny</b>					
Pískovec	2000 – 2400	proměnlivá	30 – 80	3,8	4,0 – 8,5
Vápenec	2600 – 2850	3	40 – 180	10 – 25	0,2 – 0,6

Dolomit	2650 – 2850	3,5	100 – 200	12 – 25	0,2 – 0,6
Břidlice	2600 – 2750	7	100 – 190	30 – 100	0,3 – 1,5
<b>Metamorfované horniny</b>					
Rula	2650 – 2750	6 – 7	120 – 250	24 – 50	0,1 – 1,2
Křemenec	2500 – 2700	7	300		0,5
Amfibolit	2700 – 3100	6	170 – 280		0,1 – 0,4
Mramor	2700 – 2800	3	75 – 145	12 – 26	0,2 – 1,0

*Zdroj:* SVOBODA, L. Stavební hmoty. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2004. ISBN 80-8076-007-1 [14]

### 3.3 Technologie těžby a opracování kamene

Těžba přírodního kamene je v současné době povrchovým způsobem v kamenolomech (obr. 9 a 10). U nás se v současné době dobývá pouze přírodní břidlice.



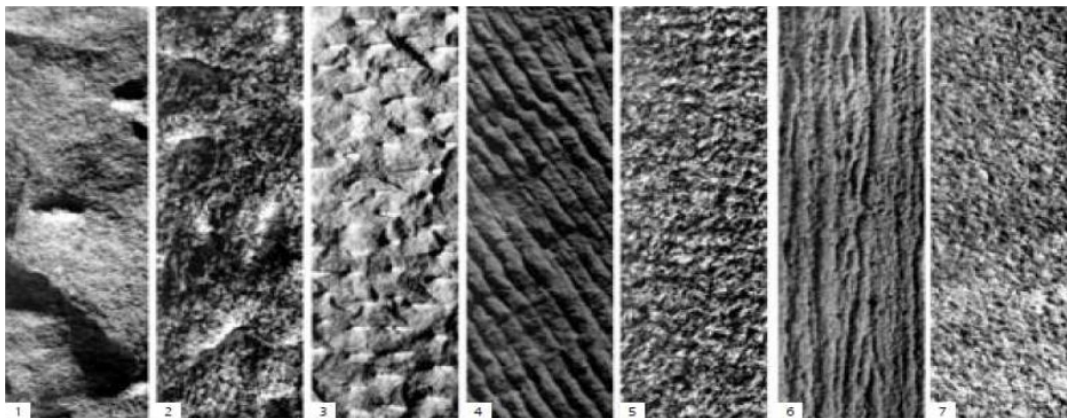
**Obr. 9:** Klasická lokalita [24]

**Obr. 10:** Stěnovojámový lom [24]

U těžby bloků z přírodního kamene musíme dávat pozor na vhodnou volbu těžební technologie, kterou nedochází ke vzniku trhlin v surovině. Z těchto důvodů se při těžbě kamene nepoužívají odstřely trhavinami, ale volí se šetrnější postupy. K šetrnějším postupům řadíme odvrtávání a oddělení rozpínavým cementem. V současné době se používá také odřezávání lanovou pilou či vodním paprskem.

Vytěžený kámen se poté podle účelu použití upravuje a opracovává. Surové bloky používané pro další výrobu se řezou na desky nebo kvádry menších rozměrů, a to kotoučovými nebo lanovými pilami. Postupným opracováním bloků vznikají nejrůznější kamenické výrobky, mezi které se řadí například kopáky, kvádry, desky pro různé účely, obrubníky, ale také drobná zahradní architektura a podobně. V neposlední

řadě je také možnost podle potřeby upravit povrch těchto kamenických výrobků a to buď leštěním, zubováním, broušením, pemrlováním, tryskáním popřípadě špicováním (obr. 11) [14,24].



*Obr. 11: Příklady povrchových úprav přírodního kamene [14]*

1 – hrubě trhaná, 2 – bosování, 3 – jemně špicovaná, 4 – zubovaná, 5 – pemrlování, 6 – řzaná, 7 – broušená

### 3.4 Rozdělení stavebního kamene

Kámen pro stavební účely a pro zdivo se dělí na:

- **Lomový kámen** – Jedná se o kus přírodního kamene nejrůznějších tvarů, velikostí, s hrubou nebo také opracovanou lící stranou. Pro zához či pro stavbu opěrných zdí se používá neupravený lomový kámen. Kdežto upravený lomový kámen se využívá spíše pro dláždění svahů, rigolů a břehů. Na podezdívky slouží kámen se dvěma rovnými plochami a k vytváření tzv. kyklopského zdiva (obr. 12) se využívá kámen s lícovou plochou ve tvaru mnohoúhelníku [14,26,27].



*Obr. 12: Zdivo kyklopské [28]*

- **Kopáky** – Jedná se o výrobky určité velikosti a zhruba tvaru rovnoběžnostěnu. Kopáky se vyrábějí lámáním, štípáním nebo hrubým kamenickým opracováním. Hrubé kopáky se vyznačují tím, že na lícní ploše bývají špicované s pravidelnými stopami po nástrojích, popřípadě jsou čistě lamené. Kdežto u čistých kopáků je lícová plocha pravoúhlá, čistě špicovaná [26,27].
- **Haklíky** – Mohou mít čtvercovou nebo obdélníkovou lícní plochu. Haklíky jsou vyráběny štípáním, lámáním nebo hrubým kamenickým opracováním a jsou určeny pouze pro obkladové zdivo (obr. 13). Takže se používá jako obkladový materiál pro podezdívky, obklady zdí, krbů a podobně [14,24].



*Obr. 13: Zdivo z haklíků [24]*

- **Kvádry** – Jedná se o výrobky z přírodního kamene nejrůznějších rozměrů a tvarů, také s různou povrchovou úpravou. Jejich použití je velmi široké. Využívají se jako konstrukční a architektonické prvky na vodních, železničních i pozemních stavbách. Kvádry se vytvářejí s různým stupněm úpravy lícové plochy. Úprava povrchu se provádí od špicování až po broušení případně leštění [14,24].

Dlažební kámen a silniční prvky se dělí na:

- **Dlažební kostky** (obr. 14) – Jsou to malá tělesa z přírodního kamene ve tvaru kvádrů nebo krychle. Jejich použití je určeno hlavně k dláždění vozovek nebo chodníků. Dlažební kostky se vytvářejí strojně na štípačkách s různou kvalitou opracování povrchu. Kostky se mohou vyrábět například o velikostech 40/60mm, kdy se používají pro chodníkové mozaiky nebo pochozí plochy. Také se mohou vyrábět o velikosti 60/80mm, kdy jsou určeny zase pro velké mozaiky jak chodníků, tak vjezdů garáží a parkovišť. Dlažební kostky pro pěší zóny, vjezdy a stavební dvory se vyrábějí kostky o velikosti 80/110mm. A v neposlední řadě

kostky pro náročnější využití, jako je zátěž silničních, stavebních nebo vojenských vozidel, dále také třeba pro historická centra a památkové zóny se vyrábějí ve velikosti 150/170mm.



*Obr. 14: Žulové dlažební kostky [24]*

- **Dlažební a obkladové desky** – Desky vznikají rozřezáním bloků z přírodního kamene tloušťky cca 10 až 80 mm. Desky se vyrábějí v různých rozměrech, záleží na přání zákazníka, technických možnostech výrobce, ale také na technologických možnostech suroviny. Také u desek se jejich lícová plocha může různě upravovat, a to řezáním, broušením, špicováním, tryskáním a podobně.

Obkladové desky se používají jak pro vnější tak i pro vnitřní obklady konstrukcí nebo jejich částí. Využívají se hlavně na obklady fasád, reprezentačních místností, koupelen a podobně. Mohou se z nich ale vyrábět i parapetní desky, obklady sloupů a pilířů.

Co se týče dlažebních desek, tak ty jsou určeny k dláždění různých prostranství, komunikací, vnějších i vnitřních ploch, určených převážně pro pěší provoz (nádvoří, náměstí, chodníky a podobně). Jednotlivé dlažební desky, jde skládat různými způsoby (obr. 15), například typizovaná dlažba, anglická dlažba, románská dlažba, pásová dlažba nebo dlažba benátská [14,24].



**Obr. 15:** Příklady způsobů skládání dlažebních desek [24]

1 – typizovaná dlažba, 2 – anglická dlažba, 3 – románská dlažba, 4 – pásová dlažba

- **Obrubníky** – Jde o dílce délky větší než 30 cm, které se používají k lemování pozemní komunikace, chodníku, dopravní plochy. Jejich úkolem je zpevňování okrajů chodníků a nástupišť, také vyrovnávání výškových rozdílů mezi vozovkou a chodníkem. Vyrábějí se v rovné nebo obloukové formě.
- **Krajníky** – Jedná se o prvky podobného charakteru, jako jsou obrubníky. Silniční krajníky se používají pro zpevňování okrajů vozovky a také oddělují nevyvýšené krajnice či jiné přilehlé plochy od vozovky. Jejich viditelné plochy bývají čistě lemované, řezané, jemně špicované nebo bosované.
- **Mezníky** – Jsou to opracované kameny ve tvaru hranolu o rozměrech cca 10x10x45 až 60 cm. Mezníky označují lomové body hranice správní, užívací ale i vlastnické. Horní plocha mezníku bývá označována křížkem [24,26].

Je mnoho způsobů využití kamene. Může se využít jako kamenný obklad fasád, schodišť a parapetů oken. U reprezentačních budov se na schodišťové stupně používá i štípaná kamenná krytina [24].

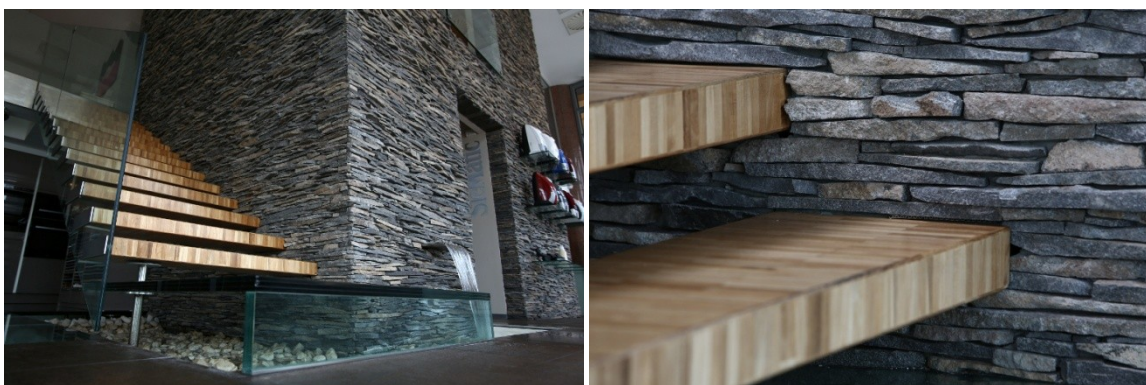
### 3.5 Využití stavebního a dekoračního kamene

Už od staletí je kámen nejrozšířenějším stavebním materiálem. Používal se jak v městské tak i venkovské architektuře jako hrubý stavební materiál nebo také jako i ušlechtilé opracovaný pro dekorativní účely. Záleželo však na jeho technických a estetických vlastnostech.

Jde-li o hrubé kamenické výrobky, myslí se tím lomové kopáky, haklíky, dlažební kostky a krajníky. Jedná se o výrobky, jejichž povrchy jsou lámané, štípané, přetloukané palicí či hrubě bosované do požadovaného tvaru. Naopak jedná-li se o čistě kamenickou

výrobu, tak opracování lícních ploch je pomocí ručního náradí, například špicování, lemování dlátem a zubování. Výsledným produktem čisté kamenické výroby jsou chodníkové obrubníky, masivní schodišťové stupně, ale také krycí desky, sloupy, kamenná zábradlí a podobně. Tyhle výrobky vyžadují i strojní opracování, prováděné od řezání přes broušení a leštění.

V současné době se ve stavebnictví kámen a výrobky z kamene objevují spíše v interiérech (obr. 16) nežli na budovaném objektu – s výjimkou teda obkladů, venkovních schodišť a teras [29,30,31].



**Obr. 16:** Příklad použití přírodního kamene na obložení zdí v interiéru [32]



## 4. Praktická část

Praktická část dokumentu se zabývá výrobou směsí umělého kamene s využitím anorganického pojiva a následným zkoušením mechanicko-fyzikálních vlastností toho materiálu a jeho vzhledových parametrů.

### 4.1 Použité materiály

Všechny zkoušky se prováděly na čtyřech druzích směsí umělého kamene. Vzorky byly vytvářeny ze směsí zlatého a běžného písku (obr. 17) s použitím anorganického pojiva, v našem případě s použitím vodního skla a bílého cementu. Oba druhy písku byly použity ve dvou frakcích (0,25 a 0,5 mm) v poměru 1:1.

V našich směsích bylo použito:

- Vodní sklo sodné – VS 2,0 (Vodní sklo, a.s)
- Zlatý písek – je to odpadní produkt z těžby kaolinu, zlatou barvu má díky příměsi slídových minerálů
- Běžný písek – jedná se o běžný stavební písek
- Bílý cement (HET)



*Obr. 17: Vzorek zlatého (vlevo) a běžného písku (vpravo)*

## 4.2 Složení směsí

Tabulka 2 Složení směsí umělého pískovce s vodním sklem a cementem

	Složka	Hmotnost [g]
SMĚS 1	Běžný písek frakce 0,25 + 0,5 mm v poměru 1:1	1400
	Vodní sklo	100
SMĚS 2	Běžný písek frakce 0,25 + 0,5 mm v poměru 1:1	1400
	Bílý cement	190
	Voda	200
SMĚS 3	Zlatý písek frakce 0,25 + 0,5 mm v poměru 1:1	1400
	Vodní sklo	150
SMĚS 4	Zlatý písek frakce 0,25 + 0,5 mm v poměru 1:1	1400
	Bílý cement	190
	Voda	200

## 4.3 Příprava zkušebních vzorků

Zkušebními vzorky byly trámečky o rozměrech 40x40x160 mm (obr. 18). Při přípravě směsí pojených bílým cementem se nejprve smíchal cement s vodou a následně se přimíchával písek. Výsledná směs se ručně plnila do předem vymazaných forem (obr. 19) a pomocí vibračního stolku se udusávala tak, aby byla dostatečně hutná a forma tak byla zcela naplněná. Po zhutnění byly jednotlivé vzorky ve formách uloženy do vlhkostní skříně, kde byly uloženy po dobu 28 dní jejich zrání. U směsí pojených vodním sklem, jsou výsledné směsi rovněž plněny ručně do předem vymazaných forem (obr. 20), ale pro dostatečnou hutnost byly směsi stlačeny pomocí lisu. Vzorky byly zatěžovány silou 500kN. Po stlačení byly jednotlivé vzorky odformovány a uloženy komorní pece (sušárny) o teplotě 65°C kde byly uloženy po dobu 28 dní jejich zrání.



*Obr. 18: Sada zkušebních trámečků velikosti 40x40x160mm*



*Obr. 19: Forma pro přípravu umělého kamene pojeného cementem*



*Obr. 20: Forma pro přípravu umělého kamene pojeného vodním sklem*

#### **4.4 Použité zkušební metody**

Jednotlivé vzorky byly po 7, 14 a 28 dnech zrání podrobeny zkouškám pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu. Tyto zkoušky se neprováděly podle norem pro umělý kámen, z toho důvodu, že jsme neměli tělesa v rozměrech, které norma pro umělý kámen požaduje. Pro tyto zkoušky byla použita norma ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu. U části vzorků každé směsi byla stanovena nasákavost, a také byly vzorky z každé směsi podrobeny analýze barevnosti. V neposlední řadě stanoven také síťový rozbor jednotlivých druhů písků.

Na vzorcích byla plánována i zkouška mrazuvzdornosti. Při zkušebním pokuse nám zkušební vzorek nevydržel ani 5 cyklů zmrazování a rozpadl se. Správně by nám měl vzorek vydržet 25 zmrazovacích cyklů. Z tohoto důvodu se daná zkouška nakonec neprováděla.

#### 4.4.1 Zkouška pevnosti v tahu za ohybu

Zkouška pevnosti v tahu za ohybu se stanovovala dle normy ČSN EN 196-1 [2]. Zkouška se prováděla na zatěžovacím lisu sestávajícího se ze dvou válcových podpor o průměru 10 mm, vzdálených od sebe  $100 \pm 0,5$  mm. Na tyto podpory se pak umísťují zkušební trámečky o rozměrech 40 x 40 x 160 mm (obr. 21), trámečky se umísťují kolmo na směr plnění. V horní části lisu se nachází další válec o průměru 10 mm, kterým jsou trámečky stlačovány až do porušení, kdy trámeček rozlomí na dvě části (obr. 22). V momentě porušení se zaznamená maximální hodnota zatížení v N. Pevnost v tahu za ohybu se pak vypočítá z následujícího vztahu:

$$R_f = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad (2)$$

kde: F ... vynaložené zatížení v okamžiku porušení tělesa [N]

b ... šířka trámečku [mm]

h ... výška trámečku [mm]

l ... vzdálenost mezi podporami [mm]

Průměrná hodnota se vypočítá s přesností 0,1 N/mm<sup>2</sup>.



**Obr. 21:** Zkoušený trámeček před provedením zkoušky pevnosti v tahu za ohybu



**Obr. 22:** Zkoušený trámeček po provedení zkoušky pevnosti v tahu za ohybu

#### 4.4.2 Zkouška pevnosti v tlaku

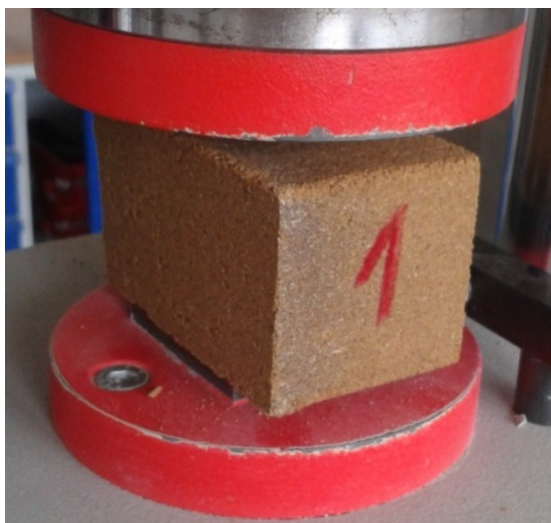
Zkouška pevnosti v tlaku byla stanovena podle normy ČSN EN 196-1 [2]. Zkouška byla prováděná na stejném zatěžovacím lise jako zkouška pevnosti v tahu. Zlomky těles z tahové zkoušky se kolmo na směr plnění umístí do zkušebního zařízení tak, aby plocha zkušebního stroje dosedla na jednu stranu šířky trámečku (obr. 23). Trámeček se postupně zatěžuje až do porušení a zaznamená se maximální hodnota zatížení v N, při které se vzorek poruší (obr. 24). Příslušná pevnost v tlaku se pak vypočítá z následujícího vztahu:

$$R_c = \frac{F}{A} \quad [N/mm^2] \quad (3)$$

kde: F ... zatěžovací síla v okamžiku porušení [N]

A ... zatěžovací plocha 1600 mm<sup>2</sup>

Průměrná hodnota se vypočítá s přesností 0,1 N/mm<sup>2</sup>.



*Obr. 23: Zkoušený vzorek před provedením zkoušky pevnosti v tlaku*



*Obr. 24: Zkoušený vzorek po provedení zkoušky pevnosti v tlaku*

#### 4.4.3 Zkouška nasákavosti

Zkouška nasákavosti se stanovovala dle normy ČSN EN 14617-1 [3]. Zkouška byla prováděná u části vzorků z každé směsi. Zkoušené vzorky byly nejprve ponořeny po dobu

24 hodin do vody. Po uplynuté době byly vzorky vyjmuty z vody a povrchově usušeny. Poté se vzorky zvažily a zaznamenala se jejich hmotnost. Nakonec byly vzorky vloženy do sušárny, kde se sušila do ustálené hmotnosti. Poté se opět zaznamenala hmotnost každého vzorku a vypočítala se jejich nasákavost podle následujícího vztahu:

$$NV = \frac{(m_s - m_d)}{m_d} \times 100 \quad [\%] \quad (4)$$

kde:  $m_s$  ... hmotnost nasyceného a povrchově osušeného vzorku [g]

$m_d$  ... hmotnost vysušeného vzorku [g]

Výsledek se zaokrouhlí na nejbližší 0,1%.

#### 4.4.4 Zkouška barevnosti

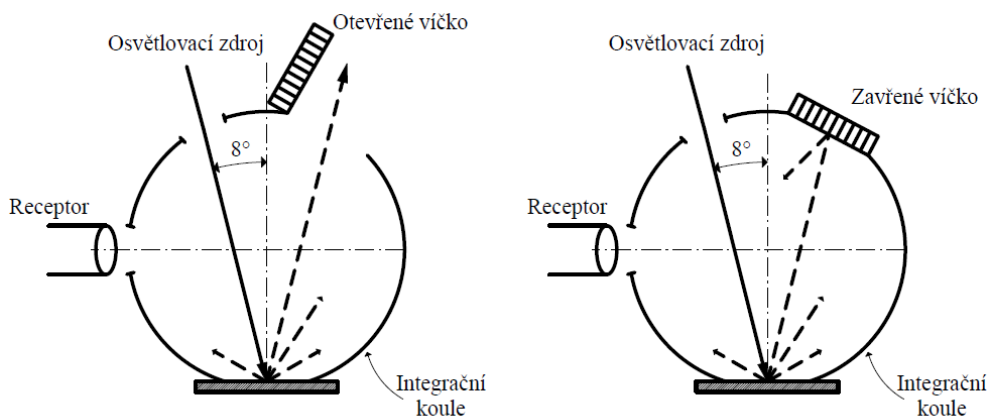
Pro měření barevného spektra zkušebních vzorků byl použit spektrofotometr. V našem případě se jednalo o spektrofotometr CM-2300d využívající geometrii d/8 (obr. 25), přístroj byl vyroben pro měření barevných ploch a velkých vzorků.



**Obr. 25:** Spektrofotometr CM-2300d

Pro geometrii d/8 je charakteristické to, že jednotlivé vzorky můžeme měřit s leskem nebo bez něj. V případě, kdy nás zajímá charakteristická barva vzorku, použijeme metodu SCE, kde se paprsek světelného zdroje dostane ven z integrační kopule. Tímto způsobem se změří pouze barva nikoliv lesk, který dokáže danou barvu ovlivnit. Chceme-li zjistit povrch vzorku ovlivněný také leskem, použijeme metodu SCI. V tomto případě

se paprsek světelného zdroje odrazí zpět do integrační kopule a poté je měřen. Rozdíl těchto dvou metod můžeme vidět na obr. 26. [16] V našem případě jsme použili obě metody, jak metodu SCE, tak i metodu SCI.



**Obr. 26:** Rozdíl mezi SCE a SCI [13]

Před měřením bylo zapotřebí spektrofotometr kalibrovat. Kalibrace byla prováděna podle předepsaného postupu. Po zapnutí spektrofotometru byla nejprve provedena kalibrace nuly. Měřicí port přístroje byl nasměrován do otevřeného prostoru, tak aby se v blízkosti jednoho metru nevyskytoval žádný zdroj světla, ale ani žádné předměty, které by mohly kalibraci ovlivnit. Po dokončení kalibrace nuly se provedla kalibrace bílé. Bez této kalibrace by nebylo možné provádět měření. Kalibrace bílé byla provedena tak, že byl přístroj umístěn na speciální kalibrační bílou destičku, jež je součástí spektrofotometru. Po správném umístění na destičku, se provedla kalibrace bílé stisknutím odpovídajícího tlačítka. Po ukončení těchto kalibrací jsme mohli provést měření vzorků.

Měření probíhalo tak, že se měřicí port spektrofotometru přiložil k povrchu vzorku a vyčkalo se několik vteřin, než přístroj zaznamenal data. Tento proces se opakoval na šesti různých místech každého vzorku. Naměřené hodnoty byly poté pomocí programu SpectraMagic NX upraveny a převedeny do programu Microsoft Office Excel pro jejich vyhodnocení.

#### 4.4.5 Zkouška zrnitosti kameniva – síťový rozbor

Zkouška zrnitosti byla stanovena dle normy ČSN EN 933-1 [4]. V následující zkoušce bylo kamenivo roztríděno a odděleno pomocí sady sít do několika zrnitostních podílů s klesající

velikostí částic. Zkušební navážka byla nejprve vysušena v sušárně do ustálené hmotnosti. Poté se na sadě zkušebních sít sestavených vzestupně, kdy nejmenší síto je dole, začala prosévat v prosévacím přístroji. Zkušební sada sít byla o velikosti otvorů 0,063; 0,125; 0,250; 0,500; 1; 2; 4 a 8 mm. Navážka se sypala na horní síto. Po prosetí se postupně odebírala jednotlivá síta a zvážil se zůstatek na těchto sítích. Nakonec se vypočetly hmotnosti zůstatků na každém síti jako procento hmotnosti původní navážky, také součtová procenta hmotnosti původní navážky, které propadly sítím. Dále bylo vypočteno procento jemných částic, které propadly sítím 0,063 a v neposlední řadě byly výsledné číselné hodnoty graficky znázorněny vynesemím křivky zrnitosti.

Výsledné hodnoty byly vypočteny z následujících vztahů:

- Procento zbytku na sítích

$$\frac{R_i}{M_1} \times 100 \quad [\%] \quad (5)$$

- Souhrnné procento propadu

$$100 - \sum \left( \frac{100 \times R_i}{M_1} \right) \quad [\%] \quad (6)$$

- Procento jemných částic

$$f = \frac{[(M_1 - M_2) + P] \times 100}{M_1} \quad [\%] \quad (7)$$

kde:  $R_i$  ... hmotnost materiálu na jednotlivých sítích [kg]

$M_1$  ... hmotnost vysušené zkušební navážky [kg]

$M_2$  ... hmotnost zůstatku na síti 0,063 mm [kg]

$P$  ... hmotnost propadu jemných částic na dnu [kg]

## 4.5 Zpracování a hodnocení získaných údajů

### 4.5.1 Výsledné pevnosti připravených kompozitů

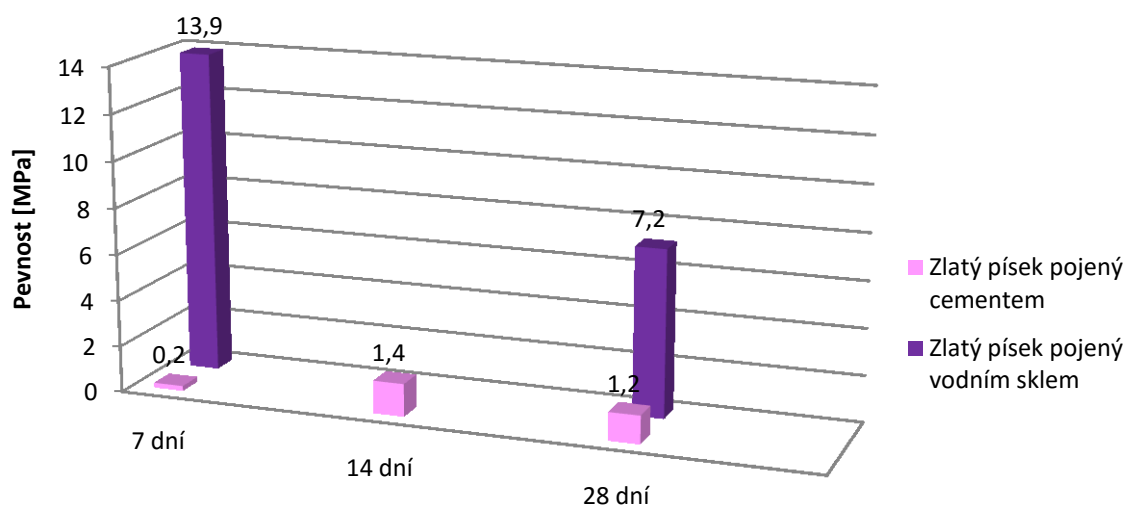
Z provedených zkoušek byly vyhodnoceny mechanické vlastnosti, jako je pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku, jednotlivých směsí. Zkoušky se prováděly na trámečcích o rozměrech 40 x 40 x 160 mm po 7, 14 a 28 dnech jejich zrání. Všechny výsledky provedených zkoušek jsou uvedeny v tabulce 3 a jsou také graficky znázorněny na obr. 27, 28, 29, 30, 31 a 32.



Tabulka 3 Vyhodnocení provedených zkoušek – pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku

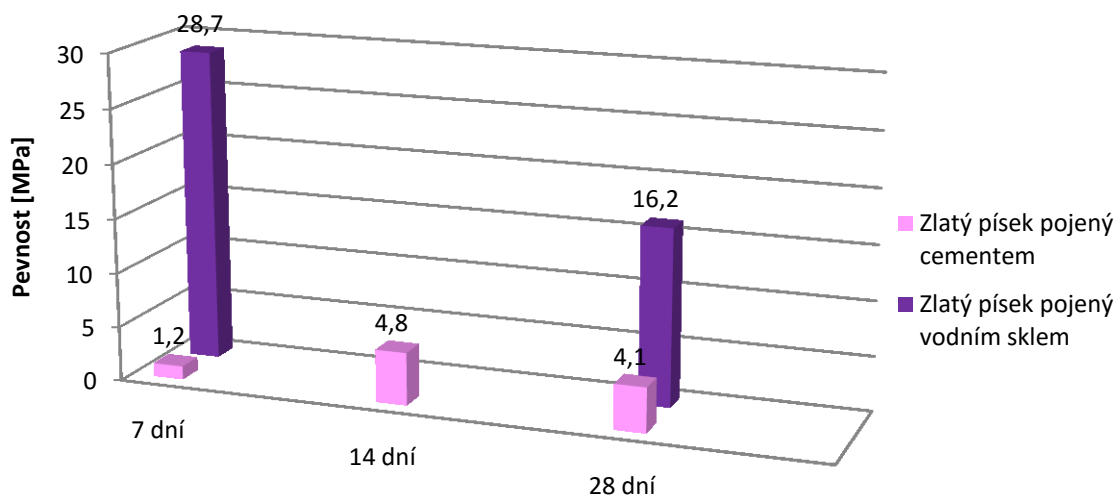
	č. vzorku	Pevnost v tahu za ohybu [MPa]		Pevnost v tlaku [MPa]		
		R <sub>f</sub>	Ø R <sub>f</sub>	R <sub>c</sub>	Ø R <sub>c</sub>	
<b>Běžný písek pojený vodním sklem</b>						
7 dní	1	15,2	15,5	-	16,2	16,7
	2	16,7		17,4	17,2	
	3	14,5		18,0	15,5	
14 dní	1	14,9	14,5	16,9	17,5	18,2
	2	16,1		17,5	17,9	
	3	12,4		17,6	21,5	
28 dní	1	5,4	5,6	27,2	25,2	21,1
	2	6,5		17,0	24,3	
	3	4,9		18,6	14,3	
<b>Běžný písek pojený cementem</b>						
7 dní	1	1,4	1,4	6,5	6,0	6,2
	2	1,5		7,6	6,2	
	3	1,4		4,6	6,1	
14 dní	1	1,5	1,5	8,1	7,9	8,0
	2	1,7		8,0	8,0	
	3	1,4		8,1	7,9	
28 dní	1	2,4	2,3	11,3	11,8	11,4
	2	2,1		10,4	11,4	
	3	2,4		11,5	11,8	
<b>Zlatý písek pojený vodním sklem</b>						
7 dní	1	14,5	13,9	27,5	30,1	28,7
	2	-		24,0	31,1	
	3	13,2		29,8	29,8	
28 dní	1	6,9	7,2	17,7	13,4	16,2
	2	9,7		19,9	19,2	
	3	5,1		14,0	12,8	
<b>Zlatý písek pojený cementem</b>						
7 dní	1	0,0	0,2	1,3	1,3	1,2
	2	0,2		1,1	1,3	
	3	0,0		1,0	1,3	
14 dní	1	1,3	1,4	3,8	4,9	4,8
	2	1,6		4,9	4,7	
	3	1,4		5,0	5,4	
28 dní	1	1,2	1,2	4,1	4,6	4,1
	2	1,2		3,4	4,4	
	3	1,2		4,1	4,0	

## Srovnání pevností v tahu za ohybu zlatého písku pojeného cementem a vodním sklem



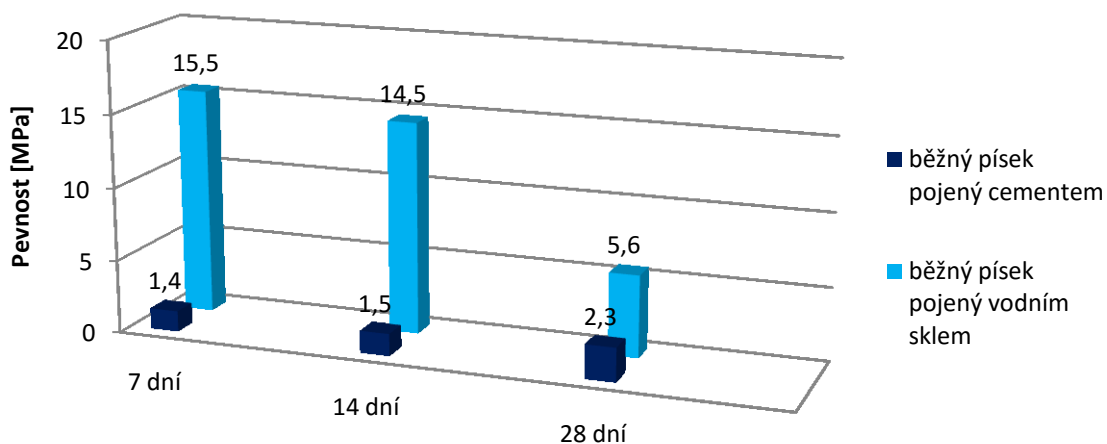
Obr. 27: Pevnost v tahu za ohybu směsí zlatého písku pojeného cementem a vodním sklem

## Srovnání pevností v tlaku zlatého písku pojeného cementem a vodním sklem



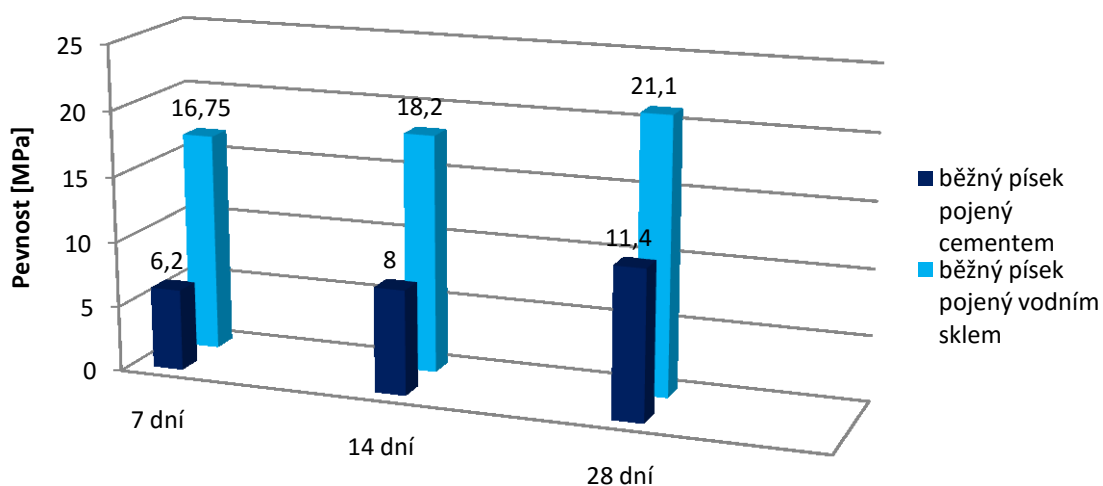
Obr. 28: Pevnost v tlaku směsí zlatého písku pojeného cementem a vodním sklem

## Srovnání pevností v tahu za ohybu běžného písku pojeného cementem a vodním sklem



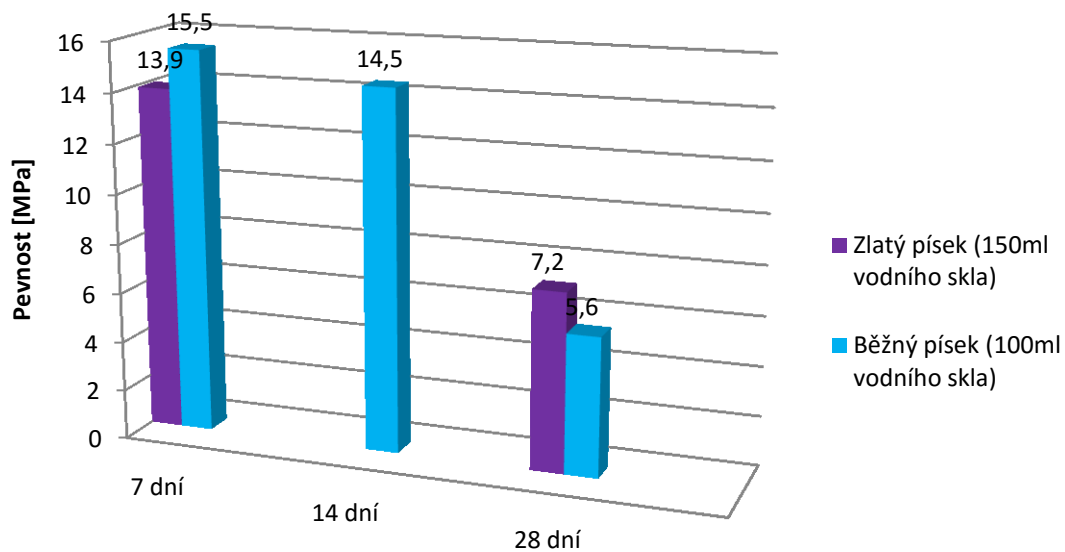
Obr. 29: Pevnost v tahu za ohybu běžného písku pojeného cementem a vodním sklem

## Srovnání pevností v tlaku běžného písku pojeného cementem a vodním sklem



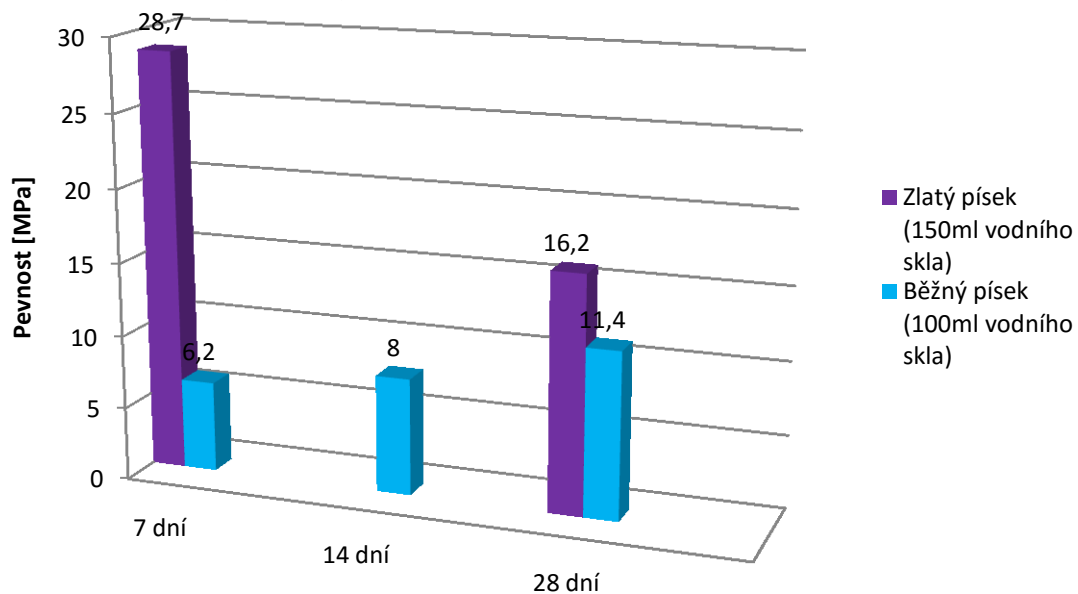
Obr. 30: Pevnost v tlaku běžného písku pojeného cementem a vodním sklem

## Srovnání pevností v tahu za ohybu zlatého a běžného písku pojeného vodním sklem



Obr. 31: Pevnost v tahu za ohybu zlatého a běžného písku pojeného vodním sklem

## Srovnání pevností v tlaku zlatého a běžného písku pojeného vodním sklem



Obr. 32: Pevnost v tlaku zlatého a běžného písku pojeného vodním sklem

Z vyhodnocení mechanických zkoušek se dá usoudit, že umělý kámen pojeným vodním sklem dosahoval mnohem větších pevností jak v tahu za ohybu, tak i v tlaku, než kámen pojený cementem.

Na grafickém výstupu je viditelný pokles pevností v tahu za ohybu i v tlaku směsí s vodním sklem. To má pravděpodobně za následek uchování vzorků v komorní peci (sušárně) po celou dobu jejich zrání. Naopak u směsí pojených cementem je patrný ze 7 dne na 14 den značný pevnostní nárůst, obzvláště u pevnosti v tlaku. U vzorků po 28 dnech zrání je viditelný ovšem menší pokles obou pevností, který může mít za následek také ponechání těchto vzorků ve vlhkostní skříni, opět po celou tu dobu jejich zrání.

Jak už je vidět, na grafických výstupech je značný rozdíl obou pevností mezi vzorky s použitím vodního skla a vzorky s použitím cementu. Kvůli estetickému vzhledu a tomu, aby daný vzorek byl podobný přírodnímu kameni, nemohlo být použito mnoho cementu, kvůli zabarvení směsí. Z tohoto důvodu můžeme vidět značný rozdíl v pevnostech mezi těmito směsmi.

Srovnáme-li směs se zlatým pískem obsahující 150ml vodního skla, se směsí s běžným pískem obsahujícím pouze 100ml vodního skla, pak můžeme vidět například u pevnosti v tahu za ohybu, že u obou typů směsí s přibývajícím dobou zrání klesá jejich pevnost. Jak už bylo zmíněno, opět to je pravděpodobně důsledkem ponechání vzorků v komorní peci (sušárně) po celou dobu jejich zrání. Kdežto podíváme-li se na grafické znázornění u pevnosti v tlaku (viz. obr. 32), můžeme vidět, že u směsi zlatého písku opět s přibývajícím dobou zrání pevnost klesá. Naopak u směsi běžného písku se s přibývajícím dobou zrání pevnost v tlaku zvětšuje. Nicméně, srovnáme-li to podle nárůstu pevnosti, směs se zlatým pískem, kde je použito 150ml vodního skla, má větší pevnost, než směs s běžným pískem obsahující pouze 100ml vodního skla.

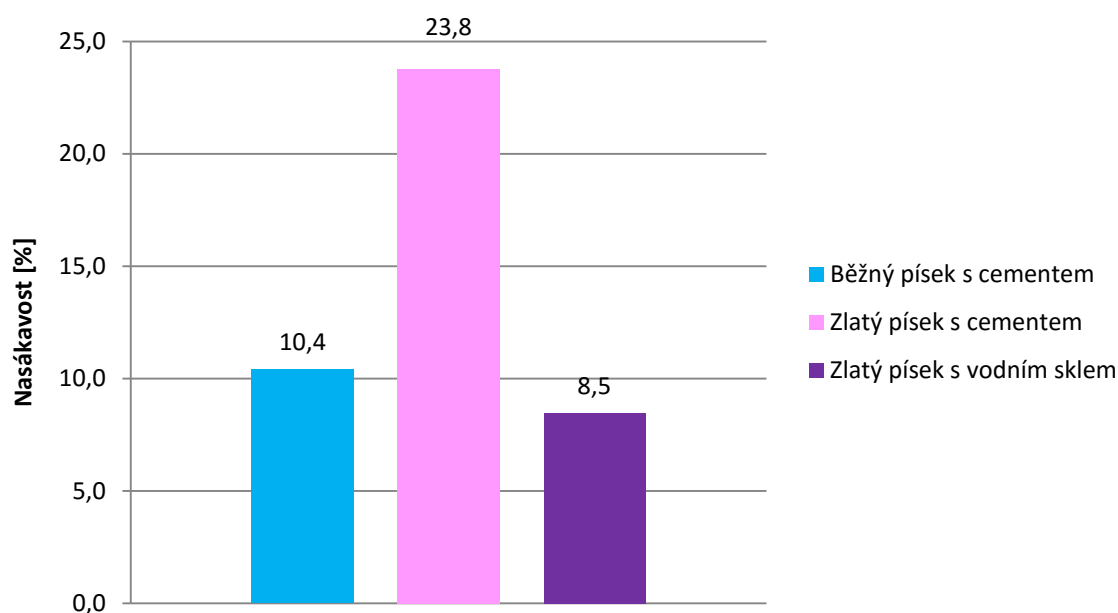
#### **4.5.2 Výsledné nasákavost kompozitů**

Zkouška byla provedena na částech vzorků z každé směsi. Výsledky zkoušky jednotlivých směsí jsou uvedeny v tabulce 4 a jejich grafické znázornění je zobrazeno na obr. 33.

*Tabulka 4 Vyhodnocení nasákavosti*

Vzorek	Hmotnost vysušeného zkušebního tělesa $m_d$ [g]	Hmotnost nasyceného zkušebního tělesa $m_s$ [g]	Nasákavost [%]
Běžný písek + cement	242,4	267,6	10,4
Běžný písek + vodní sklo	-	-	-
Zlatý písek + cement	196,8	243,6	23,8
Zlatý písek + vodní sklo	247,6	268,6	8,5

### Srovnání nasákavosti směsí umělého kamene



*Obr. 33: Nasákavost jednotlivých směsí*

Z vyhodnocení zkoušky se dá usoudit, že umělý kámen tvořený zlatým pískem a pojený cementem je nejvíce nasákavým, oproti ostatním vzorkům. Naopak nejméně nasákavým byl umělý kámen složený také ze zlatého písku, ale tentokrát pojený vodním sklem.

Z grafického výstupu je patrný rozdíl u směsi pojených cementem. Směs zlatého písku pojeného cementem má až dvojnásobně větší nasákavost nežli směs s běžným pískem. Důsledkem bude různá objemová hmotnost použitý písku.

U vzorku ze směsi běžného písku pojeného vodním sklem nebyla stanovena nasákavost z důvodu jeho porušení. Vzorek se po 24 hodinách, kdy byl uložen ve vodě, rozmočil.

#### 4.5.2.1 Výsledná barevnost kompozitů

Zkouška byla provedena na částech vzorků z každé směsi (obr. 34). Všechna získaná data byla zpracována a vyhodnocena do tabulky. Výsledná data byla také znázorněna graficky. Jednotlivé grafy byly tvořeny z průměrných hodnot měření barevného spektra. Ze získaných hodnot byly určeny průměrné hodnoty jasu ( $L^*$ ), sytosti ( $C^*$ ), odstínu ( $h^*$ ) a také barevných os ( $a,b$ ). Kde jas udává světlost vzorků, sytost pak značí, jestli sledovaná barva obsahuje příměsi neutrální šedé nebo bílé. Dále odstín, ten zase udává vlastnost barvy, která ji dává základní pojmenování a barevné osy poté barevnou škálu jednotlivých vzorků.

Pro tuhle zkoušku byly jednotlivé vzorky použity zkratky:

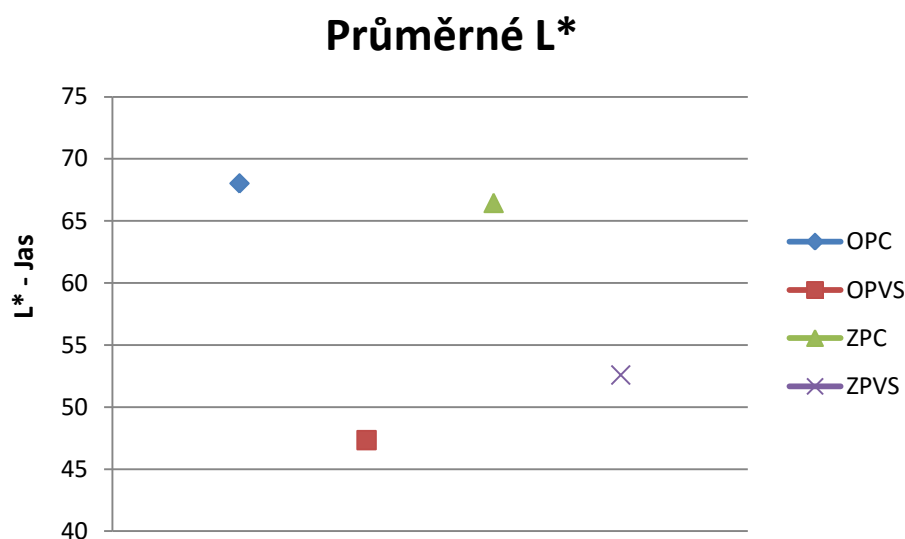
- Běžný písek pojený cementem      OPC
- Běžný písek pojený vodním sklem    OPVS
- Zlatý písek pojený cementem        ZPC
- Zlatý písek pojený vodním sklem    ZPVS



**Obr. 34:** Vzorky použité ke zkoušce barevnosti

#### 4.5.2.2 Vyhodnocení jasu

Graf znázorňuje hodnoty jasu  $L^*$  jednotlivých vzorků. Je viditelné, že vzorky OPC a ZPC mají největší jasovou složku. Naopak vzorek OPVS obsahuje mnohem nižší jasovou složku. Všeobecně lze říci, že vzorky obsahující jako pojivo cement mají největší jasovou složku.



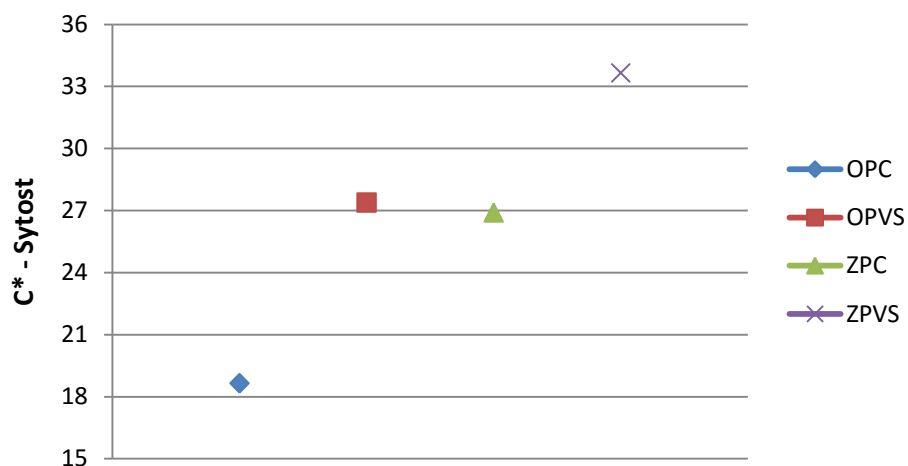
*Obr. 35: Graf  $L^*$*

#### 4.5.2.3 Vyhodnocení sytosti

Další graf znázorňuje hodnoty sytosti  $C^*$  všech zkoušených vzorků. Z grafu je patrné, že vzorek OPC má sytost ze všech nejmenší a to kolem 19%, proto je ze všech zkoušených vzorků nejšedší. Ostatní vzorky mají sytost mezi 27 – 34%. Z toho lze tudíž předpokládat, že jejich barevná složka není natolik ovlivněna příměsí šedé. Nejméně ovlivněn je vzorek ZPVS a to z toho důvodu, že jako pojivo neobsahuje cement, ale vodní sklo a také, že je použit zlatý písek obsahující sytější zrna.



## Průměrné C\*

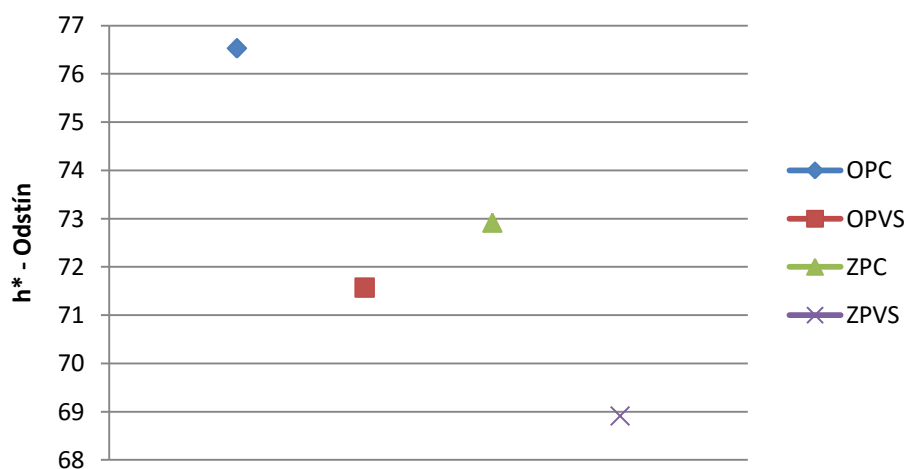


Obr. 36: Graf C\*

### 4.5.2.4 Vyhodnocení odstínu

Další graf znázorňuje hodnoty odstínu  $h^*$  všech zkoušených vzorků. Na vzorcích už podle oka je vidět že vzorky jsou žlutých odstínů. Dále lze vidět jak podle oka, tak i podle grafu, že nejžlutší odstín má vzorek OPC a také, že vzorek ZPVS má jako jediný odstín do oranžova. V neposlední řadě můžeme vidět, že nejpodobnější si jsou vzorky OPVS a ZPC.

## Průměrné $h^*$



Obr. 37: Graf  $h^*$

#### 4.5.2.5 Vyhodnocení barevné difference

Pro tuto zkoušku byla také vypočítána hodnota barevné difference  $\Delta E$  jednotlivých vzorků. Rozdíl barvy vyjadřuje barevnou odlišnost mezi pozorovaným předmětem a předlohou. Čím větší je barevná difference, tím je rozdíl barevného odstínu pozorovatelnější lidským okem. V následujících tabulkách 5 a 6 byla vypočítána barevná difference jednotlivých vzorků. Ale už při pohledu na zkoušené vzorky (viz. obr. 34) je zřejmé, že barevný rozdíl je lidským okem viditelný.

##### Dělení barevné difference $\Delta E$ :

- hodnoty 0 – 1:  $\Delta E$  není viditelná lidským okem (zelená)
- hodnoty 1 – 1,5:  $\Delta E$  je viditelná školeným nebo citlivým lidským okem (žlutá)
- hodnoty 1,5 – 2:  $\Delta E$  je viditelná zdravým lidským okem (hořčicově žlutá)
- hodnoty 2 -  $\infty$ :  $\Delta E$  je viditelná každým lidským okem (červená)

**Tabulka 5** Barevné difference – metoda SCI

GEOM.	d/8	S LESKEM		Vzorek	OPC	OPVS	ZPC	ZPVS
OSVĚT.	D65	(SCI)		L*(D65)	68,02	47,34	66,46	52,59
POZOR.	10°			a*(D65)	4,35	8,66	7,93	12,11
Vzorek	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	18,13	25,99	25,71	31,40	
OPC	68,02	4,35	18,13	0,00	22,54	8,52	21,78	
OPVS	47,34	8,66	25,99	22,54	0,00	19,14	8,29	
ZPC	66,46	7,93	25,71	8,52	19,14	0,00	15,57	
ZPVS	52,59	12,11	31,40	21,78	8,29	15,57	0,00	

**Tabulka 6** Barevné difference – metoda SCE

GEOM.	d/8	BEZ LESKU		Vzorek	OPC	OPVS	ZPC	ZPVS
OSVĚT.	D65	(SCE)		L*(D65)	67,97	47,39	66,36	52,60
POZOR.	10°			a*(D65)	4,37	8,67	7,95	12,13
Vzorek	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	18,16	26,02	25,76	31,48	
OPC	67,97	4,37	18,16	0,00	22,45	8,56	21,77	
OPVS	47,39	8,67	26,02	22,45	0,00	18,98	8,30	
ZPC	66,36	7,95	25,76	8,56	18,98	0,00	15,47	
ZPVS	52,60	12,13	31,48	21,77	8,30	15,47	0,00	

Z výsledných hodnot, ale také lidským okem, můžeme vidět, že nejmenší barevný rozdíl je mezi vzorky ZPC a OPC. Naopak největší barevný rozdíl se vyskytuje mezi vzorky OPVS a OPC. Největší barevný rozdíl je také u vzorků ZPVS a OPC. Důvodem u obou rozdílů je ten, že použití vodního skla nám zvýraznilo barevnost vzorků. Kdežto použitím bílého cementu nám ubralo na sytosti vzorků.

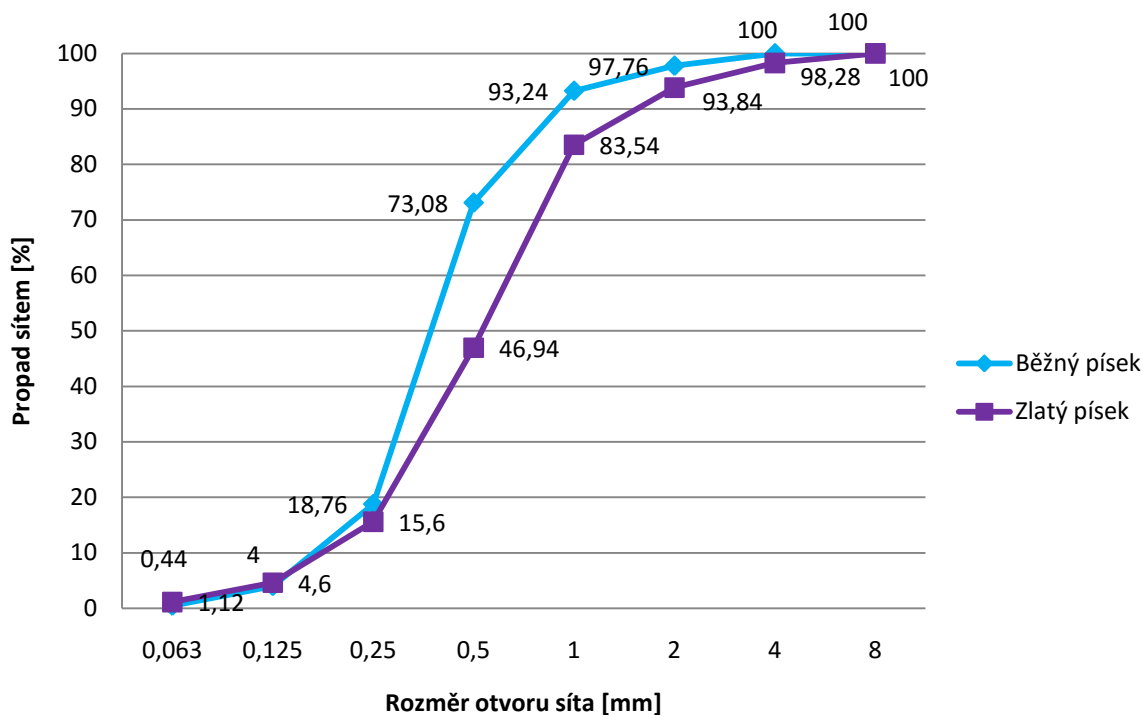
#### 4.5.3 Výsledná zrnitost použitých písků

Sítovým rozborem byla stanovena velikost částic běžného a zlatého písku pomocí síťového přístroje. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 7. Výsledky z této analýzy jsou také znázorněny na obr. 38 pomocí křivek zrnitosti.

*Tabulka 7 Zrnitost použitých písků*

Zrnitost běžného písku			Zrnitost zlatého písku		
Otvory síta [mm]	Procento zbytku na sítích	Souhrnné procento propadu	Otvory síta [mm]	Procento zbytku na sítích	Souhrnné procento propadu
8	0	100	8	1,72	100
4	2,24	100	4	4,44	98,28
2	4,52	97,76	2	10,3	93,84
1	20,16	93,24	1	36,6	83,54
0,5	54,32	73,08	0,5	31,78	46,94
0,25	14,76	18,76	0,25	10,56	15,16
0,125	3,56	4	0,125	3,48	4,6
0,063	0,36	0,44	0,063	0,86	1,12
Hmotnost propadu jemných částic v kg (P)		0,4	Hmotnost propadu jemných částic v kg (P)		1,3
Procento jemných částic v % hmotnosti (f)		0,44	Procento jemných částic v % hmotnosti (f)		1,12

## Křivka zrnitosti běžného a zlatého písku



*Obr. 38: Křivka zrnitosti běžného a zlatého písku*

Z obrázku 38 je patrné, že nejvíce hmotnostně zastoupené frakce u běžného písku je frakce o velikosti částic 0,25 – 0,5 mm. Naopak u zlatého písku má nejvíce hmotnostně zastoupenou frakci frakce o velikosti částic 0,5 – 1,0 mm. Velké zastoupení u zlatého písku má také frakce o velikosti částic 0,25 – 0,5. Rozdíl mezi těmito frakcemi je téměř mizivý. Dále je patrné, že zlatý písek obsahuje také částice větší než 8 mm. Takových částic je ale pouze 1,72%.

#### 4.6 Tvorba probarveného umělého kamene

V neposlední řadě bylo vyzkoušeno, zda by nešlo umělý kámen probarvit jiným barevným materiálem (obr. 39). Z důvodu časového nedostatku se ve zkoušení dále ale nepokračovalo.



*Obr. 39: Umělý kámen probarvený*

## 5. Závěr

Cílem této práce bylo připravit vzorky umělého kamene pomocí vybraných metod a materiálů. Dále stanovení základních mechanicko-fyzikálních vlastností a vzhledových parametrů vytvořených vzorků. A v neposlední řadě jejich vyhodnocení a porovnání. Pro tento účel byly navrženy čtyři směsi. Jednalo se o dvě směsi složené ze zlatého písku a další dvě směsi z písku běžného, kdy ještě každá z těchto dvou směsí byla pojena jiným pojivem, v jedné směsi byl použit bílý písek a ve druhé směsi bylo použito jako pojivo vodní sklo.

Z výše uvedených výsledků (viz. Tabulka 3) lze vidět, že umělý kámen pojený vodním sklem dosahoval mnohem větších pevností v tahu za ohybu i v tlaku, než umělý kámen pojený cementem. Největších pevností ze všech vzorků dosáhly vzorky zlatého písku pojeného vodním sklem. Vzorky u kterých bylo použito, jako pojivo bílý cement dosahovaly značně menších pevností. Bylo to z důvodu použití menšího množství bílého cementu do směsi. Kvůli estetickému vzhledu jsme si nemohli dovolit použít větší množství cementu. Šlo nám o to, aby se výsledný vzorek co nejvíce podobal přírodnímu kameni, velké množství cementu by nám výsledný vzorek obarvilo do šedé barvy. Na druhou stranu u vzorků pojeným cementem se pevnost s dobou zrání zvyšovala, kdežto u vzorků s použitím vodního skla pevnost klesala. Tento problém pravděpodobně způsobilo ponechání daných vzorků v komorní peci (sušárně) po celou dobu jejich zrání.

Během práce bylo dále zjištěno, že umělý kámen složený ze zlatého písku s použitím jako pojiva bílý cement je nejvíce nasákavým. V porovnání s ostatními vzorky je jeho nasákavost až dvojnásobná. Za to nejmenší nasákavost byla stanovena u vzorku, kdy byl zlatý písek pojený vodním sklem. Zde byla nasákavost pouze 8,5%, kdežto u zlatého písku pojeného cementem byla stanovena nasákavost až 23,8%.

Po provedení a vyhodnocení všech vybraných zkoušek u všech připravených typů vzorků umělého kamene je nejlépe připravený vzorek umělého kamene ze směsi zlatého písku obsahující jako pojivo vodní sklo. Výsledný vzorek vykazuje nejlepší pevnosti jak v tahu za ohybu tak i v tlaku, dále byla u něj stanovena nejmenší nasákavost. A i z hlediska vzhledových parametrů se jedná o nejlepší vzorek umělého kamene.

## 6. Seznam použitých zdrojů

### Technické normy:

- [1] ČSN EN 14 618 Umělý kámen – terminologie a klasifikace, Český normalizační institut, Praha, 2005
- [2] ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti, Český normalizační institut, Praha, 2005
- [3] ČSN EN 14617-1 Umělý kámen – Zkušební metody – Část 1: Stanovení objemové hmotnosti a nasákavosti vodou, Český normalizační institut, Praha, 2005
- [4] ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor, Český normalizační institut, Praha, 2012

### Literatura:

- [5] Stefanidou, M., Pachta, V., Papayianni, I.: Desing and testing of artificial stone for the restoration of stone elements in monuments and historic buildings, Construction and building materials, 93, 2015, Elsevier
- [6] KOTLÍK, P. Umělý kámen – materiál pro tmely, doplňky a kopie, Zpravodaj STOP – svazek 12, Společnost pro technologie ochrany památek, Praha, 2010, s. 4 – 10
- [7] KOTLÍK, P. Technologie přípravy umělého kamene, Umělý kámen pro památkovou péči, seminář STOP, Lapidárium Národního muzea, Praha, 1998, s. 9 – 18
- [8] JUSTA, P. Alternativní plniva v umělém kameni, Umělý kámen pro památkovou péči, seminář STOP, Lapidárium Národního muzea, Praha, 1998, s. 25 – 26
- [9] KOTLÍK, P. Stavební materiály historických objektů, Praha: VŠCHT v Praze, 1999. ISBN 80-7080-347-9
- [10] HUCKOVÁ, M., KOTLÍK, P. Umělý kámen s epoxidovým pojivem, Zprávy památkové péče – 69/6, Národní památkový ústav, Praha, 2009, s. 458 – 464

- [11] RATHOUSKÝ, J. Zkušenosti s umělým kamenem s epoxidovým pojivem. In: Umělý kámen pro památkovou péči, seminář STOP. Praha: Lapidárium Národního muzea, 1998, s. 19 – 21
- [12] NOVOTNÝ, J. Zkušenosti s umělým kamenem: Umělý kámen na minerálním základě. In: Umělý kámen pro památkovou péči, seminář STOP. Praha: Lapidárium Národního muzea, 1998, s. 22 – 24
- [13] NEJEDLÝ, V. Umělý kámen v restaurování výtvarných děl: pohled památkáře. In: Umělý kámen pro památkovou péči, seminář STOP. Praha: Lapidárium Národního muzea, 1998, s. 5 – 6
- [14] SVOBODA, L. Stavební hmoty. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2004. ISBN 80-8076-007-1
- [15] ADÁMEK, J., NOVOTNÝ, B., KOUKAL, J. Stavební materiály. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. ISBN 80-214-0631-3
- [16] MALIŠOVÁ, Marcela. Metodika měření barevného spektra u barevných stavebních materiálů v závislosti na vlivu prostředí. Ostrava, Diplomová práce. VŠB-TUO, Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. David Bujdoš.

#### **Internetové zdroje:**

- [17] Are Pyramids Made Out of Concrete?. Geopolymer [online]. 2006 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.geopolymer.org/archaeology/pyramids/are-pyramids-made-out-of-concrete-1/>
- [18] <http://www.kralovskacesta.cz/cs/prohlidka/objekty.html>
- [19] KOTLÍK, P. Umělý kámen – užití a vlastnosti [online]. 2010 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: [http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/materialy/umely-kamen-uziti-a-nbsp-vlastnosti\\_101489.html](http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/materialy/umely-kamen-uziti-a-nbsp-vlastnosti_101489.html)
- [20] KUCHARŤ, J. Umělý kámen k nerozeznání od přírodního. In: Stavebnictví [online]. 2007 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/umely-kamen-k-nerozeznani-od-prirodnih/>



- [21] Série TVD – štípaná břidlice. Magricrete.cz [online]. 2000 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.magricrete.cz/produkty/umely-kamen/1188.html>
- [22] Umělý mramor: Nezničitelný materiál pro každou koupelnu. In: IDNES [online]. 2006 [cit. 2016-04-18]. Dostupný z: [http://bydleni.idnes.cz/umely-mramor-neznicitelnymaterial-pro-kazdou-koupelnu-pkk-/koupelna.aspx?c=A060707\\_121819\\_koupelna\\_pet](http://bydleni.idnes.cz/umely-mramor-neznicitelnymaterial-pro-kazdou-koupelnu-pkk-/koupelna.aspx?c=A060707_121819_koupelna_pet)
- [23] Akrylát versus mramor – jaký materiál zvolit do koupelny? In: Bydlení pro každého [online]. 2013 [cit. 2016-04-18]. Dostupný z: <http://koupelny-wc.bydleniprokazdeho.cz/koupelny-a-wc/akrylat-versus-lity-mramor-jaky-material-zvolit-do-koupelny.php>
- [24] Litý mramor. In: Aretti zakázkové interiéry [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupný z: <http://www.zakazkoveinteriery.cz/produkty/lity-mramor>
- [25] Stavební a dekorační kámen [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupný z: [http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/stavebni\\_dekoracni.html](http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/stavebni_dekoracni.html)
- [26] VYMAZAL, T. Stavební kámen, kamenivo a výrobky z kamene [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupný z: <http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI01/4%20Kamenivo%20a%20stavebn%C3%AD%20k%C3%A1men.pdf>
- [27] HEŘMÁNKOVÁ, V. Kámen a kamenivo pro stavební účely [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupný z: <http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/AI01/AI01%20Kamenivo%202012.pdf>
- [28] Hrubá a ušlechtilá kamenická výroba [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupný z: <http://www.prumysl-kamene.cz/>
- [29] SAULICH, P. Kámen jako stavební materiál. In: Můj dům [online]. 2013 [cit. 2016-04-18]. Dostupný z: [http://mujdum.dumabyt.cz/rubriky/stavba/kamen-jako-stavebni-material\\_396.html](http://mujdum.dumabyt.cz/rubriky/stavba/kamen-jako-stavebni-material_396.html)
- [30] DAŇKOVÁ, D., HEJHÁLKOVÁ, H. Přírodní nebo umělý kámen. In: Stavebnictví [online]. 2008 [cit. 2016-04-18]. Dostupný z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/prirodni-nebo-umely-kamen/>

- [31] Stavební a dekorační kameny [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupný z: <http://www.geology.cz/svet-geologie/poznej-geologii/geologicka-temata/stavebni-dekoracni-kameny>
- [32] Interiérové zdi z přírodního kamene [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupný z: <http://www.exclusivestone.cz/interier/interierove-zdi-z-prirodnihokamene/>

## Seznam obrázků

Obr. 1: Kohlova kašna a sousoší Madony se sv. Dominikem a T. Akvinským [18].....	13
Obr. 2: Kopie sochy M. B. Brauna Onufrius z Nového lesa u Kuksu [19].....	16
Obr. 3: Tympanon kostela P. M. Sněžné v Praze [19] .....	20
Obr. 4: Soubor vaz na atice Rudolfiny v Praze [19].....	20
Obr. 5: Venkovní obklad z umělého kamene – břidlice [21] .....	21
Obr. 6: Umyvadlo z litého mramoru [24].....	22
Obr. 7: Sosoší sv. Kajetána na Karlově mostě v Praze [18].....	23
Obr. 8: Megalitický areál Stonehenge v Jižní Anglii [24].....	24
Obr. 9: Klasická lokalita [24] .....	27
Obr. 10: Stěnovo-jámový lom [24].....	27
Obr. 11: Příklady povrchových úprav přírodního kamene [14] .....	28
Obr. 12: Zdivo kyklopské [28] .....	28
Obr. 13: Zdivo z haklíků [24].....	29
Obr. 14: Žulové dlažební kostky [24].....	30
Obr. 15: Příklady způsobů skládání dlažebních desek [24] .....	31
Obr. 16: Příklad použití přírodního kamene na obložení zdí v interiéru [32] .....	32
Obr. 17: Vzorek zlatého (vlevo) a běžného písku (vpravo) .....	33
Obr. 18: Sada zkušebních trámečků velikosti 40x40x160mm .....	35
Obr. 19: Forma pro přípravu umělého kamene pojeného cementem .....	35
Obr. 20: Forma pro přípravu umělého kamene pojeného vodním sklem.....	35
Obr. 21: Zkoušený trámeček před provedením zkoušky pevnosti v tahu za ohybu.....	36
Obr. 22: Zkoušený trámeček po provedení zkoušky pevnosti v tahu za ohybu .....	36
Obr. 23: Zkoušený vzorek před provedením zkoušky pevnosti v tlaku .....	37
Obr. 24: Zkoušený vzorek po provedení zkoušky pevnosti v tlaku .....	37
Obr. 25: Spektrofotometr CM-2300d .....	38
Obr. 26: Rozdíl mezi SCE a SCI [13] .....	39
Obr. 27: Pevnost v tahu za ohybu směsí zlatého písku pojeného cementem a vodním sklem .....	42
Obr. 28: Pevnost v tlaku směsí zlatého písku pojeného cementem a vodním sklem .....	42
Obr. 29: Pevnost v tahu za ohybu běžného písku pojeného cementem a vodním sklem ....	43
Obr. 30: Pevnost v tlaku běžného písku pojeného cementem a vodním sklem.....	43
Obr. 31: Pevnost v tahu za ohybu zlatého a běžného písku pojeného vodním sklem.....	44

Obr. 32: Pevnost v tlaku zlatého a běžného písku pojeného vodním sklem .....	44
Obr. 33: Nasákavost jednotlivých směsí .....	46
Obr. 34: Vzorčky použité ke zkoušce barevnosti.....	47
Obr. 35: Graf L* .....	48
Obr. 36: Graf C* .....	49
Obr. 37: Graf h* .....	49
Obr. 38: Křivka zrnitosti běžného a zlatého písku .....	52
Obr. 39: Umělý kámen probarvený .....	53

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Přehled běžných hornin používaných ve stavebnictví a jejich vlastnosti.....	26
Tabulka 2 Složení směsí umělého pískovce s vodním sklem a cementem .....	34
Tabulka 3 Vyhodnocení provedených zkoušek – pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku .....	41
Tabulka 4 Vyhodnocení nasákavosti .....	46
Tabulka 5 Barevné diference – metoda SCI.....	50
Tabulka 6 Barevné diference – metoda SCE.....	50
Tabulka 7 Zrnitost použitých písků .....	51